Sustento del uso justo de Materiales Protegidos

derechos de autor para fines educativos

UCI
Universidad para la Cooperación Internacional

UCI
Sustento del uso justo de materiales protegidos por Derechos de autor para fines educativos

El siguiente material ha sido reproducido, con fines estrictamente didácticos e ilustrativos de los temas en cuestión, se utilizan en el campus virtual de la Universidad para la Cooperación Internacional – UCI - para ser usados exclusivamente para la función docente y el estudio privado de los estudiantes en el curso de actualización "Atención de los delitos ambientales desde la perspectiva forense".

La UCI desea dejar constancia de su estricto respeto a las legislaciones relacionadas con la propiedad intelectual. Todo material digital disponible para un curso y sus estudiantes tiene fines educativos y de investigación. No media en el uso de estos materiales fines de lucro, se entiende como casos especiales para fines educativos a distancia y en lugares donde no atenta contra la normal explotación de la obra y no afecta los intereses legítimos de ningún actor.

La UCI hace un USO JUSTO del material, sustentado en las excepciones a las leyes de derechos de autor establecidas en las siguientes normativas:

a- Legislación costarricense: Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos, No.6683 de 14 de octubre de 1982 - artículo 73, la Ley sobre Procedimientos de Observancia de los Derechos de Propiedad Intelectual, No. 8039 – artículo 58, permiten el copiado parcial de obras para la ilustración educativa.
b- Legislación Mexicana; Ley Federal de Derechos de Autor; artículo 147.
c- Legislación de Estados Unidos de América: En referencia al uso justo, menciona: "está consagrado en el artículo 106 de la ley de derecho de autor de los Estados Unidos (U.S,Copyright - Act) y establece un uso libre y gratuito de las obras para fines de crítica, comentarios y noticias, reportajes y docencia (lo que incluye la realización de copias para su uso en clase)."
d- Legislación Canadiense: Ley de derechos de autor C-11– Referidos a Excepciones para Educación a Distancia.
e- OMPI: En el marco de la legislación internacional, según la Organización Mundial de Propiedad Intelectual lo previsto por los tratados internacionales sobre esta materia. El artículo 10(2) del Convenio de Berna, permite a los países miembros establecer limitaciones o excepciones respecto a la posibilidad de utilizar lícitamente las obras literarias o artísticas a título de ilustración de la enseñanza, por medio de publicaciones, emisiones de radio o grabaciones sonoras o visuales.

Además, y por indicación de la UCI, los estudiantes del campus virtual tienen el deber de cumplir con lo que establezca la legislación correspondiente en materia de derechos de autor, en su país de residencia.

Finalmente, reiteramos que en UCI no lucramos con las obras de terceros, somos estrictos con respecto al plagio, y no restringimos de ninguna manera el que nuestros estudiantes, académicos e investigadores accedan comercialmente o adquieran los documentos disponibles en el mercado

editorial, sea directamente los documentos, o por medio de bases de datos científicas, pagando ellos mismos los costos asociados a dichos accesos.

Manual de Criminalística

CARLOS A. GUZMÁN

INSTITUTO PERUANO DE CRIMINOLOGÍA Y CIENCIAS PENALES
BIBLIOTECA

Manual de Criminalística

Investigación. Antropología. Odontología.
Dactiloscopia. Serología. Huellas y marcas. ADN.
Palinología. Entomología. Reconstrucción facial.
Documentología. Balística. Armas.
Sistemas de puntería. Munición. Calibre.
Identificación balística. Informática forense.
Accidentología. Examen de pinturas.
El perito y los procedimientos periciales.

INCLUYE ANEXO FOTOGRÁFICO

Segunda edición
Ampliada y actualizada

editorial B de f
Montevideo - Buenos Aires

2011

Julio César Faira - Editor

Serie *Criminalística*

Directores: Carlos A. Guzmán - María Fernanda Ferreyro

Maquetado y colaboración en la organización de los contenidos:
Juliana Inés Faira - Licenciada en Criminalística

I.S.B.N.: 978-9974-676-65-7

En Buenos Aires, República Argentina:
© Euros Editores S.R.L.
Av. Congreso 4744 (C1431AAP) - Tel./Fax: (005411) 4522-1483
e-mail: euroseditores@fibertel.com.ar
www.euroseditores.com

En Montevideo, República Oriental del Uruguay:
© B de F Ltda.
Buenos Aires 671 (CP 11000) - Tel./Fax: (005982) 916-5238
e-mail: bdef@netgate.com.uy
www.editorialbdef.com

Hecho el depósito que establece la ley. Derechos reservados.

Encuadernado por *Encuadernación Latino América* - Tel.: 4222-8040
Impreso en la Argentina, en el mes de marzo de 2011 por:
St Gráfico, San Antonio 834, Capital Federal - Tel./Fax: 4302-7414
(1276) República Argentina

A mi querido hermano, Eduardo César,
y su esposa, Inés Labadie.

A mis queridos sobrinos,
Carolina Mariana, Nicolás y Gonzalo Gastón.

INSTITUTO PERUANO DE CRIMINOLOGÍA Y CIENCIAS PENALES
INPECCP
BIBLIOTECA

PRÓLOGO A LA NUEVA EDICIÓN

No hace mucho se inició el siglo XXI y, con él, surgió una gran expectativa. Sin embargo, el mundo no se ha modificado y el deseo del hombre de obtener más conocimientos, experiencias y pautas para resolver las cuestiones de cada especialidad permanece vigente. Sobre la base de ese pensamiento tomé la decisión de actualizar la presente obra relativa a la Criminalística en general, para, además de entenderlo como un desafío, poder plasmar el deseo de continuar brindando un texto totalmente vigente con el avance de la ciencia.

En las nuevas páginas de este manual he puesto por segunda vez todo mi empeño y dedicación, todos mis conocimientos y opiniones edificados con la experiencia práctica que se sustentara en cimientos teóricos.

Inicié esta tarea con la humilde intención de ofrecer un libro actualizado de Criminalística, de origen nacional, que se convierta en manual de referencia para el perito experimentado en algunas de las disciplinas de la Criminalística, tanto del ámbito civil como del policial, en un texto de consulta para los integrantes del ámbito del Derecho y para todos aquellos que se dedican, de alguna forma, al aprendizaje y a la docencia de esta ciencia.

La labor ha consistido en integrar las enseñanzas de maestros predecesores con los nuevos criterios técnicos que atañen a las distintas disciplinas, para poder llevar al lector la mayor cantidad de material disponible y actualizado existente en el mundo de hoy.

No aspiro a sustituir otras obras tradicionales o clásicas, sino a complementarlas, y me sentiría más que recompensado si consiguiera interesar a un porcentaje elevado de lectores.

CARLOS ALBERTO GUZMÁN
Licenciado en Criminalística
Buenos Aires, febrero de 2011

PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN

La falta de técnica en la iniciación de las investigaciones es una de las causas más frecuentes del fracaso de éstas y, por consiguiente, origen de la impunidad. Siempre hay huellas o rastros que exigen determinados conocimientos para poder hallarlos, recolectarlos, analizarlos e interpretarlos; precisamente en esto radica la utilidad y el valor de los métodos de investigación criminal y pruebas forenses, plasmados en este *Manual de Criminalística*, de Carlos Alberto Guzmán, obra que viene a llenar un vacío de la criminalística argentina, en una época signada por el auge de la alta complejidad de las comunicaciones, la informática y el diagnóstico por imágenes.

Satisface ampliamente las expectativas en la materia: de los alumnos de nivel terciario, para evitar los apuntes irrelevantes o publicaciones extranjeras no adaptables a nuestros sistemas; de las instituciones de seguridad; de los encargados de la administración de justicia, en sus distintas especialidades y jerarquías; de los abogados en general, en especial los penalistas; de los licenciados en higiene industrial; de las compañías aseguradoras, para consulta imprescindible en la oficina y biblioteca; de los peritos en general, en especial de los cuerpos técnicos de seguridad de los distintos servicios.

La criminalística nació marcada por la indeterminación de su objeto, áreas de conocimiento, métodos de investigación y relaciones con otras disciplinas.

Fue así primeramente bautizada en 1894 por Hans Gross, en su *Manual del juez de instrucción como sistema de criminalística* (*Handbuch für Untersunchungsrichter als System der Kriminalistik*). Una aproximación de la disciplina a su verdadero ámbito policial de aplicación la promovió Alongi, con su *Manuale di polizia scientifica* (1897); posteriormente Carrara la denominó *polizia giudiziaria* (1906). Nicéforo introdujo otra denominación: *investigación judicial científica* (1907), que ya había anticipado en el VI Congreso de Antropología Criminal de Turín, de 1906. Predominó la denominación de policía científica, como en el tratado de Ottolenghi (1910) y en el manual de

Reiss (1911), mientras que Constancio Bernardo de Quirós la popularizó en 1908 en su obra *Las nuevas teorías de la criminalidad.* Tiempo después se le fueron dando otras denominaciones, como las de policía técnica y técnica policial (Locard, *Manual de technique policière,* 1923).

La investigación criminal es una función de policía, no una actividad meramente jurídica, ni menos aún asimilada a la instrucción, como cree la doctrina procesalista. Es una acción que la policía desarrolla en el campo de la técnica investigativa, con el auxilio, en caso necesario, de las ciencias físicas y sociales. Forma parte del complejo funcional policial, preventivo-represivo, en estrecha unidad de medios y fines con otras materias, como las de seguridad y de seguridad del Estado, por lo cual su cabal ejercicio requiere el respeto de los principios de unidad funcional, institucional y jurisdiccional.

Responde al programa policial-técnico-científico con el que se inicia la primera fase del proceso penal, que se desenvuelve paralelamente al mismo y se vuelca en él en la forma de la comprobación legal.

No sólo es interesante este manual por su atractivo contenido, sino que mucho más lo es por su calidad, el que, a pesar de ser tan vasto, ha sido detallado exhaustivamente por su autor.

Nos introduce en él con un revisionismo abarcativo, para comenzar con la tarea más compleja del proceso criminal, como es la investigación en el escenario del delito, que es donde en última instancia quedan plasmadas todas las evidencias visibles o latentes, para después ir desarrollando cada uno de los temas individualmente, como el examen de cadáveres enterrados; las marcas de mordedura en los delitos contra las personas; las huellas dactilares latentes; el estudio completísimo de pelos y fibras; la investigación serológica; el siempre atractivo e importantísimo estudio de las huellas de calzados y de neumáticos; el *boom* contemporáneo de la prueba documental, en sus distintos aspectos de alta complejidad; la innegable fuerza pericial que imprimen los estudios de balística y de las armas, detallando los sistemas de puntería, el calibre, la munición y el cartucho, los restos de deflagraciones y las identificaciones balísticas, coronando todo ello con un revisionismo histórico de la identificación de las armas de fuego.

Agrega también las siempre útiles tablas de conversión, equivalencias y coeficientes, que para este tipo de manual son de sumo interés y practicidad.

Desarrolla con singular maestría y soltura literaria, la que también utiliza oralmente en sus cursos de capacitación y actualización, los temas de investigación de efracción y huellas de herramientas; explica con acabado conocimiento técnico los métodos de revenido; prosigue desarrollando la investigación de sucesos viales y accidentología vial, para

terminar con el examen de las pinturas. Da cierre a este manual con una acotada, pero importante bibliografía especializada.

Realmente, a todos aquellos que alguna vez hemos pertenecido a las fuerzas de seguridad, el autor, con la maestría de su pluma, nos lleva nostálgicamente al pasado –a más de actualizarnos–, y a aquellos que deseen adentrarse en el fascinante mundo de la criminalística les brinda la única puerta para conocerla, siendo este manual su llave.

Tiene también la curiosa característica de lo estructurado orgánicamente: siendo un todo comprensible, también lo es en sus partes integrantes, las que son un todo en sí mismas.

Aunque el autor es pariente político de nuestro querido y recordado inspector general (R) Roberto Albarracín (*Manual de criminalística*, Editorial Policial, 1971), con quien tuve el placer de departir algunas tardes añorando nuestro paso por la institución, no es de ese nexo que se vale para ser reconocido, sino de su paso por la fuerza durante un lapso de veintiséis años de servicios ininterrumpidos en dependencias del Departamento Scopométrico, la Sección Coordinación Pericial (dependiente de la Dirección General de Pericias), Planimetría y Reconstrucciones Fisonómicas Integrales, la División Medicina Legal y la División Balística de la Policía Federal Argentina, dependencia esta última donde ocupó su jefatura.

La labor desarrollada en lo civil como licenciado en criminalística, como calígrafo público nacional y como técnico scopométrico. Asimismo, como perito de parte en las especialidades balística y caligráfica.

El ser miembro de la Asociación de Egresados de la Academia Nacional del FBI (*Federal Bureau of Investigation*), de Estados Unidos de Norteamérica.

El perfecto dominio de la lengua inglesa, por haberla estudiado en el Instituto Cambridge de la Argentina, así como el inglés técnico estudiado en la Facultad de Ingeniería de la UBA y la Universidad del Salvador, y el inglés americano, estudiado en la Universidad de Virginia (Washington, EE.UU.).

La labor docente de sus propias especialidades en diferentes áreas de la institución policial.

Este revisionismo curricular del autor, tan sólo de lo más relevante, nos da la pauta de su perfil profesional. Su perfil altruista lo encuadra en la vocación de servir.

El perito no es quien así se autodesigna o a quien se lo revista de tal carácter por simple mandato judicial. No. Es aquel que, merced a su propio valer, a su propia experiencia, puede demostrar, a través de procedimientos técnicos y científicos, la exactitud de lo que afirma, y que, por la discreción, honestidad y delicadeza de sus actos, merece la unánime confianza que en él depositan sus semejantes.

Estas cualidades conforman la personalidad de Carlos Alberto Guzmán, por ello, este *Manual de Criminalística* viene a llenar ese vacío del que hablábamos al principio, de la criminalística argentina, como decíamos, en una época signada por el auge de la alta complejidad de las comunicaciones, la informática y el diagnóstico por imágenes.

FRANCISCO RAMÓN BONARDI
Médico legista - médico psiquiatra
médico del trabajo - presidente del ex
Instituto Médico Legal

Buenos Aires, agosto de 1997

INSTITUTO PERUANO DE CRIMINOLOGÍA Y CIENCIAS PENALES
INPECCP
BIBLIOTECA

ÍNDICE

PRÓLOGO A LA NUEVA EDICIÓN IX
PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN XI
INTRODUCCIÓN 1
LA CRIMINALÍSTICA 3

Capítulo I
EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL ESCENARIO DEL DELITO

I. Introducción 9
II. Deberes y responsabilidades del personal 11
III. Organización y procedimientos para las operaciones de búsqueda 15
IV. Procedimientos de documentación 26
V. Búsqueda/inspección en etapas para prevenir la destrucción de pruebas/evidencia en escenarios donde se ha cometido un hecho delictuoso 27
VI. Incremento de la integridad del escenario del hecho mediante la creación de múltiples niveles de seguridad ... 29
VII. Evidencias físicas, significado, categorías 31
VIII. Fundamentos, principios y teoría de la fotografía en el escenario del delito y en la documentación de evidencias 34
IX. La planimetría y su aplicación en la escena del delito 63

Capítulo II
LA ANTROPOLOGÍA FORENSE EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

I. Introducción 73
II. Antropometría 75
III. Cadáveres enterrados 79
IV. Restos óseos 87
V. El cabello/pelo como evidencia 91
VI. Las uñas 102

Capítulo III
LA ODONTOLOGÍA FORENSE
EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

I. Introducción 109
II. Identificación dental comparativa 111
III. Perfiles dentales *post mortem* 113
IV. Otros métodos de identificación dental 115
V. El papel del ADN en la identificación dental 115
VI. Marcas de mordeduras 117
VII. Comparación física y forense de las mordidas 123
VIII. Mordidas humanas como evidencia biológica forense 124
IX. Resumen 125

Capítulo IV
IDENTIFICACIÓN HUMANA.
HUELLAS DACTILARES LATENTES

I. Identificación humana. Métodos utilizados 127
II. El método papiloscópico 128
III. Huellas dactilares latentes. Introducción 134
IV. Huellas latentes en la piel humana 151

Capítulo V
FIBRAS, EXÁMENES SEROLÓGICOS
Y OTROS FLUIDOS CORPORALES

I. Fibras. Introducción 157
II. La fibra como evidencia 157
III. Telas 160
IV. Transferencia y persistencia de fibras 161
V. La evidencia de la fibra: la asignación de importancia 162
VI. La serología forense 163

Capítulo VI
HUELLAS DE PISADAS, DE RODADURA DE NEUMÁTICOS
Y MARCAS DE HERRAMIENTAS

I. Introducción 177
II. Huellas de calzado y de rodadura de neumático 181
III. Marcas de huellas de herramientas y armas de fuego 186
IV. Marcas de herramientas o de efracción en la escena del hecho 190
V. Algunos comentarios sobre un avance tecnológico 194

Capítulo VII
EL ADN COMO EVIDENCIA.
PALINOLOGÍA FORENSE

I. El ADN como evidencia 197
II. Palinología forense 209

Capítulo VIII
ENTOMOLOGÍA FORENSE.
TÉCNICAS FORENSES DE RECONSTRUCCIÓN FACIAL

I. Entomología forense 233
II. Técnicas forenses de reconstrucción facial 254

Capítulo IX
LA PRUEBA DOCUMENTAL

I. Introducción 267
II. Algunas aplicaciones típicas del examen de documentos 267
III. Textos manuscritos y firmas. Algunos hechos básicos y conceptos teóricos 269
IV. Historia de la escritura manual. Desarrollo de la escritura y el alfabeto moderno 273
V. Lupas y microscopios 277
VI. Infrarrojo/ultravioleta 280
VII. ESDA 281
VIII. Examen de escrituras. Conceptos 283
IX. Principios de la identificación 285
X. Exámenes de falsificaciones 286
XI. Técnicas comunes de desfiguración 289
XII. Fuentes para acopio de escrituras o firmas indubitadas .. 290
XIII. Falsificación mediante calcado 291
XIV. El material impreso como evidencia 293
XV. La fotocopia como elemento dubitado o cuestionado 307
XVI. El papel como evidencia 310
XVII. Examen de tintas 313
XVIII. Los sellos de goma y sus impresiones como evidencia 329
XIX. Adulteración de documentos manuscritos 331
XX. Adulteración y falsificación de documentos de identidad, billetes de banco y otros 332
XXI. Identificación de cifras numéricas manuscritas 335
XXII. Peritajes sobre escrituras en copia carbónica 343

Capítulo X
BALÍSTICA

I. Concepto 345
II. Balística interior 346
III. Balística exterior 351
IV. Balística de efecto 372
V. Impactos de proyectiles en vidrio 399
VI. Cristales astillados o reventados 406
VII. Determinación de trayectorias de proyectiles disparados con armas de fuego en zonas urbanas 407

Capítulo XI
ARMAS

I. Definición 417
II. Armas blancas 417
III. Armas de proyección 418
IV. Armas arrojadizas 418
V. Armas de fuego 419
VI. Consideraciones técnicas sobre las armas más usuales ... 420
VII. Armas de acción neumática o de gas carbónico 430
VIII. Condiciones de funcionamiento y aptitud para el tiro de un arma de fuego. Su determinación 436
IX. Aptitud para el tiro de cartuchos. Su determinación 437
X. Celosidad. Fuerza de tracción necesaria para producir el disparo 437
XI. Disparos normales, accidentales o involuntarios 439

Capítulo XII
SISTEMAS DE PUNTERÍA

I. Tipos de miras 443
II. Miras ópticas 449
III. Miras de visión nocturna 450
IV. Sistemas electrónicos 453
V. Optrónicos: rayos infrarrojos e intensificadores de imagen 453
VI. Emisores láser 454

Capítulo XIII
EL CALIBRE

I. El calibre de las armas de fuego con ánima rayada y ánima lisa 457
II. Determinación del calibre y marca del arma empleada sobre la base del proyectil objeto de estudio 478

Capítulo XIV
MUNICIÓN Y CARTUCHO

I. Munición 487
II. Cartucho 487
III. La vaina 508
IV. Balas o proyectiles 515
V. Abreviaturas más comunes utilizadas en la cartuchería .. 530

Capítulo XV
RESTOS DE DEFLAGRACIONES

I. Interrogantes más frecuentes que se vinculan con la deflagración de la pólvora originada por el disparo de un arma de fuego. 533
II. Investigación de restos de deflagración de pólvora (carga impulsora) y detonantes (carga fulminante) 535
III. Distribución espacial de los residuos de pólvora depositados en una superficie. Determinación de la distancia de disparo 537
IV. Restos de deflagración de pólvora en el cañón o ánima del arma, y tiempo de disparo 546
V. Análisis de las huellas dejadas por cartuchos de munición múltiple, disparados con escopetas 547

Capítulo XVI
IDENTIFICACIONES BALÍSTICAS

I. Personalidad del arma de fuego 551
II. Identificación de proyectiles 558
III. Identificación de vainas servidas y cartuchos percutidos y sin estallar 570

Capítulo XVII
INFORMÁTICA FORENSE

I. Introducción 581
II. El ordenador 582
III. Beneficios de la informática forense 584
IV. Programas o herramientas que complican la tarea del investigador informático 591
V. Glosario básico de términos de informática 593

Capítulo XVIII
INVESTIGACIÓN DE SUCESOS VIALES. ACCIDENTOLOGÍA VIAL

I. Introducción 599

II. Accidentología vial 601
III. La velocidad como causa de accidente 608
IV. Iluminación del vehículo. Tiempo de distancia y parada .. 608
V. Reacciones del conductor 610
VI. Calles en mal estado 611
VII. Nociones sobre principios de funcionamiento de los sistemas de dirección y frenos 612
VIII. Neumáticos 616
IX. El tacógrafo 623
X. Señalamiento 623
XI. Demarcación horizontal 624
XII. Marcas en el pavimento 625
XIII. Otras demarcaciones horizontales 625
XIV. Reconstrucción de accidentes 626
XV. Conceptos y términos básicos 630
XVI. Métodos matemáticos para la reconstrucción de accidentes 633
XVII. El *aquaplaning* 638
XVIII. El peritaje mecánico 638
XIX. El peritaje físico-matemático 639
XX. Datos conocidos y necesarios en la reconstrucción de accidentes 640
XXI. Interrogantes periciales más frecuentes 640
XXII. El examen del velocímetro, un auxiliar en la investigación de accidentes 641
XXIII. La importancia de los rastros de pintura en el peritaje de los accidentes de tránsito 642
XXIV. Algunos pocos comentarios finales 643

Capítulo XIX
EXAMEN DE PINTURAS

I. Introducción 645
II. Componentes 646
III. La pintura como evidencia en una investigación forense .. 647
IV. Automóviles 648
V. Comparaciones físicas 649
VI. El examen de la evidencia 650
VII. Análisis químicos y biológicos 651

Capítulo XX
EL PERITO Y LA PERICIA/PERITAJE

I. El perito 655
II. Algunos modelos de escritos judiciales que usualmente el perito debe presentar. 658

III. Concepto de peritaje/peritación 661
IV. La prueba pericial 661
V. El dictamen o informe pericial 661
VI. Aclaraciones al informe, impugnaciones y observaciones al dictamen 662
VII. Técnicas de comunicación 663
VIII. La comunicación escrita 668
IX. Redacción de informes 672
X. Testimonio en salas de audiencias 673

BIBLIOGRAFÍA 677

INSTITUTO PERUANO DE CRIMINOLOGÍA Y CIENCIAS PENALES
BIBLIOTECA

INTRODUCCIÓN

Cuando tomamos la decisión de encarar esta obra, surgió en nosotros el temor de que todo lo que en ella plasmáramos fuese penosamente imperfecto. Como los temores inmovilizan, los apartamos de nuestra mente y pensamos en aquellos a quienes iba dirigida, pretendiendo satisfacer la acuciosa expectativa de vastos sectores interesados en la materia, generalmente existente en publicaciones extranjeras no adaptadas a nuestro sistema.

La administración de justicia, dada su creciente complejidad en el mundo moderno, no puede escapar a la evolución de las ciencias humanas y a la de las diversas funciones sociales que se hacen cada vez más exigentes en lo que respecta a la calidad y el valor de los criterios que las determinan. Persiguiendo la verdad y la equidad más rigurosas, se ha visto obligada a requerir el auxilio de datos cada vez más objetivos y de medios de prueba más indiscutibles.

La indisoluble relación entre la ciencia y la técnica hace imposible la no especialización. Surge así la figura del perito y su objeto, como aporte objetivo, concreto y permanente, en un profundo compromiso con la verdad. Ya nadie discute la primacía de la prueba indiciaria que se desprende de los signos materiales de la actividad criminal, debidamente interpretada por un experto, contrariamente a lo que ocurre con el valor relativo de los testimonios y con los artificios engañosos de la confesión.

Si bien la criminalística ha ensanchado su campo con las múltiples posibilidades de aplicación de los datos científicos a los diversos problemas planteados por las investigaciones judiciales, hemos tratado en nuestra labor de respetar la autonomía indiscutible de la medicina legal, la toxicología y la criminología, impuesta por la verdad histórica y la lógica.

Este libro representa para nosotros la concreción del deseo de pasar a otros la experiencia y el caudal de material acumulados durante largos años de trabajo ininterrumpido como auxiliares de la justicia, con la esperanza de que lo encuentren útil. Hemos tratado de ser prácticos, ágiles, profundizando o no ciertos temas de acuerdo con las necesidades concretas y actuales, sin ignorar los avances tecnológicos puestos en práctica o

en etapa de desarrollo, que sirven y servirán, respectivamente, de ayuda en el quehacer pericial.

Nos dirigimos entonces al perito ávido de material de consulta unificado, al magistrado, al jurista, y a todo aquel que de una u otra manera necesite plantear interrogantes periciales y conocer el rigor científico de sus respuestas.

Agradecemos a quienes nos motivaron e incentivaron, y dedicamos este esfuerzo personal a quienes, junto a nosotros, lucharon denodada e incondicionalmente por el bienestar de la sociedad, a través de una honesta labor técnica con innumerables variantes, en búsqueda de la justa verdad.

EL AUTOR

Buenos Aires, agosto de 1997

LA CRIMINALÍSTICA

En el área de la investigación criminal, la ciencia multidisciplinaria denominada "criminalística" ha emergido como una importante fuerza que tiene impacto prácticamente en todos los elementos del sistema judicial-criminal. Ésta ha sido definida como "la profesión y disciplina científica dirigida al reconocimiento, individualización y evaluación de la evidencia física, mediante la aplicación de las ciencias naturales, en cuestiones legales".

Las raíces de esta profesión se remontan al siglo XIX, pero sólo en los últimos tiempos ha atraído la atención de proyectistas e investigadores del derecho procesal penal. En el pasado, el interés mayor sobre tales técnicas científicas usualmente lo generaban acontecimientos que conmovían al público y a la prensa, y que los técnicos o especialistas eran incapaces de resolver. En la actualidad, el alto grado de profesionalismo y el desarrollo de métodos y técnicas cada vez más refinados, han estimulado la acrecencia y el interés vinculados con la materia.

Esta ciencia única ha sido retratada en la literatura como una entidad que puede suministrar información objetiva, de otra manera inalcanzable, para el investigador y para el sistema judicial, a través del examen de la evidencia física.

Sus objetivos son similares a los de las ciencias naturales, vale decir, entre otros, dedicarse a la búsqueda de la verdad a través de la aplicación del método científico, a diferencia de la subjetividad del testimonio que está más abierto a la especulación.

La problemática de hoy vinculada con la inseguridad ocupa un lugar preponderante en la comunidad, la que exige soluciones rápidas, eficaces e inmediatas, con total insatisfacción por la respuesta que otorgan los distintos operadores del sistema penal ante la comisión de un delito, muy especialmente en lo relativo a la impunidad de la que gozan muchos autores de acciones delictivas.

Es aquí donde tanto la investigación del hecho criminal como la identificación de los presuntos autores cobran vital importancia. Esta etapa del proceso penal requiere un abordaje de alta complejidad que precisa intervenciones técnico-científicas apropiadas. Tanto en la verificación del

hecho delictivo como en la individualización del/de los presunto/s autor/es, el conocimiento que aporta la Criminalística se considera relevante. Su objeto de estudio es el hecho delictuoso y responde al cómo, al dónde, al cuándo y al quién/es lo produjo/eron.

Desde la época en que el hombre realizaba investigaciones empíricas hasta nuestros días han concurrido ciencias y disciplinas de investigación criminal, que finalmente han venido a constituir la Criminalística en general. Este vocablo ("criminalística") proviene del latín crime e inis, que significa delito grave, así como de los sufijos griegos ista e ica, que significan ocupación u oficio.

Pese a que en sus comienzos la Criminalística se caracterizó como un conjunto inorgánico de conocimientos, con un universo indeterminado, hoy se reconoce su entidad científica y su rol como auxiliar de la Justicia Penal. Constituye de tal manera un baluarte de las garantías penales y procesales penales, porque hace realidad el descubrimiento y la verificación científica del delito y del delincuente.

Con la avidez de encontrar la verdad real, brinda una inestimable colaboración al proceso penal para que el hecho delictuoso cometido no quede impune. Comprueba científicamente la existencia del hecho punible, brinda determinaciones científicas relacionadas con la forma en que el delito se ha perpetrado, con su cronología, con los medios utilizados, con la individualización de la o de las personas intervinientes, con la concordancia entre las pruebas e indicios y la realidad de los hechos.

En sentido amplio, significa investigación criminal. Nacida en 1892, fue dada a conocer en América Latina en 1900. En los primeros años, una serie de estudiosos de la investigación criminal denominaron Policía Judicial Científica o Policía Científica al conjunto de métodos para la investigación de delitos (Alongi, Enrico Ferri, De Benito, Cesare Lombroso, Alfredo Nicéforo, Salvatore Ottolenghi, Carlos Roumagnac, Archihald Reiss, Francisco Carrara, etcétera).

Existen múltiples definiciones; como ejemplo mencionaré algunas de ellas:

– Arte y técnica de la investigación criminal (Nepote).

– Estudios, trabajos y análisis empleados para la investigación de los hechos mediante la verificación y valoración de las pruebas de los mismos.

– Aplicación de medios técnicos y científicos en la investigación criminal, excluyendo los que corresponden a la Medicina Legal, la Toxicología y la Psiquiatría.

– Conjunto de procedimientos aplicables a la investigación y al estudio de un crimen para llegar a la prueba (Pierre Fernand Ceccaldi).

– Conjunto de conocimientos y técnicas que utiliza el investigador para determinar la existencia de un delito, identificar a su autor y concretar las circunstancias que han ocurrido en el hecho.

Edmond Locard (1877-1966), criminalista francés, considerado por muchos como el fundador de la disciplina, la definió como "la que se ocupa de la investigación de los delitos".

Hans Gross, considerado el "padre de la criminalística", nacido el 9 de diciembre 1847 en la ciudad austriaca de Graz, la definió como el "conjunto de teorías que se refieren al esclarecimiento de los casos criminales". Y también como "disciplina encaminada a la determinación de la existencia de un hecho criminal, a la recogida de pruebas e indicios y a la identificación de los autores mediante la aplicación de métodos científicos de laboratorio, así como a la elaboración de los informes periciales correspondientes" (1894). Gross incluía dentro de la Criminalística la antropometría, el argot criminal, la criptografía, la contabilidad, el dibujo forense, los explosivos, la fotografía, la grafología, la accidentología ferroviaria, la hematología, los incendios, la medicina legal, la química legal y el interrogatorio.

Hans Goppinger la considera una ciencia de investigación criminal.

Edmond Locard, Victor Balthazard y Jaçques Locard la asimilaron a la técnica policial o a la policía científica.

También podemos decir que es una ciencia penal auxiliar que, mediante la aplicación de sus conocimientos, metodología y tecnología al estudio de las evidencias materiales, descubre y verifica científicamente un hecho presuntamente delictivo y al o a los presuntos autores, aportando las pruebas necesarias.

Hoy en día la Criminalística está conformada por, al menos, las siguientes disciplinas y procesos:

1. balística,
2. documentología,
3. química legal,
4. accidentología vial,
5. planimetría,
6. fotografía pericial,
7. proceso de la investigación en el escenario del delito,
8. identificación de personas,
9. huellas de calzados y neumáticos,
10. exámenes serológicos,
11. pelos y fibras,
12. revenidos,
13. examen de pinturas, entre otros.

En forma general, la Criminalística aprovecha los diferentes aportes de las ciencias naturales, de tal manera que de la Biología aplica el estudio de los fluidos biológicos (sangre, saliva, semen, secreciones, etc.), el estudio histológico, las reacciones de los sueros precipitantes, etc.; de

la Química aplica sus principios y conocimientos para la detección de rastros de bajos y altos explosivos, el análisis de pinturas, tierra, tintas, hidrocarburos acelerantes, adulteración y análisis de sustancias; de la Física emplea las aplicaciones de la óptica en la microscopía, la fotografía, la balística, etc.; se vale de los conocimientos de la mecánica para resolver los problemas que se plantean en el estudio técnico de los hechos de tránsito, de trayectorias balísticas, de las propiedades de los materiales; estudia el espectro electromagnético, las bases del espectrofotómetro infrarrojo y ultravioleta (para analizar material microscópico sensible de naturaleza orgánica e inorgánica, respectivamente); de los rayos X para el estudio de partículas de residuos de disparos, análisis de fallas de materiales, falsificaciones de obras artísticas; así como utiliza los conocimientos de la Física atómica y nuclear, fundamentos del espectrógrafo de masas y del análisis por activación de neutrones, entre otros.

Cinco objetivos generales son los que se reconocen de la Criminalística, a saber:

1. Investigar técnicamente y demostrar científicamente la existencia de un hecho en particular, que probablemente sea delictivo.
2. Determinar los fenómenos ocurridos y reconstruir el mecanismo del hecho, señalando los instrumentos u objetos de ejecución, sus manifestaciones y las maniobras que se pusieron en juego para realizarlo.
3. Aportar evidencias, coordinar técnicas y sistemas para la identificación de la víctima.
4. Aportar evidencias para la identificación del o de los presuntos autores.
5. Aportar pruebas indiciarias para probar el grado de participación del o de los presuntos autores y demás involucrados.

El fin mediato de la disciplina (llegar a la verdad objetiva del hecho) se consigue respondiendo siete preguntas clásicas:

1. ¿Qué?: qué es lo que sucedió.
2. ¿Quién?: identidad de los sujetos (activos y pasivos) involucrados.
3. ¿Cómo?: tipo de acciones que se presentaron.
4. ¿Cuándo?: momentos de los hechos. Ayuda a establecer la relación lógica entre la declaración de los testigos y de los presuntos responsables.
5. ¿Dónde?: el lugar de los hechos de donde se obtienen elementos técnicos para ser sometidos a estudios.
6. ¿Con qué?: instrumentos con los que se generó el hecho.
7. ¿Por qué?: elementos de carácter material, mas no de significación casual, que sirvieron como elementos de comportamiento.

La conducta humana siempre ha sido compleja y en muchas ocasiones el origen de sus actos es desconocido, de allí nacen diferentes ciencias y disciplinas que buscan una respuesta al comportamiento criminal

del hombre. Por lo tanto, la administración de justicia, dado el creciente aumento de hechos delictivos y modus operandi, no puede escapar a la evolución de las ciencias humanas; ya que persigue la verdad y la equidad más rigurosa, se ha visto obligada a requerir el auxilio de datos cada vez más objetivos y de medios de prueba más indiscutibles. Es aquí donde surge la importancia de esta ciencia llamada Criminalística.

CAPÍTULO I

EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL ESCENARIO DEL DELITO

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de la investigación en la escena del crimen es ayudar a establecer lo que sucedió (la reconstrucción de la escena del hecho) e identificar a la persona responsable. Esto se hace documentando con cuidado las condiciones en la escena y reconociendo todas las pruebas físicas relevantes. La capacidad de reconocer y recopilar adecuadamente evidencia física es a menudo crítica tanto para resolver como para juzgar los delitos violentos. No es exagerado decir que en la mayoría de los casos el agente de la ley que protege y busca en un escenario delictivo juega un papel crítico el determinar si las pruebas físicas serán utilizadas en la solución o el enjuiciamiento de delitos violentos.

La mayoría de las investigaciones policiales comienzan en la escena de un crimen. La escena se define simplemente como el sitio real o lugar en el que ocurrió el incidente. Es importante que el primer funcionario policial en la escena del crimen proteja adecuadamente la evidencia. Toda la investigación descansa en esa primera persona, en el sentido de que posea la capacidad de identificar correctamente, aislar y asegurar el lugar. La escena debe ser asegurada estableciendo un perímetro limitado; esto se hace mediante el uso de algún tipo de cuerda o de barrera. El propósito de asegurar la escena es restringir el acceso y evitar la destrucción de pruebas.

Una vez que la escena está asegurada, las restricciones deben incluir a todo el personal no esencial. Una investigación puede incluir una escena primaria, así como varias escenas secundarias en otros lugares.

A pesar de las representaciones de Hollywood, la investigación de la escena del crimen es un trabajo difícil y requiere mucho tiempo. No hay sustituto para un enfoque cuidadoso y reflexivo. Un investigador no debe saltar a una conclusión inmediata de lo sucedido, basándose en información limitada, pero debe generar varias teorías diferentes del hecho, quedándose con las que no se eliminan por la información que llega de la escena. Las inferencias razonables acerca de lo sucedido son producidas

a partir del aspecto de la escena y la información de los testigos. Estas teorías ayudarán a orientar al investigador para documentar las condiciones específicas y reconocer la evidencia valiosa.

La documentación de las condiciones del escenario puede incluir el registro inmediato de los detalles transitorios tales como la iluminación (encendida/apagada), las cortinas (abiertas/cerradas), el tiempo/clima, o los muebles movidos por los equipos médicos. Ciertas pruebas, tales como huellas de calzado o de residuos de disparo, son frágiles, y si no se recogen de inmediato pueden destruirse o perderse fácilmente. El alcance de la investigación se extiende también a las consideraciones de los argumentos que se puedan generar en cada caso (por ejemplo: suicidio o defensa personal) y de la documentación de las condiciones que apoyarían o refutarían esos argumentos.

Además, es importante ser capaz de reconocer lo que debería estar presente en una escena y no lo está (vehículo de la víctima/cartera/billetera) y los objetos que parecen fuera de lugar (pasamontañas) y podrían haber sido dejados por el agresor. También es importante determinar el alcance total de una escena del crimen: no es tan sólo el área inmediata donde se encuentra un cuerpo o donde un asaltante concentró sus actividades, sino que también puede abarcar un vehículo y rutas o calles de acceso/escape.

Aunque hay elementos comunes que frecuentemente son recogidos como evidencia (huellas dactilares, huellas de calzado o manchas de sangre), literalmente cualquier objeto puede ser una evidencia física. Cualquier cosa que se pueda utilizar para conectar a una víctima con un sospechoso o a un sospechoso con una víctima es evidencia física relevante o importante. Usar un enfoque similar al de la lista de compras en un supermercado (recoger todas las manchas de sangre, cabellos o huellas de calzado) probablemente no resulte en el reconocimiento de la mejor evidencia. Por ejemplo, recoger las manchas de sangre que se acumularon bajo el cuerpo de una víctima o las huellas de calzado del personal de emergencia rara vez responde a preguntas importantes. Por el contrario, un simple fósforo (generalmente no mencionado como evidencia física) recuperado del piso/suelo cercano al cuerpo de una víctima puede ser una evidencia física excelente, ya que puede estar directamente relacionado con una caja de fósforos/cerillas encontrada en el bolsillo de un sospechoso.

Un arma o la herramienta de un ladrón se reconocen fácilmente como evidencia física significativa, no obstante, con frecuencia es destruida por el autor. A veces la única evidencia que queda es microscópica, tal como pelos, fibras u otros pequeños rastros que el agresor, sin saberlo, deja tras de sí o se lleva con él. A pesar de que esta evidencia efectivamente se recoge en el momento en que se toma la ropa de la víctima o del sospechoso, los protocolos (que incluyen el levantamiento con cinta) deben estar en su lugar al momento de procesar los cuerpos desnudos, a fin de no perder esta frágil evidencia.

Hablaremos a continuación de cómo pueden dividirse entre el personal los deberes en la escena del crimen y de los procedimientos para la búsqueda, para luego referirnos a la documentación del lugar.

II. DEBERES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL

Hay ciertos deberes y responsabilidades del personal que son necesarios en casi cualquier operación de búsqueda. Los enumerados en estas directrices se concentran en los que suelen ser cruciales para asegurar que los esfuerzos de búsqueda se lleven a cabo de manera organizada y metódica. Es importante tener en cuenta que puede no ser factible tener una persona asignada a cada deber/cometido y es relativamente frecuente que una sola persona lleve a cabo dos o más funciones.

Para todas las posiciones, los intereses y las actitudes del personal son preocupaciones fundamentales; la capacitación y experiencia sólo se utilizarán al mejor potencial cuando los miembros del equipo posean una actitud positiva. Este lado humano de los equipos de respuesta es significativo, debido a las largas horas y la atención a los detalles que a menudo se requiere del personal.

Las tareas principales, así como las respectivas funciones y responsabilidades generales, se establecen como sigue:

a) jefe de equipo,
b) fotógrafo y asistente de los registros fotográficos,
c) preparador/realizador del croquis,
d) registrador de evidencias/personal de recuperación de evidencias,
e) especialistas.

1. Jefe de equipo

Sus funciones incluyen:

a) Asumir el control y garantizar la seguridad del personal y la escena. Asegurar que el personal utilice equipo de protección adecuado y siga las recomendaciones establecidas en las normas para protegerlos de cualquier peligro para la salud que pudiera presentarse, por la sangre o cualquier otro fluido del cuerpo humano.

b) Conducir un recorrido inicial con el propósito de hacer un estudio preliminar, para evaluar las posibles pruebas, y la preparación de una descripción narrativa.

c) Determinar los patrones de búsqueda y hacer las asignaciones apropiadas para los miembros del equipo.

d) Designar la ubicación del puesto de comando y asegurar el intercambio de información entre el personal de búsqueda y el de investigación.

e) Coordinar con otras agencias/dependencias policiales y asegurarse de que se mantenga un espíritu de cooperación.

f) Asegurarse de que estén disponibles suministros y equipos suficientes para el personal.

g) Controlar el acceso a la escena y designar a una persona para registrar a todos los concurrentes a la misma.

h) Reevaluar continuamente la eficacia de la búsqueda durante todo el curso de la operación.

i) Dejar/abandonar la escena después que se haya hecho un reconocimiento/inspección e inventario final de las evidencias.

2. Fotógrafo y encargado del registro fotográfico

Sus funciones son:

a) Fotografiar toda la zona antes del ingreso.

b) Fotografiar a las víctimas, a la gente que pueda agruparse en el lugar y a los vehículos.

c) Fotografiar toda la escena en forma global, media y con cobertura de primer plano, utilizando la escala de medición cuando sea apropiado.

d) Fotografiar los elementos de evidencia principales antes de que sean movidos; coordinar este esfuerzo con quien realiza el croquis, con quien registra las evidencias y con el personal de recuperación de evidencias.

e) Fotografiar todas las huellas digitales latentes y cualquier otra evidencia en forma de impresión, antes de que se lleven a cabo las acciones de levantamiento y moldeado, según corresponda.

f) Preparar el registro fotográfico y el croquis fotográfico.

Dada la cantidad y el tipo de fotografías que normalmente se toman ante un hecho, debe existir un registro cronológico de las exposiciones tomadas, que contenga la pertinente información técnica y práctica para auxilio del fotógrafo. El procedimiento común utilizado es el llenado de una planilla, amén del fotografiado de una carátula previamente diseñada en oportunidad de cada intervención.

Es imperativo que en tal planilla figure la siguiente información: a) identidad del fotógrafo; b) fecha y hora; c) ubicación específica del lugar del hecho; d) orientación y descripción de la escena fotográfica; e) tipo de cámara; f) tipo de película; g) fuente lumínica; h) distancia de la cámara al sujeto u objeto; i) condiciones ambientales; j) distancia focal de la lente; k) velocidad del obturador; l) apertura de diafragma. La acumulación de esta información ayudará al fotógrafo a establecer el cómo, cuándo y dónde del lugar del hecho.

Como beneficio adicional, la planilla brindará información relativa a los procedimientos adecuados de revelado de negativos y copias. La evidencia fotográfica (negativos y copias) debe ser tratada en la misma forma no destructiva de preservación y protección, como cualquier otra forma de evidencia física.

Sin importar los esfuerzos fotográficos en el lugar del hecho, las fotografías deben pasar el examen de admisibilidad legal. Las pautas generales utilizadas para la revisión de credibilidad de las fotografías son: a) representación precisa; b) libre de distorsión; c) importante y apropiada; d) imparcial.

Con la finalidad de lograr un producto aceptable, el fotógrafo debe tener el conocimiento básico que le permita elegir, mantener y operar el equipo. Debe asimismo estar compenetrado de las capacidades operacionales fundamentales y limitaciones en las áreas de: a) película; b) iluminación; c) equipo de iluminación; d) tipos de cámaras disponibles para propósitos específicos; e) tipos de lentes y su empleo; f) equipo suplementario que incrementará la eficiencia (trípode, filtros, etcétera).

De todo lo expuesto surge el planteamiento de que aun una persona que tenga un elevado nivel de experiencia y conocimientos en fotografía no está calificada de por sí para desempeñarse como fotógrafo en el escenario de un delito. Esta última tarea involucra la comprensión de todo el abanico de dificultades que puedan existir. Tomar fotografías es una cosa, documentar fotográficamente un escenario delictual es otra.

Sintetizada de esta manera la tarea del fotógrafo, indiquemos que debe tomarse como regla general que, en todos los casos en que se efectúan tomas de evidencias no debe olvidarse que el eje óptico de la cámara debe estar vertical al objeto, o, lo que es lo mismo, el plano de la película debe estar paralelo al plano en que se encuentra el objeto (de esta forma se evita la deformación de la perspectiva, con el consiguiente inconveniente para el cálculo de medidas).

3. Preparador/realizador del croquis

Sus deberes consisten en:

a) Diagramar el área inmediata de la escena y orientarla con el dibujo/croquis.

b) Establecer/colocar los elementos principales de evidencia en el boceto/croquis.

c) Designar y etiquetar las áreas/zonas donde se va a buscar y asesorar al jefe de equipo y a todos los miembros de búsqueda de la nomenclatura de las áreas designadas.

d) Obtener la apropiada asistencia para la toma de medidas y controlarlas nuevamente una vez llevadas a cabo.

e) Lograr la información administrativa necesaria, como el desconocimiento de una escala (no está dibujado a escala), para que se registre en el boceto.

4. Registrador de evidencias/custodio

a) Fotografiar pruebas significativas antes de la recolección.

b) Describir la evidencia y su ubicación/colocación en bolsa o sobre apropiado.

c) Firmar y fechar el contenedor de pruebas y mantener la cadena de custodia.

d) Recoger apropiadamente y empaquetar/embalar la evidencia, para maximizar su integridad.

e) Mantener el registro de las evidencias.

f) Usar equipo y métodos adecuados de protección (guantes) cuando se trata de evidencias que podrían ser infecciosas (sangre).

5. Especialistas

A veces es necesario recurrir a expertos de una agencia externa. El campo de la ciencia forense es hoy tan amplio que ningún organismo tendrá forma de poseer todo un servicio especializado a disposición entre sus filas. Por lo general, los especialistas se obtienen en la industria, en la comunidad académica, en los laboratorios científicos privados, y similares.

Cuando se trata de especialistas externos, algunos de los aspectos pertinentes a considerar son:

a) La competencia y fiabilidad del mismo.

b) Su capacidad para trabajar en una escena cumpliendo con las directrices policiales.

c) El papel del especialista en la presentación de testimonio de experto en los tribunales.

Los especialistas deben ser identificados antes de que sean necesitados en un caso real. De ser posible, debe mantenerse una lista actualizada. El organismo debe encontrarse con estos individuos para determinar la mejor forma de llevar a cabo conjuntamente la planificación de la búsqueda, las operaciones y actividades de seguimiento.

La lista siguiente proporciona ejemplos a considerar de asistencia especializada (que no pretende ser totalmente inclusiva):

- Antropólogo,
- analista de patrones de sangre,
- técnico/especialista en bombas,

- criminalista,
- ingeniero,
- entomólogo,
- médico forense/legista,
- odontólogo,
- topógrafo/agrimensor.

De más está decir que algunas de las especialidades indicadas como ejemplo forman parte del plantel de las instituciones policiales y, por ende, no es necesario recurrir a organismos externos para lograr su participación.

III. ORGANIZACIÓN Y PROCEDIMIENTOS PARA LAS OPERACIONES DE BÚSQUEDA

1. Preparación

a) Evaluar las consecuencias jurídicas actuales de las búsquedas en la escena del crimen (por ejemplo, la obtención de órdenes de registro/allanamiento).

b) De ser posible, comentar/discutir la búsqueda que se aproxima, con el personal que participa en la escena, antes de la llegada.

c) Seleccionar a la persona a cargo, cuando sea factible, antes de la llegada al lugar.

d) Tener en cuenta/considerar la seguridad y la comodidad del personal de búsqueda –por ejemplo, para no estar desprevenido cuando se enfrenta un escenario potencialmente peligroso o con inclemencias climáticas–. Los ejemplos son:

- ropa,
- comunicación,
- iluminación de asistencia,
- abrigo,
- transporte,
- comida,
- asistencia médica,
- seguridad de la escena,
- equipo.

e) Organizar la comunicación con los servicios de carácter accesorio (por ejemplo, médico, abogado) con el fin de que las preguntas que puedan aparecer durante la búsqueda se puedan resolver/contestar. Tomar las medidas necesarias para organizar un puesto de mando para las comunicaciones, la toma de decisiones, etc., en las investigaciones principales/complicadas.

2. Etapas básicas en una búsqueda

a) Abordar la escena segura y protegerla.
b) Iniciar el reconocimiento/inspección preliminar y determinar los límites de la escena.
c) Evaluar las posibilidades de las evidencias/pruebas físicas.
d) Preparar una descripción narrativa.
e) Representar/describir la escena en forma fotográfica.
f) Preparar el diagrama/esquema de la misma.
g) Realizar una búsqueda detallada.
h) Registrar y recolectar la evidencia física.
i) Conducir una inspección final.
j) Abandonar el lugar del hecho.

3. Acercamiento a la escena

1. Estar atento a la evidencia descartada.
2. Tomar notas adecuadas sobre las posibles rutas/calles/caminos de acercamiento y de escape.

4. Asegurar y proteger la escena

a) Tomar el control de la escena a la llegada.
b) Determinar en qué medida ha sido protegida hasta el momento.
c) Garantizar la seguridad adecuada del lugar.
d) Obtener información del personal que ha entrado en el escenario y tener conocimiento relativo a su estado original. Documentar quién ha estado.
e) Tomar notas extensas. No confiar en la memoria.
f) Mantener alejado al personal no autorizado. Empezar a registrar quién entra y sale.

5. Iniciar una inspección preliminar

a) La inspección es una etapa de organización para planificar la búsqueda completa.
b) Cumplimentar un cauteloso recorrido de la escena.
c) La persona a cargo mantiene el control administrativo y emocional definitivo.
d) Seleccionar la adecuada técnica de descripción narrativa.
e) Adquirir fotografías preliminares.
f) Delinear la extensión del área de búsqueda. Por lo general ampliar el perímetro inicial.
g) Organizar los métodos y procedimientos necesarios para reconocer las áreas con problemas especiales.

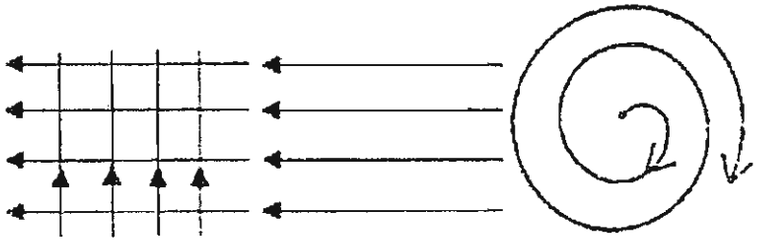
h) Determinar el personal y las necesidades de equipo y realizar asignaciones específicas.
i) Identificar y proteger la evidencia física transitoria.
j) Desarrollar una teoría general del delito.
k) Realizar extensas notas para documentar las condiciones físicas y ambientales del escenario, las asignaciones, el movimiento del personal, etc.
l) Obtener el número de chapa patente de los vehículos, la posición de la llave, la lectura del odómetro, la posición de la palanca de cambios de velocidad, la cantidad de combustible en el tanque y verificar si las luces están encendidas o apagadas.

6. Evaluar las posibilidades de la evidencia física

a) Con base en lo que se conoce de la inspección preliminar, determinar cuáles son las pruebas que pueden estar presentes.
b) Concentrarse en las evidencias más trascendentes y trabajar sobre ellas.
c) Centrarse primero en las zonas de fácil acceso, a vista abierta y progresar eventualmente sobre las posibles ubicaciones fuera de la vista, buscando elementos ocultos deliberadamente.
d) Considerar si las pruebas parecen haber sido movidas sin querer.
e) Evaluar si la escena y la evidencia parecen intencionadamente "artificiales".

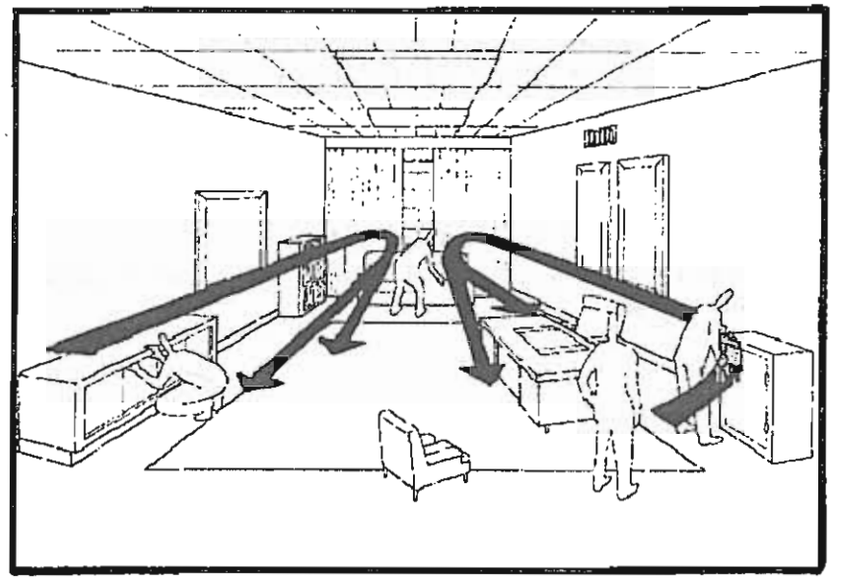
MÉTODOS DE BÚSQUEDA

- Utilizar un patrón de búsqueda, tal como una cuadrícula, líneas o carriles, o el espiral.

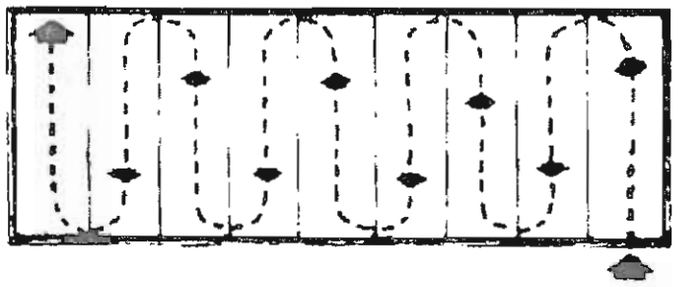


- Para lograr hallar evidencias, buscar de lo general a lo específico.
- Estar alerta/atento a todas las pruebas.
- Buscar en entradas/ingresos y salidas/egresos.
- Fotografiar todos los artículos/elementos antes de la recolección y anotar en el registro fotográfico.

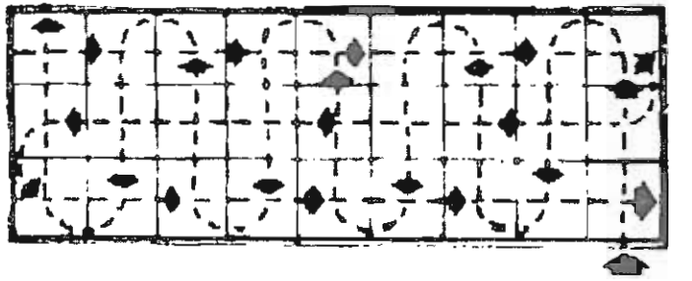
- Marcar la ubicación de la evidencia en el esquema/plano/croquis, etc.
- Completar el registro de pruebas con anotaciones para cada elemento. Si es factible, colocar a una persona que sirva como custodio de las evidencias.
- Dos personas deben observar las evidencias en el lugar durante la recuperación, y cuando sean marcadas para su identificación. Si es posible, marcar directamente la evidencia.
- Usar guantes para evitar dejar huellas dactilares.
- No manipular en exceso las pruebas después de la recuperación.
- Sellar todos los paquetes/envases de pruebas en la escena del crimen.
- Obtener las muestras testigo, como las de fibras de una alfombra conocida.
- Hacer una evaluación completa de la escena del crimen.
- Verificar constantemente los papeles/anotaciones de trabajo, el empaquetado/envasado, y otra información, para comprobar errores.



Escena que grafica la superposición en las zonas de búsqueda: el líder del equipo debe observar y supervisar la inspección, mientras que otros miembros del equipo realizan la búsqueda. Con una superposición de tareas es poco probable que se pierda algún elemento de prueba.



Ejemplo de búsqueda en líneas o carriles.



Ejemplo de inspección por cuadrículas.

7. Preparar una descripción narrativa

a) El propósito de este paso es proporcionar una descripción de funcionamiento de las condiciones en la escena del crimen. Considerar lo que debe estar presente en una escena (monedero o vehículo de la víctima) y no se observa, y lo que está fuera de lugar (pasamontañas).
b) Representar la escena partiendo de lo general y terminar en lo específico. Tener en cuenta los factores situacionales: las luces encendidas/apagadas, la estufa/calefactor encendido/apagado, el periódico fuera/dentro de la casa, cortinas quitadas, abiertas o cerradas.
c) No permitir que el esfuerzo narrativo degenere en un intento esporádico y no organizado para recuperar la evidencia física. Se recomienda que no se recoja evidencia en este punto, en la mayoría de las circunstancias.
d) Métodos de la narración - por escrito, audio, vídeo.

8. Fotografiar la escena

a) Comenzar la fotografía tan pronto como sea posible. Planificar antes de fotografiar.
b) Documentar el esfuerzo fotográfico con un registro fotográfico.
c) Asegurar que se establezca una progresión fotográfica de la escena, de vistas totales/generales, medias o intermedias y de acercamiento.

d) Utilizar como escala para la determinación del tamaño un dispositivo reconocido, cuando sea aplicable.
e) Cuando se emplee un dispositivo como escala, en primer lugar tomar una fotografía sin la inclusión del mismo.
f) Fotografiar las evidencias en el lugar de hallazgo, antes de su recolección y envasado/embalaje.
g) Ser observador y fotografiar las zonas adyacentes a la escena del crimen –los puntos de entrada, salidas, ventanas, áticos, etc.–.
h) Considerar la viabilidad de la fotografía aérea.
i) Fotografiar elementos, lugares, etc., para corroborar las declaraciones de los testigos, víctimas y sospechosos.
j) Tomar fotografías desde la altura de los ojos, cuando sea factible, para representar la escena tal como habría sido observada por la vista normal.
k) La filmación es relativamente económica comparada con los beneficios obtenidos. No dudar en fotografiar algo que no tiene significado aparente en ese momento, más tarde puede llegar a ser un elemento clave en la investigación.
l) Antes de levantar huellas dactilares latentes, deben tomarse fotografías tamaño 1:1, o utilizar la escala adecuada.

REQUERIMIENTOS FOTOGRÁFICOS EN LA ESCENA DEL DELITO

Vamos a referirnos a los enfoques actuales de la fotografía en la escena del crimen, descritos en numerosas publicaciones sobre fotografía y también a las observaciones y sugerencias de quienes analizan estas fotografías con fines forenses.

Para propósitos de análisis en investigación penal, es importante registrar mucho más que los ámbitos en que los actos de violencia tuvieron lugar. Las fotografías pueden ser instrumentales en la grabación del estilo de vida de la víctima y su personalidad; la topografía y las condiciones socioeconómicas que rodean la escena del crimen, y mucho más, lo cual es importante para cualquier investigador o analista que no puede visitar la escena del crimen.

Al fotografiar escenas de delitos violentos, el objetivo debe ser grabar un máximo de información útil que permitirá al espectador entender dónde y cómo se cometió el delito. El término "escena del crimen" se refiere no sólo a la localidad inmediata donde el hecho tuvo lugar, sino también a las zonas adyacentes donde los actos importantes ocurrieron inmediatamente antes o después de la comisión del delito. Las tomas de largo alcance, mediano alcance y de cerca deben registrarse para que el espectador pueda ganar un concepto claro de dónde cada objeto o área se interrelaciona con otra. Las fotografías aéreas son especialmente importantes en la violación serial o en investigaciones de homicidios en serie, ya que geográficamente enlazan las escenas del crimen.

Las fotografías superpuestas deben llevarse a cabo en el exterior de la escena para mostrar su localización en relación con el resto del barrio/vecindario. Colocar la cámara sobre un trípode o mantenerla firme a la altura de los ojos, de manera que la línea del horizonte sea constante para cada disparo/toma. Las fotografías se pueden cortar y pegar juntas para crear una vista panorámica de la escena. También se debe fotografiar cualquier multitud que se reúna en una escena y las placas de los vehículos estacionados en las cercanías, ya que el homicida puede estar todavía en el área observando la investigación.

Los puntos de entrada y salida deben consignarse de tal manera que las marcas de la fuerza se muestren con claridad. También debe ser visible una escala, pero nunca colocar una herramienta sospechada en la huella de herramienta, ya que puede alterar las pruebas.

Al fotografiar el interior de una habitación con una cámara de 35 mm, utilizar una lente normal (45 mm a 55 mm) en lugar de una lente gran angular. Esta última crea distorsión, especialmente cuando se toman fotografías de acercamiento (la distancia entre los objetos parece ser mayor de lo que realmente es).

La cámara debe sostenerse en forma vertical y se recomienda registrar fotografías superpuestas. El formato vertical asegura que la escena pueda observarse desde la parte superior de las paredes al piso. Una vez más, se puede crear una composición fotográfica. Fotografiar cada habitación de la residencia, pero las fotografías superpuestas sólo necesitan ser tomadas en la escena del crimen en sí.

Las fotografías de interiores deben representar las condiciones de la habitación, de los objetos dejados en el lugar, de evidencias tales como colillas de cigarrillos, marcas de herramientas e impresiones de huellas de zapatos. La localización de huellas dactilares deberá ser fotografiada y, en todos los casos, debe hacerse una notación en el registro fotográfico o en la fotografía, que explique lo que la fotografía está mostrando.

Los signos de actividad antes de la ocurrencia, como el auricular del teléfono descolgado o cables cortados, cartas para jugar apiladas en forma ordenada o dispersas, televisión y luces encendidas, la comida en las etapas de cocción, tazas de café, vasos o botellas de licor; la hora en los relojes de distinta naturaleza cuando se encuentren detenidos, deben registrarse en una toma fotográfica o película. En general, los artículos que se encontraban aparentemente en uso inmediatamente antes de la comisión del delito o que parecen haber sido perturbados de su posición habitual deben ser fotografiados.

Durante una investigación de violación, el propósito del registro fotográfico consiste en captar información sobre las señales/signos de cualquier lucha en el lugar donde ocurrió el ataque, o para indicaciones del esfuerzo de la víctima para resistir el ataque, tales como magulladuras,

marcas de color negro y azul, ropa desgarrada, etc. Las marcas de mordida deben ser fotografiadas con iluminación oblicua, con y sin dispositivo de medición en la escena del crimen y también en la morgue.

En una investigación de violación y homicidio, la fotografía infrarroja ultravioleta del cuerpo puede descubrir las señales latentes de mordedura, dado que la hemorragia puede ocurrir en el tejido bajo la piel. La ubicación de los pelos y fibras ajenos, los fluidos biológicos y las manchas, deben ser representados. Si se encuentra vivo, se debe obtener el permiso del damnificado para fotografiar su cuerpo, y si es un menor de edad, permiso por escrito del padre o tutor. Se recomienda que el médico de la víctima esté presente cuando se hacen tomas fotográficas de ese tipo. Las salpicaduras de sangre en las paredes deben ser fotografiadas con el objetivo de la cámara colocado en forma paralela a la mancha, a fin de que se pueda determinar la dirección en que fluyó la sangre.

En los casos donde hubo explotación sexual de niños, todas las habitaciones de la residencia de un sospechoso deben ser fotografiadas, incluso si no hay evidencia física (como fotografías o cintas de video) que pueda ser encontrada durante la búsqueda. Es probable que el sospechoso haya ocultado este material en otro lugar; rara vez estos elementos se descartan, ya que representan un trofeo o recuerdo de la conquista. Cuando estas fotografías se recuperan, se pueden comparar con las fotos del lugar del hecho para demostrar que se tomaron en la vivienda del sospechoso.

En ocasiones, un sospechoso colocará su propia cámara en un trípode, y utilizando un cable disparador o el elemento con que pueda contar la máquina para ello, en su reemplazo, se fotografiará a sí mismo con sus víctimas. Por lo general, compone la fotografía para que su cara no se vea. Sin embargo, si la foto es lo suficientemente nítida, el sospechoso puede todavía ser identificado a través de las características del cuerpo, como cicatrices, manchas, arrugas, etcétera.

En las muertes por asfixia como consecuencia de un ahorcamiento, la duda a veces surge en cuanto a si lo ocurrido es un homicidio, suicidio o accidente. La fotografía de la posición original del cuerpo ayuda a determinar la forma de la muerte. La vista general del cuerpo y la cuerda/soga/cable, etc., debe ser tomada a nivel del torso y a la altura de los pies. Mostrar la altura del cuerpo sobre el suelo; un homicida por lo general trata de levantar el cuerpo por completo, mientras que la víctima de suicidio no tiene frecuentemente los pies fuera de la tierra y se encuentra a veces en una posición sentada o algo boca abajo. Las fotografías deberán ser realizadas para mostrar la posición relativa de cualquier objeto, como una silla o taburete, que parezca haber sido pateado por debajo de los pies del difunto.

Materias en las tomas de cerca son el nudo, su tamaño, tipo y ubicación en el cuello; profundidad y localización de los surcos en el cuello;

marcas negro y blanco alrededor del borde de las ranuras/surcos (en este caso, las películas de color son especialmente útiles); signos de violencia en torno al cuello que sugieran estrangulamiento previo; protuberancia de la lengua, la unión de las manos y pies atados, etcétera.

En los cuadros de sumersión/ahogo, el cuerpo suele ser el único objeto de interés. Pero, ¿realmente los fallecidos mueren por ahogamiento o fueron echados en el agua después de la muerte, por alguna otra causa? La operación fotográfica debe ir dirigida a aquellos hechos que ayuden a resolver esta cuestión; las tomas color son excepcionalmente útiles en este caso ya que muchas de las pistas pueden ser factores importantes de la decoloración. Fotografiar todo el cuerpo, tanto desde la posición del observador como de pie desde el nivel del suelo. El último punto de vista mostrará cualquier distensión del cuerpo. Los primeros planos deben incluir cualquier espuma en la boca, heridas, marcas peculiares, magulladuras o elementos de decoloración inusual, como las algas, tomada con la mano; y cualquier atadura con soga o cable. Muchas de estas vistas se pueden hacer en la morgue, antes de la autopsia.

La grabación en video de la escena del crimen se ha convertido en práctica común en muchas jurisdicciones, sin embargo, nunca puede sustituir a la fotografía fija. Los errores comunes cometidos cuando se graba una escena incluyen el paneo rápido de la cámara, enfoque e iluminación pobres y el uso indebido de la función de zoom de las cámaras. El camarógrafo debe describir en la cinta cada habitación y vista de la escena del crimen y asegurar que otros investigadores y técnicos guarden silencio durante la grabación.

9. Preparar el diagrama/esquema/plano/croquis del escenario

a) El diagrama establece un registro permanente de los elementos, condiciones y relaciones de distancia/tamaño –suplementa a las fotografías–.
b) En el lugar se dibuja un boceto aproximado (por lo general no hecho a escala) y se utiliza como modelo para el esquema terminado.
c) Materiales típicos en el boceto:

- ubicación específica,
- fecha,
- hora,
- identificador del caso/hecho,
- preparador,
- condiciones meteorológicas,
- condiciones de iluminación,
- escala o falta de ella,
- brújula de orientación (orientación cardinal),

- evidencia,
- mediciones,
- clave o leyenda.

d) El número de designaciones en el boceto se puede coordinar con el mismo número de designaciones en el registro de evidencias, en muchos casos.

e) Progresión general de bocetos:

- hacer un trazado básico del perímetro,
- establecer objetos fijos, muebles, etc.,
- registrar la posición de las pruebas,
- registrar mediciones adecuadas –controlarlas más de una vez,
- registrar clave/leyenda, orientación cardinal, etc.

10. Conducir una búsqueda/registro detallado y recolectar la evidencia física

a) Realizar la búsqueda sobre la base de la evaluación previa de las posibilidades de la evidencia.

b) Conducir la búsqueda de manera general y trabajar con lo específico teniendo en cuenta los elementos de prueba.

c) Se recomienda el uso de patrones de búsqueda especializados (por ejemplo, cuadrícula, tira/banda, espiral), cuando sea posible.

d) Fotografiar todos los artículos/elementos antes de la recolección y hacer anotaciones en el diario/registro fotográfico (recordar usar la escala cuando sea necesario).

e) Marcar la ubicación de la evidencia en el diagrama/esquema.

f) Completar el registro de evidencias con anotaciones apropiadas para cada elemento.

g) Asegurar que la evidencia o su contenedor esté rubricado por el investigador que efectuó la recolección.

h) No manipular pruebas en exceso después de la recuperación.

i) Sellar todos los envases de pruebas en la escena del crimen.

j) No hacer conjeturas sobre las condiciones de envasado de diferentes tipos de evidencia, pueden requerir diferentes contenedores.

k) No olvidar las zonas de entrada y salida del lugar, para la búsqueda de posibles pruebas.

l) Asegurarse de obtener adecuadas muestras testigo (por ejemplo, muestras de las fibras de la alfombra).

m) Verificar constantemente documentos de trabajo, anotaciones en embalajes, y otros registros de información, por posibles errores que pueden causar confusión o problemas en un momento posterior.

n) Cuatro premisas básicas:

• Las mejores opciones de búsqueda son típicamente las más difíciles y las que consumen más tiempo.

• No se puede "sobre-documentar" la evidencia física.
• Sólo hay una oportunidad de realizar el trabajo correctamente.
• Hay dos enfoques básicos de búsqueda, en este orden:

- Una búsqueda "prudente" de las áreas visibles, tomando medidas para evitar la pérdida de pruebas o la contaminación.
- Después de la búsqueda "prudente", llevar a cabo una búsqueda vigorosa de las zonas ocultas o encubiertas.

11. Conducir un reconocimiento final

a) Este reconocimiento es una revisión crítica de todos los aspectos de la búsqueda.

b) Discutir la búsqueda en conjunto con todo el personal, para completarla.

c) Comprobar la documentación para detectar errores involuntarios.

d) Verificar que todas las pruebas estén contabilizadas antes de salir de la escena.

e) Asegurarse de que todos los equipos utilizados en la búsqueda se reunieron/recogieron.

f) Asegurarse de que los posibles lugares escondidos de las zonas de difícil acceso no han sido pasados por alto en la búsqueda detallada.

g) Cuestiones críticas: ¿se ha ido lo suficientemente lejos en la búsqueda de pruebas?, ¿se han documentado todas las cosas esenciales?, y ¿se hizo alguna hipótesis que pueda resultar incorrecta en el futuro?

12. Abandonar la escena del crimen

a) La salida se lleva a cabo sólo después de la finalización de la inspección final.

b) Como mínimo, se debe documentar:
- hora y fecha de salida/abandono,
- a quién se ha liberado,
- por quién fue liberado.

c) Asegurarse de que se haya proporcionado el inventario apropiado, según sea necesario, teniendo en cuenta los requisitos legales, a la persona a la que se libera de la escena.

d) Una vez que la escena ha sido formalmente liberada, la reentrada puede requerir una orden judicial.

e) Sólo la persona a cargo debe tener la autoridad para liberar la escena. Este precepto debe ser conocido y respetado por todo el personal.

f) Considerar la necesidad de tener a ciertos especialistas que presten su servicio antes de que se produzca la liberación (por ejemplo: analista de patrones de sangre, médico, médico legista).

IV. PROCEDIMIENTOS DE DOCUMENTACIÓN

Muchas instituciones policiales utilizan una variedad de documentos preimpresos o formularios diseñados para registrar determinados aspectos de la investigación en la escena del crimen. Estos documentos normalmente son el resultado de un enfoque de ensayo y error basado en experiencias de casos reales. A pesar de las variaciones en el diseño de estos documentos, el propósito y los objetivos detrás de su uso son generalmente idénticos de un organismo a otro.

Hay un punto importante a considerar cuando los formularios se están redactando en borrador para su uso rutinario. Con frecuencia, hay una tendencia a considerarlos como medios para cubrir todas las posibilidades que el personal tenga que enfrentar; este tipo de documentos normalmente sólo sirve como recordatorio de la información mínima pertinente y necesaria para realizar una tarea. Cada escena requerirá algún desvío de la norma, sobre la base de las complejidades que aparezcan. Los formularios no son sustitutos del pensamiento, sino simplemente herramientas para ayudar al personal a ejercer plenamente la formación y la experiencia para satisfacer las necesidades de una situación dada.

Normalmente hay seis categorías importantes de documentación que se consideran aplicables a cualquier búsqueda:

1. Hoja de trabajo administrativo

La documentación de los grandes eventos, tiempos y movimientos relacionados con los esfuerzos de búsqueda, documentación de la gestión inicial y continua y las medidas administrativas que se toman para asegurar que una búsqueda organizada se haya cumplido.

2. Descripción narrativa

Documentación de la apariencia general de la escena, como fue observada por primera vez; el detalle extremo de la relación con las pruebas o la recolección de pruebas reales está normalmente más allá del alcance de la descripción narrativa.

3. Registro fotográfico

Documentación del proceso de la fotografía que registra la escena global, media y de acercamiento; el registro se produce en representación de la información técnica y descriptiva sobre la tarea fotográfica.

4. Diagrama/boceto

Documentación de los lugares con evidencia física, así como las medidas que muestran las relaciones tamaño/distancia en el área de la escena del crimen.

5. Registro de la evidencia recuperada

Documentación del reconocimiento, la recolección, el marcado y el embalaje de la evidencia física, con fines administrativos y de cadena de custodia.

6. Registro del levantamiento de impresiones latentes

Documentación del reconocimiento, la recolección, el marcado y el embalaje de los levantamientos de huellas latentes descubiertas en el lugar.

V. BÚSQUEDA/INSPECCIÓN EN ETAPAS PARA PREVENIR LA DESTRUCCIÓN DE PRUEBAS/EVIDENCIA EN ESCENARIOS DONDE SE HA COMETIDO UN HECHO DELICTUOSO

Suele ocurrir que ya en el lugar del hecho, alguna autoridad policial allí presente encuentre un trozo de evidencia sobre el suelo/terreno y, accidentalmente, lo golpee con el pie, lo pise o destruya de alguna manera, mientras busca otras pruebas. Los errores que de esa manera a veces se cometen dan cuenta de que todos los métodos que se han estado enseñando han fracasado y la mejor política es entonces la de encontrar formas que mantengan las evidencias intactas. La solución: buscar en etapas.

1. *Nivel uno de búsqueda*: Es la búsqueda más básica y superficial. En primer lugar, se elige el patrón de inspección que sería más eficaz para el medio ambiente de la escena del crimen que va a ser examinada. Por ejemplo, una búsqueda por "zona" sería la mejor opción para un pequeño departamento, mientras que una "cuadrícula" de búsqueda podría elegirse para una gran zona (abierta) al aire libre.

En lo personal siempre recomiendo cambiar de posición con quien está a cargo y completar un patrón de búsqueda por segunda vez para que otro par de ojos revea todas las inspecciones. Por otra parte, el comandante/jefe/líder de la escena del hecho no debe convertirse en un buscador, pero debe tener libertad para tomar decisiones de evaluación sobre lo que constituye una evidencia y para coordinar la numeración de todas las posibles pruebas encontradas.

A medida que se localiza la evidencia, el líder del equipo toma una decisión en cuanto a si el elemento es una evidencia potencial y, de ser así, toma una segunda decisión con respecto al número que debería asignársele a esa pieza en particular. Después de este proceso, se coloca un dispositivo/elemento de marcación cerca de la prueba. Al realizar una búsqueda de nivel uno, los ojos del líder son las únicas herramientas que se utilizan. Nada se toca, por lo tanto ésta es la forma menos invasiva de búsqueda; los únicos elementos de prueba que se buscan son aquellos que pueden ser detectados sin mover ningún objeto en la escena.

Una vez que todos los funcionarios han completado la búsqueda y el patrón fue verificado dos veces, todos los elementos están preparados para la recolección antes del nivel dos de búsqueda. Como mínimo, esto incluye una foto de medio alcance (es de esperar que todas las fotos hayan sido tomadas antes de que la escena fuera registrada o alterada de alguna manera), una foto de cerca (con escala), y la toma de referencias métricas de cada elemento, desde dos puntos fijos, para que consten en un dibujo/gráfico/croquis. La grabación de video puede o no encajar aquí, dependiendo de la política de cada departamento. Una vez que toda la evidencia ha sido recogida y empaquetada correctamente, se puede proceder a una búsqueda de segundo nivel. ¿Qué pasa con el dispositivo de marcar?: debe dejarse en su lugar para el caso de que haya alguna duda posterior acerca de la interrelación de la ubicación de los elementos de evidencia recogidos.

2. *Nivel dos de búsqueda*: Incluso llevando el proceso de búsqueda a un nivel más profundo, la integridad del lugar del delito aún se puede mantener. Un segundo nivel de búsqueda consiste en mover los elementos que causan la intrusión mínima en la escena. Por ejemplo, al realizar un examen de nivel dos, las puertas de un armario se abren, se busca por debajo de los muebles y algunos cajones pueden ser abiertos. La idea de este nivel es la de no ser muy intrusivo, pero sí permitir buscar en lugares razonables de una manera que no desorganice/desbarate totalmente la escena. Al igual que en el nivel uno, se elige un patrón de búsqueda y se verifica dos veces. Los artículos/elementos se marcan con un número y a continuación se llevan a cabo las mismas operaciones que con todos los otros elementos ya recogidos, es decir:

a) una foto de medio alcance,
b) una toma de video de medio alcance,
c) una fotografía de cerca,
d) una toma de video de acercamiento,
e) una medición a partir de dos puntos fijos para un dibujo/croquis,
f) adecuada recolección y envasado/empaquetado.

Aquí ya es tiempo/momento de iniciar el nivel tres de búsqueda. Se pueden dejar los elementos/dispositivos de marcación en su lugar.

3. *Nivel tres de búsqueda*: Este tercer nivel es el más intrusivo de todas las búsquedas. Puede incluir vaciar todos los cajones en la escena y buscar en el interior de todos los bolsillos de cada prenda de ropa en el armario. Dar vuelta los colchones y mirar la ropa sucia suele formar parte de este nivel. Al igual que en los otros niveles, si se encuentra algo, se marca y se somete al proceso ya mencionado.

Una diferencia significativa cuando se realiza una búsqueda de tercer nivel, en oposición a una de primero o segundo nivel, es el momento de

obtención de pruebas. Para ilustrarlo mejor, imaginemos que se está buscando en un cajón y se van tomando las prendas una a una; se encuentra un elemento de prueba y se lo marca. Obviamente, no se desea remover el resto de los elementos del cajón hasta que la prueba se recoja. El nivel tres es también donde se llevarían a cabo las principales búsquedas de impresiones latentes, se arrancaría la alfombra o se sacarían trozos de pared. También se pueden utilizar productos químicos tales como los empleados para la detección de sangre, y Luminol.

Utilizar esta metodología asegura que la evidencia encontrada sea documentada apropiadamente y recogida antes de que haya cualquier posibilidad de su destrucción. Esta metodología está diseñada para complementar y mejorar las actuales prácticas aceptadas, no para reemplazarlas.

¿Qué pasa si hay confusión en cuanto al nivel en que se inscribe determinada acción? Por ejemplo, se recomienda que el espolvoreado de la escena en búsqueda de impresiones latentes se realice en el nivel tres debido a la naturaleza intrusiva de este tipo de polvo. Pero ¿y si gustase a su vez encender las luces en una habitación en particular antes de iniciar la búsqueda?; se sabe que el interruptor de la luz debe ser sometido a la búsqueda de huellas latentes, pero que aún no se está en el nivel tres; si encender las luces hiciese la inspección de la escena más efectiva, entonces es mejor hacerlo; si no hay ninguna ventaja especial en hacerlo en ese momento y se puede esperar hasta el nivel tres, habrá que esperar.

Una investigación de la escena del crimen debe ser flexible. Sin embargo, si un investigador quiere espolvorear toda un área para encontrar huellas latentes, es mejor que espere el mayor tiempo posible debido a la naturaleza intrusiva de esa acción. Otro dilema consiste en el uso de productos químicos en las escenas, éstos son muy invasivos y pueden alterar la escena de manera significativa; se recomienda el nivel tres para la mayoría de estos productos. Por desgracia, aunque no hay una sola manera de buscar en un escenario delictivo, hay muchos caminos equivocados. El sentido común y el deseo con formación profesional y ética de preservar la integridad de las pruebas guiarán en estas decisiones en cada escenario único.

VI. INCREMENTO DE LA INTEGRIDAD DEL ESCENARIO DEL HECHO MEDIANTE LA CREACIÓN DE MÚLTIPLES NIVELES DE SEGURIDAD

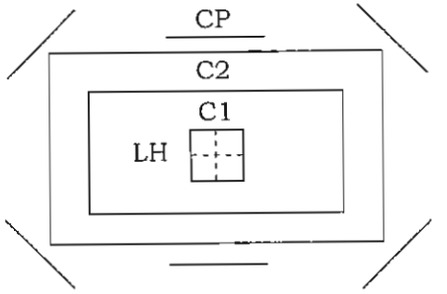
Frecuentemente se enfrenta a la delincuencia de una gran ciudad sin recursos adecuados al tamaño de la misma. También es frecuente que un organismo policial muy profesional y progresivo exhiba falta de integridad en la escena del crimen y ello constituya el procedimiento normal de funcionamiento. ¿Por qué? Las autoridades policiales aparecen desbordadas por curiosos sedientos de ver sangre o resultados de la violencia. Sin embargo, se tuvo cuidado de no tocar ninguna evidencia obvia, pero

¿no debería haber una mejor manera de manejar escenas a gran escala? La solución que ahora se enseña a las fuerzas de seguridad de muchas partes del mundo y a los estudiantes universitarios de carreras afines es la del empleo de la contención en niveles múltiples. Encararemos aquí la forma en que se puede garantizar la integridad de la escena del crimen y, a la vez, conservar los recursos humanos y el dinero presupuestario:

a) *Contención de primer nivel*: La contención más básica y superficial; es la cinta policial que rodea a la escena del crimen en sí. El primer nivel es determinado generalmente por los agentes policiales de patrulla que responden al llamado de alerta, modificado quizás en forma leve después de que el caos inicial desaparece o cuando los investigadores se hacen presentes. Hecho correctamente, este nivel de contención rodea todos los lugares donde la evidencia puede estar, y un poco más por seguridad adicional. Hay que asegurarse de recordar las posibles áreas de entrada y salida del sospechoso, ya que éstas son las más olvidadas cuando se contiene un escenario delictivo. Lamentablemente, la contención de primer nivel es toda la protección que la mayoría de los escenarios obtienen.

b) *Contención de segundo nivel*: Llevar la seguridad a un nivel superior no es tan complicado como parece. Cuando llegan los funcionarios que van a procesar la escena, ponen/levantan una segunda barrera de cinta que rodea completamente el primer nivel, haciendo una zona de amortiguamiento. El nivel secundario o segundo nivel soluciona varios problemas: los oficiales y el personal de comando tienen un lugar de encuentro donde no pueden ser molestados por civiles; los aparatos pueden ser almacenados en esta área e incluso se pueden armar mesas improvisadas de tipo plegable. Si se posee algún tipo de vehículo dedicado a la escena del hecho, se puede estacionar en esta área y la zona puede servir como un lugar establecido para tomar descansos y para la basura del lugar del crimen. El registro de la escena del crimen se debe mantener en este ámbito y ser firmado sólo por los que entran en el primer nivel o puede ser firmado por el personal al entrar en el segundo nivel. Esta última opción sigue siendo ventajosa porque los funcionarios no tendrán que abandonar la escena para buscar los equipos y hacer descansos, de tal forma habrá muchas menos firmas de entrada y salida. No habrá descubrimiento de evidencia en este nivel si el primer nivel se colocó correctamente. Sin embargo, si se encuentra algo (como una impresión de calzado o neumático) fuera del primer nivel, pero todavía dentro del segundo nivel, que esté dentro de un área protegida, podría todavía ahorrar a los investigadores de dar explicaciones considerables en los tribunales. Si no se puede rodear por completo el primer nivel con un segundo nivel, no hay que preocuparse, la idea es que se encuentre un lugar que linde con el primer nivel para acordonar para sus propósitos. Mientras el primer nivel de contención está bien asegurado, un pequeño nivel secundario adyacente podría satisfacer las necesidades sin tener que rodear por completo el primero.

c) *Contención perimetral*: En este tercer nivel es donde los recursos humanos y los vehículos entran en juego. La contención perimetral se hace en la mayoría de las escenas en distintos niveles. Este perímetro se crea con barricadas y los vehículos de la policía se colocan en torno a la cinta secundaria. Las rutas/caminos/calles están bloqueados para evitar que los vehículos no autorizados ingresen a la escena del crimen y el tránsito peatonal es desviado a otra parte. Este nivel puede ser más estricto si hay camiones/vehículos de los medios de comunicación tratando de acercarse lo máximo posible y civiles tratando de llegar hasta el lugar de la cinta. Los recursos de hombres varían dependiendo de la cantidad de tránsito peatonal y vehículos no autorizados que se esté tratando de mantener afuera y de cuántos puntos de acceso se poseen para los vehículos autorizados. El objeto es mantener más seguros el primero y segundo nivel de contención, asegurando que el personal no autorizado no esté lo suficientemente cerca como para perturbar la escena del crimen.



CP: Contención perimetral. - C2: Contención de 2° nivel
C1: Contención de 1er. nivel. - LH: Lugar del hecho

VII. EVIDENCIAS FÍSICAS, SIGNIFICADO, CATEGORÍAS

1. Significado

Las áreas de importancia en la inspección del escenario del delito pueden resumirse del siguiente modo: recolección de la evidencia física, reconstrucción del hecho, identificación y eslabonamiento del sujeto con el lugar del suceso, y establecimiento de la causa probable de arresto.

Existen básicamente tres alternativas para el esclarecimiento de un hecho delictivo: la confesión del sujeto; las declaraciones de una víctima o testigo, y la información obtenida a través de la evidencia física. Si no existiera confesión, podríamos tener manifestaciones de testigos los cuales pueden ser o no dignos de confianza, ya que el testimonio es falible, dependiendo de la persona que ha presenciado el delito y las condiciones físicas que rodearon su visión. La evidencia física nos proporciona indicios llamados testigos silenciosos o mudos que nos nutren de realidades o hechos imparciales.

Estos testigos silenciosos presentes en el lugar, utilizados con eficacia, nos pueden ayudar a superar afirmaciones conflictivas y confusas ofrecidas por testigos que observaron el hecho y que podrían dar distintas declaraciones.

La actitud más importante de quien tiene la responsabilidad de obtener la evidencia es aquella que da prioridad al tiempo y al esfuerzo aprovechados de una manera metódica. Nada estará excluido de consideración y la búsqueda continuará hasta que se esté totalmente seguro de que todas las posibilidades han sido exploradas.

2. Categorías

a) *Marcas de herramientas* (huellas de efracción). Se incluyen todas las condiciones físicas en las que resulte evidente que un objeto utilizado como herramienta actuó sobre otro, creando impresiones, marcas de fricción u otras estriaciones. Un destornillador, cortafríos, paragolpes de automóvil o el cañón de un arma pueden producir huellas de herramientas.
b) *Impresiones digitales y palmares.* Comprende esta división todas las impresiones, latentes o visibles, incluyendo también las de pie descalzo y las de guantes y otros tejidos.
c) *Material orgánico, botánico y zoológico.* Se clasifican típicamente en esta categoría los excrementos, residuos de origen botánico y manchas de comida.
d) *Fragmentos vítreos y plásticos.* Trozos de vidrio o plástico, rotos o astillados, descubiertos en lugares donde se sospecha que ha habido un accionar delictivo.
e) *Pisadas e impresiones.* Huellas de patinada (o frenada) y arrastre, huellas de pie calzado, depresiones en tierra blanda o vegetación y toda otra forma de huella. Las marcas de herramientas no deberían estar incluidas en esta categoría.
f) *Pintura.* Líquida o seca, en posiciones donde podría haber sido transferida a transeúntes. Áreas con pintura fresca, superficies agrietadas o descascaradas de ventanas y colisiones entre vehículos son ejemplos frecuentes.
g) *Prendas de vestir.* En esta categoría deben incluirse prendas abandonadas, transportadas, quitadas o descartadas por delincuentes, damnificados o víctimas, así como también las características individuales de las fibras.
h) *Fragmentos de madera.* Los ejemplos más frecuentes son la fragmentación y el astillado de la madera hechos por un ofensor al patear o romper por golpe un lugar de ingreso.

i) Polvo. Hechos donde el polvo (todas las formas de contaminación de superficies) ha sido perturbado por el ofensor en el acto criminal.
j) *Cigarrillos, fósforos y cenizas.* El descubrimiento de cualquiera de estos materiales combustibles, o sus restos, en ubicaciones que sugieran su relación con los ofensores.
k) *Papel.* Casos donde el papel mismo pueda ser investigado en su posición o ubicación original, y donde las impresiones latentes u otras sustancias contaminantes puedan estar presentes en su superficie.
l) *Tierra.* La presencia de tierra o material similar en lugares donde la identificación o individualización parezcan posibles.
m) *Fibras.* Se incluyen ambas, naturales y sintéticas, descubiertas primariamente en rincones o bordes, o en superficies donde las fuerzas electrostáticas o mecánicas provocaran una transferencia.
n) *Herramientas y armas.* Casos en los que herramientas y armas fueran encontradas en la escena del hecho o en automóviles, y donde existiera una fuerte posibilidad de que tales objetos estuvieran involucrados en un acto criminal.
ñ) *Grasa y aceite.* Cualquier lubricante o sustancia similar, que a veces tiene contaminación ambiental, encontrados en un lugar que sugiera relevancia en un hecho delictuoso.
o) *Material de construcción y embalaje.* Todas aquellas sustancias encontradas en áreas de trabajo y que no pertenezcan a ninguna de las otras categorías.
p) *Documentos.* Papel escrito o impreso, susceptible de ser relacionado con una persona o instrumento en particular. Ejemplos: notas dejadas en suicidios y robos.
q) *Contenedores.* Todas las botellas, cajas, latas y otros contenedores que contengan sustancias u otros residuos de naturaleza informativa.
r) *Fragmentos metálicos.* Materiales encontrados cerca de maquinaria industrial y escenas de colisiones, y otros desechos con alta probabilidad de ser transferidos a los ofensores.
s) *Pelo.* Cualquier pelo (o cabello) humano o animal encontrado en un ambiente, con razonable probabilidad de poder ser vinculado con un ofensor.
t) *Sangre.* Cualquier sangre sospechosa, líquida o seca, animal o humana, presente en una forma que sugiera relación con la ofensa o los individuos involucrados.
u) *Material inorgánico y mineral.* Sustancias inorgánicas que no caigan en cualquier otra categoría.
v) *Material con contenido informático.* Discos rígidos, disquetes, CD, DVD, etc.
w) *Misceláneas.* Todo otro fenómeno físico.

VIII. FUNDAMENTOS, PRINCIPIOS Y TEORÍA DE LA FOTOGRAFÍA EN EL ESCENARIO DEL DELITO Y EN LA DOCUMENTACIÓN DE EVIDENCIAS

1. Garantizar la admisibilidad de las imágenes digitales

Las herramientas digitales de imágenes, como cámaras digitales, discos, CD de fotos, DVD y el software de manipulación de imágenes, pueden ser activos importantes para el personal policial, ya que reúnen y presentan pruebas. Pero como con cualquier otra herramienta, se debe disponer de procedimientos normalizados de trabajo en su lugar, para asegurar que las pruebas que se reúnen y presentan sean aceptadas por los tribunales de justicia.

Los procedimientos normalizados de trabajo que rigen el uso de la tecnología de imagen digital necesitan incorporar cinco elementos clave.

a) Las imágenes deben ser registradas en un archivo de forma inalterable, poco después de que los registros sean creados.

Una tecnología de imagen digital compatible con este requisito es un CD grabable. Los CD grabables son discos CD-ROM formateados para permitir que las imágenes, textos y secuencias de video sean escritos en los discos usando grabadoras de CD y puedan ser leídos mediante el empleo de unidades de computadoras estándar con CD-ROM.

Los CD grabables son ideales para almacenar imágenes o información sobre evidencias, porque son medios de comunicación que no se pueden borrar. Se pueden anexar datos a CD grabables, siempre y cuando quede suficiente espacio. Sin embargo, no es posible eliminar o escribir sobre las imágenes que ya están en los discos. Las imágenes en CD grabables son creadas por alteración permanente de la capa de tinte del disco con un haz de luz láser. Las grabadoras de CD no pueden deshacer las marcas láser anteriores.

Algunos CD tienen también grabados los números de serie, lo cual elimina la posibilidad de que los discos alterados puedan ser sustituidos por originales. Los CD grabables se están utilizando hoy en las fuerzas policiales para guardar imágenes y para mostrarlas en la Corte.

b) Las imágenes deben incluir información sobre su creación.

Este requisito también es apoyado por la tecnología actual de imágenes digitales. Por ejemplo, algunas cámaras digitales generan un único archivo de datos escritos cada vez que se captura una imagen. El archivo registra información tal como los ajustes de la cámara, así como la fecha y la hora en que se capturó la imagen. Cuando se guarda la imagen, el archivo de datos se puede almacenar también.

Si se escriben la imagen y los datos/información en un CD grabable poco después de la captura de la imagen y antes de cualquier mejora de la misma, se habrá creado una copia de referencia del archivo.

c) La agencia debe controlar la custodia de todos los registros de imagen, en todo momento.

Este requisito asegura que alguien pueda testificar sobre quién tuvo acceso a alguna de las imágenes utilizadas para apoyar el testimonio como evidencia.

Hay una serie de procedimientos que se pueden poner en práctica para cumplir con este requisito. Por ejemplo, determinar qué equipo o equipos serán utilizados para el almacenamiento a mediano o largo plazo de los archivos de imagen. A continuación, proteger con contraseña los archivos sensibles almacenados en dichos equipos. Mantener las computadoras y cualquier medio de archivo, tales como discos compactos, en lugares seguros.

El uso de medios inalterables para el almacenamiento, junto con un índice de gestión separada para cada unidad, ayuda a garantizar la integridad de la información.

También deben establecerse los procedimientos para la gestión de cualquier archivo almacenado temporalmente en alguna de las computadoras portátiles. Por ejemplo, puede que se desee definir la frecuencia con la que esos archivos se van a quitar de las portátiles y se van a archivar.

d) Todo el personal de la agencia que prepare exposiciones para presentar en los tribunales debe estar capacitado en el procesamiento de imágenes digitales y entender cuáles imágenes pueden requerir una notación especial para demostrar que los cambios no son perjudiciales.

Ciertos procedimientos para mejorar archivos de imágenes digitales son análogos a la utilización de técnicas básicas de cuarto oscuro para realzar las imágenes de cine. Se aplican en general a una imagen completa; el software de imágenes digitales puede, por ejemplo, emplearse para controlar el contraste de imágenes o para ampliarlas.

Otros procedimientos de procesamiento digital son potencialmente más problemáticos; éstos se aplican a ciertas partes de una imagen, por ejemplo, se puede utilizar software para "transformar" una imagen del rostro de una persona para mostrar cómo la persona se vería si él o ella fueran mayores o pesaran varios kilos más. En estos casos, puede ser necesario que el personal documente cómo se hicieron los cambios.

También hay una zona gris entre estos dos tipos de procesamiento de imágenes. Se puede utilizar la eliminación selectiva del color o la transformación rápida de Fourier para limpiar el fondo o una huella dactilar latente. Deben establecerse procedimientos especiales para apoyar a los peritos, ya que pueden declarar sobre cualquiera de estas técnicas de procesamiento de imágenes.

En algunos casos, se puede implementar el procesamiento normalizado de imágenes utilizando herramientas informáticas. Por ejemplo, es posible registrar las combinaciones de teclas para realizar una operación en un ordenador, en un archivo llamado "macro". Cuando un macro se repite, volverá a ejecutar los golpes de teclado en su secuencia original.

Esta técnica podría ser usada para documentar cómo se llevó a cabo una alteración particular de la imagen.

e) La agencia debe establecer procedimientos rigurosos para ingresar el trabajo en curso en sistemas de archivo adecuados.

La tecnología digital puede ayudar a las agencias a documentar cómo y cuando las imágenes fueron capturadas, procesadas o almacenadas. Sin embargo, deben ser utilizados procedimientos adicionales para crear una pista de auditoría completa de cómo los ficheros informáticos han sido manejados.

La tecnología digital de imágenes ha traído nuevas herramientas a las fuerzas policiales. Hoy en día, las imágenes digitales se ven en los tribunales con frecuencia cada vez mayor, y la incertidumbre acerca de cómo se pueden utilizar está disminuyendo. De hecho, en cierto modo las imágenes digitales pueden ser más seguras que las imágenes convencionales.

Por ejemplo, utilizando la tecnología actual es relativamente fácil alterar una imagen escaneada de un rollo de película, crear un nuevo rollo que incluya la imagen falsa, y luego reemplazar el original con el rollo alterado. Sin embargo, si se utilizan discos CD grabables que vienen con números de serie integrados, y si se registra un índice del contenido del disco junto con sus números de serie como parte de los procedimientos operativos estándar, sería prácticamente imposible reemplazar los discos originales con los alterados.

La clave consiste en seleccionar la tecnología con cuidado y poner los procedimientos operativos estándar en su lugar, que derivan de una comprensión de los requisitos operacionales y la tecnología.

2. La fotografía infrarroja

La fotografía infrarroja es la grabación de las imágenes formadas por la radiación infrarroja. Debido a que la radiación infrarroja es invisible, se pueden necesitar algunas técnicas especiales; pero, en general, la mayoría de los métodos comunes requeridos son tan simples como los de la fotografía ordinaria.

Usos en las fuerzas de seguridad:

a) Documentos cuestionados.
b) La fotografía aérea.
   1) La fotografía infrarroja puede mejorar el contraste del terreno.
   2) Se diferencia el crecimiento de las coníferas (más oscuras) y las de hoja caduca (más claras).
c) Fotografía de vigilancia/inspección.
d) Detección de quemaduras de disparos-pólvora, manchas e irregularidades en tela.
e) Detección de ciertos tipos de escritos secretos.

Equipo

a) Cámara
   1) Casi cualquier cámara. La cámara de 35 mm es más conveniente en la mayoría de los casos.
b) Lentes
   1) Se pueden utilizar la mayoría de las buenas lentes.
   2) Es útil si el objetivo tiene una escala de enfoque infrarroja.

Película

a) Película infrarroja blanco y negro
   1) Registra la luminiscencia infrarroja de los objetos.
   2) Requiere un filtro de infrarrojos en la lente de la cámara.
b) Película infrarroja color
   1) Por lo general no es una buena opción para el uso de las fuerzas de seguridad. La película color infrarroja es una película de color "falso". Es sensible a la radiación azul en todas las capas de la película por lo que debe utilizarse un filtro amarillo para filtrar el azul.
   2) Se puede emplear para enfatizar las diferencias entre objetos que son visualmente muy similares.
c) Carga de la película
   1) La película infrarroja es sensible al calor y debe ser refrigerada. Se le debe permitir el tiempo suficiente para que alcance la temperatura ambiente antes de abrir el paquete.
   1) La película infrarroja de alta velocidad debe ser cargada y descargada en la oscuridad total.

Iluminación

a) Utilizar lámparas de tungsteno o las unidades de flash electrónico para la fotografía infrarroja en blanco y negro.

b) Utilizar iluminación de flash electrónico para la fotografía infrarroja color. Otras fuentes de luz (excepto la luz de día) requieren un filtrado especial.

Exposición

a) La exposición está determinada por las tomas de prueba.

Enfoque

a) Enfocar normal sin el filtro en su lugar.

b) La distancia que aparece delante de la línea índice normal en la lente debe trasladarse a la marca índice roja (infrarrojo). Por lo general, implicará un alargamiento de la lente.

c) Reemplazar el filtro para la exposición.

3. La fotografía métrica

Normalmente hay muy pocas posibilidades, por no decir ninguna, de obtener datos métricos de las fotografías comunes. Para obtener esta clase de datos, ya sea en forma comparativa o bien sobre la base de elementos o referencias ajenos a la fotografía, es necesario registrarlas bajo determinadas condiciones técnicas.

Obviamente, para la obtención de este tipo de tomas existen cámaras especiales, denominadas métricas, que permiten rescatar cualquier medida de los elementos fotografiados, pero son muy costosas y, por consiguiente, no están al alcance de cualquiera. Este problema puede resolverse en forma satisfactoria empleando la cámara fotográfica común, bajo ciertas condiciones de trabajo. Normalmente pueden llevarse a la práctica dos métodos cuya aplicación es sumamente fácil, tanto en su faz operativa como en el cálculo. Ellos son: a) método comparativo, y b) método por cálculo directo.

a) *Método comparativo.* Este método consiste en la toma de fotografías en las cuales debe incluirse un elemento cuyo tamaño sea conocido y sobre la base del cual posteriormente se calcularán las medidas del resto de los componentes de las mismas.

El sistema puede practicarse de dos formas, en lo que atañe a la ubicación de la cámara fotográfica: 1) con el plano focal paralelo al plano que contiene al objeto, o 2) con el plano focal formando un ángulo cualquiera con el plano que contiene al objeto (perspectiva). Los casos fundamentales de aplicación son los que se presentan en el denominado método de las tiras, desarrollado a continuación.

Método de las tiras. Se trata de un método de trabajo apto para el desarrollo de la fotografía métrica en el interior de habitaciones o bien en lugares cerrados de cualquier naturaleza. Para la toma respectiva, la cámara debe ubicarse en el plano focal paralelo a la pared de la habitación situada frente a la cámara. Antes del registro fotográfico deben colocarse en una de las paredes paralelas al eje óptico de la cámara tiras de papel o tela de un color que haga contraste con el de la pared, de 5 cm de ancho y un metro de longitud.

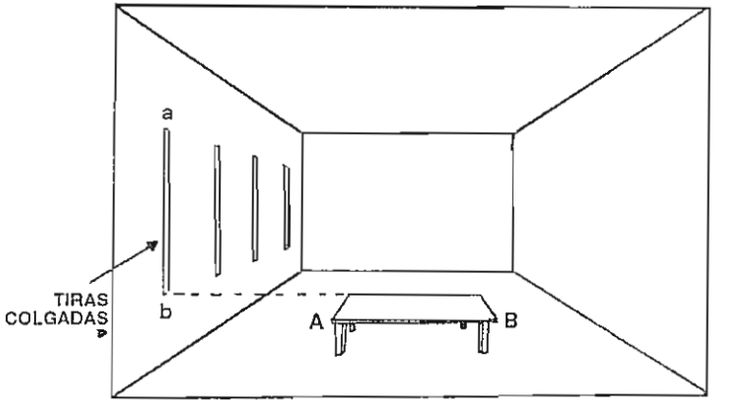
Estas cintas se distribuyen estratégicamente a todo lo largo de la pared, haciendo que la habitación quede prácticamente dividida en una serie de planos verticales, pudiéndose así concretar el cálculo de medida de los objetos contenidos en cada uno de ellos, refiriéndolos a la cinta que se encuentra más cercana. Cuanto mayor sea la cantidad de cintas que se coloquen, mayor será también la exactitud a tener en los parámetros del cálculo, puesto que no hay que olvidar que tanto las cintas como los objetos se van a ir reduciendo en tamaño en forma proporcional al alejamiento de la cámara, dadas las leyes de la perspectiva.

Una vez obtenida la fotografía, para calcular la medida de un objeto cualquiera contenido en la habitación, bastará con determinar cuál es la

tira que se encuentra más cerca de aquél, debiéndose además efectuar con toda exactitud las siguientes mediciones:

- medida de la tira ya mencionada (ubicada en la pared), obtenida de la copia fotográfica;
- medida en la fotografía del tamaño del objeto cuya dimensión real se desea calcular;

El cálculo matemático se lleva a cabo mediante el planteamiento de una simple proporción que es básica para todos los casos de fotografía métrica. La misma se enuncia de la siguiente manera: "La medida de la tira en la fotografía es a la medida real de la misma, como la medida del objeto en la fotografía es a su medida en la realidad". El único cuidado que es necesario tener para la aplicación de este sencillo método es que la tira que se tome para el cálculo sea la más cercana al objeto incógnita.



Datos
Medidas en la fotografía

$\overline{AB}$ = 2,7 CM
$\overline{ab}$ = 3,4 cm (100 cm en la realidad)

Cálculo

$$\frac{\overline{ab}}{100\ cm} = \frac{\overline{AB}}{x}$$

$$x = \frac{\overline{AB} \times 100\ cm}{\overline{ab}} = \frac{2,7\ cm \times 100\ cm}{3,4\ cm} = 79,4\ cm$$

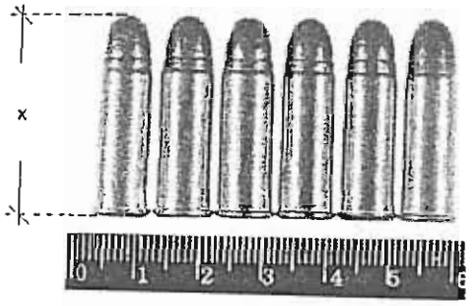
X = 79,4 cm implica el valor real del largo de la mesa

En muchas oportunidades resulta de real interés la práctica de la fotografía métrica en la toma de objetos en detalle, y es aquí donde se pueden presentar varios casos. Los principales son los que a continuación se especifican en los ejemplos que se describen:

Ejemplo n° 1:

En este caso el elemento se debe presentar con el plano focal paralelo al plano que contiene al objeto. Al lado del mismo se coloca una regla o bien cualquier objeto de dimensión conocida, a efectos del posterior cálculo, el que, al igual que en el caso del método de las tiras, va a responder a la siguiente proporción:

Tamaño del objeto de comparación medido en la fotografía (regla) = 8 cm
Tamaño real del objeto de comparación = 5,8 cm
Tamaño del objeto incógnita medido en la fotografía = 4,4 cm



$$\frac{8\ \text{cm}}{5{,}8\ \text{cm}} = \frac{4{,}4\ \text{cm}}{x}$$

$$x = \frac{5{,}8\ \text{cm} \times 4{,}4\ \text{cm}}{8\ \text{cm}} = 3{,}19\ \text{cm}$$

x = 3,19 cm implica la medida real de la altura del cartucho de bala fotografiado.

Ejemplo n° 2:

Se trata del mismo caso del ejemplo anterior, pero en lugar de tomar un objeto cualquiera como referencia (regla en el ejemplo n° 1), se toma uno de los lados del mosaico donde se encuentra el elemento. La toma fotográfica debe realizarse con el plano focal de la cámara paralelo al plano focal que contiene al objeto. El cálculo se hace aplicando la fórmula del ejemplo n° 1.

b) *Método por cálculo directo.* En este caso para los cálculos de medidas en la fotografía no es necesario que ésta tenga ningún elemento de referencia conocido.

Para la práctica de este método es condición indispensable que el plano focal de la cámara sea paralelo al plano que contiene al objeto, siendo además necesario conocer la distancia que media entre el emplazamiento de la cámara y el objeto, y saber cuál es la longitud focal, así como también el tamaño de la imagen medido en el negativo de la toma fotográfica. Cuando se realiza la toma de una fotografía en las condiciones expresadas, se cumple la ley de los focus conjugados, donde:

O: tamaño objeto (incógnita);
D: distancia objeto-cámara;
F: longitud focal de la cámara;
I: tamaño imagen medida en el negativo.

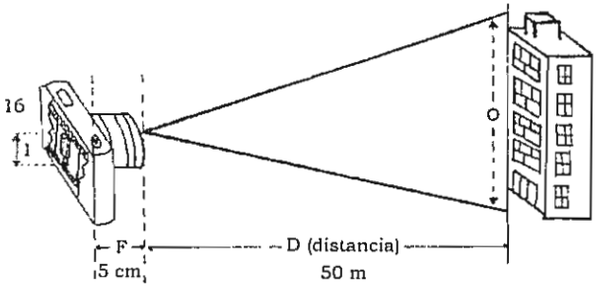
La fórmula empleada en el ejemplo que damos a continuación permite el cálculo de cualquiera de los cuatro elementos mencionados, siempre y cuando se tengan los tres restantes.

Ejemplo:
Datos:
I = 1,6 cm
F = 5 cm
D = 50 m
Cálculo:

$$\frac{O}{I} = \frac{D}{F} \qquad O = \frac{I.D}{F}$$

$$O = \frac{1{,}6\ \text{cm} \cdot 5000\ \text{cm}}{5\ \text{cm}}$$

O = 16 metros



c) *Aplicación de las leyes de la perspectiva.* Hemos visto varios sistemas y casos diferentes de obtención de medidas en fotografías, logradas por medios comparativos o por cálculos matemáticos. Si con esa misma finalidad logramos aplicar algunos conceptos fundamentales de las leyes de la perspectiva utilizadas normalmente en el aprendizaje del dibujo, ve-

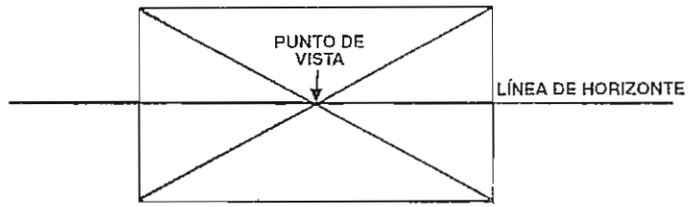
remos que con simples trazados podemos lograr importantes soluciones en la fotointerpretación.

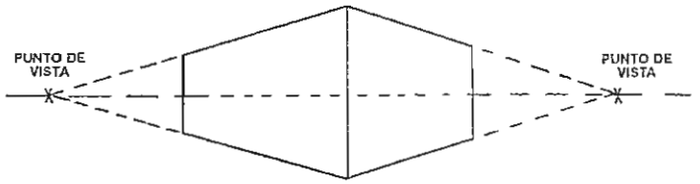
Teniendo en cuenta que las leyes de la perspectiva están basadas en la realidad óptica de nuestra visión, las mismas son invariables y, justamente, la mejor comprobación de las reglas del dibujo al respecto fue la fotografía, donde se pudieron apreciar en forma plana las mismas reglas dadas en las obras de los más antiguos dibujantes y pintores. De igual manera en que la fotografía vino a justificar, confirmar y auxiliar al dibujo, éste puede también ser útil a su vez a la técnica fotográfica y su interpretación métrica.

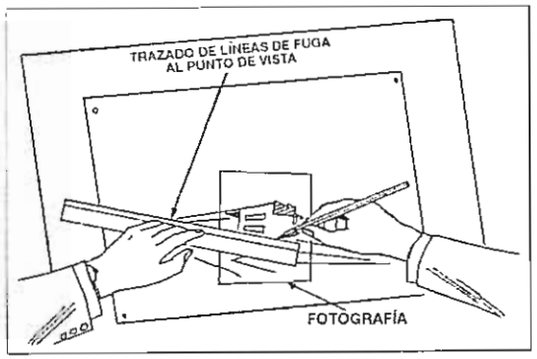
1. Línea de horizonte. Tanto en el trazado de un dibujo como en la obtención de una fotografía, la línea de horizonte se encuentra siempre a nivel de la vista. Toda la visión y, por lógica, la perspectiva de una cosa, conjunto de cosas o un paisaje, cambia si bajamos o subimos el nivel de la vista. Si subimos a un edificio o lugar elevado, veremos que el horizonte estará siempre a la altura de nuestros ojos; igualmente, si nos sentamos en el cordón de la vereda o a nivel de tierra, el horizonte bajará a la altura de nuestra vista.

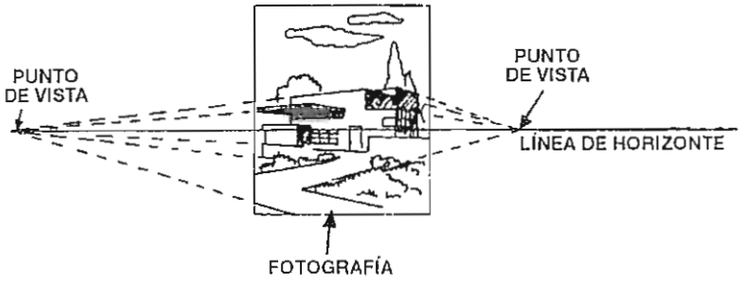
Teniendo en cuenta esa regla podremos saber qué fotografía fue obtenida a una altura determinada, vale decir, a qué altura se encontraba el nivel de los ojos del fotógrafo y si fue sacada desde el ángulo derecho, izquierdo o desde el centro.

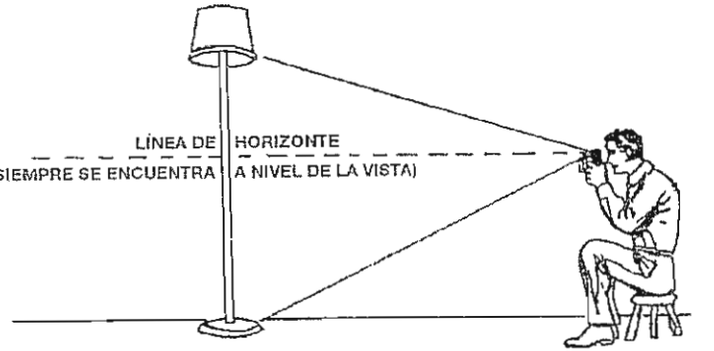
2. Punto de vista. Es el lugar sobre el horizonte de la fotografía o dibujo hacia donde convergen todas las líneas de fuga, tanto sean planos horizontales (piso o techo) o planos verticales (paredes), y es el lugar donde exactamente se fijó la vista.

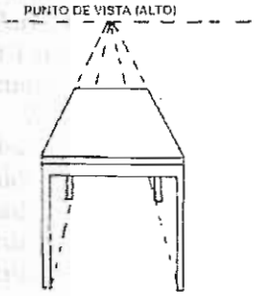


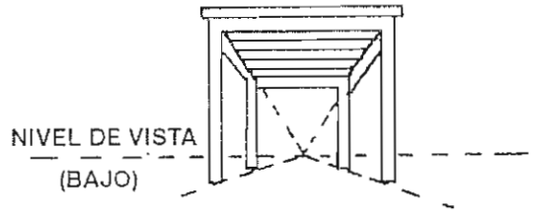


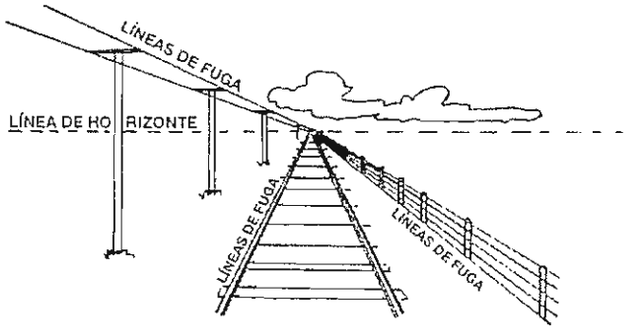










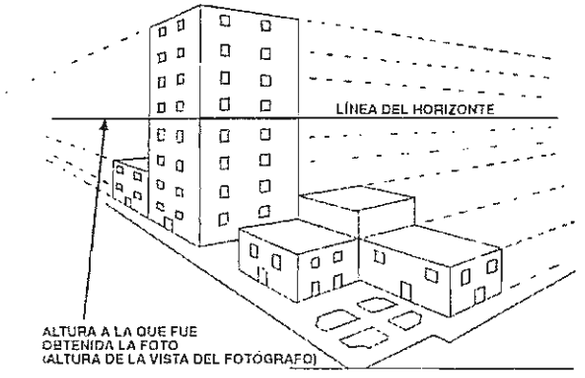


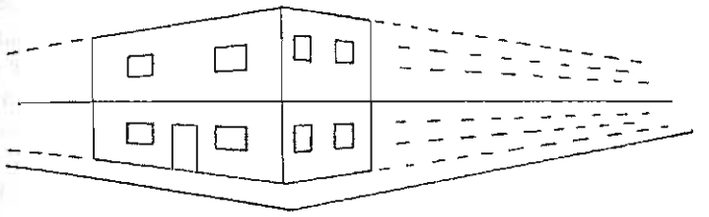
3. Líneas de fuga. Son las líneas paralelas que, partiendo del primer plano del dibujo o fotografía en cualquiera de los lados del cuadrado o rectángulo, van a encontrarse en un mismo punto en forma convergente. De esta manera se representa gráficamente el achicamiento natural de las cosas a medida que se alejan hacia el horizonte.

Al mismo tiempo se determina que la medida real entre dos líneas paralelas se mantiene desde su nacimiento hasta su reunión en el punto de vista. Esto quiere decir que una vez trazadas las líneas de fuga, por ejemplo en una línea de edificios, nos permitirán obtener las diferentes alturas de los mismos desde el primer plano hasta el horizonte. En el mismo también estará trazada la línea del horizonte. Con ésta y las líneas de fuga podremos establecer, por ejemplo:

a) que la fotografía fue tomada desde una altura comprendida entre el 4° y el 5° piso;

b) contando las líneas de fuga de abajo hacia arriba, la altura de puertas y ventanas y, si lo creemos conveniente, subdividir las distancias entre líneas (que, por ejemplo, podrían tener un metro) en las subdivisiones que se consideren necesarias (ver ap. 8: Alto y ancho).





4. Dirección de las líneas de fuga. Las líneas de fuga que se encuentran sobre nuestro nivel de vista bajarán siempre hacia el horizonte, y las que se encuentran bajo el nivel de vista subirán hacia él.

5. Dos puntos de vista. Suele ocurrir que en el trazado de líneas aparezcan dos puntos de vista, uno a la derecha y otro a la izquierda; esto sucederá siempre que observemos un edificio desde una esquina o, por ejemplo, mirando un cubo en la misma forma.

6. Trazado de profundidad. Si a un rectángulo lo dividimos en tres franjas horizontales –por ejemplo de un metro de ancho cada una– y luego trazamos una línea diagonal, veremos que en los puntos de intersección de ésta con las horizontales podremos trazar líneas verticales que dividirán el rectángulo en partes iguales. Esto mismo sigue siendo correcto si el rectángulo se encuentra en perspectiva.

Por lo tanto, si con una referencia dada en profundidad logramos formar una primera baldosa de dimensiones conocidas, obtendremos en cada punto de intersección entre la diagonal trazada y las líneas de fuga, la distancia equivalente a la baldosa o medida de referencia (letras A, B, C y D en el dibujo respectivo). Contando las mismas tendremos medidas reales de profundidad. Terminada la trayectoria de la diagonal ya no habrá inconveniente en trazar otra diagonal con base en otra baldosa lograda. Ello se puede conseguir considerando el tamaño de la ampliación fotográfica todas las veces que se quiera.

7. Referencias. La referencia de medida de profundidad es muy necesaria en caso de preparar ex profeso una fotografía con fines métricos. Para el caso bastará con una varilla, tira, metro o marca de tiza de 0,50 o 1 metro. En caso de no tenerse referencia prefijada puede explotarse la cuenta de baldosas en profundidad.

No disponiendo de ello, deben estudiarse detenidamente los frentes de los edificios, y tratar de ubicar en ellos alguna medida de las que se consideren conocidas (una puerta, una ventana, una tapa de luz o de gas, un ladrillo a la vista, un aparato acondicionador de aire que dé al exterior, o cualquier otro detalle). Es importante destacar que dicha medida puede encontrarse en cualquier parte del trayecto en profundidad.

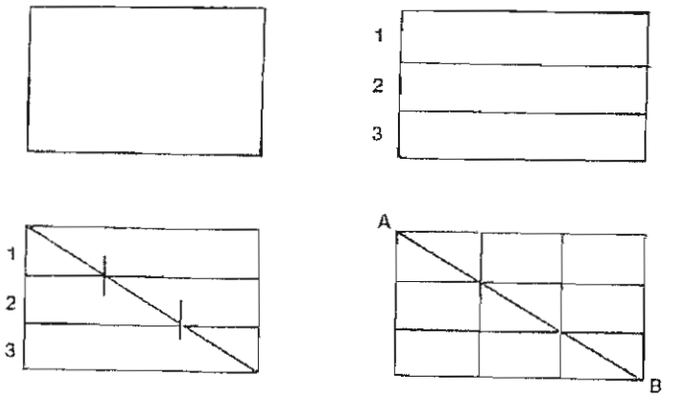
8. Alto y ancho. De acuerdo con lo tratado anteriormente, se puede establecer que la altura será medida por las líneas de fuga que parten del primer plano; para una relación de proporción se podrá señalar el lugar, antes de obtener la fotografía, con una tira o madera, metro o marca de tiza. Es muy importante destacar que una medida de referencia para la altura (por ejemplo, apoyada contra la pared) servirá igualmente para las medidas de ancho, ya que todas las medidas de la primera línea del plano (de los cuatro lados) son reales, y solamente allí; hacia el punto de fuga, van disminuyendo continuamente. Si no se cuenta con la referencia prevista, debe razonarse y buscar las referencias lógicas, por ejemplo:

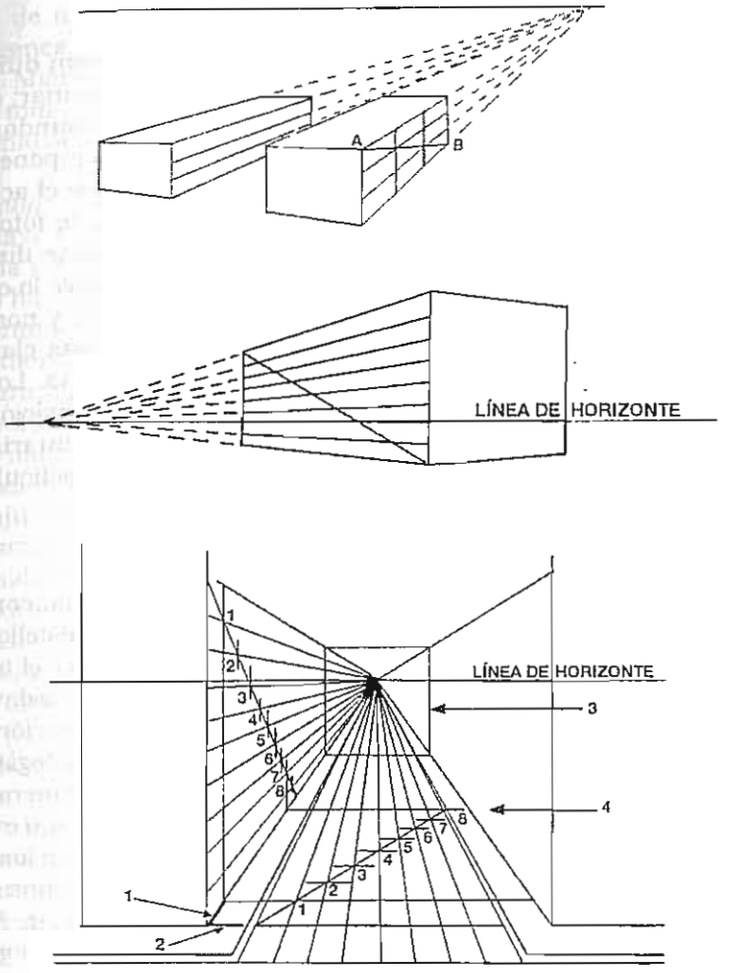
a) Sabemos que las veredas generalmente tienen baldosas de 0,20 x 0,20, 0,50 x 0,50, o 0,60 x 0,40; de esta forma tendríamos que cinco de las primeras nos darían un metro o 2 de las segundas lo mismo.

b) Si no fueran visibles las marcas, conviene saber que las medidas normales de veredas son de 3 metros de ancho en calles comunes; 4 metros en avenidas y alrededor de 2 metros en calles céntricas de la Capital Federal. De igual manera servirá de referencia el ancho de la calle o avenida.

c) También puede aportar datos un vehículo que se encuentra en primer plano y cuya medida sea conocida.

Es importante señalar que las deformaciones de perspectiva que pueden causar lentes gran angulares no llegan a anular los trazados de medición ya enunciados. En lo que atañe a la medición de la altura, puede haber una variación en la toma cuando se considera que pudo haber sido hecha con máquinas réflex, cuyo sistema de enfoque ubica el visor a la altura del pecho o de la cintura del fotógrafo.





4. Accidente nocturno y fotografía de la escena del crimen

a) Introducción

Las fotografías tomadas en el lugar de un accidente de tránsito son la parte más crítica de la investigación. La mayoría de los investigadores policiales están familiarizados con la expresión: "...una representación verdadera y exacta de la escena...". Para capturar con verosimilitud un accidente de tales características es importante que el personal policial al que se le asignó la tarea de fotografiar los hechos entienda más que lo básico de operar una cámara, de modo que las fotografías tomadas realmente representen la escena tal como era en el momento de la investigación.

b) Factores de dificultad

Las situaciones fotográficas simples como las que ocurren durante el día con un sol brillante y cielo despejado son fáciles de dominar; cuando se presentan factores como la lluvia constante, la nieve abundante, un sol brillante en el horizonte, o la oscuridad de la noche, se pone verdaderamente a prueba la habilidad. La experiencia indica que el accidente de tránsito nocturno es una de las escenas más difíciles de fotografiar, sobre todo cuando las marcas de llantas y otras pruebas se dispersan sobre una gran distancia. En pocas palabras, la cámara no ve lo que uno ve. ¿Alguna vez no permanecimos afuera, bajo las estrellas, y nos dimos cuenta de que, hasta cierto punto, tendemos a ver con más claridad a medida que pasa el tiempo? La cámara no puede hacer esto. Los ajustes que como fotógrafo se hacen en cosas tales como la posición de la cámara, el tiempo de exposición y la iluminación complementaria serán los elementos que decidirán si la cámara permitirá que la película "vea" como uno lo hace.

a. ¿Digital o película?

Considerando todos los factores con la fotografía nocturna, como una exposición adecuada, posición de la cámara, el número de destellos necesarios para iluminar la escena, y las dificultades para detener el tránsito, es difícil imaginar que el fotógrafo necesite tener en cuenta todavía una cosa más: ¿será fotografía digital o con película? La introducción de los medios digitales es un muy buen ejemplo de cómo la tecnología puede ayudarnos a hacer nuestro trabajo aún mejor. De ninguna manera la idea es decir que es hora de deshacerse de la película de velocidad 400 existente en el equipo de la cámara, en favor de los medios digitales, pero los beneficios de la fotografía digital en las situaciones difíciles son muchos:

– Una buena cámara digital es muy versátil y fácil de usar. Algunas se asemejan a las de 35 mm, son durables, aceptan una amplia gama de objetivos intercambiables, tienen velocidades de obturación ajustables y un receptáculo de disparo.

– Los entusiastas de las digitales están de acuerdo en que los resultados instantáneos son una ventaja, especialmente en los trabajos policiales. Es conveniente buscar una cámara digital con una pantalla LCD, que permitirá ver la foto inmediatamente.

Las exposiciones de tiempo son archivos muy grandes y pueden tomar hasta treinta segundos en aparecer en la pantalla. El proceso que toma la cámara para llevar estas imágenes a la pantalla es un drenaje enorme sobre la longevidad de la batería. Todas las cámaras digitales buenas para las escenas de crímenes están en el rango 5 a 7,5 megapíxeles, y registran fotos increíbles. Se puede buscar una cámara que ofrezca una

captura de al menos 5 megapíxeles efectivos. No hay que equivocarse: las imágenes digitales en las fuerzas de seguridad son archivos de gran tamaño. Mientras que las cámaras digitales típicas de apuntar y disparar pueden tomar muchas fotos en una tarjeta de 16 megabytes, las imágenes de mayor resolución pueden ser de más de 2,5 megas cada una.

b. Equipo

La clave de cualquier investigación judicial es estar preparado, y la fotografía no es diferente. La preparación incluye la formación necesaria, pero las horas en el salón de clases deben acompañarse de equipamiento con herramientas adecuadas para el estudiante. Por esta razón, los temas siguientes se sugieren como esenciales para cualquier equipamiento de cámara, y, en particular, para una que se utilizará para accidentes de tránsito durante la noche.

1. Es importante que el equipo de la cámara incluya una cámara manual con velocidades de obturación ajustables y una posición "B" (bulbo). Esta "B" de ajuste permite que el disparador se abra por un tiempo indefinido, lo que facilita las exposiciones de tiempo tan prolongadas como el fotógrafo las considere necesarias. Se ha sugerido muchas veces que una cámara automática puede utilizarse de manera que los ajustes de la cámara se concreten en un mínimo de tiempo, en el lugar del hecho. El argumento en contra de este punto obedece a dos razones principales: en primer lugar, la cámara automática está en su mejor situación cuando la luz existente en el lugar permite al sistema de medición que lleva adentro realizar los ajustes de diafragma y velocidad de obturación. El elemento clave aquí es la luz existente. En la fotografía nocturna no hay luz existente, o mejor dicho, hay muy poca; los ajustes en las cámaras automáticas en esta situación son imposibles, lo que convierte a una cámara manual en una necesidad. En segundo lugar, mediante el dominio de los fundamentos de la velocidad de obturación y diafragmas, el fotógrafo llegará a apreciar mejor la importancia de estos dos pasos necesarios en la fotografía nocturna. Con esta comprensión y la práctica, los ajustes de la cámara y la lente en el lugar serán tan sistemáticos como quitar la tapa de la lente.

2. Una lente normal con posibilidades de cambio de diafragma hace una combinación perfecta para la cámara manual. Mientras que la cámara aloja al obturador, la lente en sí contiene la apertura; esta última controla la cantidad de luz que se permite pasar a través de la lente y su captura en la película o medio digital. Este control es posible gracias a los diafragmas que van desde f/2 (una apertura muy amplia) hasta f/22 (una apertura estrecha). El término profundidad de campo es familiar para la mayoría de los estudiantes de fotografía, y es una palabra que asusta a muchos fuera de esta disciplina. En pocas palabras, la profundidad de campo es la cantidad de escena/escenario (distancia delante

de la cámara entre sus puntos más cercano y más lejano) que está a/en foco. La profundidad de campo puede ser algo de gran preocupación en la fotografía de noche, y el fotógrafo debe entender que colocar la apertura del objetivo en f/2 dará muy poca profundidad de campo, y en f/22 la aumentará dramáticamente.

3. Es necesario un cable disparador para que el obturador pueda ser "activado" sin tener que tocar la cámara. "Pintar" con la luz se hace con exposiciones muy largas (a veces hasta varios minutos), por ende es muy importante que los movimientos de la cámara se eliminen.

4. Un flash externo de gran alcance será esencial en la iluminación de las marcas de llantas y otros elementos de prueba en un accidente de noche o en la escena del crimen. ¿Qué potencia se necesita? Sin entrar en detalles de la explicación del número guía del flash, se sugiere una visita a un negocio de fotografía de reputación; se debe explicar lo que se planea hacer, para adquirir una unidad buena de flash. Esta unidad de flash puede utilizarse para la misma rutina durante la fotografía con flash a distancias, tan cerca como unos pocos centímetros.

5. Al comprar un trípode para eliminar los movimientos de la cámara, revisar las opciones y conseguir uno bueno que sobreviva al desgaste que va a recibir por el rebote en el baúl/maletero del vehículo. Asegurarse de que sea lo suficientemente resistente para soportar un buen viento, y prestar atención a los controles de ajuste. La experiencia ha demostrado que las abrazaderas de estilo antiguo, de tornillo, son mucho más durables que los controles de la abrazadera que se ven en algunos de los trípodes más recientes. Asegurarse además de que el trípode tenga una base para la cámara (cuando la cámara se une al trípode) que permita el movimiento completo de aquélla en la inclinación hacia adelante y hacia atrás, así como en las direcciones izquierda y derecha.

6. Una batería externa recargable para el flash es opcional, pero fuertemente sugerida. "Pintar" con luz implica iluminar la escena con flashes múltiples; dado que pueden ser fotografiados varios ángulos de la escena, no sería inaudito iluminar un escenario con veinte o más destellos de potencia completa. Por esta razón, se sugiere que se utilice una batería recargable, ésta recicla rápidamente y tiene una potencia considerablemente mayor que el estándar de níquel, cadmio o de litio. Las marcas no son importantes, pero la batería de mención sí lo es.

c. Aprendizaje por ensayo y error

El proceso seguido cuando expresamos el concepto de pintar con la luz es fácil de manejar con la preparación adecuada y la práctica. Como fotógrafo, se necesita ayudar a la cámara para que pueda ver la luz existente, completándola en la escena nocturna con iluminación artificial, una exposición de tiempo prolongado, o una combinación de ambos.

El fotógrafo nunca debe asumir que sólo porque el flash puede tener un rango automático o manual de hasta quince metros, se va a obtener una exposición correcta del objeto, a esa distancia. Nunca dar por sentado que el rango efectivo del flash será como lo establece el fabricante.

d. La técnica

La fotografía nocturna, sobre todo en zonas o escenas que cubren una gran área, requiere una planificación adecuada, así como la ejecución de los recursos disponibles. Lo inesperado puede ser un factor de casi todos los días. Ya hemos esbozado la necesidad de equipos especializados, tales como la cámara, el flash, la batería externa, etc. Además, se sugirió que el fotógrafo debe conocer bien el equipo antes del trabajo, y una manera que se propone es que el fotógrafo lleve a cabo pruebas con distintas fotos.

5. Selección y colocación de escalas

a) Consideraciones sobre la selección

Hay numerosos tipos de escalas para elegir, algunas son apropiadas y otras no son adecuadas. Al seleccionar una, hay varias cuestiones a considerar: el tipo de iluminación que se va a utilizar; la precisión de la medición requerida; la rigidez que se necesita de la escala, el tamaño del elemento y el grosor del objeto a fotografiar. Con la llegada de las bases de datos computadas, los sistemas de búsqueda y de mediciones electrónicos, la necesidad de una mayor precisión en las fotografías y escalas empleadas es cada vez más evidente. Una discrepancia en la distancia entre dos puntos puede sesgar una búsqueda en una base de datos o desviar la información. Se deben hacer esfuerzos para lograr la mayor precisión en las fotografías que el sistema requiere.

Al seleccionar una escala, elegir siempre la que proporcione al menos una medida tan precisa como el sistema que medirá la información fotográfica. Si el sistema tiene una precisión de un milímetro, asegurarse de que la escala utilizada es exacta y precisa por lo menos en un milímetro a lo ancho de toda la escala. Un argumento que a veces presentan los abogados es que la escala utilizada, en la fotografía, no es una escala "certificada" por la Organización Internacional de Normalización. Una forma de evitar esta situación es medir mediante el uso de la misma escala que está en la fotografía, a la hora de imprimir esas fotografías a un aumento en particular. Se recomienda que las escalas se identifiquen de forma individual y se marquen de modo que no haya confusión en cuanto a cuál escala se utilizó en la fotografía.

Las escalas que se ha encontrado que, en general, no son aptas para el uso con exactitud o fiabilidad son: cintas retráctiles, cintas de tela, las reglas de plástico o madera como las que se emplean en las escuelas, y

las plegables de carpintería. Asimismo, no son aceptables las escalas de "emergencia": lapiceras, lápices, monedas, portacredenciales, etcétera.

b) Colocación de la escala

Considerar el elemento que se fotografió y el plano/nivel sobre el cual se mide la información. La escala debe ser colocada sobre el mismo plano que la información que se desea medir. Si el plano se encuentra en ángulo, dicho ángulo debe adecuarse/ajustarse a la escala. La escala no necesariamente tiene que estar físicamente situada en la superficie del elemento, pero puede ubicarse al lado del objeto o suspendida fotográficamente en el espacio siempre que esté en el mismo plano que la información. Si hay algo de espesor en la escala, asegurarse de que la superficie que posee las marcas regladas esté sobre el plano de la información, no en la parte inferior de la escala.

Si la escala se va a colocar en la misma superficie que la información que se está grabando, asegurarse de que aquélla no oculte ninguna información presente. Si existe una posibilidad de que algún rastro o evidencia biológica esté presente en la superficie, es aconsejable que no se empleen escalas autoadhesivas y se reemplacen por otro tipo de escala que se colocará al lado de la superficie a fotografiar.

c) Tipos de escalas

Escala de mecánico. Este tipo de escala es muy preciso y viene en una variedad de unidades de medida. Existen unas fabricadas por la firma Starett Lufkin, que tienen superficies especiales llamadas "revestimiento cromado" y "revestimiento satinado", que mantienen una tonalidad gris neutro cuando se las fotografía. Es casi imposible fotográficamente "lavar" el detalle en la escala y no tomarán fotografías en negro como la escala de acero inoxidable. También son muy fáciles de mantener y limpiar. Estas escalas son de acero y pueden adquirirse en estado flexible o rígido con mayor o menor grosor. Son algunas de las mejores en exactitud y precisión.

Escalas forenses de plástico. Generalmente disponibles a través de catálogos médicos o forenses. Este tipo de escala puede ser útil, dependiendo del nivel de precisión requerido. Vienen en una variedad de colores, unidades de medición y espesor, y tienen algunos indicadores útiles incorporados a la escala. La elección de color puede ser importante dependiendo de la iluminación seleccionada y la tonalidad del elemento. Estas escalas se pueden obtener con campos negros y unidades en blanco, o viceversa y además con campos de color gris con unidades en negro para que coincida con el contraste del sujeto y la técnica de iluminación. A veces, estas escalas tendrán círculos con pelos cruzados que señalan cualquier distorsión de perspectiva en la imagen. Barras alternadas contrastantes de una longitud determinada se incorporan también a veces en estas escalas en el caso de que la exposición fotográfica haga que la lectura de las unidades de medida se torne difícil.

Escalas autoadhesivas. Vienen en rollos de una longitud determinada, en pulgadas o milímetros, y están hechas para ser "despegadas" y adheridas a la superficie de un elemento. Se sugiere que la exactitud de la escala sea determinada antes de su uso. Algunas pueden ser bastante exactas, mientras que otras se ha encontrado que pueden tener un margen de error de hasta un milímetro sobre una longitud de seis centímetros. Estas escalas son especialmente útiles para superficies verticales y huellas dactilares. Las longitudes de estas escalas se pueden obtener desde una pulgada (o milímetros). Generalmente hay espacio para escribir la información del caso en la escala. Hay proveedores que colocan el logotipo de la agencia en ellas.

Escalas especiales. Este tipo de escala ha sido diseñado para aplicaciones específicas, pero también puede ser utilizado para cualquier tipo de necesidad de escala.

ABFO nº 2

Diseñada por la Junta Americana de Odontología Forense para la fotografía de marcas de mordeduras, es considerada el dispositivo de medición estándar para esta aplicación. Ésta es una escala en forma de L con unidades de medida en el interior de la L. Se incluyen los círculos con forma de cruz en su interior. El ancho de las L es de una pulgada para dar cabida a la medición de la exposición si los errores ocurren.

Escalas en forma de L

Hay varias escalas disponibles en forma de L, que no son los ABFO nº 2, diseñadas principalmente para las impresiones de calzado. Se han producido versiones más pequeñas para la fotografía de la evidencia y se pueden utilizar para las huellas digitales, pero tienen limitaciones, que dependen del tamaño y la forma de objeto o superficie que está siendo fotografiado.

Transparentes y translúcidas

Al utilizar transiluminación, iluminación de campo oscuro o campo con luz, se necesita este tipo de escala. La luz tiene que pasar a través de la escala a fin de observar las unidades de medida. Una escala opaca no funcionará a menos que la escala se ilumine de forma independiente. Algunas empresas producen una escala que tiene las unidades de medida impresas en la cara inferior de aquélla, colocándolas más cerca del plano de la información. En general, las escalas translúcidas parecen proporcionar una densidad mejor que las escalas claras.

Fluorescentes

Diseñadas principalmente para fuentes de luz alternativa y por lo general son del tipo de sistema adhesivo. Las escalas presentan fluores-

cencia cuando se iluminan con una fuente de luz alternativa, y tienen bloques de contraste alternantes y círculos de perspectiva.

6. Fotografiado de las manchas de sangre

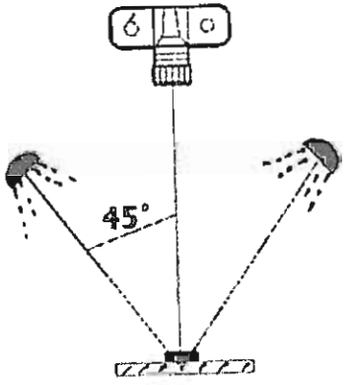
Una vez que se ha completado la recorrida en el escenario del crimen, las notas que se hayan tomado deben ser suplementadas con otras formas de documentación, tal como el videotape, filmaciones en DVD, fotografías y/o croquis/planos/dibujos. Las cintas de video u otro medio similar pueden ser una forma excelente para la documentación de manchas de sangre en la escena del hecho. Si una cámara de video está disponible, es mejor utilizarla después de la caminata inicial a través del lugar; es para registrar las pruebas antes de que se puedan producir alteraciones importantes en la escena. Las filmaciones proporcionan una perspectiva en el diseño de la escena que no puede ser tan fácil de percibir en las fotografías y bocetos. Es un medio visual más natural para que las personas puedan relacionar, sobre todo en la demostración de la estructura de la escena del crimen y de cómo se relaciona la evidencia con esas estructuras. El valor de la filmación de la evidencia de sangre reside en que puede demostrarse la relación global de varias manchas de sangre y los patrones de la misma. Un ejemplo de esto podría ser un homicidio por golpes. En este caso, la grabación en la forma descripta puede mostrar los patrones de salpicaduras de sangre en general y cómo estas salpicaduras son interrelacionadas. La filmación también puede mostrar la relación de las salpicaduras con las diferentes estructuras en el lugar del hecho. En los casos en que el sospechoso pudo haber sido lesionado (como homicidios por apuñalamiento), la cámara de video se puede utilizar para documentar cualquier rastro de sangre que pueda llevar lejos de la escena. Si la grabación es en el interior, la cámara puede mostrar cómo las diferentes áreas se relacionan entre sí y cómo se puede acceder. Esto es especialmente valioso cuando se graban manchas de sangre periféricas que se pueden encontrar en otras habitaciones. La fuente de luz de alta intensidad también es factible de emplear para la iluminación de las manchas de sangre y hacerlas más visibles en la película/filmación. Ya sea que esté disponible o no una cámara de video, es absolutamente esencial que se tomen fotografías estáticas para documentar la escena del crimen y las pruebas de sangre asociadas. Si una cámara de video está disponible, entonces la fotografía fija será el segundo paso en la grabación de la escena del crimen. Si el video no está disponible, entonces todavía la fotografía será el primer paso. Las fotografías pueden mostrar el mismo tipo de cosas que hace la cinta de video, pero también se pueden utilizar para grabar de cerca los detalles, ya sea en cualquier tamaño con la escala, y objetos en tamaño real. Estas medidas y las grabaciones son más difíciles de lograr con cinta de video o similar.

Las pruebas de sangre pueden ser fotografiadas con película de impresión en color y/o película diapositiva en color, o bien con sistemas digitales color. La película infrarroja también se puede utilizar para la documentación de manchas de sangre en superficies oscuras. Todas estas manchas deben quedar registradas con tomas generales, de medio alcance y de acercamiento. Las fotografías con escala son fundamentales en los casos donde la relevancia del tamaño es importante o cuando se van a hacer comparaciones directas (una a una), por ejemplo, con huellas de calzado con sangre, huellas digitales, patrones de alta velocidad de salpicaduras de sangre, etc. Una buena técnica para el registro de una amplia zona de salpicaduras de sangre en una pared de color claro es medir y registrar las alturas de algunas de las manchas de sangre individuales. El patrón general en la pared se fotografía con diapositivas y una escala para referencia métrica; después de ello, se puede proyectar sobre una pared blanca o en la pared real muchos años después del incidente original. Mediante el uso de la escala de mención, las salpicaduras de sangre original se pueden ver en su tamaño real y se colocan en sus posiciones originales. Las mediciones y proyecciones pueden realizarse para determinar los puntos de origen de las salpicaduras.

7. Métodos de iluminación para la fotografía de documentación y toma de acercamiento de evidencias

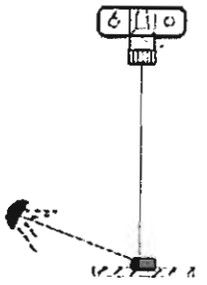
Los métodos siguientes de iluminación son eficaces para fotografiar diversos elementos de prueba. Estos efectos lumínicos deben ser vistos de antemano a fin de seleccionar la mejor técnica de iluminación para la evidencia que se va a documentar.

• *Iluminación directa*: utiliza iluminación normal con una o más fuentes de luz, colocadas a un ángulo de 45 grados.

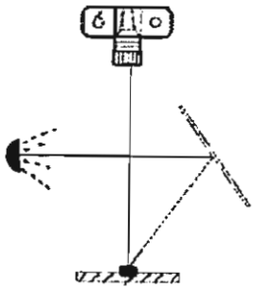


• *Iluminación directa reflejada*: la luz es reflejada directamente al elemento y luego va a la lente. Colocar el objeto a un ángulo de 10 grados desde la lente hasta el plano de la película y ubicar la fuente de luz a un ángulo de 10 grados del sujeto. La fuente de luz se refleja en un ángulo de 20 grados en la lente. La fuente de luz puede necesitar hacerse difusa para evitar puntos calientes. Este método crea un contraste muy alto.

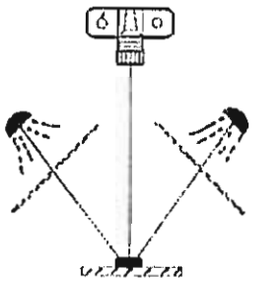
• *Iluminación oblicua*: utiliza una fuente de luz en un ángulo bajo, por lo general para mostrar el detalle creando sombras en la superficie del objeto. Es de uso común cuando se fotografían impresiones, marcas de herramientas y ciertos tipos de huellas dactilares.



• *Iluminación por rebote*: la luz es rebotada a través de una superficie blanca o reflectante. La superficie de rebote se puede colocar en diferentes lugares (por encima o al lado del elemento) para crear el efecto deseado. Esto usualmente produce una iluminación uniforme, con bajo contraste.

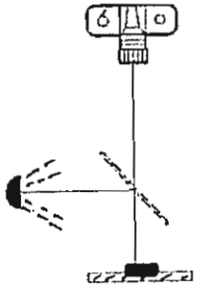


• *Iluminación difusa*: un material opaco se coloca entre la fuente de luz y el elemento, para hacer difusa la luz. Esto usualmente resulta en una iluminación uniforme y con reflejos reducidos.



• *Iluminación transmitida*: con elementos transparentes la fuente de luz se transmite a través del sujeto hacia las lentes. El ángulo de la iluminación transmitida se ajusta de 90 a 45 grados para el efecto deseado.

• *Iluminación axial*: un trozo de vidrio claro se coloca entre el sujeto/elemento y la lente a un ángulo de 45 grados. La fuente de luz se coloca paralela a la película y a 45 grados del vidrio. Mientras la luz se transmite a través del cristal, parte es reflejada directamente hacia abajo sobre el objeto. Esta técnica es efectiva al fotografiar las huellas digitales en espejos y en vasos o tazas.



8. Método de exposición múltiple en fotografía digital de huellas dactilares

a) Introducción

La fotografía forense de impresiones digitales latentes, realizada con evidencia que tiene un sustrato que no es uniforme en cuanto a forma, color, etc., requiere el uso de diversas técnicas. A continuación haremos una introducción del método de exposición múltiple que utiliza la fotografía digital y el procesamiento computarizado de imágenes utilizando la metodología de las capas.

b) Antecedentes

La fotografía de huellas dactilares latentes normalmente requiere el uso de diferentes técnicas de iluminación para superar los problemas surgidos con algunas superficies sobre las cuales se descubren. A veces es difícil (o imposible) capturar, en una sola exposición, todos los detalles con una sola técnica de iluminación. Este problema se encuentra con frecuencia en superficies curvas, debido a que los múltiples ángulos de la luz no pueden proporcionar la iluminación óptima simultánea a todas las porciones de la impresión. Los problemas también se pueden encontrar cuando son necesarias varias longitudes de onda de excitación o diferentes filtros, para proporcionar una exposición adecuada de las distintas áreas de la misma huella.

En la fotografía forense convencional existen varias soluciones a los problemas antes mencionados. Por ejemplo, cuando una fuente de luz no cubre la superficie total de la huella latente, se puede emplear la técnica de "pintado con la luz". Otra técnica que se utiliza en estos casos es la superposición (es decir, la doble exposición de dos imágenes, una encima de la otra, expuesta en el mismo negativo o cuadro de película). Esta técnica es compleja y no es de uso frecuente en la fotografía forense. Por otra parte, la técnica de exposición múltiple digital es simple y productiva porque la fusión de imágenes múltiples es más fácil de controlar en el equipo (computadora). Este sistema digital es una nueva aplicación de una técnica antigua y no ha sido informado previamente.

c) Presentación del método

La principal ventaja de combinar varias imágenes en una sola imagen es que esto permite una mejor visualización de las partes seleccionadas de una impresión latente, sin afectar al resto de la imagen. Las capas son similares a las páginas de transparencias que se pueden superponer o colocar una encima de la otra. Cuando hay una imagen en una capa superior, se puede ver la capa inferior a través de la utilización de una máscara de capa.

La técnica de exposición múltiple es la superposición de dos o más fotografías separadas de la misma impresión, tomada con una cámara digital, mientras que la posición física de la cámara y el sujeto (huella) están absolutamente estables (quietos).

Debido a que varios parámetros pueden variar, todo el proceso debe ser totalmente documentado. Los parámetros que se pueden cambiar entre las diferentes fotografías incluyen el ángulo de la fuente de luz, la fuente de luz, la longitud de onda de la iluminación y la exposición. Los parámetros ideales varían de acuerdo a la topografía de la superficie, la naturaleza de la superficie o la ubicación de la impresión latente dentro de esa área.

Debido a que las fotografías están tomadas con una cámara digital, es muy importante mantener el formato de archivo (se debe utilizar el formato RAW cuando esté disponible) y el tamaño constante. La razón de esto es que un cambio en el tamaño del archivo puede impedir la alineación precisa entre las fotografías cuando se superponen en capas separadas.

Después que las fotografías han sido tomadas y que un archivo original se ha conservado por separado para cada fotografía, se puede crear una composición con el software Adobe Photoshop; este formato de archivo permitirá una capa separada para cada imagen. Otros programas de procesamiento de imágenes pueden tener funciones similares y capacidades. Al crear el archivo compuesto, es importante entender que la alineación de las diferentes capas es crítica.

La siguiente etapa es la creación de máscaras para cada capa. Las máscaras para cada capa se pueden crear tanto para ocultar el área seleccionada como para revelar sólo el área seleccionada. Las áreas de la imagen se pueden seleccionar con cualquiera de las herramientas convencionales (por ejemplo, el Paintbrush). Sobre cada capa, la capa debe ser enmascarada, para permitir que se muestre el área latente capturada de manera óptima en la imagen, ocultando las otras áreas que fueran capturadas, pero mostradas en diferentes capas. En los casos en que la información en un área determinada dentro de dos o más capas es complementaria, hay una opción para especificar la máscara de la capa superior como porcentaje (por ejemplo, 50%), por lo que el resultado incluirá tanta información de cada capa como sea posible.

A menudo, los resultados finales se pueden mejorar cambiando el orden de las capas, creando así una mezcla mejorada de la imagen compuesta. Otras opciones permiten la fusión de capas, la adición de capas de ajuste y el uso de estilos de capa/estrato.

La última fase del proceso consiste en lograr la uniformidad en todas las capas mediante el ajuste de colores, brillo y contraste, la fusión de todas las capas, y la conversión del archivo final a escala de grises. El resultado es una imagen de la impresión latente que es una fundición/unión computarizada de la mejor porción de cada imagen, tomada con el fin de mostrar la máxima información disponible dentro de la huella latente original.

d) Exposiciones diferentes y técnica de superposición de fotos

Esta técnica se recomienda en casos donde el objeto incluye fuertes diferencias en los niveles de brillo de varias áreas dentro de la huella latente, y las diferencias de exposición consisten en tres aperturas o más. Por lo general, este fenómeno se produce cuando la impresión aparece parcialmente en una zona oscura y parcialmente en una zona de luz. La calidad del detalle en las áreas oscuras se debe comprobar antes de usar esta técnica.

e) Fusión de fotografías que fueron tomadas desde diferentes ángulos de fuente de luz

Esta técnica se recomienda en los casos en que la huella latente aparece en la parte superior de los objetos que no tienen una topografía de superficie uniforme (por ejemplo, una superficie cóncava o convexa). Si la superficie es brillante, entonces el problema de la reflexión se puede corregir mediante el control del ángulo de una sola luz. En este tipo de superficie, por lo general es imposible ver la huella completa al mismo tiempo, y la fuente de luz debe ser ajustada para poder destacar las dife-

rentes áreas de la impresión. A veces un ángulo diferente de fuente de luz no es suficiente y se deben emplear diferentes fuentes. Aquí aplicarían los mismos procedimientos de la técnica.

f) Conclusión

La aplicación de las técnicas de exposición múltiple en la fotografía digital y el uso del procesamiento de imágenes, tal como se ha descripto, proporciona una gran cantidad de oportunidades para obtener mejores fotografías de las huellas dactilares latentes. Se recomienda utilizar esta técnica cuando se toman fotografías de las huellas dactilares latentes sobre superficies que reflejan la luz (por ejemplo, metales o vidrio) o superficies fluorescentes, especialmente cuando el uso de una sola fuente de luz o el ángulo de la fuente no es suficiente para obtener todos los detalles de la huella latente.

Debe tenerse gran cuidado en el mantenimiento de la cadena de evidencia. Para cada trabajo, se recomienda el uso de una carpeta separada que debe contener las fotografías originales intactas. Todas las fotografías digitales deben ser elaboradas utilizando las copias de las fotografías originales, de preferencia en un directorio separado llamado "tratamiento de la imagen". La imagen procesada final debe ser inspeccionada y comparada con las imágenes de origen, para garantizar que no se han introducido elementos. La persona que realiza el tratamiento debe ser capaz de demostrar en el tribunal el origen de todas las partes de una imagen compuesta y explicar las técnicas utilizadas.

9. Fotografía de las huellas de calzado

a) Introducción

El propósito de este tema es discutir el proceso de registro/grabación de las impresiones del calzado en la película. Los pasos y las consideraciones que se van a presentar se realizarán de manera sistemática con el fin de proporcionar una "lista de comprobación" para estudiar, con el fin de preparar al lector para este ejercicio de recuperación de datos/información.

b) Definición

El término "impresión" se va a utilizar cierto número de veces en este tratamiento. A tal fin, digamos que impresión se define como imágenes ya sean bi o tridimensionales de calzado que se encuentran en la escena del crimen. Por ejemplo: una imagen de dos dimensiones sería la de una huella de calzado producida a raíz de la presencia de polvo existente en un trozo de vidrio, en una puerta de entrada a un domicilio, en el punto donde fue forzada con fines de robo. Una imagen de tres dimensiones sería una impresión de calzado recuperada en la nieve.

c) Equipo necesario

Una cámara de buena calidad de 35 mm o 120 mm debería ser el punto focal del bolso de la cámara de cualquier examinador de la escena del delito. La cámara debe tener posibilidades de ajuste de diafragmas y velocidades de obturación regulables. Una lente estándar sería el objetivo de elección para la fotografía de calzado, ya que una lente gran angular tiende a distorsionar la imagen que se está registrando. A pesar de que muchas impresiones de calzado pueden ser fotografiadas con luz de día, un accesorio de flash debe ser obligatorio. Asegurarse de que el flash tenga la característica que permita su uso fuera de la cámara, ya que la fotografía de huella de calzado se hace siempre de esta manera. Un cable de disparo a distancia y el trípode también debe ser considerado como equipo estándar, ya que este tipo de fotografía se hace a veces en situaciones de poca luz, que requieren velocidades de obturación lentas. Recuérdese: una buena regla es nunca tratar de sostener manualmente una cámara a una velocidad de obturación más lenta que 1/30 segundos. Por último, recordar siempre tener una escala para todas las fotos de calzado, y la razón es obvia:

El propósito de tomar una fotografía de una huella de calzado es para grabarla para una o más futuras comparaciones posibles con zapatos sospechosos. Para el técnico del cuarto oscuro que va a hacer una ampliación a escala del negativo que el perito le proporciona, tendrá que existir en la imagen de la impresión una escala o regla próxima a la huella.

d) El registro/grabado de la impresión en la película

La impresión de dos dimensiones a menudo es la más difícil de recuperar y documentar a través de la fotografía. Imaginemos la impresión de polvo en la puerta, a la que nos referimos anteriormente: el primer paso a considerar en la toma de una fotografía de esta impresión es tomarla desde el mismo lado en que se realizó. Las impresiones en tres dimensiones ofrecen sus factores de dificultad propia, pero se utilizan muchas de las mismas técnicas que para las bidimensionales. Antes de tomar la foto, en primer lugar comprobar la iluminación que rodea a la escena; si está al aire libre y hay sol, una impresión tridimensional en un medio blando como la arena o la nieve puede ser bastante fácil. Por la misma razón, la luz del día que viene a través del cristal de la impresión hecha en polvo también puede ser un beneficio.

El primer aspecto a tener en cuenta (y esto va para las impresiones en tres dimensiones también) es llenar con la huella el encuadre en el visor de la cámara. En otras palabras, si se mide 1,80 m de altura, no hay que tomar la fotografía desde un punto a nivel del ojo; conviene agacharse y acercarse a la impresión tanto como sea posible. La razón principal para hacer esto es que el técnico que va a revelar la toma no tendrá que am-

pliar el negativo en una medida tal que la impresión pierda definición. A continuación, colocar una escala al lado de la impresión. Si el soporte fuera un vidrio, se puede utilizar la cinta adhesiva que contiene una "regla", la que simplemente es una cinta en papel con marcas de regla impresas. A continuación, cargar la cámara con película blanco y negro o color, de preferencia una película con un ASA/ISO de no más de 100. Si la impresión se encuentra en un vidrio con la luz del día que atraviesa el cristal por la parte trasera de la impresión, resultará una toma muy fácil de hacer. Se aconseja repetir la toma con un grado de exposición más alto y otro más bajo al ya concretado (de esta manera se logran fotografías sobre y bajo expuestas, que pueden ser útiles).

Si la impresión se encuentra en un vidrio pero en el interior de una vivienda, o en condiciones de iluminación tan oscuras como para hacer necesario el uso de un flash, las adaptaciones de la técnica son necesarias, y si se las domina, las fotografías excepcionales se harán realidad. El mayor enemigo para el fotógrafo en una situación como ésta es el reflejo del flash ("rebote" posterior de la superficie de cristal reflectante en la lente de la cámara). El flash "quema" el negativo y produce manchas de luz que se reproducen en la impresión. Para superar este problema, conectar el flash a la cámara con la ayuda de un cable en espiral y mantenerlo (el flash) en un ángulo de entre veinte y cuarenta grados de la superficie lisa del cristal:

Las impresiones en tres dimensiones pueden no tener la superficie reflectante que causa un problema tal como lo haría en una impresión bidimensional, pero una impresión en un medio blando tiene su propio factor de dificultad: la profundidad. Se utiliza el mismo equipo que en las huellas de dos dimensiones para fotografiar estas estampas.

Cuando la impresión en sí está en la sombra, se hace necesaria la presencia de un flash electrónico para "provocar" el efecto sombra (forma de resaltar los diseños en alto y bajo relieve). Al igual que con la impresión de dos dimensiones, posicionar el flash fuera de la cámara y formando un ángulo con respecto a la superficie de la impresión. Si el flash permite hacer disparos de prueba, hacerlos en distintas angulaciones y observar la maniobra por encima de la cámara, para apreciar cuál fue el mejor resultado de contraste que favorece al resurgimiento de la huella. Al hacer esto, se puede obtener una indicación muy buena en cuanto al ángulo en que el flash debe ser colocado, y desde qué dirección debe provenir.

Es muy importante colocar la escala (regla) en el mismo plano que la base de la huella al fotografiar una impresión tridimensional. Si se va a fotografiar una impresión de calzado que ha sido encontrada con la base hundida a 3 cm de profundidad en la arena, hay que cavar un surco de 3 cm de profundidad junto a la impresión y colocar dentro la regla. Esto es necesario para que, al hacer la ampliación a escala, el técnico sea capaz de obtener una reproducción exacta de la impresión de calzado encontrada en la escena.

IX. LA PLANIMETRÍA Y SU APLICACIÓN EN LA ESCENA DEL DELITO

1. Introducción

Además de la labor propia del dibujante-planista (técnico especializado), todos los autores que han tratado el tema están de acuerdo en que el investigador no sólo debe llevar debida nota de sus observaciones, referencias, datos y demás detalles de relevante importancia, sino que, además, deberá llevar a cabo un plano, bosquejo o croquis en el que incluirá ubicaciones de objetos, cuerpos y huellas, referencias métricas y demás acotaciones pertinentes. Desde ya éste no será un plano profesionalmente elaborado, pero sí deberá constituir un perfecto ayudamemoria para el interventor.

Dicho elemento debe cumplir con las siguientes reglas básicas:

a) El plano debe estar orientado de acuerdo con los puntos cardinales, que figurarán en él.

b) Quien lo realiza debe tomar y verificar las medidas por sí mismo, no pudiendo confiar esta operación a otra persona ajena a la especialidad.

c) El plano no debe estar sobrecargado, vale decir, no debe contener nada que no esté directamente vinculado con el hecho investigado, ya que la fotografía se encarga de registrar y documentar el contenido total de la escena del delito y sus adyacencias.

d) El planista no debe confiar en su memoria para acotar o enmendar algo que debe figurar en el croquis. Todo debe anotarse en el mismo lugar, puesto que la memoria es falible.

e) El croquis debe ser hecho a escala. La misma varía con la mayor o menor extensión del lugar a representar a través del plano.

A mayor extensión, menor escala. La escala aplicada debe consignarse en el plano para su total y mejor interpretación.

La autoridad que interviene en un hecho no está obligada a ser un técnico, pero sí es necesario que pueda aprovechar al máximo las posibilidades que brindan las ciencias, las artes y las técnicas aplicadas a la investigación policial, debiendo adquirir destreza y seguridad en las disciplinas que estén a su alcance, ya que la suma de todo lo adquirido en provecho de la función forma al profesional.

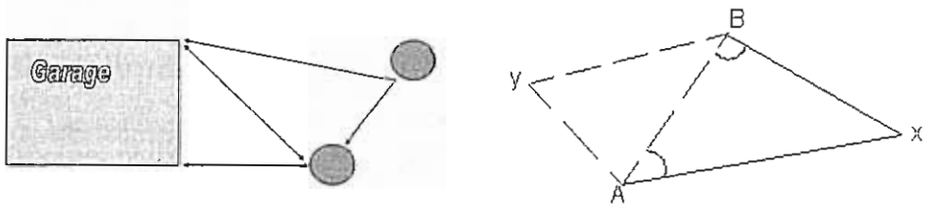
Una buena ilustración vale más que mil palabras. En la actualidad, la confección de planos está al alcance de todo el que posea prolijidad, orden y exactitud. Ya no es imprescindible en todos los casos contar con un dibujante profesional, dado que existen en el mercado una enorme cantidad de elementos, equipos y materiales que, además de facilitar la tarea, le dan a la misma un efecto profesional (no consideraremos en este sentido los valiosos programas creados para ser empleados en computadoras, ya que requieren una inversión más onerosa).

2. Mediciones en la escena del delito

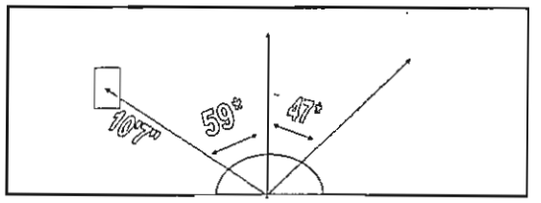
La precisión de una medición en la escena del crimen y/o el croquis dependen del propósito de las mediciones. Un boceto suele ser elaborado desde una perspectiva aérea, no en 3D, o puntos de vista laterales, con el fin de conocer exactamente las distancias y las relaciones de los objetos. Las fotografías se utilizan generalmente para una representación de la vista lateral y los modelos se construyen para dar una visión en 3D. Se mide la escena con el fin de sacar conclusiones de ello. Estas inferencias se pueden hacer mientras se permanece en la escena o más tarde, con una escena recreada o un dibujo. El dibujo también permite que la justicia saque conclusiones en el juicio.

Hay tres técnicas básicas para la toma de mediciones horizontales y/o verticales en una escena: triangulación, coordenadas polares y coordenadas rectangulares. Cada una puede ser elaborada o combinada en una escena en particular. Todas las mediciones comienzan a partir de uno o más punto/s de partida fijo/s o conocido/s, para que puedan volver a recrearse en caso de ser necesario. Es deseable la orientación de este/os punto/s de partida hacia el norte, o en alguna otra dirección de referencia.

Triangulación: Se seleccionan dos puntos fijos en una escena y se mide la distancia entre ellos. Se hacen luego mediciones de distancia o angulares a los objetos en la escena desde cada uno de estos dos puntos. Las líneas discontinuas indican la medición de las longitudes de línea de base y los dos lados. Las líneas continuas indican la medición de los ángulos de los dos lados con respecto a la línea de base.



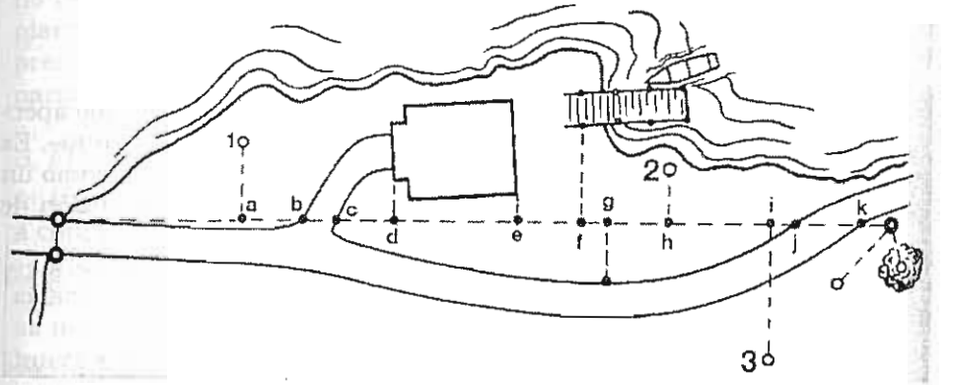
Coordenadas Polares: Miden tanto la distancia como la dirección (ángulo) a la que un objeto está desde un punto de referencia conocido.



El ángulo se puede medir ya sea con un transportador grande o con un dispositivo óptico, como una brújula. La técnica del transportador de ángulos con un transportador de 360 grados es útil para las escenas bajo el agua. El punto de partida debe fijarse de manera que pueda ser reproducido. Su distancia desde la esquina del edificio se indica en el dibujo.

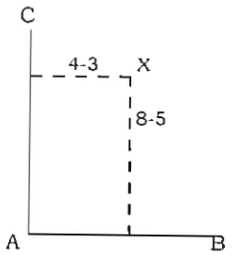
COORDENADAS RECTANGULARES:

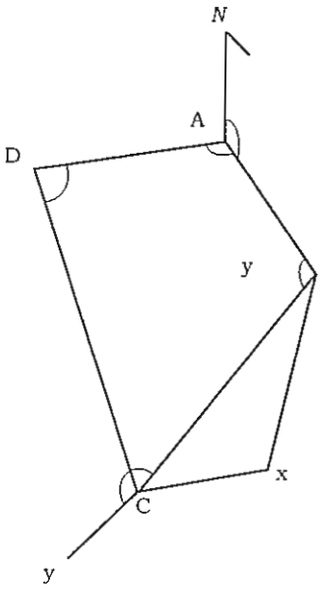
Línea base. La forma más simple del sistema de coordenadas. Utiliza una línea recta entre dos puntos conocidos, los elementos se miden a lo largo de la línea y perpendicularmente desde la línea. Dentro o fuera de una casa, esta línea puede ser una pared recta. Los escenarios al aire libre pueden utilizar una cuerda o cinta larga como referencia o línea de base.



Modelo de plano con aplicación del método de las coordenadas

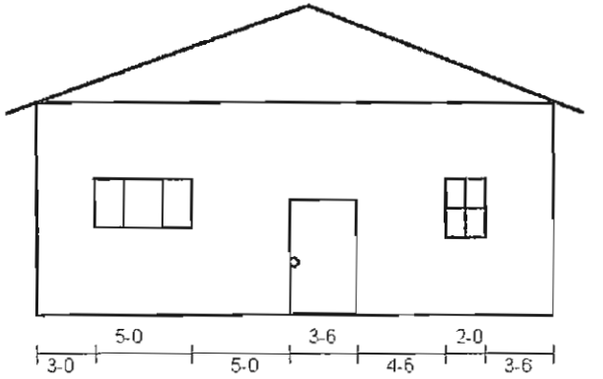
Grilla. Mide la distancia de elementos desde dos líneas base perpendiculares. Esta técnica es especialmente apropiada en un cuarto con paredes perpendiculares o al aire libre, con calles perpendiculares. Ésta es una extensión del sistema de coordenadas polares. A partir de un punto y una dirección conocidos, una distancia y el azimut se miden hacia un punto intermedio. A partir de ese punto se miden una distancia y el azimut de un segundo punto intermedio, etc. Los elementos se pueden medir mediante triangulación (por ejemplo, "x") o coordenadas polares (por ejemplo, "y") desde los puntos intermedios (ver imágenes en la página siguiente).





Hay dos enfoques para la medición de características tales como aperturas de puertas y ventanas en una casa –con intervalo y continuo–. Es decir, se pueden medir las características en el dibujo de abajo como un conjunto de intervalos. Si se utiliza, se debe realizar una medición de verificación de la distancia total.

O bien las características se pueden medir continuamente mediante la colocación de una cinta métrica en el frente de la casa, a partir de una esquina, como en el siguiente dibujo.



El enfoque continuo deja menos posibilidades de torpezas/errores y una mejor oportunidad de capturarlos si es que ocurren. Dado que uno no puede acercarse demasiado a todas las características debido a las plantas, etc., se puede desear medir ciertas características con mayor precisión, como control, o porque esas características son de interés particular.

3. Elementos clásicos para la confección de planos/croquis

Una clasificación posible de tales elementos sería la que se desarrolla a continuación:

1. Plantillas. Hay planchas de plástico, acrílico o celuloide en las escalas habitualmente utilizadas (1:100; 1:50; 1:25, etc.), en las que sólo es necesario pasar el lápiz, la lapicera o el marcador por los bordes del hueco para dar forma a personas, vehículos, muebles, artefactos, árboles y vegetación, flechas, círculos, elipses, etcétera.

Por lo tanto, ya descartaremos aquí la antigua tarea del dibujante, y posiblemente la más difícil para el profano. Para las tareas comunes y diarias bastarán 3 o 4 plantillas básicas.

2. Letras. Éste es otro de los grandes problemas superados, ya que hay una enorme cantidad de modelos, tamaños y colores que se aplican por presión o autoadherencia. No debemos excluir como opción el empleo de letrógrafos o plantillas con letras y números para su uso con marcadores o fibras especiales.

3. Escalímetros. Hay en forma plana, en reglas de tres caras o en prácticos estuches de bolsillo que comprenden pequeñas reglas planas flexibles. Cualquiera de estos sistemas no tiene menos de 8 escalas.

4. Papel milimetrado. De mucha utilidad son las hojas de papel, en varios tamaños de uso, en las que se encuentran líneas reticuladas ho-

rizontales y verticales que dividen en centímetros y milímetros. Es imprescindible el uso de las mismas cuando se quiere prescindir del escalímetro, ya que las líneas del papel milimetrado permiten trabajar con absoluta seguridad en planos de escalas 1:100; 1:50, etcétera.

Con lo explicado podemos apreciar que los problemas considerados de mayor importancia en cuanto a la técnica del dibujo están superados.

4. Trabajos planimétricos más frecuentes

1. De la localidad o zona. Se utiliza para graficar los pormenores de toda la zona aledaña al lugar del hecho, los trayectos de vehículos o personas, los pormenores que se crea puedan tener relación o importancia con lo investigado o que revisten interés general.

2. De la finca. Es el plano que abarca toda la parcela de terreno donde se halla ubicada la casa en la que se cometió el delito.

Además, reproduce, en su proyección horizontal, los contornos de todas las dependencias internas de la casa. Este trabajo resulta de interés para ubicar todo el recorrido seguido por el o los delincuentes desde su entrada hasta su salida del lugar, e incluso el desplazamiento en las habitaciones de la misma.

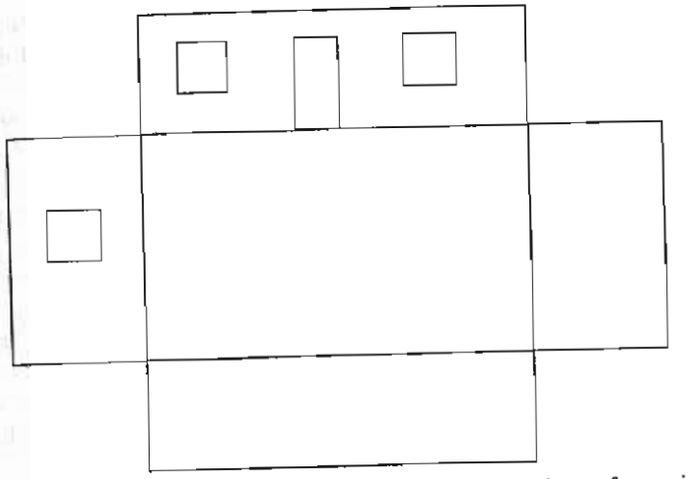
3. De detalle. Se efectúa circunscribiendo el mismo al recinto, habitación o lugar, donde en virtud de la apreciación se estima se haya cometido el hecho delictuoso.

4. Sistemas de levantamiento. Ellos son: horizontal, vertical, paredes rebatidas y perspectiva.

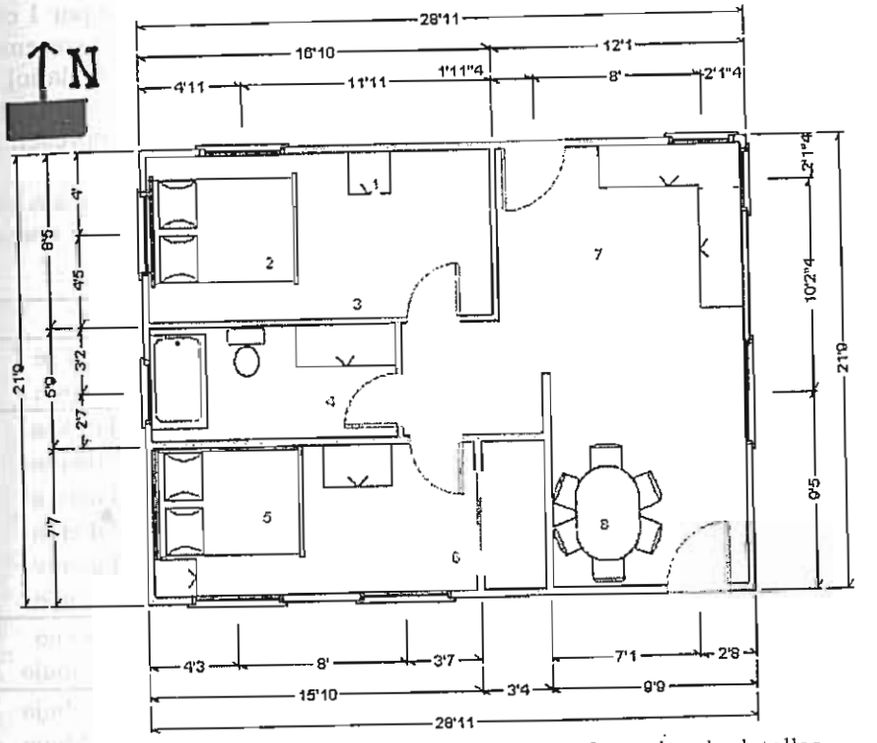
a) *Plano horizontal o vista en planta*: es el que grafica el perímetro de la habitación o finca con todos los objetos y muebles que contiene. Se dibuja sobre el plano del piso como si estuviera visto desde el techo.

b) *Vertical o vista en corte*: es el dibujo de paredes o frente de una casa, vale decir, lo que es dable ver si seccionáramos con un plano vertical un determinado sector del inmueble. En él se detallan las aberturas y todos los detalles de interés en señalar (manchas, impactos, etcétera).

c) *Paredes rebatidas*: en el mismo se grafica la parte del suelo como en un plano horizontal, más los correspondientes a las paredes, que también se representan en forma horizontal, como si las mismas se hubieran volcado mediante bisagras, hacia los costados. Este tipo de plano tiene origen en las primitivas maquetas de cartón que se plegaban luego de dibujarlas, dando representación real del lugar. Debe tenerse en cuenta al confeccionar el mismo que un objeto arrimado a una pared tiene doble representación, una por su base en el plano centro horizontal correspondiente al piso, y la otra, por su altura y ancho (correspondiente a la pared).



Modelo de plano de paredes rebatidas. Faltan las referencias, las medidas y la escala.



Ejemplo de plano terminado (le faltan referencias de detalles tales como el nombre de los elementos)

d) *Perspectiva*: Es el plano que se realiza cuando se desea tener una apreciación general en profundidad del lugar. De los tratados hasta el presente, es el único que debe ser realizado por un dibujante o alguien que posea conocimiento de las leyes de la perspectiva. Puede suplirse con fotografías.

Elementos fundamentales del plano: todo plano debe tener una serie de especificaciones sin las cuales dejaría de prestar verdadera utilidad, siendo las principales la escala, la orientación y la referencia.

En lo que atañe específicamente a la escala, diremos que se denomina así a la relación existente entre el terreno y el plano que se ha dibujado del mismo. Es imprescindible para obtener datos métricos del lugar o cosas graficadas en el mismo. La escala puede ser:

– *Numérica*: se expresa en números, por ejemplo 1:100, lo cual significa que una parte del plano debe multiplicarse por 100 para determinar la medida correspondiente al terreno graficado.

– *Gráfica*: consiste en un segmento numerado, del cero hacia la izquierda con la medida que se desea representar; por ejemplo, en una escala 1:100, cada metro del terreno está graficado en el plano por 1 cm; por lo tanto, en la base del plano, normalmente a la derecha, trazaremos determinados tramos de 1 cm (denominándolos metros en el plano), y hacia la izquierda del cero representaremos los tramos de la escala en fracciones menores, por ejemplo: 10 fracciones de 1 mm, que representarán 1 dm de terreno cada una.

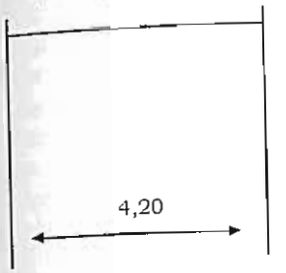
En esa forma podremos medir cualquier valor del gráfico, aun sin elementos de medición, utilizando un compás o un simple papel que apoyaremos sobre el gráfico.

ESCALAS MÁS UTILIZADAS

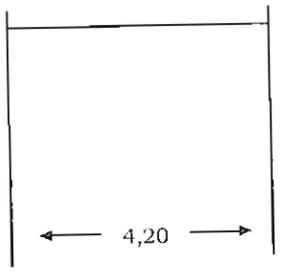
Planos	Escalas	1 cm del dibujo representa a:	1 metro real se representa por:
De detalles	1:1	0,01 m real	1:00 m en el dibujo
	1:5	0,05 m real	0,20 m en el dibujo
	1:10	0,10 m real	0,10 m en el dibujo
	1:20	0,20 m real	0,05 m en el dibujo
	1:25	0,25 m real	0,04 m en el dibujo
	1:50	0,50 m real	0,02 m en el dibujo
Generales	1:100	1,00 m real	0,01 m en el dibujo
	1:200	2,00 m real	0,005 m en el dibujo
De ubicación	1:500	5,00 m real	0,002 m en el dibujo
	1:1000	10.00 m real	0,001 m en el dibujo

INDICACIÓN DE MEDIDAS
REPRESENTACIÓN CORRECTA

en arquitectura



en ingeniería



Ver imágenes 1 y 2 en el Anexo fotográfico

INSTITUTO PERUANO DE CRIMINOLOGÍA Y CIENCIAS PENALES
INPECRIM
BIBLIOTECA

Capítulo II

LA ANTROPOLOGÍA FORENSE EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

I. Introducción

La antropología ("anthropo", hombre, y "logía", "ciencia") es una ciencia que estudia al hombre en su totalidad, incluyendo los aspectos biológicos y socio-culturales como parte integral de cualquier grupo y/o sociedad.

Su objeto de estudio es compartido con otras ciencias como la biología, la psicología, la historia, la economía o la política, entre otras. Sus interrogantes se centran en el hombre como miembro del reino animal y en su comportamiento como ser social. Se clasifica en varias ramas. El esquema más clásico la divide en antropología física, antropología biológica, antropología sociocultural, arqueología y lingüística.

Con el tiempo se han desarrollado nuevas especialidades cada vez más centradas en problemáticas determinadas, tales como antropología urbana, médica, etnobotánica o etnomusicología, entre otras.

Sintetizando, digamos entonces que la antropología es la ciencia que estudia a la persona desde aspectos variados: por su forma externa (somatología), por su esqueleto (osteología), por sus órganos internos (esplacnología). Aplicada a la identificación se refiere fundamentalmente a la antropometría y a la somatología. Se considera al conde de Buffon (Georges Louis Leclerc de Buffon, 1707-1778) como el verdadero fundador de la antropología. En su obra principal la *Histoire Naturelle Génerále et Particuliere des Animaux* (1749), presenta problemas de carácter antropológico, como son: 1) la especie, su existencia y variaciones, 2) relaciones entre el hombre y los animales, y 3) las razas humanas.

En cuanto a la antropología forense, podemos expresar que tiene principalmente como fines el estudio de los restos óseos esqueléticos con el objeto de llegar a la identificación personal, averiguar la causa de la muerte, la data de la muerte, la edad, raza, sexo, estatura del sujeto, antiguas lesiones óseas, marcas profesionales, estudio de la cavidad bucal y todo cuanto sea posible siempre para proporcionar información a los

investigadores policiales, para que puedan llegar a la identificación del sujeto y tratar de reconstruir la mecánica de hechos y lesiones. Además de ello, estudia al sujeto vivo y sus características biotipológicas así como su posible relación con los hechos delictivos.

La base del trabajo antropológico es la certidumbre de que los huesos son como un papel de calco en el que han quedado registrados cuantos acontecimientos han tenido lugar a lo largo de la vida del individuo, especialmente los traumatismos que han llevado a la muerte de la víctima. De tal manera, las huellas del arma o armas homicidas, ya sean armas blancas o proyectiles disparados con armas de fuego, armas contundentes y aun venenos son conservados fielmente por los huesos a pesar del tiempo transcurrido, sean años o siglos.

Las lesiones antiguas cicatrizadas sobre el esqueleto, fracturas consolidadas con restos de deformaciones o callos óseos, patología demostrativa retrospectivamente, propia de cada edad, patología de los primeros años de vida que ha quedado marcada en los dientes o de detención del crecimiento óseo de los huesos largos, siempre son visibles en el esqueleto. Lo mismo que éste conserva huellas de patología sistemática, marcas profesionales, lesiones dentarias reparadas por dentistas, pérdidas dentarias, prótesis, etc. Todo queda impreso en el sistema óseo en un código que se puede llegar a descifrar con paciencia y observación muy detallada.

El cráneo también es una parte indispensable para llegar a deducir cómo era el rostro del sujeto, lo cual se logra por diversos métodos tales como: a) equipo electrónico, una computadora-analizador de formas con circuito cerrado de televisión que permite obtener la silueta de frente y de perfil del cráneo que se muestra al ordenador, añadiéndole las partes blandas probables que tuvo el individuo; b) reconstrucción de las partes blandas por medio de plastilina o arcilla aplicadas sobre la cara conservando los espesores medios según unas tablas milimétricas; c) plasmado gráfico del probable rostro de la víctima, con la ayuda de un buen artista-dibujante; d) cotejo de fotografías de supuestas víctimas con el cráneo en estudio.

La radiografía es muchas veces definitiva para llegar a una identificación, es decir, cuando se cotejan, por ejemplo, radiografías de sujetos desaparecidos obtenidas en clínicas, hospitales, etc., con las correspondientes del cráneo de la víctima (en muchos casos se considera el hecho de que los senos frontales son las huellas dactilares del cráneo).

Otros aspectos de la antropología forense son los estudios y las peritaciones realizadas en exhumaciones de personajes famosos de la historia, lo cual permite desentrañar misterios e incógnitas del pasado, con una relativa facilidad para el ojo avezado en este tipo de investigaciones.

Finalmente digamos que la participación del antropólogo forense es sumamente importante en ocasión de grandes catástrofes, tales como terremotos, desastres ferroviarios, aéreos, incendios de teatros o lugares similares de mucha concurrencia, aludes de nieve, hundimiento de minas, huracanes, etc., donde hay un número elevado de víctimas, gran parte de las cuales quedan carbonizadas o despedazadas. En estos casos es indispensable que el especialista de mención pueda llegar a reunir los fragmentos humanos que supone la dispersión, la fragmentación y la carbonización, especialmente en los hechos donde los restos no pueden ser identificados ni por las huellas dactilares, ni por los objetos, documentos o situación del cuerpo; el estudio de los restos óseos permite, en estas situaciones, llegar a numerosas identificaciones.

II. ANTROPOMETRÍA

El objetivo inicial de la antropología, que es la ciencia que estudia al hombre, fue la antropología física, cuyo fin era estudiar las características somáticas que permiten clasificar al hombre según éstas. Esta ciencia estuvo íntimamente ligada al estudio de las razas humanas.

Digamos entonces que la antropología física estudia los rasgos y las características generales de la especie o subespecie a la que pertenece el hombre, así como los caracteres físicos que permiten individualizarlo y llegar a su identificación personal. Interesa entonces la medición de la forma corporal y especialmente esquelética, sus variaciones y sus causas normales, patológicas y accidentales, la influencia del medio ambiente, las condiciones socioeconómicas, y todo cuanto haya dejado su marca o haya ejercido influencia sobre el cuerpo humano. De esta manera, las diferencias de raza, estatura, sexo, edad y los caracteres específicos de cada individuo, permitirán llegar a la identificación individual, es decir, la averiguación de la verdad al servicio de la justicia.

En síntesis, de la antropología física hablaremos sobre todo de la técnica antropométrica aplicada a la antropología forense, ya que habrá situaciones en las que el antropólogo forense tendrá que realizar un peritaje en un sujeto vivo, aunque la mayoría de las veces será la antropometría de los restos esqueléticos o semiesqueletizados la finalidad de su trabajo.

a) Lombroso, Bertillón

En el último tercio del siglo XIX cobró notoriedad la antropometría criminal a raíz de la aparición del ensayo de Cesare Lombroso "Antropometria di 400 delinquenti veneti" (1872), en el que se desarrollaba la teoría del delincuente nato, hoy rechazada de plano por los investigadores.

Luego, en 1879, aparece Alfonso Bertillón con su obra *El Bertillonaje*. El sistema de Bertillón era más bien un nuevo sistema identificativo, un procedimiento de clasificación para poder encontrar la fotografía y la descripción de los rasgos fisonómicos y de las señas particulares de los detenidos reincidentes, el cual descansa sobre estos tres principios:

1. la firmeza de la armadura ósea humana a partir de los 20 años;

2. la extrema diversidad de dimensiones que presenta el esqueleto de los hombres comparados entre sí;

3. la facilidad y relativa precisión con que pueden ser medidas ciertas dimensiones del esqueleto humano.

El procedimiento consta de cuatro principios fundamentales:

a. el señalamiento antropométrico;
b. el señalamiento descriptivo;
c. el de las marcas particulares;
d. la fotografía.

Las medidas practicadas son las siguientes:

- talla, brazos y busto;
- longitud de la cabeza;
- ancho de la cabeza;
- diámetro bizigomático;
- longitud del pie, del dedo, del auricular izquierdo y del codo.

Este sistema permitió la identificación de infinidad de delincuentes, especialmente en los casos de reincidentes. Cuando se descubrió el valor de las huellas dactilares, decayó el "bertillonaje" pero no desapareció totalmente. Hoy en día en algunos países se utilizan combinadas las medidas de Bertilllón en la ficha policial junto con las huellas dactilares y palmares.

b) Instrumentos utilizados

En los equipos de antropometría suelen incluirse:

- un antropómetro (tubo de acero inoxidable), para medir estaturas;
- calibres grandes para medir los diámetros transversales de la pelvis y otros más pequeños para medir anchuras dentales, por ejemplo;
- compás de espesor para mediciones en vivo (puntas romas) o en el esqueleto (puntas agudas);
- cinta métrica, preferentemente metálica y de lienzo;
- tabla osteométrica para determinar longitudes de huesos;
- paralelógrafo;
- goniómetro (para medir ángulos);
- cranióforo, que sirve para situar el cráneo según el plano auriculo-orbitario o plano horizontal;
- diágrafo de Martin, para obtener proyecciones ortogonales de los huesos;
- dioptrógrafo, destinado a obtener proyecciones ortogonales del cráneo.

c) Examen tipológico del cráneo

Antes de llevar a cabo las mediciones del cráneo, se debe proceder a inspeccionarlo anotando todo lo que llame la atención del mismo. Los puntos de vista desde los que se observe se denominan normas y pueden ser:

- superior, vertical o de Blumembach;
- lateral o de Camper;
- anterior, facial o frontal de Prichard;
- basal, inferior o de Owen;
- posterior, occipital o de Lorillard.

Todo el estudio se complementa con la craniometría (medidas craneales), el volumen craneal, el espesor craneal, el peso estimado del encéfalo, el peso del cráneo y el peso de los dientes.

También se incluyen índices tales como el cefálico, vertico-longitudinal, vertico-transversal, frontal, facial total, facial superior, orbitario, nasal, palatino, mandibular, arcada alveolar, agujero occipital, etc. Cabe aclarar aquí que la forma de un órgano se expresa numéricamente por la relación aritmética de una dimensión a otra que se toma como unidad. Se acostumbra a tomar como numerador la dimensión menor y como denominador la dimensión mayor multiplicando el resultado por 100; esto se hace para que el índice sea menor que 100, es decir, por comodidad.

d) Medidas de los huesos largos

Todos los huesos largos tienen tres medidas fundamentales: longitud, perímetro y anchura externa máxima. En todos los huesos largos se puede determinar el índice medular, que es la relación entre el diámetro mínimo del conducto medular y el de la diáfisis del hueso largo.

La longitud de los huesos largos se mide con la tabla osteométrica, el perímetro con la cinta métrica y los diámetros con el calibre; en todos estos huesos se pueden obtener varios índices mediante la combinación de estas medidas, el más común de ellos es el de robustez, o relación entre el perímetro x 100 y la longitud máxima.

e) Estimación de la edad en el esqueleto

Un aspecto importante en todo estudio antropológico es la determinación de la edad del sujeto que se está estudiando, en el momento de la muerte, su valor para la identificación individual es indiscutible. Según la edad de que se trate, la determinación de la edad en los huesos tiene características especiales:

- fetal (prenatal),
- posnacimiento (posnatal),
- infantil,
- adolescente,
- adulto joven,
- madurez,
- vejez (senil).

El organismo humano evoluciona aceleradamente desde la época fetal; el hueso, por su parte, es un elemento vivo que no cesa de sufrir modificaciones, remodelándose continuamente, su crecimiento se detiene en longitud a los 23-25 años.

Crece a continuación en anchura y robustez durante la edad adulta y la madurez, para iniciar alteraciones regresivas (algunas tempranamente), en su mayoría a partir de los 40 años y a mayor o menor velocidad se van instalando en las distintas regiones esqueléticas hasta convertirse en auténtica degeneración y atrofia senil.

De lo expresado hasta aquí surge que en cada edad el esqueleto presenta características muy particulares, no obstante hay que tener en cuenta que existe una gran variabilidad individual en las transformaciones que sufre el hueso debidas a la edad. Por ello, la determinación de esta última está sometida a márgenes de error en más o en menos.

Al procederse a estudiar material ofrecido para estudio, la primera tarea deberá ser determinar si los huesos son de infante (prenatales), de recién nacido, de niño, adolescente, adulto o viejo, ya que para cada caso habrá que utilizar criterios diferentes. En Biología la variabilidad es la regla, y la estabilidad es la excepción, por ende, cuando se hace un análisis de restos se determina una tendencia en torno a la cual hay un margen de variabilidad; en general, la edad se expresa en grupos de cinco o diez años.

f) Determinación de la estatura

Uno de los interrogantes que plantea la justicia en las investigaciones suele ser el de querer conocer la estatura que tenía el sujeto en vida. Al respecto, los antropólogos han basado sus conclusiones en tablas, ecuaciones, etc., de las cuales mencionaremos sólo algunos de sus autores: Orfila (1787 a 1853, Francia), Topinard (1888), Humphrey (1820 a 1896, Inglaterra), Rollet (1888, Francia), Manouvrier (1892 a 1893, Francia), Pearson (1899), Trotter y Gleser (1951, 1952, 1958, EE.UU.), Telkka (1950, Finlandia), Dupertuis y Hadden (1951). Stewart (1979) menciona el método anatómico para la determinación de la estatura que utilizaba Dwight (1894). Fully y Pineau (1960) proponen un método parecido al de Dwight pero más simple. En 1960 Olivier establece porcentajes para cada vértebra que también pueden ser utilizados.

g) Determinación de la raza

Para tratar este tema lo más práctico es dividir a la especie humana en tres grandes troncos: blanco o caucasoide, negro o negroide y xantocrómico, amarillo o mongoloide. Ninguno de estos tres grandes troncos es puro, ya que los blancos norteamericanos están constituidos por una mezcla de todas las razas de Europa y Asia Menor; los negros americanos están

constituidos por negros africanos procedentes de diversas razas africanas que durante muchas generaciones han ido mezclándose con otros grupos blancos e indios, de manera que hay una abigarrada mezcla de híbridos de muy diverso aspecto, y el grupo amarillo o mongoloide es otra tercera gran mezcla de indios americanos y razas asiáticas más recientes.

Si, por otro lado, estudiamos al hombre hispanoamericano de Centroamérica y Panamá y Sudamérica, vemos que sí hay pequeñas agrupaciones sociales que conservan los caracteres aparentemente puros de la raza blanca europea, hay una gran cantidad de población que aún conserva sus caracteres primitivos de indios americanos. Hay muchos mezclados con blancos (mestizos) y muchos negros de la época de la colonización que se han mezclado profusamente con blancos (mulatos), con indios (zambos), disminuyendo cada vez más sus primitivos caracteres, de tal manera que hoy se ha constituido un amplio grupo coloreado en el que pueden identificarse rasgos blancos, negros y mongoloides.

Para su trabajo específico en relación con el presente tema, el antropólogo establece las diferencias más llamativas entre los tres grandes troncos raciales pero existen clasificaciones que siempre son comprometidas y poco prácticas, tales como, por ejemplo, las de Deniker (1889), Dixon (1923), Hadedon (1925), Hooton (1931), Eickstedt (1934), Angel (1981), etcétera.

h) Determinación del sexo

Ésta es una de las finalidades básicas del informe antropológico forense, ya que constituye un paso clave para llegar a la identificación del sujeto.

La tarea no siempre es fácil, ya que existen individuos donde los rasgos no están bien definidos o las características masculinas y femeninas están muy mezcladas, o sólo se dispone de una parte del esqueleto.

Mayor es la dificultad cuando los huesos están muy alterados por el accionar del tiempo o del terreno y, por otro lado, la diferenciación sexual no es la misma en todas las razas.

Otra dificultad que no es menor es la determinación del sexo en los huesos infantiles en los que no se han establecido aún los caracteres sexuales secundarios. Similar inconveniente se tiene con cráneos seniles, ya que con los años varían los caracteres métricos y no métricos y muchos de los que se toman como rasgos para establecer las diferencias sexuales, se modifican con la edad.

III. CADÁVERES ENTERRADOS

Dentro de la multitud de problemas que un investigador tiene que enfrentar en el escenario de un homicidio, existe otro que funciona como agravante y es aquel en que la víctima ha sido enterrada.

Estos hechos por lo general no son comunes, pero tampoco son raros como para imposibilitar una instrucción y un entrenamiento especializados para su adecuado manejo.

Es un hecho bien reconocido que los errores cometidos durante las investigaciones preliminares, especialmente en los casos de homicidio, pueden muy bien ser fatales para la culminación exitosa de la tarea emprendida.

Aunque no haya dos casos o sucesos exactamente iguales, los hechos básicos se mantienen: el principal y quizás único testigo está muerto y la investigación obliga a quienes la realizan a hacer uso de todo el talento y entrenamiento que posean. Parte de estos dos elementos debería estar dirigida hacia la preplanificación para la crisis y el reconocimiento de la existencia de asistencia experta especializada, a la que se puede recurrir para obtener ayuda.

a) Preplanificación

En el caso de cadáveres enterrados, la preplanificación debería incluir, además de todas las facetas administrativas del caso, un listado de variados y necesarios expertos forenses (de rápida localización), dentro del cual deberían contemplarse los siguientes:

– un médico legista, quien podrá interpretar y diagnosticar los cambios provocados por el deceso y las lesiones;

– un arqueólogo forense, quien podrá llevar a cabo estudios científicos sobre restos de diferentes materiales, culturas y actividades de la vida humana pasada;

– un antropólogo forense, a cuyo cargo estará la apreciación, clasificación y estudio de restos óseos, con el propósito de establecer su origen, raza, características físicas, relación social y cultural, sexo, etcétera;

– un odontólogo forense, para proveer asistencia en la identificación de cuerpos a través del examen dental y cotejo con el material de archivo que hubiera de los mismos, así como también para interpretar las huellas de mordeduras;

– un toxicólogo forense, para que se expida sobre la presencia de venenos u otras sustancias tóxicas en el cuerpo hallado;

– un psiquiatra forense, para temas de orden mental, emocional y desórdenes del comportamiento;

– un entomólogo, quien aplicará sus estudios sobre la vida de los insectos, y

– un botánico, para todo lo relativo a la vida de las plantas.

El empleo de la palabra *forense* en cada una de las especialidades médicas significa la relación y aplicación de hechos médicos a problemas legales.

Obviamente, también la presencia del técnico especialista en la escena del crimen y el apoyo que le brinda el laboratorio de criminalística son de vital importancia.

Resulta así evidente que el investigador no va a encontrarse solo para responder las preguntas: ¿quién?, ¿dónde?, ¿cuándo?, ¿qué?, ¿por qué? y ¿cómo? En todos los casos de homicidio es él quien está y debería estar a cargo de los procedimientos pertinentes, soportando la responsabilidad del éxito o del fracaso.

b) Descubrimiento

Existe un determinado número de hechos vinculados con cuerpos enterrados, que comienzan a desarrollarse como resultado del hallazgo accidental, sin previo conocimiento o sospecha del lugar donde se encontraba.

La primera obligación de un funcionario responsable de tal caso es establecer una lista de prioridades, dejando de lado las presiones tanto internas como externas que pudieran surgir. Inmediatamente después de notificado del hallazgo, se canalizarán los medios adecuados para salvaguardar la escena, antes de su arribo, siempre que ello sea posible.

Generalmente ocurre que quien descubre un cadáver enterrado es un obrero de la construcción, un cazador o alguien que simplemente pasaba por el lugar. Hecha la notificación por parte del mismo a la autoridad competente, se dispondrá el inmediato acordonado del lugar, tal como se hace con cualquier otro escenario delictual, prohibiendo el acceso de cualquier persona antes de la llegada del investigador a cargo, para que pueda apreciar la situación antes de que se produzca cualquier daño.

Si el cuerpo no ha sido removido de su sepultura, deberá requerirse la presencia de un arqueólogo, un médico legista y un técnico especializado en la detección y el manejo de evidencias.

El arqueólogo es diestro en la excavación sistemática y cuidadosa de una sepultura; la mayor parte de esta fase de la investigación debería ser dejada en sus manos, mientras que el resto del equipo lo asiste en la medida de lo necesario.

El médico legista es el experto más familiar para las fuerzas policiales, y su presencia, además de ser corriente, resulta de enorme importancia, ya que puede brindar asesoramiento valorable e imparcial cuando se investigan las diversas formas de muerte.

Salvo que existan circunstancias especiales o inusuales, generalmente no hay necesidad de apuro en esta etapa; si, por ejemplo, las condiciones climáticas son desfavorables, conviene dejar una vigilancia apropiada y esperar el mejoramiento de la situación. Si hubiera premura por iniciar la excavación, será adecuada la implementación de una carpa sobre el lugar, hecho éste que deberá ser incluido en la preplanificación. Las mismas reglas o pautas deberían aplicarse durante las horas nocturnas, ya que nada se gana y todo se puede perder con una excavación prematura.

Después de que el área esté asegurada, todos los miembros del equipo reunidos y la planificación sustanciada, podrá comenzar el trabajo real. Aquí es perfecta y especialmente aplicable la regla de oro del homicidio:

"Nunca mueva, toque o altere nada, hasta que haya sido anotado, graficado y fotografiado".

Antes que nada se llevará a cabo un relevamiento topográfico y planimétrico del sector en estudio y de sus adyacencias, con las referencias métricas del caso. La búsqueda podrá entonces continuar tanto en forma visual como con asistencia mecánica (detector de metales, etc.). Se tomarán vistas fotográficas integrales, incluyendo algunas áreas de toda la zona, de ser posible. El equipo se moverá gradualmente, documentando todo hasta su arribo al sitio de la sepultura, tratando en las idas y venidas de utilizar siempre el mismo camino (al menos en la etapa inicial de la búsqueda), para preservar tanto como sea posible el área general.

Es conveniente que el fotógrafo esté acompañado por los técnicos o los investigadores, quienes podrán advertirle sobre la presencia de cualquier evidencia física, tales como huellas de neumáticos, prendas de vestir, posibles armas o cualquier otro elemento probablemente conectado con el hecho.

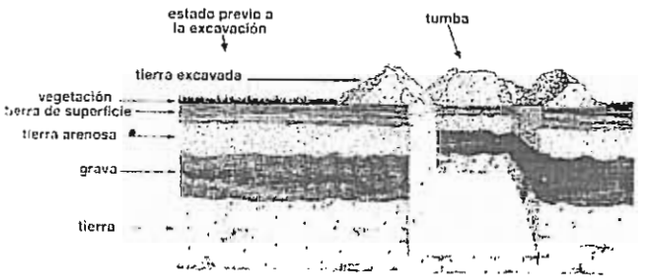
Las fotografías no deberán incluir personas u objetos ajenos a la escena, pero si contendrán números, reglas y flechas que señalen el norte magnético.

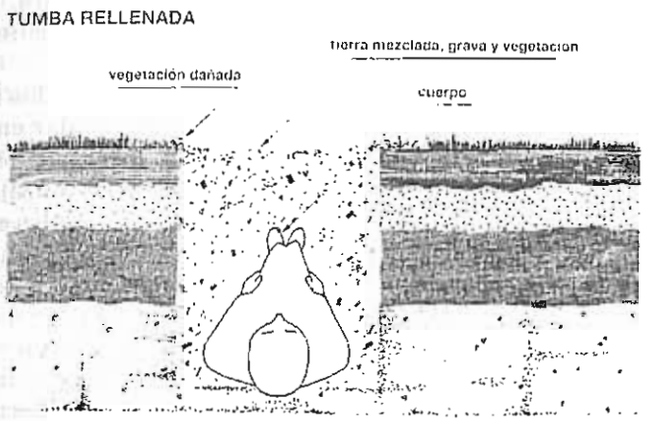
Cuando se cava una tumba y la tierra extraída se ubica cerca de la misma, la superficie del terreno se ve perturbada; por ende, se considerará lugar de la sepultura o tumba al sector donde exista tal perturbación.

De tal manera, considerando el tamaño promedio del cuerpo de un ser humano, y la superficie total de la tumba junto con la tierra perturbada a su alrededor, podemos decir que muy probablemente el largo total afectado será de aproximadamente 2,50 metros y el ancho de 1,80 metro. La profundidad guardará relación directa con la composición del suelo y la cantidad de tiempo que haya dedicado el sujeto para llevar a cabo su tarea.

Cuando la tierra extraída se deposita sobre el terreno, la vegetación existente puede comprimirse y/o romperse. Cuando se llena nuevamente la tumba, parte de esta vegetación quedará dentro de pozo (ver ilustraciones adjuntas).

Aquí es donde aparece la figura del botánico, quien podrá indicarnos o hacer estimaciones acerca del tiempo de que datan los daños de la vegetación, teniendo en cuenta la altura, la distribución, así como la profundidad de los sistemas de raíces pertenecientes al lugar.





Si no se dispone de un botánico, se deberán tomar mediciones y extraer muestras para estudios posteriores. Los daños que producen la excavación y el posterior llenado pueden verse y medirse durante muchos años, en la medida en que se los compara con el crecimiento normal y no perturbado de las adyacencias.

Si se recogiera algún insecto muerto del interior de la sepultura, un entomólogo podrá dar información sobre su tiempo de vida, actividades, etc., incluyendo las larvas en su examen, si las hubiera. El estudio del tipo, ciclos de vida, etc., permitirá a este profesional expedirse sobre una fracción de tiempo mínimo respecto de la muerte. También es importante recoger muestras de larvas de moscas a medida que se va escalonando la búsqueda en la tumba, las que podrán ser remitidas al examinador en una solución de 85% de alcohol para su preservación.

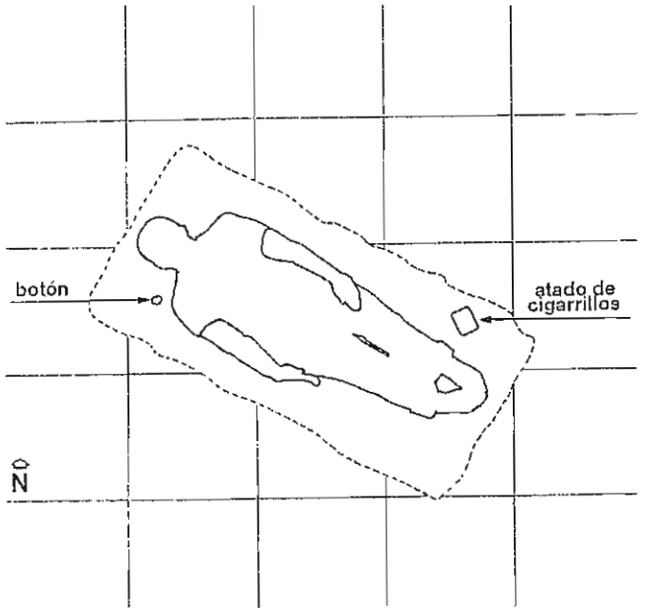
c) Excavación

La superficie de la tumba deberá ser ahora limpiada para extraer materiales extraños o ajenos y lograr visualizar su delimitación real. Ello deberá concretarse con herramientas tales como una zapa de hoja plana o una paleta de mano. Las dimensiones obtenidas se anotarán en el plano o mapa correspondiente y se dará comienzo entonces a la excavación.

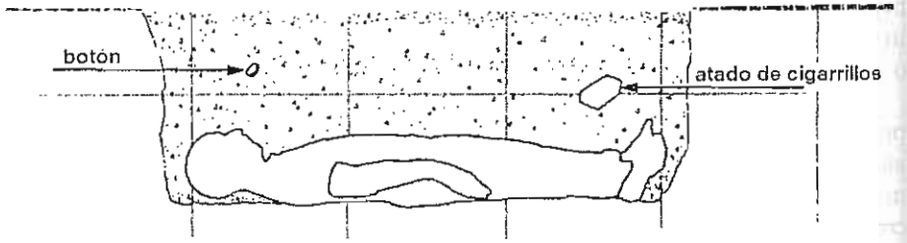
Se tendrá extremo cuidado en preservar los límites exactos de la sepultura original o de los residuos no perturbados, si parte del lugar ha sido dañado durante el descubrimiento. Cuando la tierra original fue removida y luego arrojada nuevamente en el pozo, las diferentes capas y composiciones de tierra y vegetación se mezclan. La remoción lenta y cuidadosa de este material puede revelar las huellas de herramientas hechas en los bordes externos y aun mostrar el tipo de hoja empleado,

ya sea curvo o recto, con suficientes definiciones como para, posteriormente, efectuar una identificación con el material (herramientas) que se pudiera secuestrar.

Antes de esta excavación y luego de que se hayan tomado las fotografías del sitio en su condición original, se procederá a cuadricular en un plano y en el propio lugar, mediante estacas y cuerdas o hilos tensados, tanto en el sentido horizontal como vertical (a medida que se profundiza). El dibujo completo reflejará con precisión los diferentes niveles verticales en que fueron detectados elementos, y las distancias en el sentido horizontal.



Vista en planta con cuadriculado hecho de estacas y cuerdas.



Vista en corte.

Deberán recogerse muestras de suelo, para comparación, en cada lugar donde sea detectado algún elemento de interés, además de ser convenientemente documentado. No debe olvidarse que cualquier objeto puede conservar huellas digitales latentes.

d) El cadáver

Cuando el cuerpo no está cubierto y tiene tejidos, el médico legista puede llevar a cabo un examen superficial de la escena. Cuando éste ha concluido y se han tomado las vistas fotográficas respectivas, se dispondrá de una sábana limpia para depositar el cuerpo extraído, de manera tal de poder preservar cualquier evidencia que no haya sido vista en el momento y que se podría perder en el trazado. De tal manera, y de ser posible dentro de una bolsa plástica hermética, se enviará el cadáver a la morgue para la posterior autopsia.

A continuación se fotografiará nuevamente la tumba y el área o superficie inmediatamente por debajo del lugar donde yacía el cuerpo, se examinará y excavará algunos centímetros más. Aquí es importante la posesión de un detector de metales para el hallazgo de posibles proyectiles disparados a la víctima luego de colocada en la sepultura, o para la localización de cualquier otro elemento metálico de interés.

Como se expresara anteriormente, si un cuerpo desenterrado tiene aún restos de tejidos, corresponde la realización de una autopsia. Este examen *postmortem*, donde se llevan a cabo análisis de sangre y otros fluidos corporales, rayos X, etc., puede revelar la causa de la muerte, si las heridas presentes fueron realizadas con anterioridad o posterioridad al deceso, las posibles armas empleadas, la identificación del fallecido y demás información necesaria y esencial para la investigación exitosa del caso.

La presencia de un cuerpo en avanzado estado de descomposición no es razón para desesperarse, ya que muchas cosas pueden aprenderse de lo que parece ser la desahuciada caricatura de un ser humano.

Si se trata de restos óseos de apariencia humana, cabe entonces la intervención de un antropólogo, quien tiene los conocimientos como para ofrecer la siguiente información:

a) *Sexo*: los huesos críticos para esta determinación son la pelvis, el cráneo (85% de precisión), el fémur y el sacro.

b) *Edad*: los huesos críticos son la pelvis, los dientes, el cráneo, los huesos largos (la determinación de la edad se hace dificultosa una vez que la persona tiene más de 25 años).

c) *Grupo étnico raza*: el cráneo y los dientes son buenos indicadores.

d) *Estatura*: los huesos críticos son el fémur, la tibia, el peroné, el húmero y el radio.

Debe hacerse notar que existen ciertas limitaciones respecto de los huesos humanos cuando se trata de:

a) *Estimar la fecha de la muerte*: con tantas variables, generalmente sólo es posible dentro de límites amplios.

b) *Causas de la muerte*: no siempre se encuentran registradas en los huesos (o esqueleto), pero los signos encontrados pueden ser *postmortem*.

c) *Reconstrucción de los tejidos blandos faciales*: se trata de un área actualmente en estudio, que muestra resultados prometedores, aun cuando todavía no ha sido totalmente desarrollada.

d) *Historias clínicas*: pueden señalar viejas fracturas, trabajos dentales, problemas de espalda, etc., pero es una fuente de información limitada. Es importante recordar que un antropólogo no puede indicar la fecha de la muerte dentro de un marco útil de tiempo, o dar la causa de la muerte.

Es lógico que el personal policial no pueda recibir un entrenamiento extenso sobre la anatomía del cuerpo humano, suficiente como para hacer análisis de huesos presumiblemente humanos. No obstante ello, una somera enseñanza proporcionada por antropólogos podría ser útil para distinguirlos de restos animales.

e) La búsqueda de un cuerpo enterrado

A veces sucede que, a través de un ciudadano informante o mediante una confesión, se toma conocimiento de la existencia de un cadáver enterrado en un lugar determinado. Como siempre estamos hablando de superficies cubiertas de tierra, una vez en las cercanías del sitio exacto (el cual, a manera ejemplificativa, suponemos desconocer), el único indicador visual puede llegar a ser una depresión originada por el paso del tiempo.

La observación desde un helicóptero puede evitar la búsqueda terrestre, ya que permite detectar rápidamente cualquier perturbación de la tierra o la vegetación.

Se han logrado muchos progresos con la fotografía infrarroja (térmica). La película de este tipo detecta el calor; en tal sentido no olvidemos que un cuerpo emite calor a medida que los tejidos comienzan a pudrirse o descomponerse. Sin embargo, si tal procedimiento se lleva a cabo inmediatamente después de que ha sido enterrado o, por el contrario, mucho tiempo después, no habrá más generación de calor y la película no captará nada.

Cuando se hace necesario conducir una búsqueda a pie en una zona sospechosa, se requieren algunos implementos mecánicos que servirán de ayuda, especialmente en aquellos casos donde la inspección visual ha dado un resultado negativo. La primera acción será sondear. Ello se lleva a cabo con una caña de acero inoxidable, de aproximadamente 1 cm de diámetro y 1,5 m de largo, la cual posee en su extremo superior una manija soldada en forma de "T".

El extremo opuesto de la misma debe estar cortado en forma de chaflán (elíptica) para darle filo y poder de penetración. El éxito del sondeo dependerá de la habilidad para distinguir superficies bajo tierra que se encuentren perturbadas o no, circunstancia ésta que también puede lograrse con varias penetraciones de prueba para captar la sensibilidad de la caña a la penetración.

Una vez detectado un punto *blando*, indicativo de una posible sepultura, se debe suspender el sondeo para no dañar el cadáver.

En esta oportunidad entra en escena otro implemento que es capaz de verificar la presencia o ausencia de un cuerpo, sin necesidad de excavar. Tal instrumento, que utiliza gas metano como fuente primaria de verificación, opera sobre la detección de sulfuro de hidrógeno, fosfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, amoníaco y gases metanos que se forman de un cuerpo en descomposición.

La formación de gas es mínima a bajas temperaturas. A temperaturas elevadas, el gas que se forma puede ser detectado mediante el empleo de la sonda destinada al efecto.

Luego de localizado el sitio, se inserta una sonda que determina la temperatura, permitiendo ello poner el instrumento de gas a la sensibilidad correcta. Los vapores de los gases de un cadáver enterrado ascenderán por el interior de la tierra en forma de "V", con la concentración más grande apuntando hacia el cuerpo. Por lo tanto, una sonda insertada cerca del cuerpo o a demasiada profundidad podría no captar el gas.

Lo expresado implica la necesidad de concretar varias pruebas a diferentes profundidades para asegurar una cobertura completa.

Este sistema también puede emplearse bajo concreto, patios, carreteras, pisos en general, previa realización de un pequeño orificio.

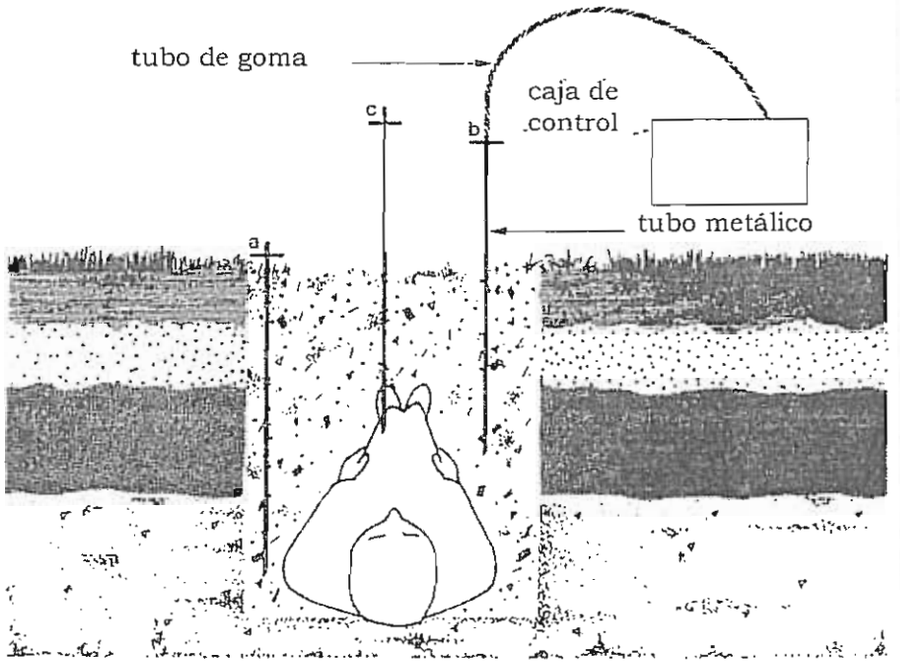
El descubrimiento y la posterior excavación para extraer un cuerpo enterrado es un desafío que debe ser encarado con paciencia y habilidad, echando mano de todos los recursos técnicos disponibles

Ver imagen en página siguiente.

IV. RESTOS ÓSEOS

a) Introducción

No resulta infrecuente que alguna de las fuerzas de seguridad, ya sea en una ciudad o en zonas rurales, reciba denuncias del hallazgo accidental de restos óseos, en oportunidad de una construcción, en una playa, al borde de un camino o ruta, en un sembrado, en el sótano de una casa, bajo el piso de una vivienda, emparedados en un muro, flotando en el mar, etc. En todos estos casos no siempre es posible que un antropólogo forense pueda apersonarse al lugar, pero si en cambio asiste un médico legista/forense.



a) Muy profundo; vapores que se pierden.
b) No sobre el cuerpo pero poco profundo para captar vapores.
c) Directo sobre el cuerpo; vapores más potentes.

Las vistas fotográficas del hallazgo de los restos *in situ* tendrán un valor documental de primera magnitud. Las mismas, junto con los planos generales y de detalle, serán muy bien aprovechadas por el antropólogo forense que más tarde hará el estudio de los restos óseos.

El levantamiento de estos restos debe ser completo (aun las piezas más pequeñas).

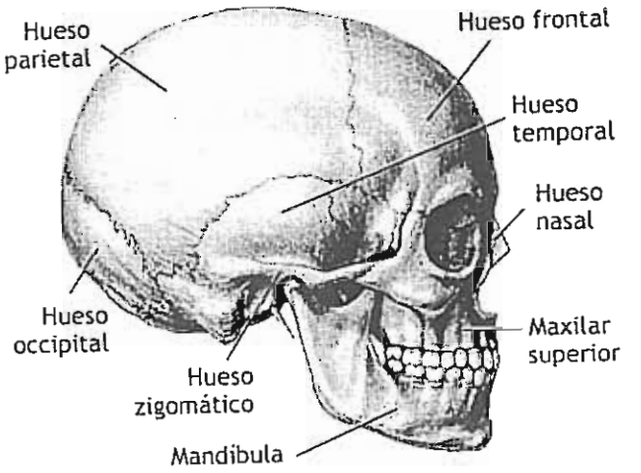
Puede ocurrir que se trate de un cadáver entero, en diversos grados de descomposición, no identificable por la ausencia de piel en los dedos; también puede ocurrir que las partes blandas del rostro hayan desaparecido o estén en avanzado estado de descomposición o bien se encuentren momificadas o semimomificadas, no obstante el médico forense practicará la obducción que puede ser parcial o completa. Con esta operatoria se buscará la causa de la muerte, su data, las lesiones todavía visibles y se estudiará lo que aún queda de los órganos internos; finalizada la tarea se decide si es necesario el estudio del esqueleto.

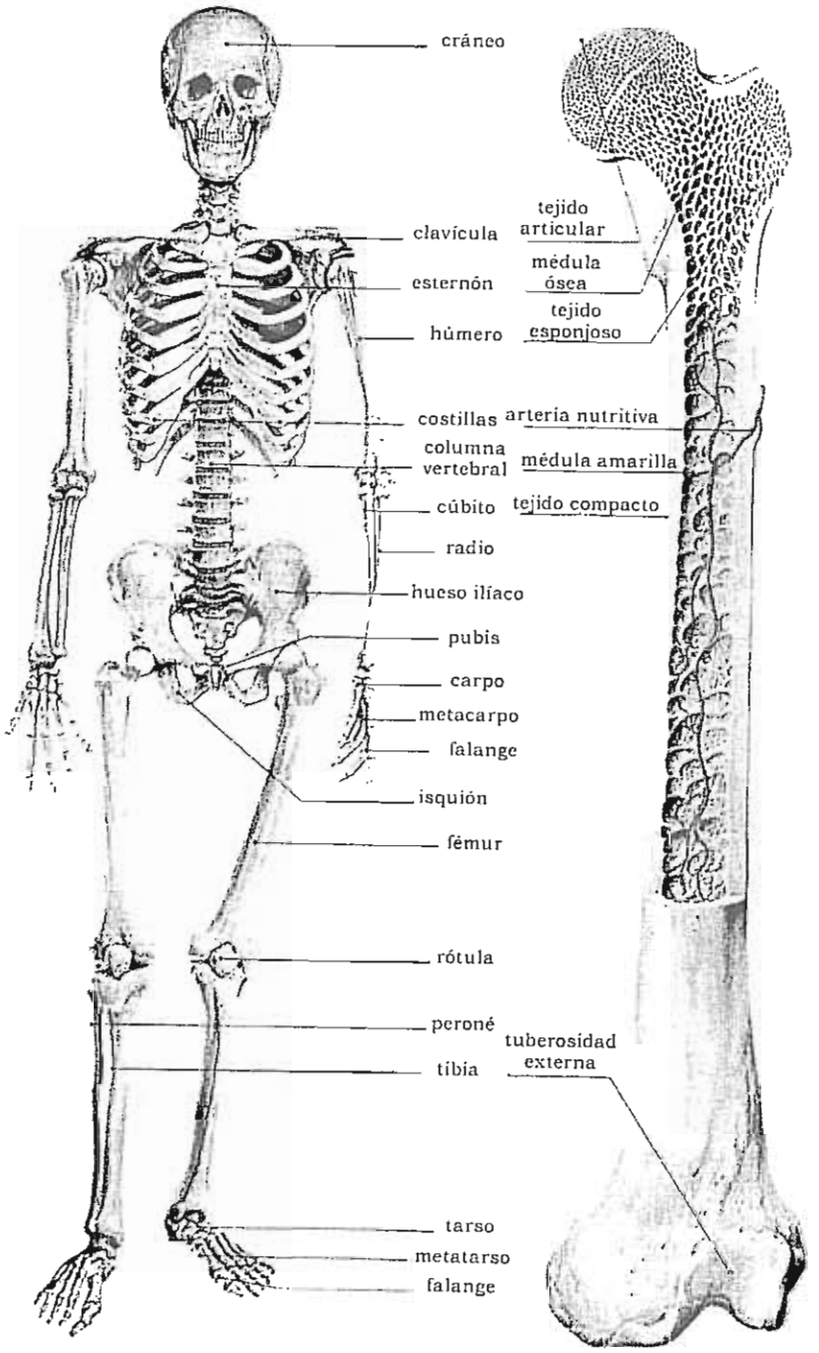
b) Embalaje del material

Si los restos óseos reúnen fragilidad es indispensable que se los rodee de un material que impida al máximo su movimiento. Deberán a su vez estar bien envueltos en bolsas de papel o plástico y aislados por bolas de plástico, aserrín, algodón, o simplemente papel de periódico arrugado convenientemente. Si los huesos estuvieran secos y limpios deben envolverse en una bolsa de plástico para que los aísle del material de seguridad antes mencionado, ya que algún pequeño fragmento podría perderse o pasar inadvertido entre el mismo.

Si el material estuviera muy húmedo es perjudicial el embalaje en plástico, por ende la mejor forma de consolidarlo es dejarlo secar a la sombra, excepto que el envío y la recepción en el destino final sea prácticamente inmediato. No obstante, siempre es prudente recoger y enviar el material en las condiciones exactas en que fue encontrado, ya que cualquier indicio es importante para la investigación.

Es frecuente que el envío de un cráneo encontrado abandonado sobre la tierra en un bosque o en un hoyo, por ejemplo, se envíe para pericia sin dientes, con todos los alvéolos abiertos y vacíos, signo de su caída *post mortem*. Es probable que todos o algunos de tales dientes hayan quedado sobre el terreno, por ende, es muy importante recogerlos y proceder a enviarlos.





c) ¿Huesos humanos o de animales?

Responder a esta pregunta es una requisitoria muy frecuente por parte de los juzgados intervinientes. La mayoría de las veces, los huesos en litigio suelen proceder cuando son animales, de especies domésticas (gatos, perros, cerdos, vacas, etc.). La confusión entre huesos infantiles humanos y huesos de mono recién nacido es de lo más común, especialmente gorila o chimpancé inmaduros; la confusión puede ser considerable en los casos de restos óseos fragmentarios recubiertos por partes carnosas en estado de putrefacción. Sin embargo, una radiografía o la esqueletización muestran claramente la morfología de los huesos contenidos en el paquete carnoso.

Otra confusión posible es la de creer que los huesos de la cola de un caballo (últimas vértebras) puedan ser huesos humanos de la mano. Sin embargo, la arista que el hueso del caballo (cuerpo vertebral) presenta es evidentemente clara y ningún hueso humano tiene nada parecido.

Existen varias técnicas, además de la experiencia en anatomía comparada que suele tener el antropólogo forense, que permiten distinguir el hueso animal del humano:

a) El peso: proporcionalmente el hueso animal pesa más que el humano.

b) El sonido: el golpe suave de un hueso animal con otro produce un sonido casi metálico, en cambio, entre huesos humanos el sonido es más apagado.

c) La densidad: el hueso animal es más denso, más compacto.

d) Índice medular: este índice, que es el resultado de dividir el diámetro mínimo del conducto o cavidad medular y el de la diáfisis (cuerpo o parte media de los huesos largos, que en los individuos que no han terminado su crecimiento está separado de las epífisis por sendos cartílagos) por su cara externa, en el hombre dará por resultado 0,45, mientras que en los animales estará por encima de 0,50, llegando a 0,77. En el feto humano los valores están comprendidos entre 0,15 y 0,48.

Además de lo expresado, existe el método histológico, el estudio radiológico y el inmunológico. Una vez que se ha llegado a determinar que se trata de huesos animales, puede resultar de gran interés llegar al diagnóstico de género y especie a los que corresponden tales huesos o fragmentos. La asociación huesos humanos más huesos animales no es rara y puede tener interés para la investigación policial.

V. EL CABELLO/PELO COMO EVIDENCIA

a) Introducción

En antropología forense el examen del pelo o cabello es importante para establecer la raza, determinar el sexo, el grupo sanguíneo (ABO) y

establecer la identidad. Por ende siempre es de gran valor recoger este elemento siempre que sea posible, para su estudio, de los restos cadavéricos objetos de estudio.

El cabello, aunque está biológicamente muerto, tiene vida propia. Para entenderlo, hay que conocer su compleja estructura. Se aloja en una depresión de la piel llamada folículo piloso, y se divide en dos partes: raíz y tallo.

Ver imagen 3 en el Anexo fotográfico

Raíz: En la raíz se produce una gran actividad metabólica y amitótica.

Tallo: Es la parte principal del cabello y está formado por tres partes concéntricas: cutícula, cortex y médula.

Cutícula: Ocupa el 9% de la superficie total del cabello y es una capa protectora resistente a las fuerzas de orden físico y químico que podrían perjudicar con rapidez las fibras del cabello al emerger de la piel.

Cortex: Constituye la capa media del tallo piloso, ocupa un 70% de la superficie total del cabello, y es el responsable de las propiedades mecánicas.

Médula: Representa el 21% de la superficie del cabello. Se encuentra ubicada en la parte central y está compuesta por células córneas redondeadas, sin núcleo y poco pigmentadas.

El crecimiento del cabello humano supone una actividad constante: los cabellos se encuentran en distintas fases de crecimiento y descanso, ya que cada cabello tiene su propio ciclo independiente de los que lo rodean.

Los pelos/cabellos se pueden definir como excrecencias (protuberancias) delgadas de la piel de los mamíferos. Cada especie animal posee pelo con longitud, color, forma, aspecto de raíz, que son característicos, y detalles internos microscópicos que distinguen a un animal de otro. También existe variabilidad considerable en los tipos de pelos que se encuentran en el cuerpo de un animal. En los seres humanos, los cabellos que se encuentran en la cabeza, y los pelos de la región púbica, brazos, piernas y otras áreas del cuerpo poseen características que pueden determinar su origen. En los animales, los tipos de pelos incluyen los gruesos (externos) o pelos de protección, los pelos finos de la piel, pelos táctiles como bigotes, y otros pelos que se originan en la cola y la crin de un animal.

Debido a que los pelos pueden ser transferidos durante el contacto físico, su presencia puede asociar a un sospechoso con una víctima o viceversa, en la escena del crimen. Los tipos de cabello/pelo recuperado y la condición y el número encontrado impactan en su valor como prueba en una investigación penal. La comparación de las características microscópicas de los pelos cuestionados con las muestras de cabello/pelo conocidas ayuda a determinar si pudo haber ocurrido una transferencia.

b) Microscopía del pelo/cabello

El examen de los pelos/cabellos humanos en el laboratorio forense se suele realizar mediante el uso de microscopía de luz. El propósito de la realización de este examen es determinar si dos o más personas podrían haber estado en contacto o si una o más personas podrían haber estado en contacto con un objeto. Esta evidencia asociativa es particularmente útil en delitos donde hay violencia, tales como el homicidio, el atentado sexual y el atentado con agravantes, donde pudo haber ocurrido el contacto físico. Los delitos como el robo y el robo a mano armada por lo general implican la recuperación de residuos y prendas de vestir que pueden contener pelos/cabellos de utilidad para la identificación de los sospechosos.

El valor de este tipo de evidencia se relaciona con la variabilidad de las características del cabello/pelo entre los individuos de la población, que pueden ser visualizadas a través del uso de la microscopía de comparación. Hay muchos factores que influyen en la fiabilidad de una asociación de pelo/cabello, incluida la experiencia, la formación, la idoneidad de las muestras de pelo/cabello, conocidas/testigos, y la adecuación de los equipos.

El microscopio de comparación consiste en dos microscopios de luz compuesta, conectados por un puente óptico que permite la visualización simultánea de los pelos/cabellos cuestionados y los testigos. En forma clásica, un portaobjetos de vidrio que contiene los pelos/cabellos conocidos se coloca en uno de los soportes del microscopio y el o los pelos/cabellos cuestionado/s en el otro soporte. Esto permite que el examinador compare las características microscópicas de ambos elementos (cuestionado y testigo) en un solo campo. El rango de ampliación utilizado es de aproximadamente 40 x a 400 x.

Ver imagen 4 en el Anexo fotográfico

El proceso de examen del pelo/cabello implica muchas y diferentes etapas, la primera de ellas es determinar si el elemento en cuestión procedía de un animal o un ser humano. Si se originó de un animal, es posible identificarlo con un determinado tipo de animal. Aunque algunos pelos se pueden atribuir a una especie, no es posible identificarlos con un animal específico, con exclusión de otros animales similares. Un ejemplo de esto ocurre cuando los pelos de perro pueden estar asociados a una raza en particular, pero no se pueden identificar con un perro específico dentro de esa raza.

c) Anatomía y crecimiento del pelo

El pelo/cabello está presente en muchas regiones diferentes del cuerpo. Cada región, como la cabeza, zona púbica, pecho, axilas y extremi-

dades, tiene pelos con características microscópicas atribuibles a esa región. Si bien es posible identificar un pelo como procedente de una zona particular del cuerpo, las regiones del cuerpo que se utilizan principalmente en comparaciones forenses son la cabeza y áreas públicas. Como los pelos/cabellos experimentan un crecimiento cíclico (anágena) y una fase de reposo (telógena), las características microscópicas visibles son suficientes para determinar la fase de crecimiento del cabello/pelo.

La morfología básica de pelos/cabellos humanos es compartida por cada individuo de la población, pero la disposición, la distribución y el aspecto de las características individuales microscópicas dentro de las diferentes regiones del pelo, habitualmente permiten a un examinador experto diferenciar el pelo entre los individuos. Una analogía sería la capacidad de un individuo de reconocer el rostro de un amigo o familiar en una multitud, a pesar de que cada persona en la multitud tiene oídos, ojos, nariz y una boca.

c) Los pelos de animales

Los pelos de animales descubiertos sobre elementos que constituyen evidencias físicas se pueden vincular a un sospechoso o al lugar de un delito violento. Una víctima colocada en un vehículo o situada en un lugar donde se encuentran animales con frecuencia, a menudo posee transferencia de pelos de animales en su ropa. Los pelos de gato o perro pueden encontrarse en las partes adhesivas de notas de rescate y extorsión preparadas por los dueños de mascotas. La transferencia de los pelos de mascota a la víctima o a la escena del crimen también puede producirse cuando el sospechoso es dueño de una mascota y tiene pelos de animales en su ropa cuando se produce el contacto. Esto se conoce como transferencia secundaria de indicios.

Cuando se encuentra un pelo de animal, se lo identifica con un determinado tipo de animal y se lo compara microscópicamente con una muestra de cabello conocida, ya sea de una colección de referencia de pelos de animales o un animal específico. Si el pelo sospechado exhibe las mismas características microscópicas que los cabellos testigo, se concluye que es coherente/consistente que proceda de dicho animal. Cabe señalar, sin embargo, que los pelos de animales no poseen suficientes características microscópicas individuales, que se puedan asociar con un animal en particular, para la exclusión de otros animales similares.

Los pelos de animales encontrados en la escena del crimen o en la ropa de los sospechosos y víctimas también pueden tener su origen en un abrigo de piel o cuero. Estos pelos pueden haber sido coloreados artificialmente o cortados y, a menudo, no tienen una raíz. Es preferible que se obtenga la prenda de piel entera, de manera que las muestras testigo adecuadas puedan ser remitidas para su comparación.

d) Los pelos/cabellos humanos

Como se dijo anteriormente, el contacto físico puede resultar en la transferencia de pelos. Éstos se pueden transferir directamente desde la región del cuerpo donde están creciendo –transferencia primaria– o pueden transferirse de prendas de vestir de las personas –transferencia secundaria–. Se ha informado que aproximadamente se desprenden 100 cabellos de la cabeza de una persona cada día. Estos pelos se depositan en la ropa y en artículos/elementos existentes en el ambiente. El contacto entre la víctima y el medio ambiente de un sospechoso puede provocar un desplazamiento secundario de cabello. Los cabellos que se encuentran en la ropa de los sospechosos o las víctimas y parecen haber caído de forma natural, pueden ser el resultado de una transferencia primaria o secundaria. Los cabellos que han sido removidos por la fuerza pueden sugerir una confrontación violenta.

1. Determinación de la región del cuerpo

El área del cuerpo desde la que se originó un cabello/pelo puede ser determinada por la morfología general. La longitud, forma, tamaño, color, rigidez, rizado y el aspecto microscópico, todo ello contribuye a la determinación de la superficie corporal. La pigmentación y el aspecto medular también influyen en la identificación del área. Los cabellos/pelos que presentan características microscópicas compartidas por diferentes zonas anatómicas son mencionados a menudo como los pelos del cuerpo. Éstos incluyen los pelos encontrados en los muslos, parte baja del abdomen y espalda. Debido a que existe una amplia gama de variaciones interpersonales en la cabeza y el vello púbico, la mayoría de los trabajos en los temas forenses consisten en comparar y diferenciar los pelos de la cabeza y la zona púbica.

2. Los cabellos

Los cabellos son por lo general los pelos mas largos del cuerpo humano. Se caracterizan por tener un diámetro uniforme y, a menudo, una punta de corte. Los cabellos pueden aparecer sin cortar, con puntas cónicas, pero más a menudo aparecen cortados con tijeras, navajas o máquinas. En general, estos elementos están sujetos a más alteración que los pelos de otras áreas del cuerpo; las alteraciones en la apariencia natural del cabello incluyen el uso de tintes para el cabello, enjuagues, permanentes y otras aplicaciones químicas; las alteraciones ambientales pueden resultar de la exposición excesiva al sol, el viento, la sequedad y otras condiciones. Debido a que estos cabellos pueden resultar afectados por una serie de condiciones ambientales y químicas, es recomendable que las muestras de la cabeza se obtengan de los sospechosos y las víctimas

de la delincuencia, tan pronto como sea posible. Las muestras obtenidas años después de un crimen generalmente no son apropiadas para propósitos de comparación significativa.

Como los cabellos se comparan rutinariamente en un laboratorio forense, es importante obtener muestras testigo adecuadas de sospechosos y víctimas y, posiblemente, de otros individuos (muestras de eliminación). La muestra para cotejo debe contener piezas de cabello de diferentes áreas del cuero cabelludo; el número de elementos necesarios para establecer una comparación significativa puede variar dependiendo de la uniformidad de las características presentes en los cabellos de una persona. Dado que no se sabe cuándo es tomada la muestra, se deben obtener al menos 25 unidades con el largo completo. Esta muestra de cabello debe incluir tanto el obtenido por arranque como el procedente del peinado y deben estar envasados/embalados por separado.

3. Pelo púbico

Los pelos del pubis también se comparan rutinariamente en un laboratorio forense. Al igual que con los cabellos, existe una considerable variación entre los individuos en la población; con el tiempo los mismos no están sujetos a tantos cambios como los cabellos, y debido a esto, una muestra tomada un año o más después de un hecho delictuoso aún puede ser adecuada para fines comparativos. Se recomienda obtener, después de un hecho delictuoso, una muestra conocida de vello púbico, tan pronto como sea posible, que contenga por lo menos 25 pelos de largo completo, tomados de diferentes zonas de la región púbica.

Los pelos del pubis generalmente son gruesos y ásperos en su apariencia. Muestran una variación considerable de diámetro o pandeo y con frecuencia poseen una médula continua a discontinua. Mientras las puntas cónicas son comunes, estos pelos también pueden aparecer erosionados o cortados.

4. Los pelos faciales

Estos pelos son comúnmente denominados pelos de barba o de bigote. Son gruesos en su aspecto y pueden tener una sección transversal triangular. Bajo el aumento microscópico se observan abundantes canales o depresiones; otras características incluyen una médula ancha y una punta de corte de navaja/afeitadora.

La presencia de vello facial en la ropa de un sospechoso o una víctima puede ayudar a establecer el contacto entre estas personas. Si bien estos pelos se pueden comparar al microscopio, la importancia de la asociación no puede ser tan grande como las asociaciones del cabello y del vello púbico.

5. Los pelos de las extremidades

Los pelos de las piernas y los brazos constituyen los pelos de las extremidades. Estos pelos son más cortos en longitud, con forma de arco, y a menudo con puntas erosionadas o de forma cónica. El pigmento en este pelo es generalmente de aspecto granular y la médula discontinua. Mientras que no son comparados rutinariamente en un laboratorio forense, pueden diferir en apariencia entre las personas. Estas diferencias, sin embargo, no se consideran suficientes para permitir que los pelos de los miembros sean de valor significativo en los cotejos. La presencia de pelos de piernas o brazos en determinadas evidencias puede ayudar a corroborar otra información investigativa.

6. Pelos marginales

Los pelos originarios de las zonas del cuerpo por fuera de las específicamente designadas como la cabeza o pubis generalmente no son apropiados para la comparación significativa. Estos pelos podrían provenir del cuello, las patillas, el abdomen, el muslo y la espalda.

7. Pelos de otras zonas del cuerpo

Los pelos de axilas, pecho, ojos y nariz no son rutinariamente comparados. Al igual que con los pelos de las extremidades y los pelos marginales, su presencia puede ayudar a corroborar la información obtenida durante una investigación.

8. Determinación de raza

Un cabello humano puede estar asociado a determinado grupo racial sobre la base de modelos establecidos para cada grupo. Los examinadores forenses diferencian entre los pelos/cabellos de origen caucasoide (ascendencia europea), mongoloide (origen asiático) y negroide (origen africano), todos los cuales presentan características microscópicas que distinguen a un grupo racial de otro. Los cabellos (cabeza) son generalmente considerados los mejores para determinar la raza, a pesar de que los pelos de otras áreas del cuerpo pueden ser útiles. Sin embargo, la determinación racial a partir del examen microscópico de los cabellos de los bebés puede ser difícil, y los de personas de ascendencia racial mixta pueden poseer características microscópicas atribuibles a más de un grupo racial.

La identificación de la raza es más útil como herramienta de investigación, pero también puede ser una herramienta asociativa cuando los pelos/cabellos de un individuo exhiben características raciales inusuales.

8. Edad y sexo

La edad de un individuo no puede determinarse definitivamente por un examen microscópico, sin embargo, el aspecto microscópico de algunos cabellos humanos, como los de los lactantes y las personas de edad avanzada, puede proporcionar una indicación general de edad. Los cabellos de los lactantes, por ejemplo, son generalmente más finos y menos distintivos en apariencia microscópica. A medida que envejecen las personas, el cabello puede sufrir pérdida de pigmento y cambios en la configuración del eje del pelo para convertirse en mucho más fino y más variable de diámetro.

Aunque el sexo de un individuo es difícil de determinar a partir de un examen microscópico, digamos que los cabellos tratados son más frecuentes en el sexo femenino. El sexo puede determinarse a partir de un cabello extraído por la fuerza (con tejidos), pero esto no se realiza rutinariamente. La determinación definitiva del sexo se puede lograr a través de la tinción de la cromatina sexual en las células encontradas en el tejido folicular, pero las pruebas del ADN nuclear y ADN mitocondrial (ADNmt) proporcionarán información más específica sobre el posible origen del cabello.

9. Tratamiento y eliminación

La presencia de tratamiento artificial, como los tintes y enjuagues, se puede identificar mediante el examen microscópico. En la medida en que los cabellos crecen a razón de un centímetro por mes, el tiempo aproximado de este tratamiento se puede determinar midiendo la longitud de la zona no tratada del cabello. La comparación directa, del color del cabello cuestionado y el conocido que ha sido tratado artificialmente, puede ser realizada por un perito.

La forma en que se eliminó un cabello puede tener un valor considerable, sobre todo cuando hay una posibilidad de contacto violento entre el sospechoso y la víctima. La identificación de cabellos quemados, cortados o aplastados también se puede establecer mediante el examen microscópico.

10. La alteración biológica o ambiental

El aspecto microscópico de los pelos/cabellos se ve afectado por las fluctuaciones naturales biológicas y las influencias ambientales. Por esta razón, es importante que las muestras conocidas se recojan contemporáneamente a la deposición de los pelos/cabellos sospechados. Los cabellos son los más afectados por estos factores, mientras que los pelos del pubis lo son menos. Un período de varios meses o años puede ir en detrimento para una comparación significativa de cabellos, mientras que varios años pueden no impactar severamente respecto de las comparaciones de vello púbico.

e) Anomalías debidas a enfermedades nodulares del cabello/pelo

Las enfermedades nodulares son el resultado de una atrofia que se produce espontáneamente o que es provocada por una acumulación de parásitos que rodean y comprimen el tallo del pelo. Éste sufre diferentes cambios morfológicos, según la naturaleza de la enfermedad de la que está afectado.

En esas enfermedades del cabello pueden observarse rasgos característicos de cada una de ellas. Entre las enfermedades nodulares más importantes se encuentran las siguientes: tricorrexis nodulosa; tricoptilosis; triconodosis; cabellos de Baynet; pili morileformes (monilethrix).

f) Anomalías en caso de alopecia

En su presencia ocurre una caída parcial o generalizada de pelos y cabellos. Cabe distinguir tres formas de cabellos atrofiados o muertos.

1. Cabellos caducos. La raíz de un cabello que padece esta afección está intacta cuando es arrancada y el cabello tiene siempre una longitud normal.
2. Cabellos en signo de exclamación. En un punto del cabello afectado por este tipo de atrofia se forma un nudo o ensanchamiento debido a la disociación de las células corticales, y el cabello se raja longitudinal y transversalmente; termina por romperse en los lugares en que ha perdido fuerza.
3. Cabellos cadáveres. En este caso las raíces y los bulbos de los cabellos se hacen delgados como hilos y suelen curvarse en su extremidad inferior.

g) Anomalías que toman la forma de una distrofia generalizada que afecta a todas las pilosidades del cuerpo

Existe una torsión particular de los cabellos en las mujeres rubias y de pelo rizado. La torsión tiene lugar en el sentido del eje longitudinal del cabello y se produce a intervalos regulares, lo cual acarrea una alternancia de partes ahusadas oscuras y de partes ahusadas claras. Los cabellos o pelos acusan una torsión que va desde los 180 grados en la mayoría de los casos. El cuero cabelludo, las pestañas y las cejas son los principales lugares afectados por esta deformación.

h) Cabellos anillados

El cabello que padece esta afección presenta zonas claras y oscuras alternadas cuando se mira con luz refleja. El cuero cabelludo es, en general, el único lugar afectado por esta enfermedad.

i) Infecciones debidas a parásitos del pelo o del cabello y del folículo

Las infecciones debidas a los parásitos son, en general, de dos tipos: en el primer grupo sólo se ve afectado el pelo; en el segundo, la infección penetra en el pelo y alcanza la piel vecina.

Entre las infecciones importantes que deforman el pelo cabe citar: la piedra, la tricorniosis, la tricofitosis y el favo.

j) Conclusiones

Hay varias posibles conclusiones a las que se pueden llegar desde el examen microscópico y la comparación de pelos/cabellos humanos. Cuando el pelo/cabello en duda se compara con el testigo usando un microscopio de comparación, se debe considerar toda la longitud del pelo/cabello, así como la gama completa de características microscópicas. Tras su análisis, los examinadores pueden concluir lo siguiente:

• Los pelos/cabellos cuestionados exhiben las mismas características microscópicas que los de las muestras conocidas y, en consecuencia, son coherentes en origen con la fuente de estas últimas.

• El pelo/cabello cuestionado es microscópicamente desigual a los pelos/cabellos encontrados en la muestra conocida y, en consecuencia, no puede ser asociado a la fuente de los pelos/cabellos conocida.

• Se observaron similitudes y leves diferencias entre el pelo/cabello cuestionado y los pelos/cabellos de la muestra conocida. En consecuencia, no se puede llegar a la conclusión de si el pelo en duda posee la misma fuente de origen que las muestras.

Cuando un pelo/cabello exhibe las mismas características microscópicas que los pelos/cabellos de la muestra de pelo/cabello conocida, se puede añadir al informe una declaración de calificación. Esta declaración puede decir lo siguiente:

Las comparaciones de pelo/cabello no son una base para la identificación personal absoluta. Cabe señalar, sin embargo, que debido a que es raro encontrar pelos/cabellos de dos individuos diferentes que presenten las mismas características microscópicas, una asociación o coincidencia microscópica es la base para una relación sólida.

k) Importancia de la evidencia del pelo

La importancia de los resultados del examen del pelo/cabello depende del método de recolección de evidencias utilizado en la escena del crimen, las técnicas de procesamiento de las mismas, la metodología del proceso de examen del pelo/cabello, y la experiencia del examinador o perito. Los cabellos y vellos púbicos son rutinariamente mantenidos como más importantes que los pelos de otras áreas del cuerpo.

El proceso de identificación de cabello/pelo consiste en el examen y la comparación de las características del mismo en toda su longitud. Los pelos/cabellos más largos tienen más características para comparar, y cuanto mayor es la variación a lo largo de la longitud, mayor será el grado de importancia.

El valor de la evidencia en el establecimiento de una asociación particular puede ser influenciada por:

• la probabilidad de que la asociación (o eliminación) se debió a la coincidencia;

• la probabilidad de que la asociación (o eliminación) se debió a un error del examinador, y

• la probabilidad de que haya una explicación alternativa para la evidencia, como la transferencia secundaria, la contaminación, o la plantación deliberada.

La importancia de una comparación entre cabellos es influenciada por la frecuencia con la que el examinador ha visto ciertas características, así como por la frecuencia con que haya visto cabellos/pelos de una raza en particular o área del cuerpo.

La gama de opiniones relativas a los exámenes de pelo/cabello incluye:

• Nada sobre el pelo es comparable a la especificidad de huellas dactilares, y en el mejor de los casos, la probabilidad de establecer una identificación del pelo/cabello no es mayor que la probabilidad de determinación de la identificación mediante el sistema de grupos sanguíneos ABO.

• Los estudios de investigación han demostrado que los pelos/cabellos de dos individuos son distinguibles; que no ocurrieron coincidencias accidentales, y que tales coincidencias serían, en el trabajo de casos reales, un evento relativamente raro.

• La importancia de una correspondencia es un punto medio entre las declaraciones anteriores.

También se ha indicado que las evidencias de pelo/cabello sólo tienen valor cuando se utilizan junto con otras pruebas.

Las conclusiones negativas normales se ven debilitadas por las deficiencias en la muestra de pelo/cabello conocida, incluyendo muy pocas unidades, pelos/cabellos no representativos, incompletos, y una diferencia temporal significativa entre el delito y la recolección de la muestra conocida. Las conclusiones negativas respecto del pelo/cabello también se debilitan por la presencia de pelos cuestionados incompletos y por las similitudes y diferencias dentro de la muestra de pelo/cabello.

Los factores que refuerzan las conclusiones negativas respecto del cabello/pelo incluyen una gran cantidad de muestras conocidas y los pelos/cabellos que son muy dispares, como los que presentan razas diferentes y/o características microscópicas. Dos o más pelos/cabellos cuestionados que se encuentran juntos en un grupo y no son similares a la muestra conocida también apoyan la conclusión negativa de la comparación.

Para profundizar el tema de pelos y cabellos desde el punto de vista criminalístico, es recomendable la lectura de *El examen en el escenario del crimen*, BdeF, Montevideo-Buenos Aires, 2010, de mi autoría.

VI. LAS UÑAS

a) Introducción

No hay duda de que en materia de identificación en antropología forense, las uñas son un elemento valioso, como también en medicina legal o forense. Es por esa razón que siempre que resulte factible deben ser recogidas del cadáver y estudiadas con mucho cuidado.

Sirven para determinar el sexo, el grupo sanguíneo, la edad aproximada de la víctima y algunas de las enfermedades que haya podido sufrir. También es sumamente importante la posibilidad de contar con los residuos contenidos debajo del reborde ungueal, ya que, estudiados al microscopio, pueden brindar información importante sobre la vida y las costumbres del sujeto y fundamentalmente, pueden ocultar fragmentos de piel y/o pelos/cabellos del agresor arrancados durante sus intentos de defensa. Los fragmentos de referencia facilitan el estudio de ADN y grupo sanguíneo, así como la morfología y los caracteres del pelo que pueden llevar a la identificación del agresor.

En la piel del agresor pueden quedar grabadas las huellas de las uñas de la víctima y, como tales, sirven para estudio y cotejo. Con relación a las uñas de los pies, si bien tienen menos valor en apariencia que las de las manos, también pueden ser muy útiles para la identificación en algunos casos.

b) Anatomía de la uña

La uña es una estructura anexa de la piel localizada en las regiones distales de los miembros. Está formada por células epiteliales, que, como la epidermis, se agrupan en una capa profunda o basilar que descansa sobre las papilas, un estrato medio, continuación del cuerpo mucoso de Malpigio, y uno superficial o estrato granuloso con su capa lúcida y sobre ella el acúmulo de células córneas anucleadas, cargadas de queratohialina que forma la uña córnea propiamente dicha. Empieza a formarse en el tercer mes de la vida fetal y queda formada en el sexto mes.

Se conoce también como garra y pezuña en los animales. Está formada principalmente por células muertas endurecidas que contienen queratina, una proteína fibrosa. Su ritmo de crecimiento varía de un dedo a otro y de una persona a otra. Como promedio crecen unos cuatro milímetros al mes. Si no se cortan, pueden alcanzar una longitud considerable.

Las uñas de las manos crecen cuatro veces más rápido que las de los pies. Ambas están compuestas de:

§ Matriz o raíz. Es la parte donde crece la uña, situada bajo la piel. Allí se origina.

§ Eponiquio. Es la estrecha franja del pliegue de la piel que parece terminar en la base del cuerpo ungueal. A veces se la llama cutícula.

§ Paroniquio. Es la estrecha franja del pliegue de la piel a los lados de la uña.

§ Hiponiquio. Es el tejido ubicado debajo del borde libre de la uña. Constituye un sello impermeable que protege el lecho ungueal de las infecciones.

§ Cuerpo ungueal. Es la estructura córnea que normalmente conocemos como uña; la porción dura y translúcida compuesta de queratina.

§ Lecho ungueal. Es el tejido conectivo adherente que se encuentra debajo de la uña y conecta con el dedo.

§ Lúnula. Es la parte blanquecina en forma de medialuna que se observa casi siempre en la base del cuerpo ungueal. No todos los dedos la tienen visible. La lúnula es el final de la matriz y, por lo tanto, la parte visible de la uña viva. El resto del cuerpo ungueal se compone de células muertas. Es la línea curva de convexidad superior muy desarrollada en los pulgares y apenas o nada en el meñique.

Ver imagen 5 en el Anexo fotográfico

Las uñas crecen a una velocidad promedio de 0,1 mm/día (1 cm cada 100 días). Las de las manos tardan de 3 a 6 meses en volver a crecer completamente. Las de los pies se demoran de 12 a 18 meses. El ritmo exacto depende de la edad, la estación del año, la cantidad de ejercicios hechos y factores hereditarios.

c) Patología de las uñas

Como sucede con la piel, las uñas de los dedos de las manos dicen mucho acerca de su estado de salud.

• Las líneas de Beau son depresiones a través de la uña. Estas líneas pueden ocurrir después de una enfermedad, una lesión de la uña y cuando se está desnutrido.

Ver imagen 6 en el Anexo fotográfico

• Las uñas frágiles o quebradizas a menudo son el resultado normal del envejecimiento, pero también pueden deberse a ciertas enfermedades y afecciones.

• La coiloniquia es una forma anormal de las uñas de los dedos de la mano en donde la uña tiene crestas levantadas y es delgada y cóncava. Este trastorno está asociado con una anemia ferropénica.

Ver imagen 7 en el Anexo fotográfico

• La leuconiquia corresponde a vetas o puntos blancos en las uñas.
• Las lesiones punteadas de la uña corresponden a la presencia de pequeñas depresiones en la superficie de ésta, frecuentemente acompañadas de desmoronamiento. La uña puede aflojarse y algunas veces desprenderse.
• Las crestas son líneas pequeñas y levantadas que se desarrollan a lo largo de la uña o arriba y abajo de la uña.

CAUSAS

Lesión

• Aplastar la base de la uña o el lecho ungueal puede producir una deformidad permanente.
• Quitarse o friccionarse la piel por detrás de la uña, de una forma crónica, puede hacer que la uña tome forma de tabla de lavar.
• La exposición prolongada a la humedad o al esmalte para uñas puede hacer que las uñas se pelen o descascaren y se vuelvan frágiles.

Infección

• Los hongos o levaduras producen cambios en el color, la textura y la forma de las uñas.
• La infección bacteriana puede causar un cambio en el color o áreas de infección dolorosas debajo de la uña o en la piel que la circunda y las infecciones severas pueden causar la pérdida de la uña.
• Las verrugas virales pueden ocasionar un cambio en la forma de la uña o la encarnación de piel debajo de ella.
• Ciertas infecciones (especialmente de la válvula del corazón) pueden producir líneas o vetas rojas en el lecho ungueal (hemorragia lineal subungueal).

ENFERMEDADES

• Las enfermedades que afectan la cantidad de oxígeno en la sangre (como una anatomía cardiaca anormal y enfermedades pulmonares, incluyendo el cáncer o la infección) pueden producir dedos hipocráticos, es decir, ensanchamiento y engrosamiento de la "pulpa" de los dedos de las manos con curvatura de las uñas hacia la cara palmar, lo que da a los dedos la apariencia de palillos de tambor. No hay que dejar de considerar que puede haber falsos dedos hipocráticos en ciertas profesiones como labradores, zapateros, carpinteros.

Ver imagen 8 en el Anexo fotográfico

• La nefropatía puede provocar una acumulación de productos de desecho nitrogenado en la sangre, lo cual causa daño a las uñas.
• La enfermedad hepática puede dañar las uñas.

• Las enfermedades de la tiroides, incluyendo el hipertiroidismo o el hipotiroidismo, pueden producir uñas quebradizas o separación del lecho ungueal de la lámina ungueal (onicólisis).

Ver imagen 9 en el Anexo fotográfico

• Una enfermedad grave o una cirugía puede producir depresiones horizontales en las uñas (líneas de Beau).
• La psoriasis puede producir hendiduras, separación de la lámina ungueal del lecho ungueal (onicólisis) y la destrucción crónica de dicha lámina (distrofia de la uña).
• Otros problemas de salud que pueden afectar la apariencia de las uñas abarcan amiloidosis sistémica, desnutrición, deficiencia de vitaminas y liquen plano.

Tóxicos

• La intoxicación con arsénico puede causar líneas blancas y crestas horizontales.
• La ingestión de plata puede ocasionar coloración azulada de la uña.

De gran interés identificativo son los casos de onicofagia (comedores de uñas) y algunas variantes, la quiroonicofagia o comedores de las uñas de las manos y podoonicofagia, que son los que se comen la uña del dedo gordo del pie.

Las uñas frágiles se ven en algunas enfermedades metabólicas o endocrinas (onicorrexis), en la diabetes y estados hipo e hiperfuncionales de la tiroides, así como durante la menopausia y en edades avanzadas.

d) Determinación racial

Cuando decimos que hay diferencias raciales en las uñas, queremos señalar que varía el color, la forma y hasta los tintes utilizados para alterar su color original. Como ejemplo digamos que el henné o henna, nombre con que se conoce la lawsonia alba (planta de la familia de las litráceas), es utilizado por algunos grupos étnicos para teñirse las uñas (por ejemplo: musulmanes).

e) Alteraciones atribuibles a la edad

La uña infantil se caracteriza por su color rosado, las de las personas de más de 50 años suelen poseer trastornos tróficos debido a alteraciones vasculares o degenerativas generales.

En el viejo aparecen irregularidades, unas veces de dirección transversal y otras longitudinal. De tal manera son muy frecuentes las estriaciones paralelas de dirección longitudinal, con frecuencia interrumpidas, alterando los relieves con canales de la misma dirección. Esto suele ir unido, a veces, a fragilidad, onicorrexis y a veces a hipertrofia, onigrifosis.

El estudio de la uña con luz ultravioleta permite apreciar una intensa fluorescencia azul con punteado amarillento en las malformaciones córneas, lo que no sucede en la infancia y en edades juveniles.

La leuconiquia de los adultos se debe a la penetración de burbujas de aire entre células imperfectamente queratinizadas, a causa de pequeños traumatismos en la base o a causa de ciertas perturbaciones nerviosas.

f) Tatuajes, lacas, barnices

Es sabido que las mujeres suelen pintarse las uñas de manos y pies con lacas de diversos colores, por ende, su presencia puede hacernos sospechar que se trata de restos femeninos. Sin embargo, hay hombres que se barnizan sus uñas con lacas o esmaltes transparentes y algunos individuos transexuales con lacas de colores, todo lo que habrá que tener en cuenta al momento de identificación por las uñas.

No obstante, la uña femenina suele ser más estrecha por sus dedos más finos y más alargados. En ciertos grupos étnicos es corriente que la mujer se tatúe las uñas, tatuaje que va desapareciendo a medida que crece para ser reemplazado más tarde por otro nuevo.

Finalmente digamos que los mulatos poseen el color de las uñas azulado pizarroso, además de tener más pigmentados los tejidos epidérmicos que rodean el dorso de los dedos, como sucede en la raza negra.

g) Marcas profesionales en las uñas. Estigmas

En muchas profesiones se observa abrasión o desgaste del borde libre ungueal (joyeros, grabadores); en violinistas y pianistas ello aparece en el pulgar derecho. Los zapateros suelen acusar erosiones debidas a picaduras y cortes en el pulgar; las costureras poseen estos estigmas en el índice derecho (diestras) e izquierdo (zurdas). Los relojeros acusan desgastes en las uñas del pulgar e índice con los que sujetan las piezas que van a limar.

El color de las uñas se altera en ciertas profesiones, por ejemplo adquiere un color negro o parecido al tabaco en los fotógrafos que no tienen la precaución de revelar y fijar sus negativos con guantes; el color rojo caoba aparece en los que manipulan ácido nítrico y nitrato de plata, y azul en los que manejan índigo. Los ebanistas que usan barnices acaban con un color pardo negruzco, etcétera.

h) Forma de cortarse las uñas

Si el individuo no se cortaba las uñas y las dejaba crecer descuidadamente esto ya nos habla de un aspecto psicológico del sujeto; en estos casos la suciedad se acumula debajo de las uñas, tienen las uñas negras y, además, sufren con frecuencia traumatismos en los bordes y fracturas

irregulares. Si no se las cortaba pero se las comía estamos ante otra actitud psicológica, generalmente en personas neuróticas.

En el caso de que el individuo sí se cortaba las uñas, la observación microscópica de las mismas permite sacar numerosas conclusiones, algunas de ellas psicológicas. Así se podrá apreciar si se hizo uso de una tijera grande, fina, curva o especial para uñas, o alicate, todo lo cual indicará si era cuidadoso y metódico o descuidado y atropellado.

Aparte de lo expresado en el párrafo anterior, se podrán sacar también conclusiones vinculadas al hecho de si el sujeto era diestro o zurdo y si poseía precisión en su pulso.

El largo superior al del resto de los dedos, de la uña del dedo meñique, puede indicar simplemente que se la utilizaba para sacar cera de los oídos y en otros casos para tareas tales como quitar costuras (sastres).

i) Heridas producidas por uñas

Revisten gran valor en estudios médico forenses, especialmente en personas sospechosas de atentados sexuales, de homicidios y donde se sospecha que hubo lucha entre agresor y víctima; en tales casos se deben buscar marcas de arañazos y uñas, ya que pueden ser muy reveladoras de la mecánica del hecho.

Estas marcas de uñas también pueden aparecer en paredes u objetos a los que se aferró la víctima al caer.

Todo este material debe ser fotografiado, y debe medirse su profundidad, forma, ancho, etcétera.

j) Residuos existentes bajo las uñas

Pueden tener valor identificativo, de diagnóstico e incluso revelador de la identidad del agresor. La existencia de residuos en estas zonas generalmente indica la profesión posible del sujeto (cerrajeros = polvo/limaduras de hierro o bronce; matarifes, cocineros y peluqueros = cuerpos grasos, etcétera).

En el sospechoso pueden aparecer partículas reveladoras, como yeso, tierra, piel de la víctima, o pelos o fragmentos de éstos, restos de sangre, etc. En forma inversa, en la víctima pueden encontrarse las mismas sustancias que delatan al agresor, depositadas allí en los movimientos de defensa (clavado de uñas, arañazos, etcétera).

Capítulo III

LA ODONTOLOGÍA FORENSE EN LA INVESTIGACIÓN CRIMINAL

I. Introducción

La odontología forense es la disciplina de identificación basada en el reconocimiento de características únicas presentes en las estructuras dentales de cada persona y se utiliza cuando la identificación por las huellas dactilares no resulta posible. Se basa en el conocimiento detallado de los antecedentes dentales que pueda poseer un dentista; esta especialidad odontológica incorpora la educación en anatomía dental, radiografías y su interpretación, la patología, los materiales dentales, las anomalías del desarrollo y una profunda familiaridad con numerosos métodos de documentación esquemática y abreviatura en la toma de notas referentes a los progresos del tratamiento.

Esta área de la identificación forense juega un papel importante en catástrofes de origen humano o natural, que dan lugar a múltiples víctimas mortales que no pueden identificarse a través de métodos convencionales, por ejemplo, las huellas dactilares. Los mismos principios se aplican a la identificación individual por muerte. En situaciones en las que se ha destruido la piel de las crestas papilares, todavía es posible la recuperación de las estructuras dentales identificables; se hace más evidente en accidentes de aviones y explosiones industriales, donde las altas fuerzas G y el fuego producen fragmentación e incineración parcial. Los dientes y las restauraciones dentales son los elementos más fuertes en el cuerpo humano y sobreviven a las influencias destructivas del fuego y la exposición a los elementos.

La individualización por medio de radiografías dentales se basa en varios factores, el más importante es la capacidad de localizar una fuente de radiografías dentales o médicas conocidas, que claramente documenten puntos únicos de identificación. Como se ha indicado anteriormente, también es dependiente de la supervivencia de la estructura dental para la radiografía *post mortem*; además, también depende de una identificación

presuntiva derivada de otros medios de investigación, es decir, los manifiestos de vuelo, los efectos personales u otras pruebas circunstanciales. A diferencia de un repositorio central para el análisis de huellas dactilares automatizadas, los registros dentales deben derivar de forma individual.

Una vez obtenida, hasta una sola radiografía dental puede generar múltiples puntos de comparación. Cuando se considera que un individuo tiene el potencial para tener treinta y dos dientes, cada diente con una parte superior y cuatro caras y cada una de estas cinco superficies es virgen o restaurada con uno o más materiales dentales de varios tipos, la probabilidad de establecer una identificación es extremadamente alta. Cuando se añaden factores tales como un patrón de extracción, la presencia de anomalías anatómicas o una patología, puede establecerse la probabilidad de que las características dentales sean únicas.

Ver imágenes 10 y 11 en el Anexo fotográfico

La odontología forense es una rama de la medicina forense y, en relación con los intereses de la justicia, lleva a cabo un examen adecuado, manipula y presenta evidencias dentales en juicios. El trabajo de un odontólogo forense comprende:

- identificación de marcas de mordeduras en víctimas de ataques;
- comparación de marcas de mordidas con los dientes de un sospechoso y la presentación de esta prueba en los tribunales como testigo experto/perito;
- identificación de marcas de mordidas en otras sustancias como la madera, el cuero y los productos alimenticios;
- identificación de cadáveres desconocidos a través de registros dentales;
- estimaciones de edad de restos óseos.

Un odontólogo forense debería trabajar con un médico forense o un antropólogo forense.

Digamos entonces que la función más común del odontólogo forense es la identificación de los individuos fallecidos. La identificación dental toma dos formas principales: en primer lugar, el examen más frecuentemente realizado es una identificación comparativa que se utiliza para establecer (con un alto grado de certeza) que los restos de un difunto y una persona representada por los registros dentales anteriores a la muerte, son el mismo individuo. La información del cuerpo o de las circunstancias por lo general contiene pistas acerca de quien ha muerto. En segundo lugar, en aquellos casos en que los registros previos/anteriores a la muerte no estén disponibles, y no haya pistas sobre la posible identidad, el odontólogo forense completa un registro/perfil posterior al fallecimiento, donde sugiere características del individuo que deberían reducir la búsqueda de los materiales antes de la muerte.

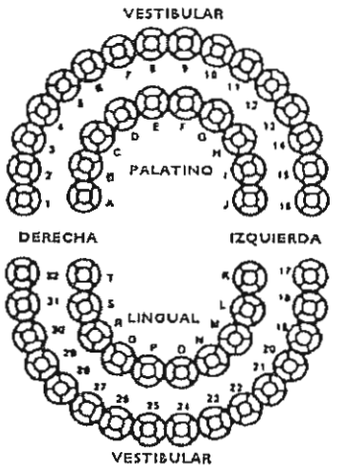
La identificación dental de los seres humanos se produce por una serie de razones diferentes y en un número de situaciones distintas. Los cuerpos de las víctimas de delitos violentos, incendios, accidentes de tránsito y accidentes en el lugar de trabajo, pueden estar desfigurados hasta tal punto que la identificación por parte de un miembro de la familia no es fiable ni deseable. Las personas que hayan fallecido algún tiempo antes del descubrimiento y las que se encuentran en el agua también presentan/acusan una identificación visual desagradable y difícil. Las identificaciones dentales han desempeñado siempre un papel clave en situaciones de desastres naturales y provocados por el hombre, y en particular con el gran número de víctimas que normalmente se asocian con desastres aéreos.

II. Identificación dental comparativa

Muchas personas están familiarizadas con el concepto de identificación dental, frecuentemente se lo menciona en las noticias de televisión, pero los matices y las complejidades del proceso rara vez se entienden. El dogma central de la identificación dental es que los restos dentales *post mortem* se pueden comparar con registros dentales previos a la muerte, incluyendo notas escritas, moldes de estudio, radiografías, etc., para confirmar la identidad. Evidentemente, las personas con tratamientos dentales numerosos y complejos suelen ser más fáciles de identificar que los individuos con poco o ningún tratamiento restaurador. Los dientes no sólo representan un repositorio apropiado para tales características únicas de identidad, sino que también sobreviven a la mayoría de los eventos *post mortem* que pueden interrumpir o cambiar otros tejidos del cuerpo.

Por lo general, se hallan los restos humanos y a continuación se informa a la policía, que seguidamente inicia una solicitud de identificación dental. A menudo es viable una identificación presuntiva o provisional (por ejemplo, la billetera o permiso de conducir pueden ser encontrados en el cuerpo), que permitirá localizar los registros anteriores a la muerte. En otros casos, la ubicación geográfica en la que el cuerpo se encuentra u otras características físicas y evidencias circunstanciales pueden permitir realizar una supuesta identificación, utilizando frecuentemente datos de registros de personas desaparecidas. Los registros previos al fallecimiento se obtendrán de los registros del odontólogo.

El odontólogo forense produce el registro *post mortem* mediante la graficación cuidadosa y descripciones escritas de las estructuras dentales y radiografías. Si los registros antes de la muerte están disponibles en este momento, deben tomarse las radiografías *post mortem* para replicar el tipo y el ángulo de éstos. Las radiografías deben estar marcadas para indicar cuáles son anteriores y cuáles posteriores al deceso, para evitar la confusión (por ejemplo: un orificio para las anteriores y dos para las posteriores).



Modelos de odontogramas

Ver imagen 12 en el anexo fotográfico

Un odontodiagrama es la representación de las características, alteraciones y patologías que pueden encontrarse en un paciente al momento de su examen por un odontólogo, en una historia clínica. Este mismo odontodiagrama es el que se utiliza para identificar personas, vivas o muertas, cuando existen factores que impiden su identificación por otros medios. El término odontograma es algo similar al odontodiagrama, pero dirigido más a representaciones gráficas de lo que se consigue en la boca de un paciente.

Una vez que los registros *post mortem* están completos, se puede llevar a cabo una comparación entre los dos registros; se requiere una comparación metódica y sistemática, examinando cada diente y las estructuras circundantes sucesivamente. Mientras que las restauraciones dentales ocupan un lugar importante en el proceso de identificación, se evalúan otras muchas características orales; ellas desempeñan un papel cada vez más importante en aquellos individuos con restauraciones mínimas. Debido a la disminución progresiva de la caries dental, los casos denominados no restauradores pueden llegar a ser más comunes.

Durante el proceso de comparación deben tenerse en cuenta similitudes y diferencias. Hay dos tipos de discrepancias: las que se pueden explicar y las que no. Las primeras normalmente están relacionadas con el tiempo transcurrido entre los registros anteriores y los posteriores a la muerte; los ejemplos incluyen dientes extraídos o restauraciones de amalgama. La figura siguiente ilustra las discrepancias explicables. Si la discrepancia es inexplicable (por ejemplo, un diente no está presente en el registro anterior al fallecimiento, pero está presente en el registro *post mortem*), entonces debe hacerse una exclusión.

Se puede alcanzar una serie de conclusiones a la hora de informar una identificación dental. La Junta Americana de Odontología Forense recomienda que éstas se limiten a las siguientes cuatro:

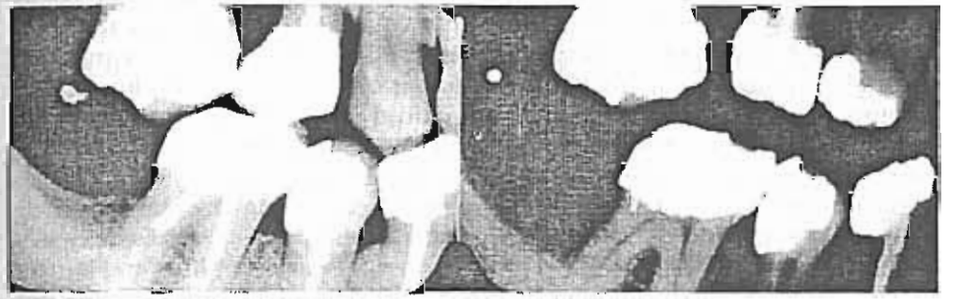
Identificación positiva: el cotejo *ante mortem* y *post mortem* con suficientes detalles, sin discrepancias inexplicables, para establecer que son del mismo individuo.

Identificación posible: la información *ante* y *post mortem* tiene características consistentes, pero debido a la calidad ya sea de los restos posteriores a la muerte o la evidencia antes de la muerte, no es posible establecer la identidad en forma positiva.

Insuficiencia de evidencias: la información disponible es insuficiente para formar la base para una conclusión.

Exclusión: la información anterior y posterior al deceso es claramente inconsistente.

Es importante señalar que no existe un número mínimo de puntos o características concordantes que se requieran para una identificación positiva. En muchos casos un solo diente se puede utilizar para identificar si contiene suficientes características únicas. Del mismo modo, una serie completa de radiografías de la boca puede no revelar detalles suficientes para hacer una conclusión positiva. El criterio de identificación recae en el odontólogo, que debe estar preparado para justificar las conclusiones en el juicio.



Comparación radiográfica del registro anterior y posterior al deceso (izquierda = posterior; derecha = anterior a la muerte).

III. PERFILES DENTALES *POST MORTEM*

Cuando los registros dentales *ante mortem* no están disponibles y no son posibles otros métodos de identificación, el odontólogo forense puede ayudar a limitar la población a la que el fallecido es probable que pertenezca y por lo tanto aumentar la probabilidad de localizar registros dentales *ante mortem*. Este proceso se conoce como perfil dental *post mortem*. La información de este proceso permitirá una búsqueda más específica para los registros *ante mortem*; un perfil dental posterior a la muerte pro-

porcionará información sobre la edad del fallecido, los antecedentes de ascendencia, sexo y estatus socioeconómico. En algunos casos es posible proporcionar información adicional con respecto a la ocupación, los hábitos alimenticios, comportamientos habituales y, ocasionalmente, sobre las enfermedades dentales o sistémicas.

Los antropólogos forenses muy a menudo proveen detalles de los estudios osteológicos, pero los dentistas forenses pueden ayudar en el proceso. La determinación del sexo y la ascendencia se puede apreciar desde la forma del cráneo. En general, de la apariencia del cráneo, los odontólogos forenses pueden establecer la raza dentro de los tres grupos principales: caucasoide, mongoloide y negroide. Las características adicionales, tales como cúspides de Carabelli, incisivos en forma de pala y premolares multilobulados, también pueden ayudar en la determinación de la ascendencia. La determinación del sexo se basa usualmente en el aspecto del cráneo, ya que no son evidentes las diferencias de sexo en la morfología de los dientes. El examen microscópico de los dientes puede confirmar el sexo por la presencia o ausencia de cromatina Y y el análisis de ADN también puede revelarlo.

Las estructuras dentales pueden proporcionar indicadores útiles para la edad cronológica del individuo. La edad de los niños (incluidos los fetos y recién nacidos) se puede determinar por el análisis del desarrollo del diente y la posterior comparación con tablas de desarrollo. Las conclusiones por lo general poseen una precisión de aproximadamente ± 1,5 año.

Es importante señalar que, al determinar las edades subadultas, las fechas de erupción de los dientes son muy variables y las etapas reales de desarrollo de los dientes son más precisas; el desarrollo del tercer molar es utilizado por algunos dentistas forenses para asignar la edad a los adultos jóvenes, aunque las dudas sobre la exactitud de esta técnica se incrementarán por la propia experiencia del profesional, respecto de la variabilidad de estos dientes. Los que defienden el uso del tercer molar demandan una precisión de ± 4 años. Los adultos de mediana edad y mayores presentan dificultades; la progresión de la enfermedad periodontal, el desgaste excesivo, las restauraciones múltiples, las extracciones, la patología ósea y el trabajo de restauración compleja pueden indicar que se trata de una persona mayor. La precisión con estos marcadores altamente variables está en el rango de ± 10-12 años. Un estudio reciente del Reino Unido examinó el uso de la longitud de la raíz en la fijación de la edad en los casos pediátricos.

La presencia de erosión puede sugerir el consumo de alcohol o drogas, un trastorno de la alimentación o inclusive hernia hiatal, mientras que las manchas pueden indicar el haber fumado, el uso de tetraciclina o masticación de la nuez de betel (betel = planta trepadora de la familia de las Piperáceas, que se cultiva en el Extremo Oriente. Sus hojas, hendidas en la base, aovadas, aguzadas y con los nervios medio esparcidos, tienen cierto sabor a menta y sirven en Filipinas para la composición del buyo, y su fruto, en forma de baya, contiene una semilla o grano como de pimienta).

Los patrones inusuales de desgaste pueden ser consecuencia de cánulas de pipas, boquillas para cigarrillos, horquillas para el cabello, tachuelas para alfombra o tratamiento ortodóncico previo. La calidad, cantidad y presencia o ausencia de tratamiento dental puede dar una indicación de la condición socioeconómica o del país de residencia probable.

Si el perfil *post mortem* no genera la identidad provisional de la persona fallecida, puede ser necesario para reconstruir la apariencia del individuo durante la vida. Ésta es la responsabilidad de los artistas forenses que utilizan el perfil dental para ayudar en la reproducción facial.

IV. Otros métodos de identificación dental

Los dos procesos antes descritos, y la identificación de perfiles comparativos y *post mortem*, constituyen los métodos más comunes de identificación dental. Sin embargo, en algunos casos se han aplicado técnicas más novedosas e innovadoras. Ha habido un número de solicitudes de particulares y organizaciones dentales a lo largo de los años, insistiendo en que las prótesis dentales se etiqueten con el nombre del paciente o un número único. El etiquetado de las prótesis puede ser de gran ayuda en la identificación de individuos.

La recuperación de prótesis de pacientes sin etiqueta y el montaje posterior en moldes retenidos por el dentista tratante o laboratorio ha sido un método aceptado de identificación. Otros aparatos dentales, tales como los de ortodoncia removibles, también se han empleado para propósitos de identificación. Algunos autores han descrito el uso de patrones de arrugas palatinas, reproducidos sobre moldes dentales, para comparación con restos encontrados; con este método se han logrado identificaciones positivas.

V. El papel del ADN en la identificación dental

Debido a la naturaleza resistente de los tejidos dentales a las agresiones del medio ambiente, tales como la incineración, la inmersión, el trauma, la mutilación y la descomposición, los dientes representan una fuente excelente de material de ADN. Cuando los métodos convencionales de identificación dental fallan, este material biológico puede proporcionar el vínculo necesario para demostrar identidad. Con el advenimiento de la reacción en cadena de la polimerasa, una técnica que permite la amplificación de ADN en sitios preseleccionados y específicos, esta fuente de evidencia es cada vez más popular entre los investigadores. Se puede hacer la comparación de ADN conservado y extraído de los dientes de un individuo no identificado con una muestra conocida, anterior a la muerte (sangre almacenada, cepillo para el cabello, ropa, biopsia, etc.) o de un padre o hermano.

1. El ADN genómico

El ADN genómico (ADN cromosómico nuclear que ha sido aislado directamente de células o tejidos) se encuentra en el núcleo de cada célula y representa la fuente de ADN para la mayoría de las aplicaciones forenses (no hay núcleos, y por lo tanto no hay ADN, en los glóbulos rojos). Cuando los tejidos del cuerpo se han descompuesto, las estructuras del esmalte y los complejos de dentina y pulpa persisten. Es necesario extraer el ADN de los tejidos calcificados.

2. Molienda criogénica

El análisis basado en la reacción en cadena de la polimerasa produce un perfil de ADN que se puede comparar con las muestras de ADN conocidas, anteriores a la muerte, o paternas. La identificación de los individuos no es el único uso para el ADN dental. La técnica ha permitido a los investigadores criminales vincular a las víctimas con la escena del crimen, una vez que el cuerpo ha sido retirado e incinerado.

3. El ADN mitocondrial

Además del ADN genómico, las células contienen ADN mitocondrial (ADNmt), la secuencia de bloques de construcción que puede ser determinada para ayudar en la identificación. La principal ventaja de ADNmt es que hay un elevado número de copias en cada célula debido al elevado número de mitocondrias presentes en la mayoría de ellas. Esto hace deducir que en los casos donde el ADN genómico no puede ser analizado, posiblemente porque está muy degradado, el ADNmt pueden estar presente en cantidad suficiente. Además de su alto número de copias, el ADNmt se hereda maternalmente. Este patrón de herencia materna confiere la misma secuencia de ADN mitocondrial, salvo mutaciones, a los hermanos y todos sus parientes maternos. Esto tiene implicaciones importantes para la identificación de las personas para las que no hay muestras de comparación anteriores a la muerte. Aunque el ADN mitocondrial se encuentra todavía en su infancia en el trabajo de casos forenses, es una técnica de gran alcance que puede convertirse en común en el futuro.

4. Identificación dental en desastres masivos

La identificación de un gran número de víctimas en desastres masivos son complejas y llenas de peligros, tanto física como emocionalmente. El proceso de identificación es fundamentalmente el mismo que el de una rutina de identificación dental comparativa, pero los problemas inherentes están magnificados. Los problemas de la fragmentación del cuerpo, la mutilación, la mezcla y la incineración, los registros dentales idiosincrásicos de numerosas regiones, las malas condiciones de trabajo y el estrés psicológico, confunden el proceso de identificación. La clave para

la identificación exitosa de desastres en masa es la preparación. Muchas jurisdicciones cuentan con equipos dentales de identificación y planes de emergencia en su lugar. Los simulacros de escenarios de desastre ayudan a los dentistas a prepararse para la situación y han demostrado ser exitosos en muchas partes del mundo.

5. Conclusiones

La odontología forense juega un papel importante en la identificación de aquellos individuos que no puedan ser identificados visualmente o por otros medios. La naturaleza única de nuestra anatomía dental y la colocación de restauraciones personalizadas asegura la precisión cuando las técnicas son empleadas correctamente.

VI. MARCAS DE MORDEDURAS

Intentaremos resumir las principales cuestiones, procesos y retos del análisis de mordeduras.

En situaciones de combate mortal, tales como la violencia asociada con luchas por la vida y la muerte entre agresores y víctimas, los dientes se utilizan a menudo como arma. De hecho, usar los dientes para causar una lesión grave a un atacante puede ser el único método de defensa disponible para una víctima. Por otra parte, es bien sabido que los asaltantes en ataques sexuales, incluido el homicidio sexual, la violación y el abuso sexual infantil, a menudo muerden a sus víctimas como expresión de dominación, rabia y comportamiento animal. Los dientes son un componente importante de nuestro arsenal natural; se sospecha que muchos odontólogos pocas veces han considerado los dientes de sus pacientes como tales armas eficaces. El objetivo de este apartado es proporcionar información acerca de este tipo de evidencia forense y demostrar cómo las mordidas humanas son utilizadas por algunos juzgados para responder las preguntas importantes que pueden surgir durante el enjuiciamiento de los acusados.

En la actualidad no existe acuerdo entre los odontólogos forenses acerca de la individualidad (única) de la dentición o el comportamiento de la piel humana durante la mordedura. Aunque estos temas nunca han sido probados científicamente, hay mucha investigación en marcha en un intento por probar la sospecha de que cada dentadura humana es única. Los tamaños, las formas y el patrón de los bordes penetrantes de los dientes anteriores que se disponen en la parte superior e inferior de arcadas dentales, se cree que son específicos para cada individuo. Esto se debe principalmente a la secuencia de erupción de los dientes anteriores y posteriores. Los caninos deben abrirse camino en el arco dental, que a menudo resulta en el movimiento corporal, la rotación y el desplazamiento de otros dientes. La configuración resultante de la dentición produce

un patrón identificable que puede ser comparado con patrones similares existentes en objetos mordidos, para determinar la probabilidad de que un individuo específico haya dejado su tarjeta de visita.

La cantidad y el grado de detalle grabado en la superficie de mordida pueden variar de un caso a otro y, aunque se supone que la dentición es individual como para justificar su uso en contextos forenses, no se sabe si esta individualidad se registra de manera específicamente concreta en la lesión. En situaciones donde se dispone de suficiente detalle, puede ser posible identificar a quien mordió con exclusión de todos los demás. Quizá más importante aún, es posible excluir a sospechosos que no dejaron la mordida.

Ver imagen 13 en el Anexo fotográfico

Todos los miembros del equipo de la oficina dental –desde la recepcionista hasta el asistente del odontólogo– deben familiarizarse con las apariencias y las presentaciones de este tipo de evidencias. Estas lesiones se asocian a menudo con el abuso físico y sexual de los niños, los esposos y los ancianos. Por otra parte, la evidencia es generalmente fácil de observar en el consultorio dental durante las visitas regulares del paciente. El reconocimiento y la notificación de este tipo de lesiones a las autoridades específicas que estén equipadas para investigar esas sospechas pueden poner fin al patrón episódico de abuso y detener el ciclo de violencia a los que muchas víctimas no son capaces de escapar.

Cuando un consultor en medicina pediátrica examina en un hospital a un paciente joven, que es una víctima potencial de la violencia doméstica, se deben hacer esfuerzos para documentar todas las lesiones. El consultor podrá recurrir a un dentista para ayudar en el examen y la recuperación de la evidencia de marcas de mordida si se encontraran. El odontólogo debe estar lo suficientemente familiarizado con los procedimientos necesarios para ayudar a los consultores de esta manera. Obviamente, las demás autoridades también pueden solicitar la participación de este tipo, en la jurisdicción local del dentista, en casos de delitos violentos interpersonales.

1. Presentación típica de las lesiones por mordeduras

Las mordidas humanas se encuentran más frecuentemente en la piel de las víctimas, y pueden encontrarse en casi todas las partes del cuerpo humano. Las mujeres son mordidas más a menudo en los senos y las piernas, durante los ataques sexuales, mientras que en los varones se ven comúnmente en los brazos y hombros. En circunstancias defensivas, como cuando los brazos se levantan para protegerse de un atacante, frecuentemente se muerden los brazos y las manos.

Una mordedura humana representativa se describe como una lesión elíptica o circular, que registra las características específicas de los dientes. La lesión puede ser en forma de rosquilla con características registradas en

todo el perímetro de la marca. Alternativamente, puede estar compuesta por dos arcos en forma de U que se separan en sus bases por un espacio libre. El diámetro de la lesión suele oscilar entre 25-40 mm. A menudo, se puede observar una zona central de contusión dentro de las marcas de los dientes; este sangrado extravascular es causado por la presión de los dientes, ya que comprimen el tejido hacia el interior del perímetro de la marca.

Las mordidas con un alto valor probatorio que se pueden utilizar en comparaciones con los dientes de los sospechosos, incluirán marcas de dientes específicos que registren en forma precisa rasgos inequívocos. Es posible identificar tipos específicos de dientes por sus características de clase; por ejemplo, los incisivos producen lesiones rectangulares y los caninos triangulares. Pero es necesario contar con las características individuales registradas en la huella de mordedura para poder identificar positivamente al autor. El uso, mal uso y abuso de los dientes da como resultado características únicas que se mencionan como rasgos accidentales o individuales; tales características incluyen fracturas, rotaciones, desgaste, malformaciones congénitas, etc. Cuando éstas se registran en la lesión puede ser posible compararlas para identificar los dientes específicos (personas) que causaron la lesión. Si estas características individuales no están presentes en los dientes, o si no se registran bien en la lesión, la importancia forense general de la mordida se reduce.

Las heridas causadas por los dientes pueden ir desde golpes hasta rasguños y cortes o laceraciones. Ciertamente, es posible que la fuerza generada sea suficiente para permitir la penetración de los bordes de mordida de los dientes en las capas profundas de la piel. Si transcurre mucho tiempo desde el momento de la lesión hasta el de su descubrimiento, la naturaleza difusa de los moretones y los cambios asociados con lesiones en el tiempo pueden disminuir el valor probatorio. Esto es especialmente cierto en el caso de damnificados de mordeduras con vida, y también en personas fallecidas.

Es muy importante durante el examen inicial de la lesión asegurarse de que un artefacto, tal como un electrodo de ECG aplicado por personal médico de emergencia, no hubiera causado el patrón o que algún objeto diferente a los dientes haya causado una lesión circular o elíptica.

2. Recolección de evidencia en la víctima de mordedura

El dentista en su práctica privada general no suele tener la oportunidad de tratar con los procedimientos de recolección de evidencias de las víctimas de mordeduras. Los investigadores en la escena del crimen, los patólogos en la autopsia o el personal médico en la sala de urgencia encuentran la mayoría de las mordidas. Pero como la evidencia física y biológica de una mordedura comienza a deteriorarse poco después de infligirse, todos los dentistas deben estar familiarizados con los principios generales de recolección de evidencias. Esto es especialmente cierto para

los dentistas que se ocupan de poblaciones de pacientes que pueden ser potencialmente víctimas de violencia doméstica, en las que a menudo se descubren mordeduras. Los profesionales deberían hacer todo lo posible por preservar con exactitud y precisión las evidencias tan pronto como se descubran mediante las siguientes técnicas, y no esperar a que otros con más experiencia puedan ser consultados o citados. La mejor oportunidad para la recolección de la evidencia puede ser cuando se presenta y observa por primera vez.

Si un dentista encuentra una lesión en el patrón que se sospecha que es una mordedura, debe ser reportado a la policía. Luego, el odontólogo debe completar la siguiente lista de procedimientos para recoger adecuadamente las evidencias:

a) Documentación

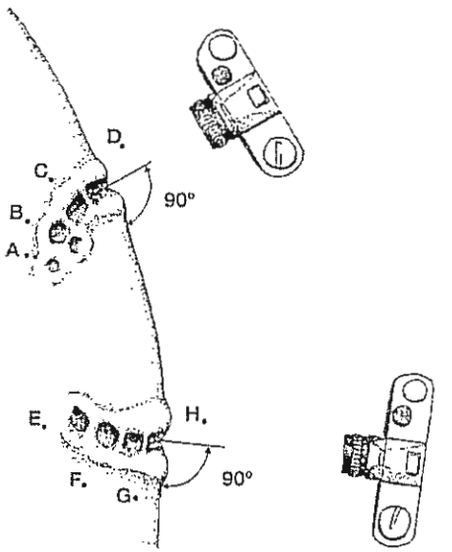
Hacer un registro de las lesiones, incluyendo notas descriptivas narrativas, que documenten la apariencia física, color, tamaño y orientación de la lesión. ¿Cuál es la localización en el cuerpo? ¿Cuál es el contorno relativo y la elasticidad del sitio? ¿Puede determinarse la diferencia entre las marcas de los dientes superiores e inferiores? ¿Qué tipo de lesiones están presentes? ¿Cortes? ¿Moretones? ¿Raspaduras?

b) Fotografías

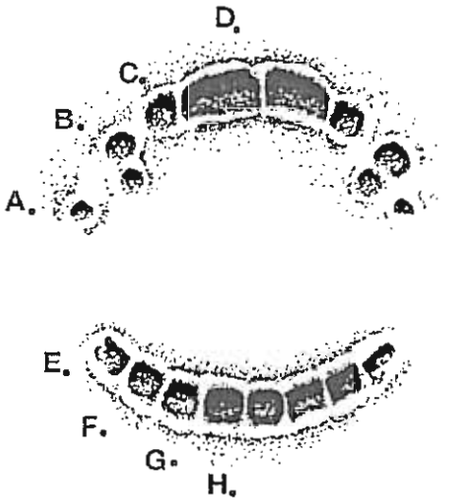
Tomar una orientación amplia y fotografías de cerca con una cámara con objetivo macro, tanto en color como en negro y blanco. Una escala de referencia, como una regla, debe ser colocada en el mismo plano que la lesión y visible en las fotografías para permitir mediciones subsecuentes. Asegurarse de que la cámara esté colocada directamente sobre la zona lesionada. El eje mayor de la lente debe ser perpendicular a la piel mordida para reducir la distorsión en la perspectiva en las fotografías (ver imágenes en p. 29).

b) Hisopos para la saliva

La saliva se habrá depositado sobre la piel durante la mordida o al chupar, y esto debe ser recogido y analizado. Usar la técnica del hisopo doble: en primer lugar, un hisopo de algodón humedecido con agua destilada se utiliza para lavar la superficie que se puso en contacto con la lengua y los labios, emplear poca presión y movimientos circulares. Luego, un segundo hisopo seco se utiliza para recoger el resto de humedad que queda en la piel por el primer hisopo. Ambos hisopos se secan completamente mediante aire a temperatura ambiente durante al menos 45 minutos, antes de su despacho a las autoridades policiales para su análisis.



Forma de fotografiar una mordedura



Resultado que se obtiene

Los dos hisopos deben mantenerse frescos y secos para reducir la degradación de las pruebas de ADN salivales y el crecimiento de bacterias que puedan contaminar las muestras y reducir su valor forense. Luego deben ser enviadas al laboratorio tan pronto como sea posible para su análisis. Si el tiempo hasta la remisión se prolonga, se recomienda que los hisopos se almacenen en un sobre de papel o caja de evidencias que

permita que el aire continúe circulando alrededor de las puntas del hisopo. Los hisopos no deben ser sellados en bolsas plásticas o recipientes de plástico. Los sobres o cajas deben refrigerarse o congelarse durante el almacenamiento.

También debe recogerse una muestra de ADN de la víctima en este momento, a fin de dar la oportunidad para la comparación con la muestra de la marca de mordedura. Esta muestra podría consistir en un hisopado bucal o una muestra de la sangre. El perfil de ADN de la víctima permitirá el análisis de cualquier tipo de mezcla que se encuentre en la muestra de la mordida, que puede incluir las contribuciones de los depositantes y la víctima.

d). Impresión

Fabricar una impresión exacta de la superficie de mordida para registrar las irregularidades producidas por los dientes, tales como cortes, abrasiones, etc. Utilizar polisiloxano de vinilo, poliéster u otro material de impresión disponible en el consultorio dental, que se recomienda para aplicaciones de prótesis fijas. Acrílico dental o yeso puede ser utilizado como un soporte rígido para el material de impresión. Esto permitirá a la impresión registrar con precisión la curvatura de la piel.

e) Primeros auxilios

Debe proveerse atención médica rápida a los damnificados vivos, dado que las mordeduras humanas tienen un mayor potencial de infección que las de animales. Las lesiones que alteran la integridad de la superficie de la piel deben ser tratadas tan pronto como sea posible.

3. La evidencia recogida de la mordedura sospechosa

La recolección de piezas dentales para usos forenses ha sido considerada como un procedimiento invasivo. Así, las impresiones dentales y muestras de mordida que se incautan de un sospechoso son susceptibles a las estrictas reglas de evidencia. En general, los sospechosos suelen ser muy cooperativos durante la recogida de pruebas físicas. Sin embargo, éste no es siempre el caso, por lo que el dentista al que se le solicita ayudar a las autoridades a recabar pruebas debe ver las disposiciones para garantizar que su seguridad personal esté considerada.

Por lo general, el sospechoso está bajo custodia y el examen dental se lleva a cabo fuera de la oficina dental del profesional, tal vez en una cárcel o centro de prisión preventiva. La policía suele proporcionar el transporte desde y hacia el sitio y asistencia al dentista en relación con el movimiento y la instalación de cualquier equipo y suministros que se necesiten para el examen. Las siguientes acciones y muestras físicas se recuperan durante el examen de la mordedura sospechosa:

a) Examen clínico

Se examinan las estructuras extra e intraorales y los resultados significativos se anotan en un gráfico dental. La atención especial se centra en la situación de la salud dental en general, y la oclusión y articulación mandibular. Los resultados de un examen específico de tales cosas como la movilidad de los dientes, cavidades periodontales, la cartografía de las restauraciones dentales, diastemas, fracturas, caries, etc., y la función de los músculos masticatorios, se documentan.

b) Fotografías

Se llevan a cabo fotografías del perfil facial completo, además de exposiciones intraoral para representar los arcos dentales superior e inferior y vistas frontales y laterales de los dientes en oclusión. Se debe hacer uso de una escala de referencia para que las medidas que deban tomarse de las fotografías se incluyan en el mismo plano que los dientes.

c) Impresiones

Es necesario para producir moldes de estudio extremadamente precisos de los dientes, registrar todos los rasgos físicos y las características de la dentición. Deben emplearse materiales precisos para moldes dentales, tales como el polisiloxano de vinilo o poliéster, aunque rara vez se fabrican cubetas/bandejas especiales para el sospechoso. Se recomienda producir dos conjuntos de moldes de estudio, elaborados utilizando una piedra dura. Todos los materiales, incluyendo las bandejas, las impresiones y los moldes, se mantienen en un almacén seguro para una eventual entrega a las autoridades policiales. Deben seguirse de cerca las instrucciones concretas para la manipulación del producto y la mezcla de material recomendadas por el fabricante.

d) Muestra de mordedura

Una muestra de la mordida del sospechoso se registra en la oclusión céntrica con ayuda de una oblea de placa de base de cera o una muestra de material de masilla de silicona diseñada para este propósito. Ello debe ser fotografiado inmediatamente después de su registro y dará una oportunidad para una futura comparación de la fotografía y la muestra, para verificar que no se ha producido una distorsión. El sospechoso debe permanecer bajo custodia hasta que la calidad y exactitud de todas las tomas se den por satisfactorias.

VII. COMPARACIÓN FÍSICA Y FORENSE DE LAS MORDIDAS

Los métodos más comunes para determinar si los dientes del sospechoso causaron la mordida incluyen técnicas para comparar el patrón de

los dientes (forma, tamaño, posición de los dientes, individual y colectivamente) con rasgos y características similares presentes en las fotografías de tamaño natural de la lesión, utilizando superposiciones de transparencias. Estas superposiciones han sido elaboradas mediante diversas técnicas. La más precisa se ha comprobado que es un método que utiliza una computadora. Otros métodos de comparación incluyen la comparación directa de los moldes para estudio del sospechoso con fotografías de la mordedura, la comparación de las mordidas de prueba producidas por el sospechoso, con la mordedura real, y el uso de imágenes radiográficas y microscopía de barrido electrónico.

Se han hecho algunos esfuerzos para estandarizar los procedimientos de comparación, pero, por desgracia, las conclusiones se basan a menudo en el nivel de la experiencia personal de los expertos y su criterio. La Junta Americana de Odontología Forense ha trabajado duro para establecer directrices para el examen independiente por parte de odontólogos en segundo y tercer lugar, de la misma evidencia, antes de que los peritos originariamente intervinientes presenten su informe final. De todos modos, muchos casos han sido discutidos debido a las diferentes opiniones de los expertos, los ataques a la base científica de las comparaciones físicas a causa de la elasticidad de la piel y la cuestión de la unicidad de la dentición humana.

VIII. Mordidas humanas como evidencia biológica forense

Durante el proceso de morder, y también al besar y chupar, la saliva se deposita en la superficie de la piel. Se ha demostrado que este rastro de evidencia está presente en cantidad y calidad suficientes para permitir detectar el ADN presente en la saliva de las células blancas de la sangre y, posiblemente, de las células epiteliales descamadas. Significativamente, puesto que las fuentes de alta intensidad de luz alternativa y el láser son ampliamente utilizados por la policía para localizar las manchas de fluidos corporales en la escena del crimen, pueden encontrarse y recogerse manchas de saliva depositada en la piel –incluso en ausencia de marcas de dientes–. Después de analizar el ADN de la saliva y establecer el perfil del depositante de ADN, este resultado se puede comparar con el perfil de ADN de cualquier sospechoso obtenido a partir de hisopados bucales que contienen saliva o sangre tomada con el uso de una lanceta.

La técnica del hisopo doble ha demostrado ser un método eficaz para obtener estas pruebas salivales de la piel y objetos inanimados. Mediante esta técnica se ha demostrado que el perfil de ADN de la piel de la víctima puede ser diferenciado del perfil de ADN de la saliva del contribuyente. Si el perfil de ADN obtenido de la mordedura coincide con el perfil de ADN del sospechoso, sólo hay dos posibles explicaciones de cómo esto podría

suceder: o bien depositó la saliva el sospechoso o bien cualquier otra persona que posee el perfil de ADN idéntico. Para evaluar la probabilidad de este segundo escenario, se realizan cálculos para evaluar cuán raro o común es el perfil en la población general.

IX. Resumen

Las conclusiones de los análisis de las evidencias de mordidas pueden ayudar al sistema de justicia a responder las preguntas cruciales relativas a las interacciones entre las personas en la escena de un crimen. La voluntad/complacencia de los dentistas para reconocer, recolectar y preservar esta evidencia puede ser muy valiosa en la resolución de crímenes interpersonales atroces.

Capítulo IV

IDENTIFICACIÓN HUMANA. HUELLAS DACTILARES LATENTES

I. Identificación humana. Métodos utilizados

En el terreno de esta disciplina existen distintas formas de identificación y han sido muchos los métodos utilizados con el transcurso del tiempo, algunos inhumanos, como la marcación física a la que se recurría hasta mediados del siglo XIX y otros, como la identificación a partir de tatuajes, malformaciones anatómicas, cicatrices, la fotografía, el método antropométrico, el fotofit, su antecesor el identikit, y el método papiloscópico. El mencionado en último término ha permitido la identificación de todos los integrantes de una sociedad, sin distinciones de actividades o antecedentes delictivos.

La identidad humana no sólo se ha logrado con el diseño papilar, tanto en Estados Unidos como en Europa se llevaron a cabo estudios que finalmente permitieron detectar otras características en el organismo humano con un alto grado de inmutabilidad y perennidad, que también pueden ser útiles para el fin al que se está haciendo referencia. El recurso informático ha generado cambios profundos en la criminalística. Entre los parámetros biométricos más utilizados en la identificación humana, se encuentran los siguientes:

a) voz,
b) ritmo cardíaco,
c) presión arterial,
d) color y diseño del iris,
e) aspecto tridimensional del rostro, manos, pies y pabellones auriculares,
f) temperatura del cuerpo.

Para ello se hace necesaria la utilización de sensores electrónicos que permiten cargar y registrar los datos biométricos obtenidos, para luego compararlos con los existentes en una base de datos, sin recurrir a archivos convencionales. Del mismo modo se requiere un sistema informático específico que permita la registración adecuada de las características biométricas del sospechoso de un delito.

Este proceso biométrico podría también aplicarse en la identificación de víctimas en las que se ignora su identidad y para las que no existe la posibilidad de análisis convencional, como la papiloscopia.

II. EL MÉTODO PAPILOSCÓPICO

La papiloscopia es la disciplina que establece la identidad de las personas en función del estudio de las crestas papilares e incluye la dactiloscopia, la palmatoscopia y la pelmatoscopia.

Las crestas papilares determinan lo que se denomina "dibujos papilares" que, a fin de la identificación personal, son perennes, inmutables e individuales. Son perennes e inmutables porque se conforman en la gestación del individuo y permanecen así hasta su muerte, sin experimentar cambio alguno, y son individuales, pues cada ser humano tiene su propio diseño irrepetible.

1. Dactiloscopia

La Real Academia Española define la palabra como el estudio de las impresiones digitales, utilizadas para la identificación de las personas.

Para hacer un poco más amplia esta definición podemos decir que es una disciplina que trata de identificar a las personas por medio de la reproducción de los dibujos formados por las crestas papilares de los pulpejos de los dedos de las manos.

El método dactiloscópico empleado en la República Argentina es el ideado por Juan Vucetich. Nació el 20 de julio de 1858 en Lessina (Croacia) y a los 24 años emigró junto a su familia a la República Argentina.

Fue el creador del más perfecto sistema de clasificación de huellas digitales. Las huellas fueron descubiertas hace siglos y era sabido que no existen dos individuos que tengan dibujos similares en las yemas de los dedos, pero hasta ese momento no se había logrado implementar un sistema universalmente reconocido para la individualización de personas.

Hasta la década de 1890, la técnica utilizada para la individualización de las personas era el método antropométrico, ideado por el francés Bertillion, basado en las medidas de ciertas partes del cuerpo humano y las particularidades fisonómicas, y era utilizado como instrumento de las investigaciones por la policía de Francia desde 1882. La policía argentina consideró necesario instalar una oficina que se ocupara de las funciones relacionadas con la identificación de las personas y comisionó al doctor Augusto P. Drago para estudiar el método en el gabinete establecido por el propio Bertillion y, tras su informe, la Policía de la Capital Federal creó una dependencia dedicada a la identificación antropométrica.

Fue dentro de la Policía de la provincia de Buenos Aires donde se produjo la gran revolución en lo referente a la identificación de las personas, ya que al mismo tiempo que Drago establecía la identificación antropométrica en Buenos Aires, Vucetich se ocupaba de investigar las huellas digitales en La Plata.

El intenso estudio que efectuó, tomando como base lo ideado por Francis Galton, lo llevó a confirmar que los dibujos papilares podían ser clasificados por grupos. Mientras dirigía la Oficina de Identificación Antropométrica, Vucetich acumuló una gran cantidad de impresiones digitales, lo que resultó, en 1891, en la formación de un servicio de identificación por medio de las impresiones digitales. También inventó los elementos necesarios para captar lo más perfectamente posible los dibujos dactilares de los dedos de ambas manos y puso en práctica todo cuanto fue necesario para sistematizar el método.

El nuevo procedimiento de reconocimiento, que llamó "Icnofalangometría" o "Método Galtoneano", estaba compuesto por 101 tipos de huellas digitales que él mismo había clasificado sobre la base de la incompleta taxonomía de Galton. El 1 de setiembre de ese año, el método de Vucetich comenzó a aplicarse oficialmente para la individualización de las personas, con el registro de las huellas dactilares de 23 procesados.

Los aciertos en la investigación policial, mediante el sencillo y eficiente método dactiloscópico de Vucetich, impulsaron al gobierno a generalizar el procedimiento de filiación: a principios de siglo se extendieron las primeras cédulas de identidad en Argentina y el método Vucetich –muy superior científicamente a los usados hasta entonces– se difundió por todo el mundo como técnica identificatoria.

Su obra *Dactiloscopía Comparada*, de 1904, es considerada como su trabajo principal y fue el medio por el cual recibió premios y menciones en todo el mundo.

Su labor, sin embargo, fue mucho más allá; realizó viajes de estudio a la India y China intentando develar el origen remoto de la identificación mediante las huellas digitales; asistió a congresos científicos y publicó numerosas obras sobre su método, que resultaron en la adopción universal de la dactiloscopia.

JUAN VUCETICH

Juan Vucetich supo lograr el reconocimiento de la comunidad científica internacional y es considerado entre los más importantes del siglo.

Falleció el 25 de enero de 1925 en la ciudad de Dolores, provincia de Buenos Aires.

El fundamento de este sistema argentino reside en lo que se denomina los cuatro tipos fundamentales, que conforman la base del método en cuya topografía intervienen tres sistemas fundamentales: basilar, marginal y nuclear.

A – Sistema marginal; B – Sistema nuclear; C – Sistema basilar.

El sistema marginal está integrado por las crestas de la parte alta del dactilograma. Comienzan por un lado del dedo paralelamente a las crestas basilares, se apartan de estas, suben hacia el extremo libre de la pulpa y describen curvas acentuadas con concavidad de cara a la raíz del dedo, y descienden por el lado opuesto al de su inicio. La cresta inferior de este sistema se denomina *limitante marginal.*

El sistema nuclear ocupa la parte central y más saliente de la pulpa, circunscrita por los trazos limitantes de los otros sistemas. La cresta interna más próxima a las de los otros sistemas se denomina *limitante nuclear.*

El sistema basilar está constituido por las crestas de la base del dedo, las cuales van elevándose hasta el tramo superior, donde se encuentran obstaculizadas por una cresta que recibe el nombre de *limitante basilar.*

Conforme la disposición de las crestas de los sistemas fundamentales, se pueden conformar los siguientes tipos de dibujo:

Primer tipo: arco

Segundo tipo: presilla interna

Tercer tipo: presilla externa

Cuarto tipo: verticilo

En el arco, las crestas papilares se extienden de uno a otro lado del dactilograma, casi en forma paralela entre sí, formando arcos distendidos. Se identifica con la letra "A" para el primer dedo, y con el número 1 para los restantes.

En el caso de la presilla interna, las líneas aparecen por la izquierda del que observa, se encaminan hacia la punta y luego descienden para colocarse paralelas al pliegue interdigital y salen por la izquierda. Por la

confluencia de las líneas conforma una imagen triangular a la derecha del observador, llamada delta. Se identifica con la letra "I" para el primer dedo y con el número 2 para el resto.

La configuración de la presilla externa es en espejo de la anterior. Se identifica con la letra "E" para el primer dedo y con el número 3 para el resto.

En el verticilo, las crestas papilares se agrupan alrededor de un núcleo, conformando dos figuras delta, una a cada lado de quien observa. Se identifica con la letra "V" para el primer dedo y con el 4 para los restantes.

Se denomina "individual dactiloscópica" a la fórmula que diseñan las crestas papilares en los 10 dedos de la mano, que es la clasificación del conjunto de las diez impresiones digitales. Esta clasificación se compone de los siguientes elementos:

Serie: clasificación del pulgar derecho.

Sección: clasificación del pulgar izquierdo.

División: clasificación de los dactilogramas restantes de la mano derecha.

Subdivisión: clasificación de los dactilogramas restantes de la mano izquierda.

Todo ello se representa como una línea quebrada (o como fracción numérica) en la que el numerador es la mano derecha, y el denominador, la izquierda. Por ejemplo:

Mano derecha: E 2 2 2 2
Mano izquierda: I 3 3 3 3

Las posibilidades de combinaciones teóricas aplicando los cuatro tipos fundamentales ascienden a un total de más de un millón. Por ende, para llevar a cabo la ficha individual de una persona se recurre a las subclasificaciones de los tipos fundamentales, sobre la base de la disposición de las crestas y de la descripción de los llamados puntos característicos (punto, cortada, islote, encierro, horquilla, bifurcación, empalme, extremo de línea). La descripción de éstos se basa en el hecho de que las crestas papilares, durante su recorrido, van adoptando ciertas formas que sirven de valioso elemento de comparación y de referencia en las operaciones que tienen por objeto la verificación de la identidad personal.

Los puntos característicos mencionados tienen un valor incuestionable por cuanto son el único medio por el cual se puede determinar de manera categórica la identidad de una persona. Para ello, es menester que las impresiones digitales a comparar pertenezcan a un mismo tipo fundamental y que los puntos característicos coincidan en ubicación, dirección y situación, y ser suficientes en número. Este último aspecto no posee acuerdo entre los diversos autores (cantidad mínima de puntos necesarios para realizar un diagnóstico certero). La Policía Federal Argentina por ejemplo, estima en 12 esa cantidad, ello se aplica tanto al sistema dactiloscópico como al estudio de huellas palmares y plantares.

La tecnología ha desarrollado a través de la informática los sistemas automatizados de identificación de huellas dactilares (AFIS), que, basados en las técnicas más avanzadas de la aplicación de las ciencias computacionales, pueden llevar a cabo en minutos la función de búsqueda y confrontar, tanto huellas de fichas decadactilares como huellas latentes, que requerirían días en caso de emplear el método normal.

La fase de captura de este método descarta el entintado y lo reemplaza por la obtención de la impronta a partir de escáneres de lectura electrónica. Por medio de éstos se puede captar la información de fichas decadactilares o de huellas de la escena del hecho.

La registración se concreta mediante el uso de lectores apropiados. Con relación a la comparación puede decirse que el sistema realiza el almacenamiento de impresiones y coteja los nuevos conjuntos dactilares para detectar las fichas duplicadas e impedir la registración de la misma persona bajo otro nombre.

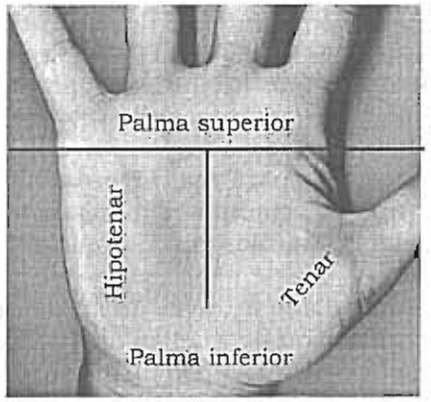
El sistema permite la individualización de huellas previamente cargadas en el archivo electrónico, llevando al monitor aquella que resulte coincidente en un 100% con la consultada, o bien aportará un conjunto reducido de éstas.

2. Palmatoscopia

Esta disciplina se ocupa del estudio de las crestas papilares existentes en la región palmar, para establecer la identidad de las personas a través del palmatograma.

En las regiones palmares se producen los cuatro tipos fundamentales que oportunamente se describieran, es decir, arco, presillas y verticilo, además de los diseños en mosaico y dendrítico, que tienen las mismas características de perennidad, inmutabilidad e invariabilidad.

El método divide la región palmar en regiones: interdigital (1ª, 2ª, 3ª y 4ª), hipotenar y tenar. Dentro de cada región se describen, a su vez, arcos, presillas, verticilos, mosaico, dendrítico y cicatrices, así como los puntos característicos, elementos estos a partir de los cuales podrá establecerse la individualidad palmatoscópica.



Huella palmar

3. Pelmatoscopia

Con este nombre se designa el conjunto de procedimientos identificatorios que se basan en el diseño de las crestas papilares de las regiones plantares. Existen varios procedimientos, entre los que se encuentran el plantar de Fortunato-Albarracín y el bidactilar de Saucedo. En el mencionado en primer término se describen las regiones hipotenar, tenar y cuatro regiones interdigitales en las que se distinguen los mismos diseños que en la región palmar. El método de Saucedo o bidactilar consiste en la identificación del recién nacido por medio de la toma de las impresiones del primer dedo de cada pie.

Las modificaciones propiciadas por Rosset-Lago en 1960 tuvieron como resultado la fusión de los dos sistemas, para dar origen al denominado bidactilar-plantar.

Todos los sistemas se basan en la descripción de las crestas papilares, su conformación y los puntos característicos.

III. Huellas dactilares latentes. Introducción

Es una realidad totalmente aceptada que las huellas dactilares constituyen una forma de identificación absoluta de un individuo y que se han transformado en la evidencia física más valiosa que pueda encontrarse en el escenario de un delito.

Hay varios factores que actúan contra el delincuente cuando comete un ilícito; ha sido aceptado universalmente que el mismo no puede evitar dejar algo tras de sí ni tampoco dejar de llevarse algún elemento consigo. Lógicamente, nos interesa lo que puede dejar, y ese algo lo constituyen las huellas dactilares.

Así como ha avanzado la tecnología aplicada al estudio del escenario de los hechos, también han avanzado las medidas de precaución tomadas por

aquellos que delinquen, para evitar su detección. Con mucha frecuencia y después de un exhaustivo examen, el técnico especializado llega a rendirse, suponiendo que el autor del hecho utilizó guantes. En muchos casos es cierto, pero los verdaderos profesionales han aprendido a través de la experiencia a buscar más allá de las cosas obvias que pudieran haberse tocado. Tal es el caso del que se quita el guante para abrir un atado de cigarrillos, dejando una huella parcial y latente en el celofán de la envoltura.

El tipo de huella dactilar latente que por lo general se deja se produce cuando los dedos depositan la humedad exudada por los poros superficiales, la cual se acumula en los bordes de fricción. Otra, la llamada huella digital plástica, es la impresión dejada en algunas sustancias suaves como la masilla colocada alrededor de los vidrios de las ventanas, pintura húmeda, brea, e inclusive un trozo de queso mordido por el asaltante.

Independientemente de la fuente de la huella latente, lo importante es poder localizarla, revelarla y conservarla, ya sea para recogerla o fotografiarla. Por supuesto, en esta etapa de la investigación el delincuente no puede ser llevado a juicio por su delito. Son raros los casos en que se dejan en la escena del crimen suficientes huellas latentes como para permitir una clasificación e identificación total. Por lo general, sólo se recuperan una o dos huellas individuales e identificables. Por lo tanto, el investigador tiene que basarse en su banco de datos dactilar para comparación con las impresiones allí existentes, en el cotejo con otras de sospechosos, etcétera.

1. ¿Qué es una huella dactilar latente?

La mejor manera de describirla es como una combinación de químicos (sustancias) exudada por los poros que se encuentran en la superficie de la piel. Dichas sustancias están formadas por agua, aceites, aminoácidos y sales. La humedad exudada se deposita a lo largo de la superficie de los bordes de fricción que están en la palma de la mano y las plantas de los pies.

Cuando la mano o el pie entran en contacto con otra superficie, transfieren esta humedad, amoldándose en mayor o menor grado a los bordes de fricción en que se deposita. Una presión excesiva de la mano, dedos o pie, con frecuencia deposita esa humedad excesiva; este tipo de huella latente presentará el mayor grado de dificultad en lo que se refiere a su revelado.

El borde de fricción comienza a desarrollarse en el tercer mes de embarazo, y estas formaciones, que no sufrirán grandes cambios durante la vida de un individuo, están totalmente configuradas al momento de nacer.

En muchos casos, la huella latente es invisible a simple vista, por ende, debe tenerse sumo cuidado al manejar las piezas a examinar.

La huella dactilar latente, depositada por el patrón de la punta del dedo, es una mezcla compleja de secreciones naturales y contaminación del medio ambiente. Tres tipos de glándulas son responsables de la se-

creción natural de la piel: las glándulas sudoríparas ecrinas y apocrinas, y las sebáceas. Las glándulas sudoríparas se distribuyen por todo el cuerpo y producen el sudor; el cuerpo de secreción de cada glándula está formado por un tubo largo en espiral situado en las capas subcutáneas de la piel. Las glándulas atraviesan las capas epidérmicas para abrirse en las cumbres de las crestas papilares para formar "sudor" o poros sudoríparos. El sudor es una solución acuosa producida por las células secretoras del cuerpo, sin pérdida de citoplasma de las glándulas ecrinas, en contraste con las glándulas apocrinas, lo que explica la diferencia en la composición química entre estos dos tipos de secreción. El sudor de las primeras es de aproximadamente 98,5 por ciento de agua, el resto se compone principalmente de sales minerales, por ejemplo, cloruro de sodio, ácidos orgánicos, urea y azúcares.

Las palmas de las manos y las plantas de los pies sólo producen secreciones de las glándulas ecrinas, mientras que las glándulas apocrinas están localizadas en la ingle, en las axilas y en las regiones perianales, donde, por lo general, abren a los folículos pilosos.

Las glándulas sebáceas se encuentran en el pecho y la espalda, donde se asocian con las raíces del pelo, y en la frente, los labios de la vagina, el glande del pene, y las areolas mamarias. Estas glándulas secretan un aceite, el sebo, que sirve para proteger la piel y el pelo contra el agua, para actuar como un lubricante, y también para ayudar a absorber la grasa, los lípidos y las sustancias solubles. Las sustancias grasas que secretan las glándulas sebáceas no son solubles en agua.

Estos tres tipos de glándulas, por lo tanto, tienen bien definidas sus funciones y la composición química de sus secreciones varían en consecuencia.

PRINCIPALES COMPONENTES QUÍMICOS DE LAS SECRECIONES GLANDULARES

	COMPONENTES	
FUENTE	INORGÁNICOS	ORGÁNICOS
glándulas ecrinas	cloruros	aminoácidos
	iones metálicos	urea
	sulfatos	ácido úrico
	fosfatos	ácido láctico
	amoníaco	azúcares
	agua (> 98%)	creatinina
		colina
glándulas apocrinas	hierro	proteínas
	agua	hidratos de carbono
		esteroles
glándulas sebáceas		ácidos grasos
		glicéridos
		hidrocarburos
		alcoholes

Dado que las crestas de las manos están cubiertas exclusivamente por las glándulas ecrinas, las secreciones de estas glándulas están presentes en cierto grado en cada huella latente. La contaminación por secreciones de las glándulas sebáceas también es muy común, mientras que de las glándulas apocrinas es mucho más raro, pero puede ser importante en ciertos delitos, por ejemplo, los de naturaleza sexual.

El material sebáceo a menudo se transfiere a las manos por el contacto entre la mano y la frente, la nariz y la región de los ojos. Esto es alentado involuntariamente por la irritación, por posturas comunes cuando se está sentado, por ejemplo, frotarse la frente, y por otros fenómenos naturales cotidianos, como peinarse el cabello.

Las huellas dactilares latentes pueden ser del tipo examinado anteriormente, donde los materiales procedentes del cuerpo humano son la base para la composición química de la impresión latente. Sin embargo, los contaminantes del lugar de trabajo que ensucian las manos también son útiles cuando se detectan huellas latentes. La sangre es un agente que abunda en el lugar de ciertos crímenes de violencia y, a veces, puede ser el principal contaminante que proporciona la impresión. Cuando el depósito de impresión es pesado, se puede detectar de manera visible; en las impresiones ligeras, la mejora normalmente se puede lograr mediante la aplicación de reactivos de coloración de sangre.

2. Fundamentos básicos

Los fundamentos básicos de la ciencia de la identificación de huellas digitales son la permanencia y la individualidad.

Permanencia: las crestas papilares se forman durante el tercero al cuarto mes de desarrollo fetal. Estas crestas consisten en características individuales llamadas terminaciones, bifurcaciones, puntos y muchas variaciones en la forma de estos rebordes. La relación de la unidad de las características individuales no cambia naturalmente, durante toda la vida, hasta la descomposición después de la muerte. Después de la formación, las crestas crecientes del bebé se parecen mucho a dibujar una cara en un globo con un bolígrafo y luego inflar el globo para ver la misma cara ampliada de manera uniforme en todas las direcciones. Los cambios antinaturales a las crestas de las huellas digitales incluyen cortes profundos o heridas penetrantes de todas las capas de la epidermis y de algunas enfermedades como la lepra.

Las cicatrices permanentes, los daños por enfermedad y los cambios temporales aparecen como bordes irregulares y en ocasiones como detalles de crestas "arrugadas" en oposición a las formaciones que fluyen naturales. Las verrugas pueden aparecer y desaparecer, pero en general impulsan/empujan una zona de crestas de fricción y pueden desaparecer completamente cuando la verruga se ha ido, porque no son parte

de la estructura de las crestas. Si se mira una verruga con una lupa se observará que las crestas la rodean. La atrofia senil de la piel de fricción debida a la vejez provoca que las crestas a menudo casi se aplanen, causando muchas huellas dactilares con pliegues (también son únicos, pero no siempre permanentes) y crestas mal delimitadas. Curiosamente, los recién nacidos a menudo tienen más arrugas que detalles claramente definidos en sus impresiones de pies descalzos. Los pliegues son únicos, pero cambian relativamente rápido y con frecuencia desaparecen a medida que el niño crece. La mejor oportunidad de ver las crestas de fricción en las impresiones plantares del recién nacido es observar cuidadosamente con una lupa y de cerca el dedo gordo del pie.

Individualidad: en los más de 140 años que las huellas dactilares han sido sistemáticamente comparadas en todo el mundo, no se han encontrado dos áreas de la piel de fricción en cualquier par de personas (incluidos los gemelos idénticos) que contengan las mismas características individuales en la misma relación de unidad. Esto significa que, en general, cualquier área de la piel de fricción que se pueda cubrir con una moneda de diez centavos (y muchas veces con sólo un borrador de lápiz) en los dedos, las palmas o las plantas de los pies, contendrá suficientes características individuales en una única relación de unidad, para permitir la identificación. Recientes estudios de comparación de huellas dactilares de monos clonados mostraron que, al igual que los seres humanos gemelos e idénticos, tienen las huellas dactilares diferentes por completo. Cuando los médicos dicen que los gemelos tienen las mismas huellas dactilares, se refieren a las características de clase del flujo general de la cresta, llamado patrón de la huella digital. Estos patrones conocidos como arcos, lazos/bucles, y verticilos, no son las características individuales que se utilizan para identificar positivamente personas. Antes de los sistemas informáticos modernos, la clasificación de huellas digitales era fundamental para permitir el registro manual y la recuperación de las huellas dactilares en grandes depósitos/archivos.

Por muchos años los peritos declararon que no hay dos huellas dactilares en los millones de tarjetas/fichas de huellas digitales existentes en los archivos policiales, que se hayan encontrado similares. Durante los primeros años tales archivos estaban separados en categorías de archivos pequeños, según las características de clase, tales como:

- sexo,
- edad,
- presencia de cicatrices,
- presencia de patrones de arcos, verticilos y presillas, en varios dedos,
- contabilidad de crestas y rastros en diferentes patrones (deltas y núcleos).

Así, por ejemplo, en la antigua División de Identificación del FBI, con más de 200 millones de tarjetas de huellas digitales, no hay ninguna

tarjeta individual ni huella digital individual que haya sido comparada totalmente con todas las otras huellas dactilares del archivo. En tales sistemas manuales de archivo las huellas dactilares sólo se comparaban con las correspondientes tarjetas de huellas digitales que poseían las mismas características de clase.

Todo esto cambió con la llegada de AFIS (Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares), y muchas agencias comparan ahora miles de huellas digitales individuales (como las impresiones de los dedos de la escena del crimen) con todas las huellas dactilares existentes en el repositorio entero. No se ha encontrado que alguna posea las mismas características individuales en la misma relación de unidad.

La matemática es la única ciencia exacta. Sin embargo, la identificación de huellas dactilares se presta bien por sí misma, a la validación matemática. A partir de septiembre de 2002, por ejemplo, por lo menos siete sitios AFIS ubicados en diferentes estados de EE.UU., hacen cotejos entre tarjetas de huellas dactilares con identificaciones positivas, sin intervención humana. Las huellas latentes (dedos, palmas y pies) de la escena del crimen no son identificadas positivamente por las computadoras, principalmente debido a la interferencia de fondo (suciedad, arañazos sobre los elementos/superficies de contacto, etc.) y la claridad relativamente pobre de algunas impresiones de huellas latentes de la escena del crimen.

Cuando el ADN se desarrolló como una ciencia, el término "huella dactilar genética" se adoptó para dar credibilidad a ese recién llegado estatus de la ciencia, que está en su infancia en comparación con la validación empírica de la identificación de huellas digitales, a nivel mundial. El análisis de ADN como una práctica común en los laboratorios de ciencia forense no puede diferenciar entre los gemelos idénticos, pero las huellas dactilares han sido siempre capaces de hacerlo.

3. La búsqueda de huellas latentes

La búsqueda de huellas dactilares latentes en el lugar del hecho requiere paciencia y habilidad. De hecho, el técnico debe pensar como delincuente y seguir mentalmente la trayectoria del que cometió el ilícito.

El lugar obvio por donde comenzar la búsqueda es el punto de entrada. De no haber muestras visibles de acceso con violencia deben chequearse todas las posibilidades.

Examinar perillas o manijas de puertas, marcos de puertas, marcos de ventanas y repisas de éstas. Con frecuencia es útil emplear una linterna, sostenida en un ángulo adecuado, para descubrir las huellas latentes.

Cualquier objeto que se piense que la víctima haya movido, como lámparas, ceniceros, cajones o armarios, también debe revisarse.

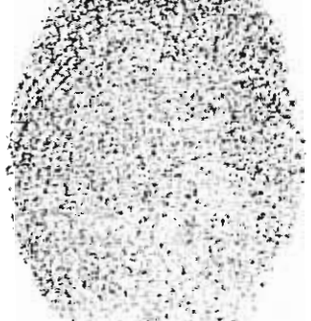
Un delincuente cuidadoso puede dejar el lugar virtualmente igual a como lo encontró. Por lo tanto, hacer que los testigos señalen dónde se guardan todos los objetos, sin dañar ninguna de las huellas latentes que puedan existir, es una buena técnica.

Controlar los lugares no tan obvios (refrigerador, alimentos, etcétera).

Las huellas dactilares grabadas o plásticas ocurren cuando se presiona la punta del dedo sobre un material suave como la masilla, la mantequilla, el queso, etc. En vista de que estas huellas no pueden recogerse, se graban por diversos medios.

4. Métodos para revelar huellas latentes

Por desgracia, las huellas encontradas en la escena del crimen suelen ser parciales o están rotas, manchadas o, dicho de otra manera, aparecen de un modo inferior a los modelos perfectos de las tarjetas/fichas de impresiones digitales; por lo tanto, a menudo es imposible hacer una comparación completa. Los peritos de huellas dactilares utilizan puntos de comparación, también llamados puntos de identificación, para comparar las huellas dactilares desconocidas contra ejemplares conocidos. Un punto de comparación es una característica individual particular de una huella dactilar, como cuando una cresta termina o se bifurca o la forma y el número de crestas presentes en un verticilo. Si existen suficientes puntos de comparación entre dos huellas dactilares, es razonable suponer que estas dos huellas fueron producidas por el mismo dedo, aun cuando falten partes de la impresión en duda, esté manchada, o de otro modo oculta. La siguiente imagen muestra una típica huella parcial encontrada en un documento cuestionado. Aunque algunos detalles de las crestas estén presentes, es poco probable que esta impresión se pueda identificar contra una impresión conocida.



Hay dos tipos de huellas dactilares:

1) Las huellas dactilares visibles/evidentes/accesibles

Se denominan así las que son visibles a simple vista bajo la luz or
ria. Son las huellas dactilares realizadas por los dedos cuando tocar
superficie después de haber estado en contacto con tinta, pintura, g
hollín, sangre o alguna sustancia similar. Las huellas dactilares plás
son las huellas dactilares evidentes dejadas en un material impres
ble como la pintura fresca, la pasta de modelar, el alquitrán, la ma
la cera, el jabón y materiales similares.

Las huellas de las que estamos tratando, de cualquier tipo, por
neral son fácilmente visibles a los investigadores de la escena del cri
y pueden ser fotografiadas o levantadas directamente. En algunas s
ciones, pueden ser tratadas para aumentar su visibilidad o el cont
contra la superficie de fondo.

2) Las huellas dactilares latentes

Son invisibles a simple vista bajo la luz ordinaria, pero se puede
cer visibles espolvoreándolas con productos químicos o con una fu
de luz alternativa.

Después de cualquier proceso necesario para revelar o mejorar l
presión, las huellas digitales de cualquier tipo se preservan mediar
fotografía, el levantamiento de las mismas, ya sea por la cuidadosa
cación de la cinta transparente de elevación a la superficie que con
la impresión, su posterior extracción y transferencia a una tarjeta,
levantamiento electrostático, que utiliza una hoja cargada electro
camente, de plástico transparente, para atraer el polvo aplicado
huellas dactilares. En este punto termina el trabajo del científico fo
y comienza el trabajo de los examinadores de huellas digitales.

Se utilizan varios métodos para revelar huellas latentes. Alguno
no destructivos, lo que significa que si se los prueba y fallan en re
huellas, se pueden utilizar otros métodos posteriores. Otros métodc
particular el revelado con nitrato de plata, son destructivos, ya sea
sentido de que el uso de ellos impide el uso de métodos alternativos
su uso puede impedir el empleo del elemento para otros tipos de pru
forenses, como la sangre o el ADN. El método o los métodos utiliza
el orden en que se aplican también dependen de la naturaleza (po
semiporosa o no porosa) y el estado/condición (por ejemplo, hún
seco, sucio, pegajoso, etc.) de la superficie que contiene los grabado
como el residuo que constituye la huella, tal como el sudor, la sang
grasa o el polvo.

El examen visual es siempre el primer paso para revelar huellas da
res latentes. Algunas huellas de este tipo son visibles bajo una luz int
y oblicua. Mover objetos pequeños a diferentes ángulos bajo una fuen
luz fija puede revelar numerosas impresiones, lo mismo también se

moviendo la fuente de luz cuando se examinan objetos más grandes o fijos. Cualquier huella latente que se revela en condiciones de iluminación oblicua se debe fotografiar antes de intentar cualquier tratamiento posterior. Algunas impresiones reveladas por examen visual pueden ser indetectables por cualquier otro método. Hecho correctamente, el examen visual es totalmente no destructivo. Hecho incorrectamente, el manipuleo requerido para el examen visual puede manchar o destruir las impresiones que son invisibles, pero potencialmente visibles mediante otros métodos.

Tras completar el examen visual, el siguiente paso habitual es examinar la muestra mediante fluorescencia inherente. Varios componentes del residuo de huellas digitales, incluyendo la transpiración, las grasas y otros componentes orgánicos y materiales extraños presentes en las yemas de los dedos cuando se tomó la impresión, pueden producir fluorescencia bajo el accionar del láser, la luz ultravioleta u otras fuentes de luz alternativa. En un cuarto oscuro, la superficie cuestionada se ilumina con la fuente de luz alterna y se ve a través de un filtro de color complementario. Por ejemplo, los tubos de longitud de onda ultravioleta (luz negra) emiten una luz visible en la parte violeta oscuro del espectro. Visualizar una superficie tan iluminada a través de un filtro amarillo intenso o naranja bloquea prácticamente la totalidad de la luz violeta incidente reflejada, haciendo más claramente visible cualquier fluorescencia intrínseca emitida por los residuos de huellas dactilares en el amarillo a través de las partes rojas del espectro. El método de fluorescencia intrínseca se puede utilizar sobre cualquier superficie, incluyendo aquellas que no puedan ser tratadas con métodos químicos o polvos, y puede revelar huellas latentes que no se revelan con cualquier otro método. Al igual que el examen visual, el examen por fluorescencia intrínseca no es destructivo.

Después que el examen visual y el de fluorescencia intrínseca se hayan completado, pueden emplearse otros métodos para revelar las huellas dactilares latentes adicionales. Polvos para huellas dactilares, vaporizador de yodo y nitrato de plata se consideran los métodos "clásicos", ya que se han utilizado desde el siglo XIX. A pesar de su edad y la disponibilidad de nuevos métodos, los tres mencionados, con algunas mejoras menores, siguen en uso hoy en día.

a) Polvos para huellas dactilares

Los polvos de huellas dactilares se utilizan sobre todo para superficies no porosas como el vidrio y el metal pulido, y con mayor frecuencia para revelar huellas dactilares latentes en objetos inmuebles, en escenas de crímenes. Los polvos se utilizan a menudo en conjunto con el vapor de pegamento para permitir el levantamiento.

Se aplica un polvo muy fino en la zona que contiene la huella latente. El elemento de mención se adhiere a los residuos que forman la huella

dactilar; se elimina el exceso de polvo mediante un suave cepillado o el uso de bocanadas de aire de una jeringa. Después de que el exceso de polvo se elimina, la huella digital se revela y se puede fotografiar o levantar. Estos polvos están disponibles en tonos desde el blanco hasta el negro, que permiten al técnico elegir el que contraste con la superficie del fondo. Los polvos fluorescentes son útiles para levantar huellas en superficies impresas o estampadas. De otro modo podría dificultarse ver el patrón de la propia impresión.

Los polvos magnéticos se utilizan con cepillos magnéticos que permiten que el exceso de polvo sea removido sin tocar realmente la impresión. Estos polvos a menudo son utilizados para levantar huellas dactilares latentes en superficies de papel, una excepción a la regla general sobre los polvos que sólo se utilizan en superficies no porosas.

b) El vaporizado/humeado/gasificado con yodo

Se utiliza para revelar huellas en superficies porosas y semiporosas como papel, cartón y madera rústica. El objeto a tratar se coloca en una cámara cerrada que contiene algunos cristales de yodo. El calentamiento suave de los cristales hace que se sublime (paso de la fase sólida a la fase gaseosa, sin pasar por la fase líquida). El vapor de yodo violeta se adhiere de forma selectiva a los residuos de huellas digitales, convirtiéndolos al color naranja. Estas manchas/teñidos son fugitivas/os, por lo que deben ser fotografiadas/os inmediatamente. Después de un período que va desde unas pocas horas hasta varios días, las manchas de yodo desaparecen, dejando la muestra en su estado original. Las huellas reveladas pueden hacerse semipermanentes tratándolas con una solución de almidón, que las convierte del color naranja al azul-negro. Estas manchas persisten durante semanas o meses, dependiendo de las condiciones de almacenamiento.

c) El reactivo de yodo en spray

El yodo reactivo para pulverización es un líquido análogo al yodo que se mencionó inmediatamente antes, por ende, se utiliza para revelar huellas en superficies porosas y semiporosas tales como papel, cartón y madera rústica, pero se puede utilizar en especímenes para los que el sistema anterior no resulta práctico. Se compone de dos soluciones que se combinan para hacer la solución de trabajo: solución A (yodo) es un 0,1% de cristales de yodo en ciclohexano; la solución B (fijador) es un 12,5% de alfa- naftoflavona en cloruro de metileno; la solución de trabajo está formada por la combinación de A:B en una proporción de 100:2, se debe mezclar bien y filtrar a través de un papel facial o papel de filtro. La solución de trabajo se rocía sobre la superficie en duda, con una nube lo más fina posible. Las huellas latentes se revelan de inmediato y deben ser fotografiadas tan pronto como sea posible.

d) Nitrato de plata

El nitrato de plata también se utiliza para revelar las impresiones en papel y superficies similares. La superficie es tratada con una solución diluida de nitrato de plata por pulverización o por inmersión. El nitrato de plata soluble reacciona con el cloruro de sodio (sal) presente en el sudor para producir cloruro de plata insoluble. La superficie puede o no enjuagarse con agua después del tratamiento para eliminar el exceso de nitrato de plata. En cualquier caso, la superficie tratada se expone a la luz del sol o a una fuente de luz ultravioleta, lo que reduce el cloruro de plata a plata metálica, revelando las huellas como manchas gris-negras. Es necesaria la observación cuidadosa para asegurarse de que las impresiones no sean excesivamente reveladas, sobre todo si la superficie no se enjuagó después del tratamiento. En casos extremos de exceso, toda la superficie puede virar al negro. El revelado con nitrato de plata es destructivo, por lo que se utiliza solamente después del yodo y otros métodos de revelado. Se emplean tres variantes de solución de nitrato de plata, un 1% de solución acuosa, un 3% de solución acuosa y un 3% de solución en etanol. La solución de alcohol se utiliza en superficies como el papel de cera, cartón recubierto y espuma de poliestireno que repele el agua.

El nitrato de plata se utiliza al final, porque se opone a utilizar posteriormente cualquier método de revelado. Puede tener éxito donde otros métodos fallan, ya que el nitrato de plata reacciona con el cloruro de sodio no volátil presente en los residuos de las huellas dactilares. Las impresiones muy antiguas pueden haber perdido la totalidad de sus residuos volátiles, pero el cloruro de sodio permanece. El nitrato de plata ha sido utilizado con éxito para revelar huellas latentes que tienen años, décadas, incluso siglos de antigüedad.

e) La ninhidrina

La ninhidrina se introdujo en 1954 como el primero de los métodos de revelado moderno de huellas dactilares. En 1910, el químico orgánico inglés Siegfried Ruhemann sintetizó ninhidrina (hidrato triketohydrindene), e informó su reacción con los aminoácidos para formar un tinte violeta que posteriormente fue designado púrpura Ruhemann. Los científicos forenses se deben haber dormido, ya que recién 44 años después Oden y Von Hoffsten informaron el 6 de marzo de 1954 que la nihidrina podía ser utilizada para desarrollar huellas dactilares latentes. Aunque los aminoácidos están presentes sólo en pequeñas cantidades en los residuos de huellas dactilares, es tan intenso el color que el revelado produce imágenes visibles –completas– de huellas latentes.

Al igual que el yodo y el revelado con nitrato de plata, la ninhidrina es más útil para impresiones sobre superficies porosas. La superficie en

duda es simplemente rociada o sumergida en una solución diluida de ninhidrina. Después de un período que va desde unos pocos minutos hasta varias horas, las impresiones se autorrevelan como manchas de color púrpura. En algunos casos ha permitido que el revelado continúe 24 a 48 horas para poder trabajar con otras impresiones. El procesamiento puede ser acelerado por el calentamiento y la humidificación de la superficie tratada con una plancha a vapor. Después del revelado con ninhidrina, la impresión puede ser rociada con un 5% de cloruro de zinc en una mezcla 25:1 de éter metil tert-butílico y etanol anhidro. Este reactivo provoca un cambio de color de púrpura a amarillo-anaranjado y hace que las huellas reveladas posean fluorescencia con una fuente de luz adecuada.

Se utilizan dos variantes de solución de nihidrina, dependiendo de la superficie a tratar. La fórmula estándar es de un 0,5% de nihidrina en una mezcla de metanol 3:4:93 mezclada con metanol-isopropanol : éter de petróleo. La fórmula alternativa es un 0,6% de nihidrina en acetona.

f) El negro Sudán

Es un colorante que reacciona con el componente sebáceo de la transpiración de las impresiones dactilares, para formar una mancha azul-negro. El negro Sudán se utiliza principalmente para superficies mojadas, incluidas las que estén contaminadas con bebidas, aceite, grasa o alimentos, y también es útil para el procesamiento posterior de impresiones vaporizadas con cianoacrilato, sobre todo las del interior de guantes de látex o de goma. El reactivo negro Sudán no es más que un 1% de negro Sudán en 60% a 70% de etanol, aunque suele estar formado por disolución de la tinta sólida en 95% de etanol y luego añadiendo agua destilada para reducir la concentración de etanol de 60 % al 70 %. En el uso, la superficie cuestionada se sumerge en la solución negro Sudán durante unos dos minutos y se enjuaga suavemente con agua. Las impresiones son visibles como manchas de color azul-negro.

g) Reactivos para sangre

Los reactivos para sangre se utilizan para revelar y mejorar huellas latentes visibles que incluyen sangre en los residuos de las huellas dactilares. Estos agentes también son utilizados para revelar huellas latentes manchadas de sangre, huellas de la mano, y así sucesivamente.

El negro amido, el más antiguo de estos reactivos, es un colorante que tiñe de azul-negro las proteínas en los residuos de sangre. Se emplean diversas variantes de reactivo negro amido, el más común es un 0,2% de negro amido en una mezcla 09:01 de metanol : ácido acético. La superficie cuestionada se rocía o sumerge en esta solución y se deja en remojo durante 30 segundos a un minuto, tras lo cual se enjuaga con

una solución de metanol (09:01) y ácido acético. El procedimiento de tinte/enjuague puede ser repetido para aumentar el contraste. Después de un enjuague final con agua, la muestra se seca y se fotografía. Las superficies que son propensas a ser dañadas por el metanol pueden ser tratadas con una formula alternativa que contiene 0,3% de negro amido, 0,3% de carbonato de sodio, y el 2,0% 5 de ácido sulfosalicílico en una mezcla 89:5:5:1.25 de agua: ácido acético: ácido fórmico: Kodak Photo-Flo 600. Las superficies cuestionadas se rocían o sumergen en esta solución durante tres a cinco minutos y se enjuagan con agua. Nuevamente, el tratamiento se puede repetir para aumentar el contraste. Un reactivo negro amido alternativo, a base de agua, puede estar compuesto de 0,2 % con respecto al negro amido y 1,9% con respecto al ácido cítrico en una mezcla de agua 998:2 : Kodak Photo -Flo 600. La superficie se rocía o sumerge en esta solución y se deja en remojo durante 30 segundos a un minuto, tras lo cual se enjuaga con agua. Se pueden utilizar tratamientos repetidos para aumentar el contraste.

Otros reveladores empleados son el violeta leucocristal, el tetrahidrocloruro diaminobencidina, el azul coomassie, bencidina, leucomalaquita y ortotoluidina. Otra variante es tetrametilbencidina (solución de eter-etanol, tamponada con acético-acetato). Una vez revelada la huella, es preciso fotografiarla con rapidez.

h) Reactivo de partículas pequeñas

Es una suspensión líquida de partículas sólidas de disulfuro de molibdeno gris oscuro, aplicado a la superficie cuestionada por pulverizado o inmersión. Este reactivo trabaja en la misma forma que los polvos de huellas digitales, por adhesión física de las partículas de residuos a las huellas dactilares grasas, pero a diferencia de los polvos secos, puede ser utilizado para el procesamiento de superficies húmedas, incluidas las superficies empapadas en acelerantes líquidos y otros disolventes orgánicos. Se usa también en superficies lustrosas no porosas como vidrio y plástico, papeles recubiertos brillantes y superficies cubiertas con pintura brillante. Las huellas levantadas con este reactivo son extremadamente frágiles y deben ser fotografiadas antes de que se intente levantarlas. Las versiones modificadas están disponibles en blanco, gris, y las formas fluorescentes, todos las cuales se basan en productos químicos distintos del disulfuro de molibdeno.

i) Vaporizado con súper pegamento

El súper pegamento, también llamado vapor de cianoacrilato del componente principal del súper pegamento, fue descubierto por casualidad en 1976 cuando Masao Soba observó huellas blancas en la superficie de un recipiente de pegamento. Frank Kendall mejoró el proceso y lo adaptó al revelado de huellas latentes dactilares, informando sus conclusiones en un documento de 1980. Desde entonces, este sistema se ha convertido en uno de los procesos utilizados con mayor frecuencia en el revelado de impresiones.

Se emplea para revelar huellas latentes sobre superficies no porosas brillantes como vidrio, plástico y metal pulido. Al igual que el polvo, el vaporizado con cianoacrilato es un proceso físico. El vapor es atraído selectivamente a los residuos de la huella digital, donde se acumula como depósito cristalino blanco. Las impresiones latentes desarrolladas pueden ser fotografiadas como están, o pueden ser espolvoreadas o tratadas con varios tintes que mejoran la visibilidad y el contraste. Aunque el mecanismo exacto se desconoce, se sospecha que los vapores de pegamento son catalizados por la poca cantidad de humedad atraída por los residuos de cloruro de sodio en las huellas dactilares latentes.

j) Revelador físico

Es útil para el revelado de huellas dactilares latentes en la mayoría de las superficies porosas y algunas no porosas. Es particularmente útil para revelar impresiones latentes en papel moneda, bolsas de papel y superficies porosas que se han mojado. Es un proceso destructivo, por lo que siempre es utilizado en última instancia; es una alternativa al método de nitrato de plata; se puede utilizar uno u otro, pero no ambos. Sea cual fuere el que se use, debe ser el último método que se aplique. Normalmente se emplea después de la ninhidrina, y a menudo revela huellas latentes que este método no ha hecho.

La parte "física" del nombre es inapropiada: no es un proceso físico (como el espolvoreado), sino químico. Depende de una reacción redox que reduce los iones de plata a plata metálica, que tiñen las huellas dactilares latentes al color gris-negro. La solución de trabajo es inestable, en el sentido de que debe ser utilizada inmediatamente después de que se hizo, pero es esta misma inestabilidad la que le permite funcionar tan bien. Es costoso, complejo, meticuloso, destructivo, y necesita una gran experiencia para obtener buenos resultados. A pesar de estas críticas, se utiliza porque a menudo obtiene resultados cuando ya no funciona otro método.

El proceso requiere cuatro soluciones, con una quinta solución opcional. La solución A es un 2,5% de ácido maleico en agua destilada; la solución B (solución redox) es una solución acuosa que es del 3% con respecto al nitrato férrico, el 8% con respecto al sulfato ferroso amónico, y el 2% con respecto al ácido cítrico. La solución C (detergente) es una solución acuosa que es 0,3% con respecto al acetato de n-dodecilamina y el 0,4% con respecto al Synperonic -N. La solución D es un 20% de nitrato de plata. La solución E (lejía) es una mezcla de 1:1 de cloro estándar de lavandería con agua.

k) Técnicas adhesivas de superficie

El FBI utiliza la expresión *técnicas adhesivas de superficie* para describir cuatro métodos de proceso para revelar huellas latentes en superficies pegajosas, tales como el lado adhesivo de cintas adhesivas, etiquetas adhesivas, etc. Sorprendentemente, tres de los cuatro métodos –*polvo negro alterno, polvo gris ceniza* y polvo con parte pegajosa– se basan en polvo. Se podría pensar que estos polvos se adhieren igualmente al adhesivo y los residuos de huellas dactilares, pero no lo hacen. Los tres polvos se aplican de la misma manera: se hace una pasta fina, se pincelan sobre la superficie en duda, y se enjuagan con agua fría, y proporcionan resultados similares. Las principales diferencias entre estos tres polvos son sus colores, elegidos para proporcionar el contraste contra las superficies de colores diferentes. El último método, un 0,1% de solución de violeta de genciana (también llamado cristal violeta) en agua. La superficie se rocía o sumerge en la solución de violeta de genciana durante uno o dos minutos, tras lo cual se retira y se enjuaga con agua fría. El violeta de genciana mancha/tiñe la huellas latentes, que pueden ser vistas y fotografiadas bajo luz normal.

l) Deposición de metal al vacío

Esta técnica es similar conceptualmente al vaporizado de cianocrilato, pero sustituye el vapor de cianoacrilato por el vapor de metal. La superficie cuestionada se coloca en una cámara de la que se evacua el aire. La cámara también contiene pequeñas partículas de oro y zinc que pueden calentarse eléctricamente hasta que se evaporen. La muestra se expone primero al vapor de oro, y luego al vapor de zinc. Los vapores de metal se adhieren a los residuos de huellas dactilares de forma selectiva, revelando huellas latentes como rastros enchapados en metal sobre un soporte virgen. Debido a que el método requiere equipos costosos y materiales, su uso está limitado a los laboratorios forenses bien equipados y financiados.

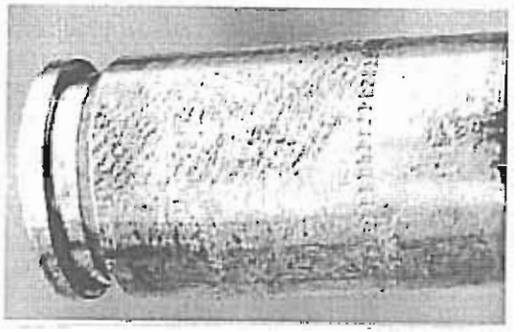
m) Revelado de huellas dactilares latentes en cápsulas metálicas de cartuchos de bala/escopeta

En realidad, hay dos métodos comunes para el desarrollo de las huellas dactilares latentes en las vainas de latón, los cuales dependen del hecho de que los aceites y las grasas en los residuos de la huella digital recubran el latón y se evite el contacto con soluciones acuosas. Uno de los métodos utiliza una solución de azulado, fácilmente disponible en tiendas de artículos deportivos. Esta solución se oscurece expuesta al latón, dejando al metal cubierto por los residuos de huellas dactilares en forma luminosa y brillante. El segundo método utiliza soluciones de más fácil disponibilidad: vinagre ordinario y 3% de peróxido de hidrógeno.

El peróxido de hidrógeno acidificado puede utilizarse con o sin previo vaporizado con pegamento súper ligero.

Últimamente, los científicos han desarrollado un mejor método de identificar las huellas dactilares en las vainas y fragmentos de explosivos.

Como dijéramos anteriormente, las huellas dactilares son una prueba crucial en muchas investigaciones penales, ya que pueden ligar a un sospechoso con la escena de un crimen, con una precisión casi indiscutible. Actualmente, los investigadores de la escena del crimen tienen una nueva técnica para encontrar las huellas dactilares dejadas en los metales tales como una vaina servida de un cartucho o los fragmentos de un artefacto explosivo improvisado, aun si el autor trata de limpiar la evidencia mediante lavado.



Una huella digital, puesta a la vista con un polvo negro, en una vaina servida. La sal en el sudor humano hace que el metal se corroa y el polvo se adhiera a las áreas corroídas del metal, después que una carga eléctrica ha sido aplicada. Debido a esto, tocar la vaina deja una imagen de una huella digital grabada en el metal.

El científico forense John Bond, de la Policía de Northamptonshire, en el Reino Unido, desarrolló la técnica después de descubrir que ciertos metales, como el cobre y el latón, corroen muy ligeramente cuando son tocados, dejando tras de sí una huella tenue pero indeleble.

Las técnicas tradicionales de impresión de huellas dactilares implican la provocación de una reacción física o química con los depósitos dejados por un dedo para hacer visible una impresión. Si estos depósitos se eliminan, las técnicas fallarán. Esto limita seriamente lo que los científicos forenses pueden hacer para identificar las huellas dactilares en las vainas servidas y en las escenas de incendios provocados, donde las impresiones normales han sido retiradas.

La nueva técnica hace uso de un cambio físico que se produce en el metal cuando una persona lo toca. Esto se debe a la sal en el sudor humano: las moléculas de la sal iónica presentes en el residuo de huellas dactilares corroen la superficie del metal para producir una imagen que sólo puede

ser eliminada con la limpieza del metal mediante abrasivos. Bond encontró que la huella digital puede hacerse visible mediante la aplicación de un voltaje al metal y el revestimiento con un polvo metálico.

La ventaja de la nueva técnica es su permanencia, se está buscando la mínima cantidad de grabado que tiene lugar en el metal –el cambio físico que se ha producido a la superficie–. La técnica podría probar ser más resistente que los métodos convencionales.

Una vez que los científicos de la Universidad de Leicester supieron que las huellas digitales podrían corroer el metal, aplicaron una carga eléctrica muy grande –2500 voltios– a la zona corroída. A continuación, aplicaron sobre el metal un polvo negro conductor muy fino, similar al tóner de fotocopiadora, que se adhirió a las áreas de corrosión.

Es conveniente aquí advertir que la superficie de los cartuchos es tan pequeña que la impresión en su totalidad no se puede obtener. Una de las cuestiones principales en el análisis de huellas dactilares es qué cantidad de impresión es necesaria antes de que fiablemente pueda decirse que la huella es de alguien. La técnica ha sido ampliamente probada en el laboratorio y se aplicará en más casos, tanto en los Estados Unidos como en el Reino Unido.

n) Detección de huellas latentes mediante el uso de láser

Ante todo digamos que la palabra láser proviene de la expresión inglesa *light amplification by stimulated emission of radiations* (amplificación de la luz mediante emisión estimulada de radiaciones), con la cual se designa una variedad que permite obtener rayos de luz coherente, particularmente intensos y penetrantes. Su funcionamiento es el siguiente: un cristal de rubí u otra materia apropiada es herido por ondas electromagnéticas; ciertos electrones de sus átomos, al absorber energía, pasan a ocupar una órbita superior; sin embargo, todo electrón excitado tiende a volver a su estado fundamental, y si se dirige un rayo de luz potente sobre el rubí, los electrones vuelven a su órbita original, cosa que no puede ocurrir si no se deshacen del suplemento de energía que habían adquirido; la eliminación la efectúan emitiendo fotones.

La barrita de rubí tiene dos espejos en sus extremos, uno de ellos opaco y el otro semitransparente. Los fotones engendrados en el cristal se mueven a lo largo del mismo; al llegar a un espejo terminal, son reflejados hacia el otro, y así sucesivamente. Mientras tanto, nuevos fotones se van sumando a los que ya oscilan entre los espejos. De ahí una multiplicación considerable de los mismos o una amplificación enorme de la luz. Tan intenso llega a ser el haz, que acaba por atravesar el espejo semitransparente, saliendo del cristal.

Además de los láseres de sólidos (con rubíes u otros cristales), existen láseres de gas (argón, gas carbónico, etc.). Cada tipo conviene para una

aplicación determinada por sus características: potencia, funcionamiento continuo o por impulsos, frecuencia de la luz emitida, que es monocromática y a veces invisible (infrarroja).

Los rayos que salen del láser son prácticamente paralelos (en realidad, muy ligeramente divergentes), con lo cual el haz conserva su potencia a larga distancia.

El procedimiento utilizado para detectar impresiones digitales latentes con un láser es limpio y relativamente fácil. Inicialmente se requiere un pretratamiento del espécimen y, por ende, no se le produce ninguna alteración al mismo. El rayo láser expandido (mediante la interposición de una lente divergente en su camino) se emplea para hacer fluorescentes ciertas propiedades de la transpiración, aceites del cuerpo y/o sustancias ajenas contenidas en la impresión digital latente.

Su poder de salida generalmente oscila entre 8 y 20 watts, y los más apropiados para este tipo de tarea operan con ion argón o vapor de cobre. El examen de un espécimen se lleva a cabo pasando pequeñas piezas bajo el rayo expandido. Los elementos más grandes son en cambio observados mediante el uso de un cable con fibra óptica.

La detección se produce cuando la impresión latente absorbe la luz del láser y la devuelve en longitudes de onda más largas que la fuente lumínica. El operador debe estar protegido con anteojos que contengan filtros de una densidad óptica de 7 a 515 nm. Los filtros absorben las longitudes de onda del láser y permiten pasar las de 540 nm en adelante. Las impresiones digitales se hacen fluorescentes a partir de los 550 nm.

De tal manera, las impresiones así visualizadas pueden ser fotografiadas colocando ese mismo filtro delante de la lente de la cámara. Mediante este sistema pueden detectarse huellas en gran variedad de superficies, entre ellas vidrio, papel, cartón, goma, madera, plástico, cuero y metal.

El sistema también es útil para resaltar las huellas previamente tratadas con los métodos convencionales.

En los países en que se ha puesto en práctica este método, ha demostrado ser 500 veces más sensitivo que el ojo humano para detectar impresiones latentes, tanto en el lugar del hecho como en el laboratorio.

Existen aparatos que vienen provistos de un sistema de monitoreo que trabaja en conjunto con el láser y provee al operador un confiable equipo electrónico de imágenes, ya que las huellas que aparecen en pantalla pueden ser grabadas en video, procesadas en un convertidor de imágenes o transmitidas a una central de datos para almacenamiento o comparación.

IV. HUELLAS LATENTES EN LA PIEL HUMANA

Recientes investigaciones han demostrado que se pueden obtener impresiones identificables de la piel de las víctimas de homicidio en condiciones reales de campo, no sólo en el laboratorio.

Ya sea para impedir su huida, inmovilizarlos o disponer de ellos, los homicidas a menudo agarran a sus víctimas. ¿Qué agente de homicidios no ha deseado poseer la capacidad de revelar huellas digitales identificables de un sospechoso, de la piel de un cuerpo muerto? La prueba crucial dactiloscópica que une al perpetrador y a la víctima tiene que estar ahí, pero, hasta hace poco, los intentos por recuperar esas huellas rara vez se cumplían con éxito.

La piel posee una serie de cualidades únicas que la distinguen de otros especímenes examinados para huellas latentes. El tejido de la piel crece y se renueva constantemente, desprendiendo las células viejas que podrían contener la huella de agarre de un agresor. Su flexibilidad permite el movimiento y, por tanto, la posible distorsión de las impresiones dactilares; a medida que la piel regula la temperatura del cuerpo y excreta desechos a través del sudor, las huellas latentes se pueden lavar y desaparecer.

Además de estos cambios naturales, la piel de las víctimas de homicidio a menudo es objeto de muchas condiciones adversas, como la mutilación, los fluidos corporales, el clima y la descomposición después de la muerte. Además, durante el procesamiento de la escena del crimen, muchas personas pueden manipular un cuerpo mientras lo retiran de la escena, lo que también puede destruir las huellas digitales ya existentes o, posiblemente, añadir otras nuevas a la piel del cadáver.

A pesar de estos obstáculos, la investigación llevada a cabo por el laboratorio de la Sección Huellas Dactilares Latentes del FBI –en conjunto con la policía y autoridades médicas en Knoxville, Tennessee– demuestra que las huellas dactilares latentes se pueden extraer de la piel si los investigadores están dispuestos a intentarlo.

Trataré ahora de describir la historia y la investigación que condujo al desarrollo de un método viable para hacer visibles las impresiones latentes identificables en la piel humana.

1. Historia

El FBI ha estado involucrado por muchos años en la investigación sobre métodos para revelar/hacer visibles impresiones digitales latentes identificables sobre la piel humana. En los comienzos de la década de 1970, los científicos del FBI volvieron a examinar los métodos existentes utilizando cadáveres, en una importante universidad junto con el médico forense de la Oficina del Estado de Virginia en Richmond, Virginia (EE. UU.). La mayoría de los cadáveres habían sido embalsamados.

Para crear impresiones, estos investigadores aplicaron una capa de aceite para bebés y vaselina a sus manos, y a continuación tocaron zonas de la piel de los cadáveres. A intervalos de tiempo, intentaron luego desarrollar/poner en evidencia estas huellas latentes, utilizando principalmente el método de transferencia de yodo/plata. Este método consta de cinco pasos: calentar el yodo en un humeador/vaporizador de yodo; dirigir los humos/vapores hacia la piel para dejar una fina lámina de plata sobre aquélla; quitar la lámina de plata, y, finalmente, exponer esta última a una luz fuerte, que hace que las impresiones digitales se hagan visibles.

Ver imagen 14 en el Anexo fotográfico

Los investigadores revelaron impresiones identificables de esta manera, dentro de un marco de tiempo que osciló desde varias horas hasta varios días después que se aplicaran las impresiones. Cabe señalar, sin embargo, que alcanzaron estos resultados en condiciones ideales de laboratorio. No es de extrañar que hayan desarrollado huellas latentes compuestas por sustancias oleosas introducidas artificialmente en cadáveres embalsamados. Sin embargo, sus esfuerzos proporcionaron datos importantes de sustento para la investigación posterior llevada a cabo en Tennessee.

En 1991, un especialista del Departamento de Policía de Knoxville, Tennessee (EE.UU.), contactó a la Sección Impresiones Dactilares Latentes del FBI, para preguntar sobre la experiencia del FBI y la investigación previa en el revelado de huellas latentes en la piel. Su propio examen de víctimas de homicidio no había producido impresiones con detalles de crestas de identificación, a pesar de lo cual algunos cadáveres exhibían contornos de dedos y palmas. Fuera de estas discusiones surgió un proyecto de investigación conjunta con el Departamento de Policía de Knoxville, la Universidad del Hospital de Tennessee, el Departamento de Antropología de la Universidad de Tennessee y el FBI.

Para desarrollar una técnica consistente y fiable para el revelado de huellas latentes en la piel, los investigadores establecieron un protocolo significativamente diferente de los esfuerzos anteriores. Decidieron utilizar solamente cadáveres sin embalsamar y colocar huellas latentes compuestas sólo por la transpiración natural y material sebáceo (grasa). A su juicio, estas condiciones replicaban con mayor precisión las condiciones de campo que enfrentan los investigadores de la policía.

2. Investigación

Primero examinaron el cuerpo de una mujer blanca de 62 años que había estado muerta durante nueve días. Las áreas de la piel se seccionaron en cuadrados numerados dibujados en el cuerpo; un investigador colocó impresiones latentes en la piel frotando previamente la mano por la frente o por el pelo y luego tocando el cadáver. A partir de allí, trataron de traer a luz las huellas latentes a intervalos regulares mediante el empleo de varios métodos, incluyendo el uso de láseres, fuentes alternativas de luz, transferencia de yodo/plata, vaporizado con cianoacrilato (comúnmente conocido como "humeado/esparcido como spray, de pegamento"),

polvos regulares y fluorescentes, polvos con fórmulas especiales, polvos magnéticos fluorescentes y regulares, yodo líquido, ardrox y quelato de europio thenoyl.

La mayoría de estos métodos revelaron la huellas latentes hasta aproximadamente una hora después de que se hubieran depositado. Para obtener documentación adicional, durante los días siguientes los investigadores probaron las técnicas en otros cadáveres, pero la mayoría de los métodos no proporcionan resultados consistentes.

La técnica que reveló impresiones latentes con más frecuencia fue la del vaporizado con pegamento, en conjunto con el polvo magnético regular de huellas digitales. Al igual que la transferencia yodo/plata, este método consiste en calentar el pegamento y direccionar los vapores a la piel, para luego aplicar el polvo de huellas digitales para revelar la huellas latentes.

Para probar aún más esta técnica, vaporizaron con pegamento varias áreas de la piel que contenían huellas latentes sebáceas, dos horas después de depositar las impresiones. Dieciséis horas más tarde, aplicaron a esas áreas varios polvos diferentes para huellas digitales. Mediante el empleo de un polvo fluorescente especialmente formulado para esta prueba, revelaron una impresión latente de valor para propósitos de identificación. Inicialmente, los investigadores creían que el polvo fluorescente especial proporcionó la clave para la obtención de impresiones utilizables, pero las pruebas adicionales demostraron que el tipo de polvo no importaba tanto como la cantidad de tiempo otorgado al vaporizado de pegamento.

3. Dispositivo para el vaporizado de pegamento

Mientras continuaban su investigación, los científicos se dieron cuenta de que necesitaban un método mejorado para la difusión de gases de la goma/pegamento sobre la piel. El método anterior utilizado –la formación de una carpa plástica herméticamente cerrada en un área pequeña de la piel o sobre un cuerpo entero– no siempre funcionaba. Era imposible la distribución de gases de la goma de manera uniforme sobre la piel y extremadamente difícil de confinar todos los humos/gases/vapores a la carpa. Además, cuando quitaron la carpa de plástico al final del proceso, los humos a menudo forzaban a los investigadores a que salieran del área de trabajo. Para aliviar estos problemas, uno de los investigadores, especialista de la policía del Departamento de Knoxville, desarrolló una cámara portátil.

La cámara contiene una fuente de calor y un ventilador eléctrico pequeño. El pegamento se vierte en un pequeño recipiente de aluminio desechable y precalentado, y se coloca en la cámara. Después de aproximadamente cinco minutos, el ventilador se enciende y el flujo de gases sale a través de una manguera de plástico adherida a la tapa de la cámara. Cuando se gradúa al máximo, la cantidad de gases forzada a través de la manguera se aproxima a los gases de escape de un automóvil en un día frío. Este dispositivo permite al usuario controlar la cantidad y el tiempo de la maniobra, con mucha más facilidad que con el método de la carpa.

Usando el nuevo dispositivo, los científicos probaron cuadrados de piel para determinar el momento óptimo de vaporizado. Intentaron hacerlo con incrementos de cinco segundos hasta dos minutos. Obtuvieron impresiones latentes identificables con mayor frecuencia cuando los gases de la goma se habían aplicado a la piel durante 10 a 15 segundos.

4. Polvos

En las primeras pruebas, parecía que determinados tipos y marcas de polvos para huellas digitales proporcionaban los mejores resultados. A medida que la investigación avanzaba, sin embargo, se hizo evidente que éste no era el caso. Más de 30 marcas y varios tipos de polvos y aplicadores fueron probados. Al final, los investigadores determinaron que la selección del polvo es menos crítica que asegurar que el proceso de vaporizado con pegamento se realiza correctamente.

Tanto los polvos fluorescentes como los magnéticos regulares producen impresiones identificables. Con polvos fluorescentes no magnéticos, los mejores resultados se obtienen aplicando el polvo con un plumero esparcidor en lugar de un cepillo convencional, el que generalmente tiene más polvo. El exceso de polvo fluorescente tiende a abrumar la impresión latente y el fondo. Si bien los polvos fluorescentes funcionan, tienen algunos inconvenientes; por lo general cuestan más que los polvos magnéticos regulares, son más difíciles de ver, y requieren fuentes de luz especiales, filtros y conocimientos de fotografía adicional.

En comparación, los polvos magnéticos regulares color negro producen impresiones útiles y cuestan mucho menos. Tampoco requieren habilidades fotográficas especiales. De hecho, la tecnología no tiene por qué ser compleja o costosa para ser eficaz.

5. Condiciones del campo/terreno

Desarrollar huellas latentes en condiciones ideales de laboratorio demostró que se podían obtener impresiones de la piel humana. Pero los investigadores querían asegurarse de que los profesionales podrían obtener resultados similares en el campo. En la vida real, las víctimas de homicidio podrían no ser encontradas inmediatamente, los cuerpos podrían estar expuestos a la intemperie u otras condiciones difíciles, o podrían ser llevados a la morgue y refrigerados antes de que puedan ser examinados en busca de impresiones.

Para garantizar que el proceso funcionaría, los investigadores simularon condiciones de campo mediante pruebas de cadáveres que habían

estado expuestos a la intemperie durante varios días, así como también operaron con otros refrigerados. Replicaron los posibles retrasos de tiempo que podrían ocurrir en el campo, esperando aproximadamente 12 horas entre el esparcido de pegamento (que se podía hacer en la escena del crimen) y la aplicación de polvos de huellas dactilares (tal vez realizada más tarde en la morgue). Los resultados mostraron que, siguiendo los procedimientos adecuados, los investigadores podían revelar impresiones latentes, incluso en condiciones difíciles.

6. Recomendaciones

Esta investigación indica que las víctimas de homicidio deben ser examinadas para detectar la existencia de huellas latentes cada vez que los investigadores creen que el autor ha tocado a la víctima. Si es posible, esta tarea debe concretarse sobre los cuerpos en la escena del crimen, inmediatamente después de que el médico forense ha completado un examen inicial y ha concedido permiso. Como mínimo, el cuerpo debe ser vaporizado con pegamento en el lugar para preservar las huellas y ayudar a prevenir la contaminación o la destrucción de las impresiones cuando el cadáver se mueve.

Idealmente, los cuerpos no se deben refrigerar antes del examen de huellas latentes. La condensación que se acumula en los mismos puede tener efectos adversos, eliminando las huellas, reaccionando con el pegamento para distorsionar las impresiones, o causando que el polvo se endurezca, perdiendo así las impresiones; tales cuerpos no deben ser tratados hasta que la humedad se evapore, aproximadamente durante varios minutos, dependiendo de la temperatura ambiente. Se puede examinar una zona de control de la piel menos propensa a tener impresiones, para asegurarse de que la humedad se ha disipado.

La piel que está caliente o cerca de la temperatura normal del cuerpo debe ser vaporizada con pegamento por sólo 5 a 10 segundos, y la más fría por un máximo de 15 segundos; se pueden entonces aplicar los polvos magnéticos regulares. Cualquier impresión latente identificable debe ser fotografiada y luego levantada con cinta adhesiva transparente.

7. Conclusión

Durante muchos años, los investigadores y científicos forenses han intentado recuperar huellas latentes de los cadáveres, pero a menudo las evidencias clave han quedado fuera del alcance. Frustrados, con frecuencia abandonaron el trabajo después de varios intentos fallidos. Esta investigación demuestra que se pueden lograr avances si se está dispuesto a intentarlo. A medida que se convierte en rutina para la policía obtener huellas latentes de la piel, los asesinos, luego de accionar contra sus víctimas, sólo se están poniendo al alcance del largo brazo de la ley.

CAPÍTULO V

FIBRAS, EXÁMENES SEROLÓGICOS Y OTROS FLUIDOS CORPORALES

I. FIBRAS. INTRODUCCIÓN

La colocación de un sospechoso en la escena de un crimen es un elemento importante en la investigación criminal. Esto se puede lograr a través de la ubicación de fibras textiles similares a las de la ropa de la víctima o la escena del crimen en la ropa del sospechoso, o mediante el descubrimiento de fibras como las de la ropa del sospechoso en el lugar del hecho.

Las fibras textiles pueden ser intercambiadas entre dos individuos, entre un individuo y un objeto, y entre dos objetos. Cuando tales elementos se confrontan con una fuente específica (la tela de la víctima, sospechoso, y/o escena), se da un valor a dicha asociación. Este valor depende de muchos factores, incluyendo el tipo de fibra encontrado, el color o la variación de color en ella, el número de fibras halladas, la ubicación de las mismas en la escena del crimen o en la víctima, y el número de fibras diferentes en la escena del crimen o en la víctima, que coinciden con la ropa del sospechoso.

Que una fibra sea transferida y detectada dependerá de la naturaleza y duración del contacto entre el sospechoso y la víctima o la escena del crimen, la persistencia de las fibras después de la transferencia y el tipo de tela que participa en el contacto.

II. LA FIBRA COMO EVIDENCIA

Una fibra es la unidad más pequeña de un material textil que tiene una longitud mucho mayor que su diámetro. Las fibras se encuentran naturalmente en plantas y animales, pero también pueden ser hechas por el hombre. Una fibra se puede hacer girar con otras para formar un hilo que puede ser tejido o de punto, y luego formar una tela. El tipo y la longitud de la fibra utilizada, el tipo de método de centrifugado y el de estructura, afectan la transferencia de fibras y la importancia de las asociaciones entre

ellas. Esto es muy importante cuando existe la posibilidad de transferencia entre el sospechoso y la víctima durante la comisión de un delito.

Las fibras se consideran una forma de rastro de evidencia que puede ser transferido de la ropa de un sospechoso a la ropa de la víctima durante la comisión de un delito. También se pueden transferir de una tela tal como una alfombra, cama o mueble en la escena del crimen. Estas transferencias pueden ser directas (primarias) o indirectas (secundarias). Una transferencia primaria se produce cuando una fibra se transfiere de una tela directamente sobre la ropa de la víctima, mientras que una secundaria se produce cuando fibras ya transferidas a la ropa de un sospechoso, se transfieren a la ropa de una víctima. La comprensión de los mecanismos de transferencia primaria y secundaria es importante cuando se lleva a cabo la reconstrucción de los hechos de un delito.

Cuando dos personas entran en contacto o cuando el contacto se produce con un elemento de la escena del crimen, existe la posibilidad de que se lleve a cabo una transferencia. Esto no significa que siempre deba ocurrir; la construcción y la composición de fibras de la tela, la duración y la fuerza del contacto, y la condición de la prenda en lo que respecta a los daños, son consideraciones importantes.

También es importante la longitud de tiempo entre el contacto físico y la recolección de prendas de vestir del sospechoso o la víctima. Si la víctima está inmóvil, la pérdida de fibra será muy poca, mientras que ocurrirá lo contrario en forma rápida, con la ropa del sospechoso. La probabilidad de encontrar fibras transferidas en la ropa del sospechoso un día después del supuesto contacto puede ser remota, ello dependerá de la utilización o manipulación posterior de las prendas.

a) Fibras naturales

Muchas fibras naturales diferentes procedentes de plantas y animales se utilizan en la producción de tela. Las fibras de algodón son las fibras vegetales más utilizadas en los materiales textiles, con el tipo de algodón, longitud, y grado de torsión que contribuyen a la diversidad de estas fibras. Las técnicas de transformación y las aplicaciones de color también influyen en el valor de las identificaciones de fibras de algodón.

Otras fibras vegetales utilizadas en la producción de materias textiles incluyen lino, ramina, sisal, yute, cáñamo, ceiba y bonote. La identificación de fibras de plantas menos comunes en la escena del crimen o en la ropa de un sospechoso o de la víctima, tendría mayor importancia.

La fibra de origen animal más utilizada en la producción de materias textiles es la lana y la fibra de lana más común se origina en la oveja. El uso final de la lana de oveja muchas veces dicta la finura o tosquedad de las fibras de lana: las fibras de lana más finas se utilizan en la producción de prendas de vestir, mientras que las más gruesas se encuentran

en las alfombras. El diámetro y el grado de protusión de las fibras son otras características importantes. Aunque la lana de oveja es más común, también se pueden encontrar fibras de lana de otros animales; éstos incluyen el camello, la alpaca, la cachemira, el mohair, entre otros. La identificación de fibras animales menos comunes en la escena del crimen o en la ropa de un sospechoso o la víctima tendría mayor importancia.

Ver imagen 15 en el Anexo fotográfico

b) Las fibras sintéticas

Más de la mitad de todas las fibras utilizadas en la producción de materias textiles son artificiales. Algunas fibras sintéticas o artificiales se originan a partir de materias naturales como el algodón o la madera, mientras que otras se originan a partir de materiales sintéticos. El poliéster y las fibras de nailon son los más comúnmente encontrados, seguidos por los acrílicos, los rayones y acetatos. También hay muchas otras fibras hechas por el hombre que son menos comunes. La cantidad de producción de una fibra especial hecha por el hombre, y su uso final, tienen influencia en el grado de rareza de una fibra determinada.

La forma de una fibra sintética puede determinar el valor atribuido a la misma. La sección transversal de una puede ser específica del fabricante; algunas secciones son más comunes que otras, y algunas formas sólo pueden producirse por un corto período. Las secciones transversales inusuales encontradas a través del examen pueden agregar mayor importancia a una asociación de las fibras.

Ver imagen 16 en el Anexo fotográfico

c) El color de la fibra

El color influye en el valor dado a una identificación de fibra en particular. A menudo, se emplean varios colorantes para dar a una fibra el color deseado. Las fibras individuales pueden ser decoloradas antes de ser hiladas. Las hiladas pueden teñirse, y los tejidos derivados de ellas también. El color también se puede aplicar a la superficie de la tela, tal como se encuentra en tejidos estampados. La forma en que se aplica el color y se absorbe a lo largo de la fibra son características importantes de comparación. La decoloración da también valor agregado a una asociación de fibras.

d) Número de fibras

El número de fibras en la ropa de la víctima identificadas como coincidentes con la ropa de un sospechoso es importante en la determinación

de un contacto real. Cuanto mayor sea el número de fibras, es más probable que el contacto ocurriera realmente entre estos individuos.

e) Ubicación de las fibras

Cuando se encuentran fibras, también afecta el valor atribuido a una asociación de fibras concretas. La ubicación de fibras en diferentes áreas del cuerpo o sobre elementos específicos de la escena del crimen influye en la importancia de la asociación de las fibras.

III. TELAS

a) Tipo de tela

Cómo se construye un tejido afecta al número y a los tipos de fibras que pueden ser transferidos durante el contacto. Los tejidos apretados o de punto se pierden con menos frecuencia que los que no lo son; los tejidos compuestos por hilados de filamentos arrojan menos que los compuestos por hilados. Ciertos tipos de fibras también tienden a transferir más fácilmente.

La edad de la tela también afecta el grado de las transferencias de fibra. Algunas telas más recientes o nuevas pueden ser arrojadas con más facilidad, debido a la abundancia de fibras que se adhieren libremente en la superficie de la tela. Algunas telas gastadas pueden poseer daños en zonas que fácilmente liberan fibras. El daño a un tejido causado durante el contacto físico aumenta la probabilidad de transferencia.

b) Determinación del origen de la tela

Cuando una fibra cuestionada se compara con las fibras de la tela de origen conocido, se hace una determinación en cuanto a si esta fibra podría haberse originado en el tejido conocido. No es posible decir positivamente que una fibra se originó en un tejido en particular, aunque la imposibilidad de asociar de manera positiva una fibra con una fuente de ninguna manera disminuye la importancia de una asociación de la fibra. La amplia variedad de tipos de fibras, colores y tipos de telas hacen posible establecer asociaciones de fibras muy importantes porque el valor de una asociación de fibras depende del tipo, color y número de fibras transferidas, la ubicación de las recuperadas, y otros factores.

Podría ser muy útil conocer la frecuencia de ocurrencia de un tipo concreto de tela y fibra, la existencia de muchas telas con un tipo y color de fibra, así como quién es su propietario. Esta información, sin embargo, es extremadamente difícil de obtener. Si se conoce el fabricante de un tejido, existe la posibilidad de que el número de unidades de tejido producido también pueda ser obtenido, pero esta información no siempre

está disponible. Cuánta ropa así todavía existe, y dónde se encuentra, todavía son interrogantes.

Una vez que una fibra particular de cierto tipo, forma y color se produce y convierte en parte de un tejido, ocupa una porción muy pequeña de la fibra o del tejido de la población. Las excepciones a esto serían fibras de algodón blanco y fibras de algodón azul, como las que componen los pantalones vaqueros azules. Hay otras fibras comunes, pero la mayoría de un tipo y color particular constituyen un porcentaje muy pequeño del número total de fibras que existen en el mundo.

IV. TRANSFERENCIA Y PERSISTENCIA DE FIBRAS

Las fibras textiles se transfieren a la superficie de un tejido, ya sea por transferencia directa (transferencia primaria) o transferencia indirecta (transferencia secundaria). La probabilidad de transferencia depende de los tipos de tejidos implicados en el contacto y la naturaleza y duración de éste. Los estudios han demostrado que las fibras transferidas se pierden con bastante rapidez, dependiendo de los tipos de tejidos involucrados y el movimiento de la ropa después del contacto. Por ejemplo, la ropa de una víctima de homicidio tendería a retener las fibras por un periodo más largo, porque la víctima no se mueve.

El personal de emergencia, los médicos forenses y los investigadores deben manejar la ropa de la víctima con cuidado para minimizar la pérdida de fibras. Las fibras transferidas a la ropa de una víctima de asalto o a la ropa del sospechoso se perderán si la víctima y el sospechoso se mueven, se cepillan o lavan la ropa. Es difícil predecir con exactitud cuántas fibras pueden permanecer en la ropa de una víctima viva o de un sospechoso después de un período determinado, pero es importante para los investigadores recuperar y preservar la ropa de estas personas tan pronto como sea posible.

a) Naturaleza del contacto

El tipo de contacto físico entre el sospechoso y la víctima puede determinar el número de fibras transferidas y el valor otorgado a su descubrimiento. El contacto físico violento de una duración extendida muy a menudo conlleva la cesión de fibras numerosas.

b) Asociaciones múltiples de fibras

Múltiples tipos de fibra encontrados en diferentes artículos de ropa o tela del sospechoso, la víctima y la escena del crimen aumentan considerablemente la probabilidad de que el contacto se haya producido entre estos individuos y la escena. Cada tipo de fibra asociada se considera un evento independiente y las asociaciones múltiples socavan una protección casual.

V. La evidencia de la fibra: la asignación de importancia

Siempre que una fibra que se encuentre en la ropa de la víctima coincida con las fibras conocidas de la ropa de un sospechoso, puede ser un evento importante. La coincidencia de teñido de fibras sintéticas o teñido de fibras naturales puede ser muy significativa, mientras que el cotejo de las fibras comunes, tales como el algodón blanco o el algodón de mezclilla azul podría ser menos importante. En algunas situaciones, sin embargo, la presencia de algodón blanco o de algodón de mezclilla azul aún puede tener algún significado en la resolución de la verdad de un problema. El descubrimiento de transferencias cruzadas y de fibras múltiples, entre la ropa del sospechoso y de la víctima, aumenta dramáticamente la probabilidad de que estas dos personas tuvieran contacto físico.

Cuando un examinador de fibras logra una coincidencia, sólo hay dos explicaciones posibles:

- la fibra en realidad se originó en la prenda, o
- la fibra no se originó allí.

Con el propósito de decir que la fibra se originó en la prenda, la ropa o bien tenía que ser la estructura única de su tipo jamás producida o que aún permanece en la tierra, o la transferencia de las fibras fue observada directamente. Dado que ninguna de estas situaciones es probable que se produzca o conozca, los examinadores concluirán que las fibras se podrían haber originado en la ropa o que son consistentes con el hecho de provenir de dicha ropa. La única manera de decir que una fibra no se originó de una prenda en particular es conocer la historia real de la misma, o que realmente se haya observado la transferencia de fibra de otra prenda.

Se argumenta que el gran volumen de tejido producido reduce la importancia de las asociaciones de fibra descubiertas en una causa penal. Nunca se puede afirmar con certeza que una fibra se originó en una prenda en particular, porque otras prendas probablemente se produjeron utilizando el mismo tipo de fibra y color. La incapacidad de asociarse positivamente una fibra con una prenda especial, a la exclusión de todas las demás prendas de vestir, no significa sin embargo que la asociación de fibras carece de valor.

Cuando uno considera el volumen de tejido producido en el mundo cada año, el número de prendas de vestir de un color y tipo de fibra en particular es extremadamente pequeño. La probabilidad de que dos o más fabricantes dupliquen todos los aspectos del tipo de tejido y color con exactitud es sumamente remota. El gran número de tipos de medio de teñido y colores que existen en el mundo, junto con el número ilimitado de combinaciones de tintes posibles, hace significativa cualquier forma de asociación de fibra por el color.

Gran parte del algodón utilizado en la ropa termina sin teñir, como ocurre con las camisas blancas, ropa interior, medias y ropa de cama, pero a menudo se tiñe de diferentes tonos de azul, rojo, verde y amarillo. Gran parte de la tela de algodón que se produce también es impresa y teñida, lo que confiere características diferentes de color a la superficie de las fibras de algodón, y algunas telas de algodón se tiñen de tal manera que varía el color a lo largo de la fibra. Las fibras de algodón en tejidos pueden permanecer en un estado bruto o pueden ser procesadas de diferentes maneras, por ejemplo, por mercerización.

Por último, digamos que cuando las fibras que coinciden con las de la ropa del sospechoso se encuentran en la ropa de la víctima, pueden extraerse dos conclusiones: las fibras se originaron en el sospechoso, o las fibras se originaron en otra tela que no sólo estaba compuesta de fibras del tipo y color exactos, sino que también estaba en condiciones de contribuir a través del contacto primario o secundario de las fibras. La probabilidad de encontrar fibras idénticas del entorno de una víctima de homicidio (es decir, desde su residencia o amigos) es sumamente remota.

VI. La serología forense

La serología es el estudio de los sueros, de sus propiedades y de sus aplicaciones; se ocupa de la detección de antígenos bacterianos, protozoos de otro tipo en los sueros o en los líquidos orgánicos.

La serología forense es el estudio del suero de la sangre, junto con la saliva, el semen y otros fluidos corporales; estudia los elementos mencionados en relación con los delitos y otras cuestiones legales. Esta disciplina opera en los casos de homicidios, violaciones, asaltos y disputas de paternidad.

a) La sangre

La sangre es un líquido de color rojo, imprescindible para la vida, constituido por hematíes, leucocitos y plaquetas, así como también por agua, aminoácidos, electrolitos, proteínas, sales minerales y vitaminas.

Los sistemas sanguíneos son características fijas de cada individuo, que no cambian ni con el paso del tiempo, ni por enfermedades o transfusiones repetidas de otros grupos sanguíneos.

Los problemas de la sangre normalmente desecada en criminalística son diversos: temperatura, humedad, grado de desecación, edad de las manchas, naturaleza del soporte, agresiones externas (sol, álcalis, ácidos, lavados).

Técnicas analíticas empleadas:

1) Indiciarias: son las pruebas de orientación que sirven para conocer la naturaleza de la muestra y descartar lo que seguro no es sangre.

2) De certeza: sirven para determinar un diagnóstico genérico, simplemente dicen si la mancha es sangre (casi todas ellas basan sus diagnósticos en procesos de cristalización).

3) De diagnóstico específico (diagnóstico de origen): establecen si la sangre es humana o no.

4) Diagnóstico de individualización.

5) Diagnóstico de sexo.

6) Extracción de ADN.

Las investigaciones sobre la sangre se dirigen hoy día fundamentalmente hacia dos campos: la detección de sustancias en la sangre (toxicología) y las características de la sangre (serología).

Observada en el lugar del hecho o en prendas de vestir, cambia de color, desde el rojo brillante al herrumbroso, hasta finalizar en chocolate, en función (entre otros) de la edad de la propia mancha, la cantidad presente, la naturaleza y el color del material sobre el que cae y los intentos de eliminarla mediante lavado, sin que pueda precisarse con exactitud la edad de una mancha de sangre.

Glaister las clasificó en: charcos, chorros, gotas, manchas, regueros y salpicaduras, mientras McDonell las clasifica en: de escurrimiento, contacto, impregnación, proyección, mixto.

Cuando la policía tiene un sospechoso importante en un caso de homicidio, la tentación es dejar las cosas así y cerrar la búsqueda, pero unas pocas muestras pequeñas de sangre sometidas a pruebas en el laboratorio forense pueden cambiar todo el caso.

Las manchas de sangre y los fluidos corporales siguen desempeñando un papel importante en la detección de delitos, una parte menor, aunque creciente, en la prueba de culpabilidad; no sólo la naturaleza y la agrupación de manchas, sino su posición en la escena del crimen es ahora reconocida como una pieza importante de evidencia en sí misma.

La investigación de sangre en el lugar del hecho se puede dividir en un enfoque biológico (serología) y otro físico (salpicaduras de sangre o interpretación del patrón de manchas). La sangre no es el único producto del cuerpo que puede ser de utilidad para el forense; la palabra serología viene del antiguo sánscrito, que significa "flujo" o "fluir". Hoy se sabe que todos los líquidos que fluyen en el cuerpo humano se pueden a veces identificar para demostrar la culpabilidad de una persona sospechosa, pero también muy a menudo para proteger a los inocentes.

En esencia, la serología forense se basa en hechos conocidos vagamente desde los albores del tiempo, y con mucha más certeza desde que, en 1628, el médico inglés William Harvey descubrió la circulación de la sangre. Luego, en 1930, el médico vienés Karl Landsteiner recibió un premio Nobel por sus investigaciones sobre la serología. Él había anunciado al mundo científico que toda la sangre humana podía agruparse

en cuatro tipos principales; su obra estimuló a otros biólogos. Hoy, por conveniencia, los grupos se conocen como O, A, B y AB.

Se debe recordar que nunca es posible decir "esta mancha de sangre se originó en esta persona", sin embargo puede ser posible concluir que "esta mancha de sangre no puede tener su origen en esa persona". Un caso de defensa puede depender de este hecho crucial.

La sangre sigue desempeñando un papel importante en las investigaciones forenses, y el descubrimiento de nuevos anticuerpos ha permitido a las técnicas de determinación de grupo sanguíneo continuar con el refinamiento. Los laboratorios forenses han investigado sofisticadas técnicas de análisis de proteína en la sangre, y han sido capaces de producir perfiles de sangre con la perspectiva de establecer "impresiones digitales" de sangre única. Aunque esto sigue siendo por el momento el sueño de un serólogo, la sangre sigue dando sus secretos.

La primera tarea en el examen de manchas sospechosas es determinar si son de sangre, y, si es así, si son humanas. Una vez que esto se estableció, se examinan para determinar edad, sexo y grupo sanguíneo. La forma y el diseño de las salpicaduras de sangre líquida pueden ayudar en la reconstrucción del homicidio; las huellas sangrientas de dedos y palmas cuentan su propia historia; la sangre seca en la ropa de un sospechoso puede estar relacionada con la víctima, la escena del crimen y el arma empleada; la sangre y la piel debajo de las uñas de la víctima durante una pelea violenta pueden estar relacionadas con el agresor.

Así, un solo rastro de sangre puede proporcionar una gran cantidad de información y las técnicas analíticas están mejorando todo el tiempo. Por ejemplo, los rastros de medicamentos encontrados en una mancha de sangre indican el tratamiento médico que una persona puede estar recibiendo. Si bien estos procedimientos mejoran el alcance de detección, todavía no es posible identificar a una persona por su sangre como lo es por sus huellas digitales. Sin embargo, la serología forense, que además de la sangre trata con otros fluidos corporales como la saliva y el semen, es importante no sólo para estrechar la sospecha en los culpables, sino también para demostrar la inocencia de un sospechoso. Como en muchos otros aspectos de la investigación forense, las manchas de sangre se toman en cuenta, junto con una variedad de otras evidencias, para crear un patrón del crimen.

Una serie de sustancias tales como manchas de fruta o cosas que tiñen pueden ensuciar la ropa y tomar la apariencia de manchas de sangre. La prueba de la bencidina –utilizada durante muchos años para confirmar la presencia de sangre– se ha discontinuado debido a que el reactivo es cancerígeno. Ha sido ampliamente reemplazada por la prueba de Kastle-Meyer, utilizando una solución de fenolftaleína, que se vuelve rosa al contacto incluso con pequeñas trazas de sangre. La prueba fun-

ciona detectando la presencia de peróxidos de enzima en la sangre; sin embargo, como esta sustancia también está presente en otros materiales biológicos, la prueba de Kastle-Meyer es considerada como un procedimiento de detección. Es muy sensible y la reacción positiva se juzga como presuntiva de sangre, llevándose a cabo otras pruebas de confirmación. Estas últimas suelen ser procedimientos químicos y microscópicos para identificar la sangre por los pigmentos y estructuras celulares.

Una vez que una mancha se ha confirmado como sangre, se tiene que determinar si es humana o animal. Para este propósito se emplea la prueba de precipitación. La sangre de cada especie animal contiene diversas proteínas, y la sangre de una especie no aceptará proteínas de otra. Como medida de protección, la sangre desarrolla anticuerpos contra las enfermedades y sustancias extrañas para hacerlas inofensivas. El suero que contiene anticuerpos producidos por esta reacción proporciona inmunidad contra las enfermedades.

Este principio se utiliza para probar si las manchas son de sangre humana o no. El suero para la prueba de precipitación se obtiene de conejos que han producido anticuerpos para destruir una pequeña cantidad de sangre humana inyectada en ellos. Se agrega una gota de este suero antihumano a la sangre sospechosa, lo que precipitará su proteína si es de origen humano. Los laboratorios de policía mantienen antisueros de los animales más comunes, permitiendo así que el investigador del delito pueda confirmar o refutar las declaraciones formuladas por los sospechosos sobre el origen de las manchas de sangre sospechosas. La prueba de precipitación es sensible, y trabajará en pequeños rastros de sangre. La prueba también se conoce como la prueba Uhlenbuth, en honor al científico alemán que la desarrolló en 1901.

El color de la sangre seca cambia con el tiempo de rojo a marrón, y la prueba de peroxidise toma más tiempo para desarrollar con una mancha vieja. Un observador experimentado que considere estos factores podría ser capaz de dar una opinión en cuanto a la edad de una mancha en particular, pero ahora es posible medir el cambio del color científicamente. El análisis espectrofotométrico de manchas de sangre permite datar dentro del rango de un día a tres semanas.

En 1949, dos científicos británicos observaron que los núcleos de las células de los tejidos femeninos, por lo general, contenían una pierna/palillo distintivo –como la estructura que era rara en los hombres–. Esta estructura, llamada cuerpos de Barr, después de uno de sus descubrimientos, es más notable en las células blancas de la sangre y en las células epiteliales que recubren la boca. Los cuerpos de Barr se asocian con las diferencias en los cromosomas de hombres y mujeres, y su aparición en la sangre de origen desconocido es una base para identificarla como de mujer.

La determinación de las características del grupo sanguíneo de las manchas encontradas en la ropa o en un arma sospechada de haber sido empleada en un delito, es otro eslabón poderoso en la cadena de evidencia que se puede construir en un caso de muerte violenta. La agrupación de sangre es una ciencia en desarrollo por derecho propio, y mientras no puede proporcionar información tan certera como una huella digital, puede brindar evidencia circunstancial estableciendo contacto entre el sospechoso y la víctima.

La sangre de cada persona cae en uno de los cuatro grupos sanguíneos identificados en 1900 por el Dr. Karl Landsteiner. El sistema de agrupación ABO de la sangre es una función de las células rojas de la misma y la presencia en ellas de una sustancia conocida como aglutinógeno. Un grupo A contiene aglutinógeno A, un grupo B tiene aglutinógeno B, un grupo AB contiene ambos y un grupo O no tiene ninguno. Estos factores se encuentran en proporciones específicas en las distintas poblaciones.

b) Pruebas de sangre

En criminología los científicos se preocupan por cuestiones médicas, tales como la aglutinación, pero sobre todo la cuestión fundamental consiste en si una muestra es de sangre. En el laboratorio se extrae una muestra del material manchado conservado en una solución salina, y una pequeña gota del extracto se mezcla con una solución que contiene fenolftaleína e hidróxido de potasio, zinc en polvo y peróxido de hidrógeno. Si esta prueba es negativa (sin cambio), la muestra no puede ser de sangre. Si la mezcla presenta un color rosa claro, se trata de sangre.

Los biólogos a veces usan una prueba diferente, en la que se añade ácido glacial a una solución de peróxido de hidrógeno y bencidina, una gota de éste se añade a la muestra, la que de inmediato se vuelve de un azul intenso si hay sangre presente. El siguiente paso es el uso de un antisuero preparado en un animal, que reaccionará específicamente con sangre humana, lo que demuestra si la muestra es de origen humano.

Las frecuencias de los diferentes genes en los diferentes sistemas de grupos sanguíneos pueden, sin embargo, variar de una raza a otra y, posiblemente, podrían proporcionar una evidencia importante. Los sistemas de grupo sanguíneo, en general, han adquirido nombres como Kidd, Duffy y Kell después de los pacientes en los que anticuerpos fueron descubiertos por primera vez, y todos ellos, por supuesto, permiten a los científicos delimitar el campo.

Resumiendo todo el trabajo internacional de los serólogos forenses, el difunto Dr. Dunsford, médico del Servicio Nacional de Transfusión de Sangre de Gran Bretaña, destacó que, en la detección de la delincuencia, la "utilidad" de un sistema de grupo sanguíneo es la medida de su eficiencia, diferenciando los glóbulos rojos de una persona de los de otra.

Los investigadores tal vez estén sólo en el umbral de descubrimientos en la investigación de los líquidos corporales. Hace casi 75 años desde que los serólogos pusieron muestras de sangre bajo el microscopio y descubrieron los elementos suspendidos libremente en el plasma (suero), esencialmente los eritrocitos (glóbulos rojos), leucocitos (glóbulos blancos), y las plaquetas sanguíneas (forma de huevo y cuerpos circulares).

c) Algunos términos empleados en serología

- *Aglutinógeno.* Una sustancia que estimula la formación de anticuerpos específicos, lo que provoca la aglutinación de las células que contienen el antígeno o partículas recubiertas con el antígeno.
- *Anticuerpo.* Una proteína que se produce en respuesta a un antígeno. Es capaz de combinar con el antígeno y neutralizarlo al provocar que se coagule y precipite.
- *Antígeno.* Una sustancia, normalmente una proteína, que estimula al cuerpo para producir anticuerpos contra ella.
- *Plasma.* La parte líquida de la sangre en la que los componentes de partículas están suspendidos.
- *Plaquetas.* Una partícula encontrada en el torrente sanguíneo que se une al fibrinógeno en el sitio de una herida, para comenzar el proceso de coagulación sanguínea. Las plaquetas se forman en la médula ósea, adonde llegan de células llamadas megacariocitos.
- *Glóbulos rojos.* Célula especializada para el transporte, con una concentración de hemoglobina en el citoplasma (y poco más).
- *Serología.* Término que describe las pruebas de laboratorio que emplean un antígeno específico y las reacciones de anticuerpos séricos. Una ciencia que trata con sueros y, especialmente, sus reacciones y propiedades.
- *Suero.* La parte líquida de la sangre que queda después que todas las células han sido eliminadas.
- *Glóbulos blancos.* Las células que circulan en la sangre y en el sistema linfático y el resto en los ganglios linfáticos y el bazo. Son parte del sistema inmunológico responsable de manera directa e indirecta de atacar a los invasores del cuerpo.

d) Análisis del patrón de las manchas de sangre

El derramamiento de sangre es el acompañamiento dramático a los homicidios cometidos por medios violentos. Una vez que se derrama sangre en cualquier cantidad, y sobre todo cuando se inicia la coagulación, se hace muy difícil de tratar. Los intentos de homicidas por limpiar después de su obra violenta a menudo fallan a causa de las huellas de sangre que se adhieren tenazmente a su ropa o al arma del crimen. La sangre

encontrada en la escena del hecho ha atrapado a muchos homicidas que pensaron que habían quitado todos los rastros incriminatorios; una demostración sensacional de ello fue proporcionada por el detective francés Gustave Mace en 1869, cuando estaba interrogando a un sospechoso de asesinato en la habitación que él creía que había sido el escenario de un crimen horrible que involucraba la desmembración de la víctima. Convencido de que una gran cantidad de sangre se había derramado, Mace miró a su alrededor pero no vio huellas visibles; entonces se dio cuenta de la existencia de un hueco marcado en el suelo de baldosas. Con la sospecha y mirando con asombro, el detective tomó una jarra de agua y vertió el contenido en el suelo, el agua se acumuló en el hueco, y cuando se levantaron las baldosas se encontró sangre seca. Este descubrimiento dio lugar a una confesión de homicidio por parte de Pierre Voirbo y a un triunfo en la detección de Mace.

La sangre es importante forénsicamente hablando, y puede proporcionar una gran cantidad de información al investigador. La primera tarea en el examen de manchas sospechosas es determinar si son de sangre y, si es así, si son humanas. Una vez que ello se establezca, se examinan para determinar edad, sexo y grupo sanguíneo. La forma y el diseño de las salpicaduras de sangre líquida pueden ayudar en la reconstrucción del hecho, las huellas de sangre de dedos y palmas contarán su propia historia; la sangre seca en la ropa de un sospechoso puede estar relacionada con la víctima, la escena del crimen y el arma del crimen; la sangre y el tejido existentes debajo de las uñas de la víctima durante una lucha violenta batalla pueden estar relacionados con el agresor.

Así, un simple rastro de sangre puede proveer una gran cantidad de información y las técnicas analíticas están mejorando todo el tiempo. La dinámica de la sangre es importante no sólo para reducir la sospecha en los culpables, sino también para demostrar la inocencia de un sospechoso. Como en muchos otros aspectos de la investigación forense, las manchas de sangre se toman en cuenta con una variedad de otras evidencias, para crear un patrón de crimen.

El examen y la interpretación de manchas de sangre en el cuerpo y alrededor de él, y puntos de sangre, salpicaduras y manchas en la escena del crimen, son una parte esencial en la investigación de un delito violento. La posición y el aspecto de las marcas de sangre en el cuerpo y su entorno más inmediato ayudarán al investigador a reconstruir el crimen.

La teoría detrás del análisis del patrón de manchas de sangre es simple: la sangre es un fluido y responderá de acuerdo a las leyes de la física; aunque rara vez es la pieza dominante de la prueba en una investigación, el análisis de patrones de estas manchas puede ser importante en el difícil proceso de reconstrucción de un crimen violento.

Los expertos comienzan por tomar nota de algunas variables clave:
- tamaño del punto,
- cantidad,
- forma,
- distribución,
- ubicación,
- ángulo de impacto,
- la superficie del blanco.

Mucho se puede extraer de la forma de las manchas de sangre y salpicaduras encontradas en superficies tales como pisos, muros/paredes, techos/cielorrasos, carpintería y muebles. El criminólogo francés Alexandre Lacassagne señaló la correlación entre la forma de la sangre y la posición de la víctima. La sangre que cae verticalmente en una superficie plana forma una marca circular con bordes dentados, y denota que la fuente estaba detenida en ese momento. Las gotas de sangre que caen de un objeto en movimiento chocan contra una superficie plana en forma oblicua y dejan una mancha en forma de un signo de exclamación. Un examen de la forma de las salpicaduras de sangre que caen oblicuamente arroja información acerca de la dirección y velocidad del impacto. Tal evidencia ayuda a determinar las posiciones de víctima y victimario en el momento de un asalto, y también puede indicar la forma de la violencia y el tipo de arma utilizada.

Una línea de puntos de sangre en el techo de una habitación en la que se ha cometido un asesinato violento es probable que haya sido efectuada por el asesino blandiendo un hacha o una maza en una zona por encima de su cabeza. Las manchas y senderos en el piso pueden haber sido producidos por una persona herida arrastrándose o por un agresor arrastrando el cuerpo de su víctima lesionada. Las manchas en los muebles y escalones, consistentes en huellas con sangre de dedos o palmas, pueden resultar de actividades similares. Las manchas de sangre tienden a comenzar en forma de gotas que pasan a poseer un borde irregular, lo que indica la dirección del recorrido.

Puntos/manchas grandes: la sangre se desplazaba a una velocidad relativamente baja (arriba).

Puntos/manchas pequeñas/os: la sangre se desplazaba a una relativa alta velocidad. Más fuerza es igual a una salpicadura más pequeña (arriba).

Gotas alargadas: la víctima se movía, su velocidad en relación a la cantidad que las manchas se alargan y hasta dónde están espaciadas (también indica direccionalidad).

Contacto: gran mancha sobre una superficie causada por el contacto con un objeto con sangre (arriba).

Algo bloqueó la atomización de la sangre (arriba).

Líneas rectas y alargadas de salpicadura de sangre, que indican que la sangre fue lanzada por un objeto en movimiento en un cambio de dirección. Puede mostrar cuántas veces la víctima fue golpeada.

Ver imagen 17 en el Anexo fotográfico

e) ¿Qué es la prueba de luminol?

Para detectar manchas de sangre invisibles, se utiliza la prueba de luminol, que es un producto químico que se rocía en las alfombras y los

muebles, y revela una ligera luz fosforescente en la oscuridad donde las manchas de sangre (y algunas otras manchas) están presentes.

El especialista tratará de determinar qué indican la posición y la forma de las manchas de sangre en la escena del crimen. Él/ella tomarán medidas para determinar la trayectoria, así como también ejecutarán experimentos cuidadosamente controlados. Estos experimentos utilizan materiales de la superficie como los encontrados en la escena, para tratar de reproducir lo que ha sucedido.

Una autoridad en la interpretación de manchas de sangre da los siguientes consejos a los investigadores:

• Es posible determinar la velocidad de impacto de la sangre sobre una superficie plana, midiendo el grado de distorsión circular de la mancha. En otras palabras, la forma de la mancha tiende a cambiar dependiendo del ángulo de impacto que causó la mancha. Por ejemplo, cuanto más disminuye el ángulo, la mancha es menos redonda y más alargada.

• La textura de la superficie es uno de los elementos clave para determinar el tipo de salpicadura. Cuanto más dura sea la superficie, menos salpicaduras resultarán. Por tanto, es extremadamente importante duplicar la superficie en una prueba controlada.

• Cuando una gota de sangre golpea una superficie que es dura y lisa, la sangre usualmente se rompe en el impacto. Esto a su vez provoca gotas más pequeñas. Las gotitas más pequeñas continuarán moviéndose en la misma dirección que la gota original.

f) Algunos términos comunes utilizados en la interpretación de patrones de manchas de sangre

• Ángulo de impacto. El ángulo agudo formado entre la dirección de una gota de sangre y el plano de la superficie que golpea.

• Patrón. Un patrón de manchas de sangre creado cuando la sangre se libera o lanza desde un objeto que contiene sangre y está en movimiento.

• Patrón de goteo. Un patrón de manchas de sangre que resulta de sangre goteando en sangre.

• Trayectoria de vuelo. El camino de la gota de sangre a medida que se mueve a través del espacio, desde el sitio de impacto al destino/blanco.

• Patrón de flujo. Un cambio en la forma y la dirección de una mancha de sangre debido a la influencia de la gravedad o el movimiento del objeto.

• Patrón de impacto. Patrón de mancha de sangre creado cuando la sangre recibe un golpe o una fuerza resultante de la dispersión aleatoria de pequeñas gotas de sangre.

• La nebulización. La sangre que se ha reducido a una fina pulverización, como resultado de la energía o fuerza aplicada a ella.

• Patrón proyectado de sangre. Un patrón de manchas de sangre que se produce por la sangre liberada bajo presión frente a un impacto, como la salida a borbotones de una arteria.

• Salpicadura. Sangre que se ha dispersado como consecuencia de la fuerza aplicada a una fuente de sangre. Los patrones producidos a menudo son característicos de la naturaleza de las fuerzas que los han creado.

• Blanco. Una superficie sobre la cual la sangre ha sido depositada.

• Patrón de transferencia/contacto. Un patrón de manchas de sangre creado cuando una superficie húmeda y sangrienta entra en contacto con una segunda superficie. Una imagen reconocible de la totalidad o parte de la superficie original se puede observar en el patrón.

• Patrón de desplazamiento/arrastre. Un patrón de manchas de sangre creado cuando un objeto se mueve a través de una mancha existente, removiendo y/o alterando su apariencia.

g) Otros fluidos corporales

Los fluidos corporales más comunes que pueden encontrarse en el escenario del hecho, aparte de la sangre, son: el semen, la saliva y, a veces –dada la gravedad del crimen–, la orina o las heces. Es el trabajo de los expertos forenses establecer si alguna de las muestras enviadas para estudio son de hecho los fluidos del cuerpo, y luego tomar las medidas necesarias para hacerlos comprobar en diversas formas, más comúnmente con el análisis de ADN.

1. El semen

En la investigación de delitos sexuales la búsqueda de semen es de gran importancia debido a que se puede utilizar como elemento de identificación humana y para descartar sospechosos. La ausencia de espermatozoides no descarta que el fluido sea semen porque éstos se destruyen con facilidad y el sospechoso puede ser oligozooespérmico (poca cantidad de semen) o azooespérmico (ausencia de espermatozoides).

Es el químico forense el que determina si la mancha es de semen. Se puede encontrar en otros delitos y son manchas frágiles cuando están secas.

El semen en tierra se recoge igual que la sangre, al igual que con la vestimenta y la ropa de cama. Se debe verificar la ropa interior de la víctima y del sospechoso. Si el delito se comete al aire libre, se debe examinar minuciosamente la vegetación y el suelo. Si está sobre la vegetación, se debe retirar la planta y colocar en un envase rígido, en donde pueda permanecer inmóvil para evitar la fricción durante el traslado.

Las manchas de semen también se pueden encontrar en escenas de delitos no sexuales, donde hubo una masturbación. Pueden aparecer también en toallas, papel sanitario, pañuelos desechables o de algodón, pisos, asientos de autos o inodoros y en el cuerpo de la víctima.

Siempre es recomendable:

1. Buscar manchas visibles e invisibles. Se aprecian por el color blanco semitransparente y de aspecto grumoso; cuando son frescas, el color es ligeramente amarillo y de textura endurecida.

2. Una mancha fresca, seca o raspada que se observe sobre una superficie puede corroborarse con la aplicación de luz ultravioleta, donde va a presentar un color blanco azuloso fluorescente.

3. Cuando la mancha es vieja y ha sido raspada, es posible que se destruyan los espermatozoides. En tal caso se recurre al laboratorio para exámenes químicos.

La identificación por medios químicos y microscópicos en muestras obtenidas de la vagina o ropa de la víctima puede ser de valor para corroborar los dichos de aquélla. Si el sujeto es un secretor, puede llegar a determinarse el grupo sanguíneo. Es viable la tipificación de enzimas cuando las manchas de semen son suficientes en tamaño y calidad.

2. La saliva

a) Cuando proviene de una fuente conocida, puede ser utilizada en conjunción con sangre líquida de la misma fuente, para establecer la condición secretora del individuo.

b) Cuando proviene de una fuente desconocida, puede proveer información del tipo de sangre del depositador (se necesitan muestras conocidas apropiadas).

3. La orina

Puede identificarse cualitativamente sobre la base de ensayos químicos, sin embargo, la identificación absoluta no es posible. Ninguna técnica forense de rutina disponible brindará información confiable sobre el tipo de sangre a partir de la orina.

4. Condición de secretores y no secretores

a) Los secretores (alrededor del 80% de la población) son individuos que poseen en sus fluidos corporales (semen, saliva, líquidos vaginales) cantidades detectables de las mismas características de grupo (ABO) que en su sangre.

b) Los no secretores (el resto de la población) no exhiben tales características.

5. Limitaciones en los ensayos de agrupamiento de manchas de semen y saliva

a) A veces, el semen está mezclado con la orina o las secreciones vaginales de la víctima, lo cual hace más difícil la interpretación de los ensayos.

b) La saliva en las colillas de cigarrillos suele estar contaminada con suciedad. La saliva en los extremos de los cigarros no es agrupable. Los ceniceros no deben simplemente vaciarse en un tacho de basura; antes

deben separarse las colillas de cigarrillos teniendo cuidado de no contaminarlas con cenizas u otros desechos.

c) Las evaluaciones precisas en los resultados de ensayos de agrupamiento sobre manchas de semen y saliva cuestionados requieren muestras líquidas conocidas de la víctima y del sospechoso.

d) Dadas las dificultades que involucra el agrupamiento de la saliva en cigarrillos, y la naturaleza circunstancial de cualquier resultado exitoso, resulta a menudo más conveniente determinar la existencia de impresiones digitales latentes antes que la práctica de un examen serológico.

Capítulo VI

HUELLAS DE PISADAS, DE RODADURA DE NEUMÁTICOS Y MARCAS DE HERRAMIENTAS

I. Introducción

Otros patrones de evidencia, también conocidos como evidencia de impresión, se producen cuando un objeto, tal como un zapato o un neumático, deja una impresión en la escena del crimen o en otro objeto o una persona. Las impresiones pueden ser de dos dimensiones, como huellas de calzado en el polvo, o tridimensionales, como las impresiones de neumáticos en el barro. Las huellas de calzado y las de neumáticos son los tipos comunes de evidencias en forma de impresión examinadas por los examinadores forenses, pero la lista de posibles tipos de evidencias de impresión es larga. Algunos ejemplos son marcas de mordeduras, marcas en proyectiles y casquillos o cartuchos, impresiones de orejas, impresiones de labios, marcas de herramientas, algunos patrones de manchas de sangre, e impresiones de guantes. Aunque existen acercamientos generales relativos a la secuencia analítica de los enfoques de diversos tipos de evidencias de impresión, cada uno tiene su propio conjunto de características. Por ejemplo, algunos tipos, tales como las derivadas de calzados y neumáticos, requieren un conocimiento de la fabricación y el desgaste, mientras que otros tipos, como las impresiones de orejas y los patrones de manchas de sangre, no lo hacen. Debido a que las impresiones de calzado y neumáticos constituyen el grueso de los exámenes realizados, los comentarios en esta sección se centran especificamente en esos análisis.

a) Muestras y recolección

Las evidencias de impresiones en el lugar del hecho suelen ser de dos tipos: latentes (invisibles a simple vista) o patentes (visibles). La calidad de las impresiones mencionadas dejadas en la escena no puede ser controlada, pero las fallas en el trabajo de recolección inicial en el escenario, y la preservación, degradará la calidad de la evidencia finalmente utili-

zada para el análisis comparativo. Después de la documentación de la escena, las pruebas son preservadas y posiblemente mejoradas, con la utilización de técnicas tales como las basadas en la química (por ejemplo, detección de metales), o en la física (por ejemplo, súper pegamento, espolvoreo, moldeado), o la transferencia en una superficie de contraste (por ejemplo, la transferencia electrostática o el levantamiento con gel). La calidad de la impresión mejorada que se utiliza para la comparación dependerá en gran medida de la experiencia, la formación y el conocimiento científico del investigador que va a la escena, así como de los recursos de la agencia.

Aunque algunos análisis de las evidencias de impresión podrían comenzar en el lugar, la comparación de evidencia de la escena con ejemplares conocidos se produce en el laboratorio. El nivel de estudios de los científicos forenses que examinan huellas de calzado e impresiones de neumáticos abarca desde un diploma de escuela secundaria hasta doctorados. Las identificaciones son en gran medida subjetivas y se basan en la experiencia del examinador y del número de características identificativas individuales que tengan en común con un estándar conocido.

b) Los análisis

El objetivo del análisis de las impresiones de evidencia es identificar una fuente específica de la impresión, y el proceso de análisis que sigue es una secuencia generalmente aceptada: la identificación de las características de clase (grupo) de la evidencia, seguida de la localización y comparación individual, identificando características (también denominadas características accidentales o aleatorias).

Las características de clase de calzado y neumáticos resultan de procesos repetitivos, que suelen ser procesos controlados, típicamente mecánicos, tales como los utilizados para la fabricación de artículos en grandes cantidades. Aunque definido de forma similar por varios autores, Bodziak describe las características de clase del calzado como "una característica intencional o inevitable que se repite durante el proceso de fabricación y es compartida por uno o varios otros zapatos". Para los neumáticos, Nause define las características de clase como "características físicas adquiridas durante el proceso de fabricación (hecho del mismo molde) que los neumáticos tienen en común". Nause continúa: "Las características de clase a menudo se pueden combinar para limitar la impresión de un neumático a un grupo muy selecto dentro del grupo general que posee características de clase similares. (En el campo forense de la evidencia de neumáticos, las características de clase a menudo se refieren a cosas como el diseño, patrón, tamaño, forma, variaciones del molde, etc.)". Sin importar el tipo de evidencia de impresión, las características de clase no son suficientes para concluir que cualquier zapato en particular o neumático hizo la impresión. Este último paso, que no siempre es posible, requiere la comparación de las características individuales de identificación en las evidencias con las de un zapato o neumático que se sospecha haya dejado la impresión. Estas características individuales se producen durante el uso normal de un elemento, llamado a veces desgaste, y son creados por procesos aleatorios, sin control. Para el calzado, Bodziak escribe que "las características individuales de identificación son aquellas que se producen cuando algo es añadido al azar o quitado de una suela de zapato que contribuya a hacerla única". Tales características podrían incluir cortes, rasguños, agujeros o inclusiones al azar que resultan de la fabricación, tales como burbujas, y las que resultan de las sustancias adherentes, tales como piedras, goma de mascar, papeles o ramitas.

Tras el análisis de la impresión, una identificación se determina o descarta en función del número de características individuales que la evidencia tiene en común con la fuente sospechada. Pero no existe un umbral definido que debe ser superado, ni existen estudios que asocien el número de características concordantes con la probabilidad de que las impresiones hayan sido hechas por una fuente común. En general se acepta que el número específico de características necesarias para asignar una identificación definida positiva depende de la calidad y cantidad de estas características accidentales y de los criterios establecidos por los distintos laboratorios. Según Cassidy, se requieren muchos factores y características accidentales antes que una identificación positiva pueda ser establecida, sin embargo, los más importantes son la experiencia del examinador, la claridad de la impresión y la singularidad de la característica.

c) Interpretación científica y presentación de informes con resultados

Para la evidencia del calzado, Fawcett y Bodziak han tratado de asignar relevancia probabilística estadística a las comparaciones de las impresiones. Por lo general, los examinadores de huellas de calzado y neumáticos prefieren el lenguaje no estadístico de informar o dar testimonio de los resultados de sus hallazgos. Términos tales como "identificación positiva" y "no identificación" se pueden utilizar para indicar una identificación o no identificación, respectivamente, y las "situaciones no concluyentes" indicarían que el análisis está a la altura de cualquiera de los otros dos.

En una encuesta europea, los examinadores recibieron idénticos casos de simulacro. Características de identificación accidentales fueron colocadas a propósito en las suelas de los zapatos nuevos, y se les pidió hacer una declaración sobre la fuerza de las coincidencias. Los resultados de la encuesta concluyeron en que había diferencias considerables entre las conclusiones alcanzadas por diferentes laboratorios que examinaban casos idénticos. Se recomiendan términos tales como:

- "Identificación" (conclusión definitiva de la identidad).
- "Probablemente hecho" (muy alto grado de asociación).
- "Podría haber hecho" (asociación significativa de las características múltiples de clase).
- "No concluyentes" (asociación limitada de algunas características).
- "Probablemente no hizo" (muy alto grado de no asociación).
- "Eliminación" (exclusión definitiva).
- "No aptos" (falta de detalle suficiente para establecer una comparación significativa).

Algunos autores desalientan el uso de una terminología común, tal como "de conformidad con" (aceptable cuando se usa para describir una similitud de características), "coinciden/no coinciden", "responsable de/no es responsable de" y "causado con/no se debe a".

d) Resumen de la evaluación

La base científica para la evaluación de las evidencias de impresión es que los objetos producidos en serie (por ejemplo, zapatos, neumáticos) recogen las características de desgaste que, con el tiempo, los individualizan. Sin embargo, debido a que estas características siguen cambiando a medida que se usan, el tiempo transcurrido después de un crimen puede socavar la seguridad del científico forense. Como mínimo, las características de clase pueden ser identificadas, y con suficientes patrones distintivos de desgaste uno podría hacerlo por individualización específica. Sin embargo, no hay consenso en cuanto al número de características individuales necesarias para hacer una identificación positiva, y no se posee conocimiento de ningún dato sobre la variabilidad de la clase o de las características individuales o sobre la validez o la fiabilidad del método. Sin estudios de población, es imposible evaluar el número de características que debe coincidir con el fin de tener algún grado particular de confianza sobre el origen de la impresión.

Los expertos en pruebas de impresión argumentarán que acumulan un sentido de tales probabilidades a través de la experiencia, lo cual puede ser cierto. Sin embargo, es difícil evitar los prejuicios en los juicios basados en la experiencia, especialmente en ausencia de un mecanismo de retroalimentación para corregir un juicio erróneo. Estos problemas se agravan con los tipos menos comunes de evidencias de impresión. Por ejemplo, un estudio europeo reveló que 42 laboratorios condujeron 28.093 exámenes de huellas de calzado y 41 laboratorios llevaron a cabo 591 exámenes de huellas de neumáticos, pero sólo 14 laboratorios condujeron un total de 21 exámenes de impresiones de labios y 17 laboratorios un total de 100 exámenes de impresiones de orejas. Aunque se

podría argumentar que aquellos que realizan el trabajo en laboratorios y conducen cientos o miles de evaluaciones de las evidencias de impresión desarrollan una experiencia y juicio útiles, es difícil afirmar que el terreno tiene suficiente juicio colectivo sobre la variabilidad en las impresiones de labios y orejas, sobre la base de decenas de exámenes. Las comunidades en general simplemente no tienen suficientes datos sobre la variabilidad natural de esas impresiones menos frecuentes, en ausencia de una deformidad clara o cicatriz, para inferir si el grado de similitud observada es significativo.

La mayoría de las investigaciones en el campo se llevan a cabo en los laboratorios forenses, con los resultados publicados en revistas profesionales. Con respecto a la presentación de informes, la tendencia es moverse hacia el uso de la lengua estándar para transmitir las conclusiones alcanzadas. Pero no se aborda la cuestión de qué investigación crítica se debe hacer o por quién; las preguntas fundamentales que deberían abordarse incluyen la persistencia de las características individuales, la rareza de algunos tipos característicos, y las normas estadísticas apropiadas que aplicar a la importancia de características individuales. Además, poco o nada de investigación se ha hecho para hacer frente a las evidencias de impresiones raras. Es necesaria mucha más investigación sobre estas cuestiones.

II. HUELLAS DE CALZADO Y DE RODADURA DE NEUMÁTICO

a) Introducción

Aunque no somos conscientes de ello todo el tiempo, cada movimiento que hacemos - ya sea a pie o en un vehículo - deja algún tipo de impresión. Por ejemplo, un delincuente que ingresa a pie a un edificio para robar un banco y luego escapa en un auto haciendo chirriar los neumáticos, no puede evitar caminar en el suelo o dejar marcas de rodadura de neumáticos. Un homicida también tendría dificultades para entrar y salir de la casa de su víctima sin pisar una alfombra o tocar el piso del exterior.

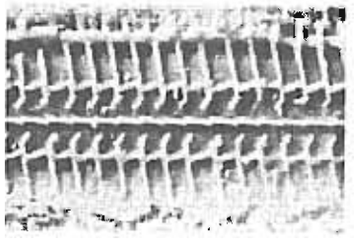
La evidencia de impresión sucede cuando cualquier objeto o material toma la forma de otro objeto a través del contacto físico directo. Un juez puede considerar cualquier tipo de impresión como prueba en un juicio, y la práctica funciona de la misma manera que las huellas digitales: una vez que los investigadores recogen pruebas, las impresiones se utilizan para encontrar coincidencias/correspondencias legítimas. Hay tres tipos principales:

- huellas de pisadas,
- impresiones de neumáticos,
- marcas de herramientas.

Cuando entramos a una habitación, por lo general no estamos pensando en nuestras huellas. Salvo que estemos rastreando en el barro o el agua de lluvia y haciendo un lío enorme, es casi imposible ver las huellas que dejamos a cada paso. Pero varias cosas suceden cuando los zapatos tocan el suelo.

Tal vez lo más sorprendente, aunque limpio, es que los zapatos secos pueden dejar una impresión sobre una superficie dura mediante la creación de cargas electrostáticas. Simplemente rociando polvo para huellas dactilares sobre huellas recientes atraerá el polvo a la carga y creará una imagen visual de la impresión. Por desgracia, las cargas estáticas residuales no duran mucho tiempo y pueden fácilmente resultar alteradas, por ende los expertos forenses confían más en la deformación de las superficies. Las impresiones de calzado en otros materiales tales como tierra, arena o nieve, pueden producir una gran huella en tres dimensiones. Si alguna vez manejó un automóvil a través del barro, habrá visto la clara marca/huella que los neumáticos han dejado en la tierra. La alfombra o el césped, sin embargo, rebotarán y recuperarán una superficie plana con más facilidad, y una impresión en este tipo de superficies sólo durará poco tiempo. Aun así, las manchas y otros residuos dejarán marcas en dos dimensiones y crearán una imagen reconocible.

Las marcas de neumáticos funcionan del mismo modo que las de calzado, aunque las primeras son mucho más fáciles de identificar. En un principio, una huella de neumático puede decirle a un investigador la marca del neumático que el delincuente utilizó, pero ello sólo estrecha ligeramente las cosas. La inspección más a fondo, sin embargo, puede revelar más defectos y desgaste en una banda de rodadura causados por clavos, grava y parches, y los problemas de alineación pueden identificar un conjunto único de neumáticos.



Huella de neumático en nieve

Las huellas de calzado y neumáticos en el lodo, la arena o la nieve pueden ser recuperadas por la combinación de técnicas fotográficas y la toma de un molde tridimensional de la impresión. El yeso dental, también llamado polvo para moldeado, que es un material sencillo, de bajo costo, puede grabar suficientes detalles a fin de la comparación posterior. Siempre es recomendable que las fotografías con iluminación oblicua registradas desde varios lados, se hagan antes de que el material de moldeado se coloque en la impresión.

1. Huella de calzado en arena - 2. Huella en nieve - 3. Huella en superficie plana

b) Preparación

Antes de mezclar el material de moldeado, se recomienda la toma fotográfica. Después de tomar suficientes, pero antes de mezclar el material, puede ser necesario quitar las hojas, ramas u otros desechos sueltos que pudieran haber caído dentro de la huella. Sin embargo, en ningún caso debe permitirse eliminar los residuos, si son parte de la impresión o si hay alguna posibilidad de destruir parte de ella mediante la extracción.

El primer paso es colocar un elemento contenedor (marco) alrededor de la impresión/huella. Éste contendrá el yeso y también ayudará a dar al molde el grosor adicional.

c) Instrucciones de mezclado

El polvo de moldeado se puede mezclar en un tazón con una espátula u otro dispositivo de agitación. La proporción de mezcla es de aproximadamente 340 gramos de agua con 910 gramos de polvo. Esta cantidad debería servir para obtener el molde de una huella de zapato. Para impresiones de neumáticos será necesaria mayor cantidad.

Un método más sencillo para las impresiones de calzado, que se puede preparar de antemano, es medir aproximadamente 910 gramos de polvo en una bolsa plástica y luego 340 gramos de agua en una botella de plástico. Etiquetar claramente cada elemento en cuanto a su contenido y colocar la fecha en que fue preparado. Se pueden transportar unas pocas bolsas y botellas en un vehículo de respuesta a la escena del crimen, hasta que se necesite; cuando sea necesario, añadir alrededor de dos tercios del agua en la bolsita, mezclar amasando la bolsa. Si el polvo parece demasiado espeso, se necesita más agua; añadir un poco de agua y amasar de nuevo; repetir hasta lograr la consistencia deseada.

Si el contenido total de la botella se añade en un primer momento, se podría llegar a determinar que se necesitaba un poco menos, dado que la mezcla es demasiado fina; es mejor tener que añadir más agua, que tener que añadir más polvo, que puede no estar presente en el lugar.

d) Aplicación

Cuando la mezcla se aproxima a la consistencia de la masa de una pasta diluida de panqueque, está lista y debe ser vertida antes de que sea más gruesa. Verter la mezcla en el molde y vaciarla con un palo o una cuchara plana próximo a la superficie de la tierra y ligeramente hacia un costado de la huella, para que no se laven las porciones de la impresión. La mezcla debe permitir que fluya de manera uniforme sobre la impresión; en aproximadamente 30 minutos, el molde debe ser controlado; si el yeso esta firme, levantarlo con cuidado de la superficie. Si se ha adherido al molde suciedad o residuos del área de impresión, no se debe intentar limpiarlo. Se debe permitir que el aire lo seque durante 24 a 48 horas.

El molde nunca debe ser colocado en un recipiente hermético o envuelto en plástico. Se pueden utilizar bolsas de papel, pero no ofrecen la mejor protección, se pueden rasgar fácilmente y el molde puede caerse o dañarse. Los moldes secos deben guardarse en cajas de cartón.

e) Escalas fotográficas

La cámara utilizada debe colocarse sobre un trípode, que le permitirá al plano de la película o a la pantalla de visión de las cámaras digitales estar paralelos a la superficie que contiene la evidencia de impresión. Algunos peritos prefieren fotografiar en blanco y negro antes que en color, ya que sienten que la gama de grises en la película blanco y negro muestra los detalles mejor que las películas en color. La iluminación de la impresión debe hacerse con un ángulo oblicuo desde una serie de direcciones, en otras palabras, sostener el flash en un ángulo oblicuo a la izquierda de la huella y tomar una foto. Hacer otras tomas adicionales con el flash en un ángulo oblicuo desde la derecha, desde la parte superior y desde la base de las impresiones. Si se observaran más detalles mediante la utilización de la luz en otras direcciones, tomar fotografías adicionales.

Ver imagen 18 en el Anexo fotográfico

Con respecto a las huellas de neumáticos, digamos finalmente que, dada la considerable longitud de la circunferencia de una cubierta o neumático, la posibilidad de identificar una huella del mismo con aquél se incrementa con la longitud del o de los moldes obtenidos. De ser factible, deben llevarse a cabo moldes sectorizados y consecutivos de la impresión, de manera tal que pueda cubrirse la longitud total de la circunferencia aludida.

Si bien no ocurre en todos los casos, es importante además poder contar con los moldes de las huellas de los cuatro neumáticos, para lo cual deberá señalarse la posición de cada rueda.

Si bien existen otras técnicas de revelado de huellas de neumáticos, acordes con la superficie donde se encuentran insertas, no debe olvidarse que la fotografía acompañada con una buena fuente de iluminación a diferentes ángulos cumple acabadamente con dicho propósito, siempre y cuando se utilicen referencias métricas apropiadas y la película se encuentre paralela a la superficie a documentar.

f) Preservación de la evidencia

Al acercarse a una escena de un delito con la intención de registrar las evidencias de impresiones/huellas, la primera cosa que a los investigadores forenses se les enseña es a asegurar y conservar el área. Dado que las impresiones pueden ser modificadas fácilmente y a menudo pasadas por alto, un escenario lleno de gente caminando podría rápidamente convertirse en algo sin valor para alguien que busca huellas de pisadas.

Una vez que el perímetro está asegurado, los investigadores caminan hacia el interior, en busca de impresiones que permitan la reconstrucción de los acontecimientos, dentro de lo mejor de sus conocimientos. Tratan de determinar hechos importantes, como el sentido de la marcha o el número de sospechosos en la escena. Las técnicas especiales de iluminación pueden descubrir impresiones ocultas, e incluyen el uso de iluminación oblicua. Haciendo brillar una fuente de luz en diagonal hacia el suelo, no en vertical, los bordes de una impresión crean sombras que alertan a los investigadores respecto de las áreas perturbadas y desiguales. Se llevan a cabo luego las fotografías necesarias, para la documentación visual.

Aunque la evidencia constituida por la impresión es muy frágil, si se deja inalterada puede permanecer durante largos períodos. Hasta tanto el área de la escena del crimen no se vea perjudicada por el clima (principalmente el viento, la lluvia y la nieve) o perturbada por otro tipo de calzado, neumáticos o herramientas, hay dos técnicas principales que los peritos utilizan para reunir evidencias de impresión:

- *Impresiones latentes (dos dimensiones).* La recuperación de impresiones latentes es muy similar a la toma básica de huellas dactilares. Esta técnica se utiliza para impresiones difíciles de mantener y de dos dimensiones, en materiales tales como pisos de baldosas, de madera o sillas. El polvo se aplica con un pincel para hacer más visible la impresión y, a continuación, con una cinta o una máquina de levantamiento se la registra.
- *Moldeado.* Para recuperar impresiones más grandes y tridimensionales tales como huellas de neumáticos o de calzado dejadas en condiciones fangosas, los expertos utilizan el moldeado. El proceso funciona en gran medida de la misma manera que un ortodoncista hace un molde de los

dientes de un paciente: una sustancia se vierte en la huella/impresión, se endurece, y luego se retira, proporcionando un molde de lo deseado sobre el terreno. Los investigadores utilizan una variedad de productos para crear moldes, pero el material dental (yeso especial), de hecho, es ampliamente considerado como el mejor material de fundición, debido a su fuerza, precisión y facilidad de uso.

Dado que el equipo y las técnicas disponibles para la ciencia forense mejoran, muchos se están dando cuenta de la importancia de las evidencias de impresión. Aunque fácil de pasar por alto y difícil de localizar, las huellas de pisada y otras impresiones dejadas en la escena de un crimen suelen ser aún más frecuentes que las huellas dactilares, y pueden proporcionar pistas importantes en los casos misteriosos.

III. MARCAS DE HUELLAS DE HERRAMIENTAS Y ARMAS DE FUEGO

a) Introducción

Los delincuentes suelen utilizar cortadores de alambre, palancas y destornilladores para cortar y hacer palanca en su camino por ventanas y puertas. Todas estas herramientas dejan marcas distintivas que los investigadores pueden identificar fácilmente –casi como si la herramienta estuviera dejando una huella dactilar en la escena del crimen–.

Sabemos que los criminales pueden dejar estas huellas detrás de ellos después de cometer un delito, pero ¿cuán fácil es detectarlas? Y ¿cómo las registran los expertos para su posterior análisis? Lo veremos a continuación.

Las marcas de herramientas se generan cuando un objeto duro (herramienta) entra en contacto con un objeto relativamente más blando. Tal como se ha dicho anteriormente, estas marcas de herramientas se pueden producir en la comisión de un delito cuando se utiliza un instrumento como un destornillador, una palanca o un cortador de alambre, o cuando las partes internas de un arma de fuego entran en contacto con el bronce y el plomo que componen la munición. Las marcas dejadas por un implemento tal como un destornillador o una aguja o púa percutora de un arma de fuego, dependen en gran medida de los procesos de fabricación y de las herramientas de fabricación que se utilizan para crearlo o darle forma, aunque otras características de superficie (por ejemplo, gubias) se hayan podido introducir por el uso posterior a la fabricación. Las herramientas de fabricación producen un desgaste cuando cortan, raspan, y de alguna manera dan forma al metal, dando lugar a la teoría de que cualquiera de los dos productos manufacturados, incluso los producidos de forma consecutiva con la misma herramienta de fabricación, poseerá diferentes marcas microscópicas. Los examinadores de armas de fuego y de marcas de herramientas, creen que puede atribuirse a la

heterogeneidad física de una herramienta individual, es decir, que "las características individuales" de marcas de herramientas pueden ser asociadas únicamente con una herramienta específica o arma de fuego y se reproducen por el uso de esa herramienta, y sólo esa herramienta.

La fabricación y el uso de armas de fuego producen un amplio conjunto de marcas de herramientas especializadas. Los cañones de armas suelen ser rayados para mejorar la precisión, lo que significa que se cortan surcos en espiral en el interior del cañón. El proceso de corte de los surcos o estrías en el cañón deja marcas y arañazos en el metal relativamente blando de aquél. A su vez, estas marcas son transferidas al metal más suave de una bala al salir del cañón. Con el tiempo, con el uso repetido (y el raspado de metal-metal), las marcas en un cañón (y la correspondiente "estría" impartida a las balas) pueden cambiar a medida que se forman las imperfecciones individuales o la limpieza del cañón va actuando. El exterior de cobre de las vainas recibe marcas de herramientas análogas durante el proceso de disparo del arma: el percutor impacta la cápsula fulminante que es blanda, en la base del cartucho, para dar comienzo al disparo; el culote es forzado hacia atrás por la acumulación de presión de gas (haciendo que la textura del espaldón del arma se grabe en la vaina), y los extractores y eyectores dejan marcas, ya que expulsan las vainas usadas y reciclan la munición.

El examen de las armas de fuego es una de las funciones más comunes de los laboratorios criminalísticos. Incluso los pequeños laboratorios con servicios limitados a menudo llevan a cabo el análisis de armas de fuego. Además de los análisis de marcas en proyectiles y vainas, el examen de las armas de fuego también incluye la determinación de la distancia de tiro, la operatividad de un arma y, en ocasiones, el análisis de los residuos del fulminante para determinar si alguien recientemente manejó/manipuló un arma.

b) Muestras y recolección de datos

Cuando un instrumento se utiliza en un delito, el objeto que contiene las marcas de la herramienta se recupera cuando es posible. Si una huella de herramienta no se puede recuperar, puede ser fotografiada y moldeada. Las pruebas o muestras de las marcas hechas por las herramientas recuperadas se pueden hacer en un laboratorio y se comparan con las marcas de herramientas de la escena del crimen.

c) Los análisis

Tanto en la identificación de armas como de herramientas es útil distinguir varios tipos de características que son consideradas por los examinadores. Las "características de clase" son las características distin-

tivas compartidas por muchos artículos del mismo tipo. Por ejemplo, el ancho de la cabeza de un destornillador o el patrón de estrías en la hoja de un cuchillo pueden ser las características de clase que son comunes a todos los destornilladores o cuchillos de un determinado fabricante y/o modelo. Del mismo modo, el número de estrías cortadas en el cañón de un arma de fuego y la dirección de "giro" de las ranuras son características de clase que pueden filtrar y restringir el número de armas de fuego que coinciden con la evidencia encontrada en la escena del crimen. "Las características individuales" son las marcas microscópicas finas y las texturas que se dice son únicas de una herramienta individual o arma de fuego. Entre estos dos extremos están las "características de subclase", que pueden ser comunes a un pequeño grupo de armas de fuego y que son producidas por el proceso de fabricación, por ejemplo, cuando una herramienta gastada se utiliza para cortar el interior del cañón.

Las balas y las vainas se examinan en primer lugar para determinar qué características de clase están presentes. Si difieren de un proyectil o vaina con la que se compara, un examen más detenido puede ser innecesario. Las marcas microscópicas de los proyectiles y casquillos y en las marcas de herramientas, se examinan bajo el microscopio de comparación (hecho con dos microscopios compuestos unidos por un puente de comparación que permite la visualización de dos objetos al mismo tiempo). Los elementos testigo y secuestrados son comparados visualmente por un examinador, que pueda evaluar si existen elementos coincidentes.

d) Interpretación científica

La tarea del examinador de armas de fuego y huellas de herramientas es identificar las características individuales de las marcas microscópicas de herramientas, aparte de las características de clase y subclase, para luego evaluar el grado de acuerdo en las características individuales de los dos conjuntos de marcas de herramientas que permitan la identificación de una herramienta individual o arma de fuego.

Un examinador puede ofrecer una opinión en el sentido de que una herramienta especifica o arma de fuego era la fuente de un conjunto específico de marcas de herramientas o un patrón de estrías en un proyectil, cuando una "coincidencia suficiente" existe en el patrón de dos grupos de marcas. Las normas a continuación definen una coincidencia tan significativa "cuando se excede la mejor correspondencia entre las marcas de herramientas que se sabe han sido producidas por distintas herramientas y es compatible con la coincidencia demostrada por las marcas de herramientas que se sabe han sido producidas por la misma herramienta".

Conocer el grado de coincidencia en las marcas hechas por diferentes herramientas, y el grado de variación en las marcas hechas por la misma herramienta, es una tarea desafiante. Estas decisiones implican juicios

cualitativos subjetivos por parte de los examinadores y la precisión de las evaluaciones de los peritos es altamente dependiente de su habilidad y formación. En años anteriores, los examinadores confiaron en su trabajo de casos anteriores para proporcionar una base para distinguir entre las características individuales, de clase y de subclase. Más recientemente, amplios programas de formación a partir de muestras conocidas y en distintas partes del mundo han ampliado la base de conocimientos de los mismos.

La aparición de la tecnología de imágenes y bases de datos balísticos ayudan a los peritos en la búsqueda de posibles coincidencias candidatas entre las piezas de evidencia, incluyendo las existentes en otros lugares geográficos. Sin embargo, es importante señalar que la determinación final de una coincidencia siempre se realiza mediante la comparación física directa de la evidencia por parte de un examinador de armas de fuego, y no el análisis informático de imágenes. El crecimiento de estas bases de datos también permite a los examinadores familiarizarse con las similitudes en los patrones de estriado hechos por armas de fuego diferentes. Las nuevas técnicas de imagen evalúan marcas de herramientas a partir de datos de superficie en tres dimensiones de medición, teniendo en cuenta la profundidad de las marcas. Pero incluso con más formación y experiencia utilizando las técnicas más modernas, la decisión del examinador sigue siendo una decisión subjetiva basada en normas desarticuladas y carentes de fundamento estadístico para la estimación de los índices de error.

e) Resumen de evaluación

El análisis de huellas de herramientas y de armas de fuego padece las mismas limitaciones explicadas anteriormente para evidencias de impresión. Debido a que no se sabe lo suficiente acerca de la variabilidad de las herramientas y armas de fuego individuales, no se está en condiciones de precisar cuántos puntos de similitud son necesarios para un determinado nivel de confianza en el resultado. No se han realizado suficientes estudios para entender la fiabilidad y repetibilidad de los métodos. Se está de acuerdo en que las características de clase son útiles para reducir el número de herramientas que podrían haber dejado una marca distintiva. Los patrones individuales de la fabricación o el desgaste podrían, en algunos casos, tener un carácter suficientemente distintivo como para sugerir un origen determinado, pero se deben realizar estudios adicionales para hacer el proceso de individualización más preciso y repetible.

Un problema fundamental con el análisis de huellas de herramientas y de armas de fuego es la falta de un proceso definido con precisión. Un examinador puede ofrecer una opinión de que una herramienta especifica o un arma de fuego fue la fuente de un conjunto específico de marcas de herramientas o de un patrón de estrías de proyectil, cuando

existe "coincidencia suficiente" en el patrón de dos grupos de marcas. Se define como una correspondencia significativa "cuando se excede la mejor coincidencia entre las marcas de herramientas que se sabe han sido producidas por distintas herramientas y es compatible con la coincidencia demostrada por las marcas de herramientas que se sabe han sido producidas por la misma herramienta". El significado de "excede la mejor coincidencia" y "compatible con" no se especifica, y se espera que el examinador se base en su propia experiencia. La mejor guía disponible para el campo de la identificación de las huellas de herramientas debe considerar las cuestiones relativas a la variabilidad, fiabilidad, capacidad de repetición, o el número de correlaciones necesarias para alcanzar determinado grado de confianza.

Aunque algunos estudios han sido realizados sobre el grado de similitud que se pueden encontrar entre las marcas hechas por las distintas herramientas y la variabilidad en las marcas hechas por una herramienta individual, la base de conocimientos científicos y el análisis de marcas de herramientas y armas de fuego es bastante limitada. Por ejemplo, un informe de Hamby, Brundage y Thorpe contiene un resumen de 68 estudios sobre huellas de herramientas y de armas de fuego. Pero los resúmenes sugieren una fuerte dependencia en los hallazgos subjetivos de los examinadores, más que en la cuantificación y análisis rigurosos de las fuentes de variabilidad. En general, el proceso para las comparaciones carece de la especificidad de los protocolos del análisis de ADN, por ejemplo. Esto no quiere decir que el análisis de marcas de herramientas tiene que ser tan objetivo como el análisis del ADN con el fin de aportar un valor. Y, como era el caso para el análisis de las crestas de fricción y en contraste con el caso de los análisis de ADN, las características que se examinaron y compararon entre marcas de herramientas no se pueden precisar *a priori*. Sin embargo, los protocolos de análisis de ADN permiten hacer una precisa serie de pasos, justificada científicamente, que conducen a resultados con límites de confianza bien caracterizados, lo cual es la meta para todos los métodos de la ciencia forense.

IV. MARCAS DE HERRAMIENTAS O DE EFRACCIÓN EN LA ESCENA DEL HECHO

Tal como se ha venido diciendo, no cabe duda de que el examen de las huellas/marcas de herramientas es una disciplina importante en la criminalística. Cuando se utilizan herramientas en el escenario del delito, pueden vincularse con las huellas de efracción localizadas en el mismo.

Cuando se fabrican herramientas tales como destornilladores, martillos, tenazas y alicates, el proceso de manufactura deja ciertas imperfecciones o patrones incrustados en las superficies de las mismas. Estos patrones son únicos para cada herramienta, lo cual significa que cuando los delincuentes utilizan herramientas en el lugar del hecho para abrir forzadamente una ventana, palanquear una puerta o herir a una persona

en el pecho, las marcas de herramientas a menudo quedan detrás para el análisis de los peritos en criminalística.

a) ¿Qué son las huellas de efracción?

Son impresiones o marcas producidas por una herramienta o instrumento en una superficie receptiva. Cuando la herramienta o el instrumento hace contacto con la superficie, con suficiente fuerza como para crear una indentación/mella, el patrón de la herramienta se reproduce permanentemente en la superficie.

En el mundo de la criminalística las huellas de efracción pueden tomar la forma de una impresión negativa o de una abrasión (fricción). Otras son una combinación de ambas.

b) Características identificativas de una herramienta específica en las efracciones.

Las huellas de herramientas son usualmente microscópicas y provienen del resultado de las imperfecciones encontradas en las superficies de corte de una herramienta. Estas marcas son la "firma" o las características identificativas de una herramienta especifica. Los exámenes y las comparaciones en el laboratorio, de este tipo de huellas procedentes de una "herramienta sospechosa", con las recuperadas en la escena del hecho, pueden a menudo brindar evidencia concluyente como para relacionar a un sospechoso con un delito específico.

c) Relación entre la huella de efracción y la herramienta

En una investigación criminal la meta es establecer un vínculo entre la huella y la herramienta que la creó en el escenario del crimen. Tales vínculos son cruciales en las ciencias forenses, dado que las herramientas se utilizan a menudo en actividades criminales, particularmente en robos con violencia, y pueden ayudar a identificar al culpable. Por ejemplo, cuando alguien utiliza un destornillador para forzar una ventana las marcas dejadas por la herramienta en el marco de la ventana son evidencia directa de la presencia de esa herramienta para ese uso particular en la escena. Por ende, la herramienta necesita ser comparada con las huellas dejadas.

Las evidencias enviadas en casos de huellas de efracción pueden incluir herramientas tales como: tenazas de corte, destornilladores y cinceles, tijeras, cuchillos y *cutters*, alicates y llaves inglesas, llaves cruz para quitar ruedas de vehículos, sierras, cuchillos.

Lugares y superficies donde podrían ser observadas las huellas de efracción en investigaciones criminales: alambres, cadenas; marcos de puertas y ventanas; partes/secciones de hojas metálicas; cajas de se-

guridad, cerraduras; hueso humano o cartílago; candados, tiradores de puertas; pestillos y cerraduras, y una variedad de otros materiales.

d) Raspaduras o impresiones

Las huellas de efracción pueden ser raspaduras y/o impresiones dejadas en una superficie más blanda que el objeto o herramienta que las causó. En el lugar del hecho las imperfecciones únicas e individuales de las superficies existentes en la herramienta –que se transfieren a la superficie más blanda del objeto dañado– pueden emplearse para llevar a cabo una identificación positiva de la herramienta que pudo haber sido utilizada para causar las estrías o impresiones de las huellas de efracción.

e) Estrías de las marcas de herramientas

Las raspaduras diminutas (estrías) producidas en las pruebas de laboratorio por la herramienta cuestionada serán comparadas con las estrías observadas en las áreas tomadas como evidencia.

El científico forense (perito examinador de huellas de efracción), mediante el empleo de un microscopio comparador, completará exámenes de comparación para determinar si una herramienta en particular pudo o no haber causado las marcas en la evidencia hallada en el lugar del hecho.

Microscopio comparador

f) Marcas impresas, destornilladores

Las marcas impresas son también consideradas huellas de herramientas. Por ejemplo, la punta de un destornillador o cincel utilizada para indentar una superficie metálica, pero que no penetra el objeto, dejará una impresión que puede ser identificada con esa herramienta.

Otras herramientas tales como palancas, martillos y hasta objetos grandes como barras pueden dejar marcas identificativas e impresiones que, cuando se las compara en el laboratorio, identificarán o eliminarán como autora a la herramienta u objeto existente en la escena del hecho.

g) Marcas de herramientas

A menudo las herramientas son empleadas por los delincuentes para forzar la entrada a propiedades y pueden dejar detrás evidencia que será encontrada por el perito. Dos herramientas de la misma clase, hechas por el mismo fabricante, pueden parecer lo mismo, pero, con el uso, el elemento puede adquirir diferencias. Son esas diferencias las que las hacen únicas.

h) Características

El examen de huellas de este tipo, al igual que el de otra evidencia física, está basado en dos características: las de clase y las individuales.

Las características de clase son comunes a un grupo de objetos, por ejemplo, un martillo tiene una forma distintiva y una medida típica.

Las características individuales son únicas para un objeto dado.

Generalmente se dan por el uso y el desgarro o también por incidentes aislados durante la manufactura. Por ejemplo, si se compra un par de zapatos nuevos, con el tiempo se formarán raspaduras y ranuras en las suelas. Estas marcas son únicas para dichos zapatos.

i) Huellas de impresión

Provocadas por la interacción de dos objetos, son distinguibles en una variedad de formas:

Marcas estáticas: se producen cuando la herramienta se presiona dentro de un material más blando y por ende deja una impresión. Un buen ejemplo es el de una palanca o barra utilizada para forzar y abrir una ventana. Luego de su empleo queda una impresión en la superficie más blanda de la madera. El perito examinará posteriormente las marcas y estará en condiciones de identificar el tipo y las dimensiones de la herramienta que causó el daño.

Marcas dinámicas: se originan por el deslizamiento o la raspadura de una herramienta a través de una superficie. Piénsese en una llave que es arrastrada a lo largo de un costado de un vehículo; tal elemento deja detrás un patrón de líneas o estrias en el metal del vehículo. Este patrón puede ser suficiente para el perito, en el sentido de poder identificar el elemento que lo originó, a través de la comparación de las estrias halladas y las huellas que deja un elemento perteneciente a un sospechoso.

Marcas de corte: son el resultado de la presión aplicada a ambos lados de un objeto y a menudo se asocia con tijeras o alicates para alambre. El

empleo de estas herramientas puede dejar marcas y estrías a lo largo de los bordes cortados del material.

Golpes múltiples: son las marcas causadas por acciones repetitivas tales como las que produce una sierra que se mueve hacia atrás y hacia adelante.

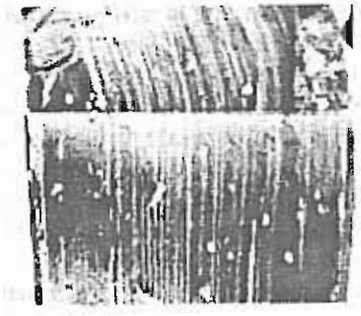
j) El examen

El perito examinará y fotografiará las marcas de herramientas *in situ*. Si resulta apropiado, tomará el objeto con las marcas y lo llevará al laboratorio para un análisis posterior; de no ser posible se deberá hacer un molde de estas huellas utilizando por lo general goma de silicona.

Si logra recuperarse alguna herramienta de la que se sospecha puede haber sido la utilizada para dejar las marcas, también se llevará al laboratorio para un posterior estudio. El perito hará marcas de prueba con la misma, y con éstas y las encontradas en el lugar del hecho se concretarán las comparaciones correspondientes.

Para la tarea indicada en el párrafo anterior se hará empleo del microscopio de comparación (cotejo de los patrones estriales). Si como resultado se comprueba la correspondencia inequívoca entre estrías o marcas en general, se podrá aseverar la autoría de la herramienta secuestrada.

Las herramientas a veces pueden poseer restos/rastros de particulas de pintura adheridas a los sectores de golpe o corte, o, en el caso de victimas humanas, sangre u otros fluidos corporales. Toda esta evidencia ayuda enormemente en la investigación de un crimen.



1. Comparación microscópica de huellas de efracción - 2. Comparación microscópica de huellas de efracción producidas por el extremo de un destornillador

V. ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE UN AVANCE TECNOLÓGICO

En Búffalo, Estados Unidos de Norteamérica, los científicos de la computación están desarrollando herramientas para hacer que los procesos

de búsqueda y comparación se parezcan más a una búsqueda en Google y menos a la caza de una aguja en un pajar.

La investigación es financiada por el Departamento de Justicia de EE.UU.

La evidencia de huellas de pisada es uno de los tipos de pruebas más disponibles en escenas de crímenes, pero, al igual que muchos campos de la medicina forense, carece de base científica.

Es un proceso basado en gran medida en el conocimiento humano y la intuición.

Por lo general, las huellas de calzado que deja un sospechoso se fotografían o extraen de una superficie y se remiten a las unidades de peritos en ciencias de la investigación criminal. En EE.UU, esas imágenes luego son publicadas en portales de Internet, donde son vistas por los expertos forenses de todo el mundo. Los expertos tratarán de buscar una coincidencia entre miles de imágenes en bases de datos.

El análisis de huellas de calzado consiste simplemente en su observación por parte de expertos, en un escenario delictivo. No hay técnicas formales que los examinadores puedan utilizar para fundamentar un hallazgo positivo, de una u otra manera. Al mismo tiempo, el prejuicio puede entrar en juego y es difícil disociar ese tipo de conocimiento de la evidencia que se está tratando de analizar.

Los estudios que se mencionan es muy probable que hagan una gran diferencia. Se están desarrollando algoritmos para buscar y encontrar huellas de calzado que manifiesten coincidencia. Se quiere automatizar el proceso lo suficiente como para que funcione como un objetivo de búsqueda de Google, donde la consulta es la evidencia de la escena del crimen y la comparación será la lista de resultados que ayudan a determinar qué marca de calzado está más cercana a la impresión extraída de la escena del crimen. El objetivo final es desarrollar un paquete de software que podría reducir las posibilidades que posee el examinador para buscar.

El problema fue abordado mediante el desarrollo de una gran base de datos propia. Se utilizaron huellas de calzado tomadas de sitios de compras de la web, que muestran suelas y partes superiores de zapatos. Se clasificaron las imágenes según el tipo de patrón que exhibían, como círculos, cruces, líneas onduladas, en zigzag, etc. En tal sentido, se cargaron las imágenes de cerca de 10.000 impresiones de zapatos.

A partir allí, los investigadores crearon su propia versión de una escena del crimen en el laboratorio de la Universidad de Búffalo. Se roció polvo de talco en la alfombra y se invitó a estudiantes de la universidad, profesores y visitantes a caminar por tal superficie, lo cual dejó huellas que se fotografiaron. De tal manera, los científicos convirtieron entonces las huellas de calzado fotografiadas en un formato digital para poder confrontarlas con las imágenes de los sitios de Internet.

Las huellas de calzado fotografiadas fueron las evidencias, y el objetivo era ver qué tan bien funcionaban los algoritmos creados en el confronte de las evidencias con la base de datos propia.

Si bien los métodos que utilizan la computación son capaces de mejorar la utilidad de las imágenes de huellas de calzado para resolver la comisión de delitos. Este tipo de huellas conllevan algunos inconvenientes. Por ejemplo, a diferencia de las impresiones dactilares, que permanecen esencialmente iguales, las huellas de calzado pueden reflejar un desgaste desigual en un período de tiempo y las marcas o dibujos en las suelas pueden desaparecer parcialmente, haciendo más dificultoso el desafío computacional.

Sin embargo, hay ventajas importantes que se pueden obtener mediante una mejor explotación de las huellas de calzado, puesto que este tipo de evidencia está bastante disponible.

CAPÍTULO VII

EL ADN COMO EVIDENCIA PALINOLOGÍA FORENSE

I. EL ADN COMO EVIDENCIA

a) Introducción

El ácido desoxirribonucleico, frecuentemente abreviado como ADN (y también DNA, del inglés *deoxyribonucleic acid*), es un tipo de ácido nucleico, una macromolécula que forma parte de todas las células. Éste contiene la información genética utilizada en el desarrollo y el funcionamiento de los organismos vivos conocidos y de algunos virus, y es responsable de su transmisión hereditaria.

Desde el punto de vista químico, el ADN es un polímero de nucleótidos, es decir, un polinucleótido. Un polímero es un compuesto formado por muchas unidades simples conectadas entre sí, como si fuera un largo *tren* formado por *vagones*. En el ADN, cada *vagón* es un nucleótido, y cada nucleótido, a su vez, está formado por un azúcar (la desoxirribosa), una base nitrogenada (que puede ser adenina→*A*, timina→*T*, citosina→*C* o guanina→*G*) y un grupo fosfato que actúa como enganche de cada *vagón* con el siguiente. Lo que distingue a un *vagón* (nucleótido) de otro es, entonces, la base nitrogenada, y por ello la secuencia del ADN se especifica nombrando sólo la secuencia de sus bases. La disposición secuencial de estas cuatro bases a lo largo de la cadena (el ordenamiento de los cuatro tipos de *vagones* a lo largo de todo el *tren*) es la que codifica la información genética: por ejemplo, una secuencia de ADN puede ser *ATGCTAGATCGC...* En los organismos vivos, el ADN se presenta como una doble cadena de nucleótidos, en la que las dos hebras están unidas entre sí por unas conexiones denominadas puentes de hidrógeno.

Siempre que se comete un hecho delictuoso ocurre un intercambio de materiales entre el sospecho, la víctima y la escena del crimen, es lo que algún autor ha llamado la teoría de la transferencia. Los mismos conforman la evidencia que debe recolectar el investigador mediante una serie de procedimientos sistemáticos. Toda prueba o indicio es importante,

pero aquellos que contribuyen a la reconstrucción de los hechos y a la identificación del sospechoso tienen un valor incalculable para el descubrimiento de la verdad y el cumplimiento de la justicia.

Entre las diferentes evidencias materiales que pueden aparecer en el lugar del hecho están los fluidos corporales, principalmente la sangre, el semen o la saliva. Estas sustancias son parte de los procesos biológicos y fisiológicos del cuerpo humano que, gracias a los avances científicos de los siglos XX y XXI, permiten a los expertos forenses realizar análisis de ADN para identificar al sospechoso y ubicarlo en la escena. Los resultados se pueden convertir en una prueba irrefutable que demuestre la veracidad del hecho ocurrido.

Es difícil creer que la evidencia del ADN ha llegado tan lejos y tan rápido. Las técnicas que permiten identificar a un sospechoso utilizando su mapa genético (único) sólo han estado presentes desde 1985. Fue entonces cuando Alec Jeffreys y sus colegas, en Inglaterra, demostraron por primera vez el uso de ADN en una investigación criminal. Desde entonces, las pruebas de ADN han desempeñado un papel cada vez más grande en los sistemas de justicia de muchas naciones. Se ha utilizado para demostrar que los sospechosos estuvieron implicados en crímenes y para liberar a las personas que fueron condenadas injustamente.

• En el corazón de las evidencias de ADN está la molécula biológica en sí, que sirve como un manual de instrucciones y modelo para todo en su cuerpo. Una molécula de ADN es una cadena larga y retorcida, conocida como una doble hélice. El ADN se ve bastante complejo, pero en realidad está hecho sólo de cuatro nucleótidos: adenina, citosina, guanina, timina.

Estos nucleótidos existen como pares de bases que se unen como los peldaños de una escalera. La adenina y la timina siempre se unen como un par, y la citosina y la guanina se unen como otro. Aunque la mayoría del ADN no difiere de persona a persona, unos 3 millones de pares base de ADN (alrededor del 0,10 por ciento de su genoma completo) varían de persona a persona.

Según los expertos en genética, el ADN (ácido desoxirribonucleico) es una huella genética. Consiste en una serie de moléculas que son el resultado de la herencia. Inglaterra comenzó a utilizarlo en la investigación criminal desde 1980 y los Estados Unidos en 1987.

En las células humanas el ADN está bien envuelto en 23 pares de cromosomas. Un miembro de cada par de cromosomas proviene de la madre, y el otro viene del padre. En otras palabras, el ADN es una combinación del ADN de la madre y el ADN del padre. A menos que se tenga un gemelo idéntico, el ADN es único para una persona.

Esto es lo que hace que las pruebas de ADN en las investigaciones sean tan valiosas: es casi imposible que alguien tenga su ADN idéntico al de otra persona. Pero la captura de un homicida usando pruebas de ADN

no es tan fácil como lo hacen parecer las series televisivas o las películas cinematográficas, tal como se demostrará seguidamente. El primer paso en la exploración de la evidencia de ADN es la escena del crimen –y la evidencia biológica allí reunida por los investigadores–.

b) Recolección y preservación de evidencia de ADN

1. Introducción

Ampliando el tema de las variedades de evidencia física comúnmente enviada/presentada para su examen a los laboratorios de ciencia forense por los organismos policiales, es oportuno indicar que la evidencia que podría ser objeto de análisis de ADN generalmente se limita a elementos que son de naturaleza biológica. La siguiente es una lista de materiales biológicos de los que el ADN ha sido exitosamente aislado y analizado:

- sangre y manchas de sangre;
- esperma y manchas seminales;
- tejidos y células;
- huesos y órganos;
- pelos/cabellos con folículos;
- orina y saliva (con células nucleadas).

Otros tipos de evidencias biológicas, como lágrimas, sudor, suero y otros fluidos corporales sin células nucleadas, no son susceptibles de análisis de ADN.

2. La manera en que se transfirió la evidencia biológica

Los seis diferentes tipos de evidencia biológica antes mencionados pueden ser utilizados para vincular a una persona con otro individuo, con un objeto o con una ubicación/sitio/localidad. Este tipo de evidencia también se podría utilizar para asociar o disociar a una persona con un delito. La evidencia biológica generalmente se transfiere por medio de dos maneras: directa o secundaria.

A. Depósito directo

Sangre, semen, tejidos del cuerpo, huesos, pelos/cabellos, orina y saliva pueden ser transferidos al cuerpo o ropa de un individuo, o a un objeto o escena del crimen directamente. Una vez que los especímenes biológicos líquidos han sido depositados, se convierten en manchas y se adhieren a la superficie o al sustrato. La evidencia biológica no líquida, como tejido, hueso o pelo, también puede ser transferida por contacto directo y depósito. El depósito directo y la transferencia podrían resultar de cualquiera de las siguientes situaciones:

- ADN del sospechoso depositado en la víctima (*cuerpo o ropa*);
- ADN del sospechoso depositado sobre un objeto;

- ADN del sospechoso depositado en un lugar;
- ADN de la víctima depositado en el *sospechoso* (*cuerpo o ropa*);
- ADN de la víctima depositado sobre un objeto;
- ADN de la víctima depositado en un lugar;
- ADN del testigo depositado en la víctima o en el sospechoso;
- ADN del testigo depositado en un objeto;
- ADN del testigo depositado en un lugar.

B. Transferencia secundaria

Sangre, semen, tejido del cuerpo, cabello, saliva u orina pueden ser transferidos a una víctima, sospechoso, testigo, objeto o lugar a través de un medio intermedio. En una transmisión secundaria no hay contacto directo entre la fuente original (de los donantes de las evidencias de ADN) y la superficie del objetivo. El intermediario de transferencia podría ser una persona, un objeto o un lugar. Una transferencia secundaria no necesariamente proporciona una prueba positiva de una relación directa de una persona con un delito concreto.

3. Recolección y conservación de las evidencias biológicas

La capacidad de realizar análisis de ADN con éxito en evidencias biológicas recuperadas de un escenario delictivo depende en gran medida de qué tipo de muestras se recogieron y la forma en que se conservaron. Por lo tanto, la técnica utilizada para recopilar y documentar tales pruebas, la cantidad y el tipo de evidencia que debe ser manipulada y envasada, y cómo debe ser preservada, son algunos de los puntos críticos para un programa forense de pruebas de ADN. A menos que la evidencia esté debidamente documentada, recolectada, envasada y conservada, no cumplirá los requisitos legales y científicos para la admisibilidad en un tribunal de justicia. Si la evidencia de ADN no está bien documentada antes de la recolección, su origen puede ser cuestionado; si no está bien recogida, su actividad biológica se puede perder; si no está bien empaquetada, puede ocurrir contaminación cruzada. Si las evidencias de ADN no se conservan adecuadamente, la descomposición y el deterioro podrían aparecer. Cualquiera de estos efectos tendrá graves repercusiones en los resultados de tipificación de ADN. Las siguientes son pautas generales para la documentación, recolección, envasado y conservación de las evidencias señaladas.

A. Directrices para la documentación de evidencia de ADN

La etapa inicial en el examen de la evidencia física abarca actividades que tienen lugar en la escena del crimen, así como en el laboratorio forense. La documentación es importante desde dos puntos de vista: el legal y el científico. Nada debe ser alterado hasta que su condición y posición originales hayan sido registradas. Existen varios medios de disponer la documentación; en general, se recomienda el uso de más de un método. Cada pieza clave de evidencia debe ser documentada.

c) Qué hacer con la evidencia en la escena del hecho

1. Fotografiar y/o grabar en video la evidencia antes de tocarla, moverla o recogerla.
2. Anotar la ubicación y el estado de la evidencia.
3. Anotar y hacer un esquema de las relaciones espaciales de los elementos de prueba en relación con la escena del crimen y otros objetos presentes.
4. Anotar y hacer un esquema de la condición de las evidencias biológicas.

d) La evidencia en el laboratorio forense

1. Tener en cuenta el envase, la etiqueta, el estado del o de los precintos y las muestras.
2. Inicialar el paquete con marcas de identificación únicas, el número de asunto/caso/hecho, y la fecha.
3. Comprobar el número de muestra y comparar con el formulario de envío para asegurarse de que el artículo correcto es el que se recibe.
4. Anotar, graficar y/o fotografiar el contenido del elemento que conforma la evidencia.
5. Revisar el artículo utilizando la ficha de remisión para asegurar que la descripción del artículo es la correcta.
6. Fotografiar, dibujar y/o anotar la localización y el estado de la evidencia biológica antes de cualquier toma de muestras.
7. Si se hace una prueba preliminar, registrar la naturaleza de la prueba y los resultados obtenidos. Usar siempre guantes limpios para evitar cualquier contaminación.

e) La recolección de pruebas de ADN

Durante muchos años, las huellas dactilares eran el estándar de oro para ligar a los sospechosos a la escena del crimen. Hoy en día, el estándar de oro es el ADN, ya que se puede recoger prácticamente desde cualquier lugar; incluso un criminal, usando guantes, puede, sin darse cuenta, dejar trazas de material biológico, podría ser un pelo/cabello, saliva, sangre, semen, piel, sudor, moco o cera del oído. Identificar a un sospechoso con certeza casi absoluta, sólo lleva unas pocas células para obtener información suficiente del ADN.

Por esta razón, los agentes policiales deben cuidar inusualmente la escena del crimen. Ellos y los investigadores suelen en general trabajar estrechamente con el personal de laboratorio o los técnicos de recolec-

ción de evidencia para asegurarse que la evidencia no esté contaminada. Esto implica el uso de guantes e instrumentos desechables, que pueden ser descartados después de recoger cada muestra. Mientras se recoge la evidencia, los funcionarios tienen que poner cuidado en evitar tocar las áreas donde las pruebas de ADN podrían existir. También deben evitar hablar, estornudar y toser sobre los elementos de prueba o tocarse la cara, la nariz o la boca.

La siguiente lista muestra algunas fuentes comunes de evidencia de ADN:

- Un arma, tal como un bate de béisbol o un cuchillo, que podrían contener sudor, piel, sangre u otros tejidos.
- Un sombrero o una máscara, que podrían contener sudor, cabello o caspa
- Un pañuelo de papel para el rostro o un hisopo de algodón, que podrían contener moco, sudor, sangre o cera del oído.
- Un palillo de dientes, colilla de cigarrillo, botella o sello de correos (estampilla), todo lo cual podría contener saliva.
- Un condón usado, que podría contener semen o células vaginales o rectales.
- Ropa de cama, que podría contener sudor, cabello/pelo, sangre o semen.
- Uña de un dedo total o parcial, que podría contener células de la piel depositadas como resultado del rascado.

Cuando los investigadores encuentran una pieza de evidencia, deben colocarla en una bolsa de papel o en un sobre, no en una bolsa de plástico. Esto es importante porque las bolsas de plástico retienen la humedad, que pueden dañar el ADN. La luz solar directa y un clima más cálido también puede dañar el ADN, por ello los funcionarios deben tratar de mantener los materiales biológicos a temperatura ambiente. Se etiquetarán las bolsas con información sobre el material, dónde fue encontrado y dónde será transportado. Éstos deben ser procedimientos con cadena de custodia, que garanticen la integridad jurídica de las muestras a medida que avanzan desde la recolección hasta el análisis.

f) Análisis de ADN: técnicas tradicionales

Desde la escena del hecho, un elemento de evidencia con ADN viaja hasta un laboratorio forense. Estos laboratorios varían un poco, tanto en términos de cómo están estructurados y de qué tipo de análisis ofrecen. Los laboratorios públicos a menudo se asocian con un órgano de seguridad o la justicia, mientras que otros son entidades independientes del gobierno. También existen laboratorios forenses privados, algunos dedicados sólo al análisis de ADN.

Muchos laboratorios tienen la capacidad de realizar pruebas sobre el ADN nuclear, que es la copia del ADN que existe en el núcleo de cada célula, pero sólo unos pocos laboratorios ofrecen las técnicas más especializadas, como la del cromosoma Y o el análisis de ADN mitocondrial. Echemos un vistazo a algunas de estas técnicas con mayor detalle.

El análisis del polimorfismo de la longitud de los fragmentos de restricción fue uno de los primeros métodos forenses para analizar el ADN. El mismo analiza la longitud de los filamentos de ADN que incluyen la repetición de pares de bases. Estas repeticiones se conocen como repeticiones tándem de número variable, ya que pueden repetirse en cualquier lugar de una a 30 veces.

Este análisis requiere que los investigadores disuelvan el ADN en una enzima que rompe la cadena en puntos específicos. El número de repeticiones afecta de cada hebra de ADN resultante. Los investigadores comparan las muestras mediante el cotejo de las longitudes de los filamentos; requiere una muestra bastante grande de ADN que no haya sido contaminado por suciedad.

Muchos laboratorios están reemplazando el análisis mencionado en último término por el análisis de repetición de tándem corto. Este método ofrece varias ventajas, pero una de las más importantes es que puede comenzar con una muestra mucho menor de ADN. Los científicos amplían esta pequeña muestra a través de un proceso conocido como reacción en cadena de la polimerasa, la misma realiza copias del ADN muy similar a las copias de ADN en sí mismo en una célula, produciendo casi cualquier cantidad deseada de material genético.

Una vez que el ADN en cuestión ha sido amplificado, el análisis mencionado en última instancia examina cuán a menudo los pares base se repiten en un *loci* (en biología y, por extensión, en computación evolutiva para identificar posiciones de interés sobre determinadas secuencias), un *locus* (del latín *locus*, lugar; plural *loci*) es una posición fija sobre un cromosoma, como la posición de un gen o de un biomarcador –marcador genético– específico, o lugares, en una cadena de ADN. Éstos pueden ser repeticiones dinucleótidas, trinucleótidas, tetranucleótidas o repeticiones pentanucleótidas –es decir, repeticiones de dos, tres, cuatro o cinco pares de bases–. Los investigadores buscan a menudo repeticiones tetranucleótidas o pentanucleótidas en las muestras que han sido amplificadas a través de este análisis, debido a que éstas son probablemente las más confiables.

La Oficina Federal de Investigaciones (FBI) ha elegido a 13 *loci* específicos del análisis de repetición de tándem corto, para servir como el estándar para el análisis de ADN. La probabilidad de que dos personas (excepto los gemelos idénticos) tengan el mismo perfil de ADN de 13 *loci* puede ser tan alta como uno en mil millones o más.

g) Análisis de ADN: técnicas especializadas

Aunque la mayoría de los laboratorios utilizan alguna de las dos técnicas antes mencionadas para el análisis de ADN, hay situaciones que requieren un enfoque diferente. Una de esas situaciones es cuando hay varios colaboradores masculinos de material genético, que a veces ocurre en casos de asalto sexual. La mejor manera de resolver la compleja mezcla y encasillar con exactitud cuáles hombres estaban involucrados es el marcador de análisis Y. Como su nombre indica, esta técnica examina varios marcadores genéticos encontrados en el cromosoma Y. Debido a que el cromosoma Y se transmite de un padre a todos sus hijos, el ADN en el cromosoma Y se puede utilizar para identificar el ADN de hombres diferentes. El análisis de marcador Y también se puede utilizar para rastrear las relaciones familiares entre los hombres.

Otra situación implica identificar restos viejos o evidencia biológica que carece de células nucleadas, como los tallos del pelo, los huesos y los dientes. Las pruebas con ambos métodos no pueden utilizarse en estos materiales, ya que requieren muestras de ADN halladas en el núcleo de una célula. En estos casos, los investigadores suelen utilizar el análisis de ADN mitocondrial (ADNmt) que emplea el ADN de la célula mitocondria. Los investigadores han encontrado que las pruebas de ADN mitocondrial son muy útiles en la solución de homicidios, personas desaparecidas o muertes sospechosas que no se están investigando activamente. Estos casos a menudo tienen evidencia biológica en forma de sangre, semen y cabello que ha sido almacenado durante mucho tiempo, o mal almacenado.

Una técnica relativamente nueva –análisis de PNU– también es útil en ciertos casos donde los laboratorios forenses reciben muestras de ADN muy degradado. Esta técnica requiere que los científicos analicen variaciones en el ADN donde un nucleótido sustituye a otro. Este cambio genético se denomina polimorfismo de nucleótido único o PNU. Los SNP (Single Nucleotide Polimorphism) hacen marcadores excelentes y mayormente se utilizan para determinar la susceptibilidad de una persona para determinada enfermedad. Los científicos forenses utilizaron la tecnología de PNU con éxito para identificar, por ejemplo, en EE.UU., varias víctimas del hecho ocurrido el 11 de septiembre en el World Trade Center, donde otros métodos fracasaron.

En realidad, el análisis de una muestra de ADN es sólo un primer paso, falta ver lo que sucede después de completar el análisis.

h) Buscando la coincidencia con el ADN

El objetivo principal del análisis de ADN es obtener una representación visual del ADN dejado en la escena del crimen, una "imagen" con columnas de bandas paralelas de color oscuro equivalente a una huella

dactilar levantada de una superficie lisa. Para identificar al propietario de una muestra de ADN, la "huella" de éste, perfil, debe ser comparada, ya sea con el ADN de un sospechoso o un perfil de ADN almacenado en una base de datos.

Consideremos la situación anterior –cuando un sospechoso está presente–. En este caso, los investigadores toman una muestra de ADN del sospechoso, la envían a un laboratorio y reciben un perfil de ADN; luego se compara ese perfil con un perfil de ADN tomado de la escena del crimen. Hay tres posibles resultados:

- *Inclusiones.* Si el perfil de ADN del sospechoso coincide con el perfil de ADN tomado de la escena del crimen, entonces los resultados se consideran una inclusión o no exclusión. En otras palabras, el sospechoso se incluye (no se puede excluir) como una posible fuente del ADN encontrado en la muestra.
- *Exclusiones.* Si el perfil de ADN del sospechoso no coincide con el perfil de ADN tomado de la escena del crimen, entonces los resultados se consideran una exclusión o no inclusión. Las exclusiones casi siempre eliminan al sospechoso como una fuente del ADN encontrado en la muestra.
- *Resultados no concluyentes.* Los resultados pueden ser no concluyentes por varias razones, por ejemplo, las muestras contaminadas a menudo producen resultados no concluyentes. Lo mismo ocurre con muestras muy pequeñas o degradadas, que pueden no tener suficiente ADN para producir un perfil completo.

A veces, los investigadores tienen pruebas de ADN, pero no sospechosos. En ese caso, agentes del orden pueden comparar los perfiles de ADN de la escena del crimen almacenados en una base de datos. Estas últimas se pueden mantener a nivel local (el laboratorio de criminalística de un departamento o área de una policía provincial, por ejemplo o en el ámbito estatal.

Para encontrar las coincidencias de forma rápida y fácil en varias bases de datos, el FBI desarrolló una plataforma tecnológica conocida como Sistema Clasificado/Indizado de ADN Combinado (*Combined DNA Index System*), o CODIS. El software CODIS permite a los laboratorios de todo el país compartir y comparar datos/información de ADN. Busca también automáticamente las coincidencias.

i) Otros usos de la evidencia de ADN

La evidencia de ADN juega un papel fundamental en el sistema moderno de justicia criminal, pero las mismas técnicas para probar la culpabilidad o exonerar a una persona inocente también son útiles fuera del sistema indicado. Aquí están algunos ejemplos:

- Pruebas de paternidad y otros casos donde las autoridades necesiten probar si los individuos están relacionados o no.

• Identificación: los investigadores de la policía enfrentan a menudo la desagradable tarea de tratar de identificar un cuerpo o restos óseos. El ADN es una molécula bastante resistente, y las muestras pueden ser fácilmente extraídas del cabello/pelo o tejido óseo. Una vez que se ha creado un perfil de ADN, puede compararse con muestras de familiares de personas desaparecidas para ver si se puede llegar a una coincidencia. Aun sin una coincidencia confrontativa de ADN para identificar un cuerpo de manera concluyente, un perfil es útil porque puede proporcionar pistas importantes sobre la víctima, como el sexo y la raza.

• Estudio de la evolución de las poblaciones humanas: los científicos están tratando de utilizar las muestras extraídas de esqueletos y personas vivas de todo el mundo para mostrar cómo las primeras poblaciones humanas podrían haber migrado a través del mundo y diversificado en razas tan diferentes. En la década de 1980, los científicos de la Universidad de California, Berkeley, utilizaron el análisis de ADN mitocondrial para especular que todos los seres humanos se relacionan con una sola mujer –"Eva"– que vivió hace aproximadamente 150.000 años en África. Otros científicos, empleando análisis de ADN cada vez más sensibles, han confirmado que esto es cierto.

• Estudiar trastornos hereditarios: los científicos también estudian el ADN de las familias con miembros que han heredado enfermedades como la enfermedad de Alzheimer para tratar de desentrañar las diferencias cromosómicas entre los que no tienen la enfermedad y los que la tienen, con la esperanza de que estos cambios puedan estar vinculados con la posibilidad de contraer la enfermedad.

Las pruebas de ADN también pueden revelar la susceptibilidad de una persona a ciertas enfermedades. Varias compañías ofrecen pruebas de genética a domicilio que pueden evaluar el riesgo de las personas para cientos de enfermedades y rasgos, incluyendo el cáncer de mama, la artritis reumatoidea y la diabetes tipo 2.

• Atrapar cazadores furtivos: los biólogos de la vida salvaje acuden ahora a pruebas de ADN para capturar a personas que cazan ilegalmente. Por ejemplo, la temporada de caza de ciervo en las tierras públicas sólo dura dos días en muchos estados de EE.UU. Si un funcionario de la fauna silvestre sospecha que un cazador ha disparado a un ciervo hembra después de la clausura oficial de la temporada, puede analizar el ADN de la carne y determinar la especie y el sexo del animal.

• Clarificar la historia: los historiadores están recurriendo a pruebas de ADN para saber más sobre el pasado. Por ejemplo, la prueba sobre el cromosoma Y se utilizó en 1998 para determinar si Thomas Jefferson, tercer presidente de los Estados Unidos, había sido el padre de los niños de una de sus esclavas o no. En mayo de 2009, un grupo de historiadores pidió a un museo de Filadelfia si podía tener acceso a una franja de

una funda de almohada manchada con la sangre de Abraham Lincoln. Su objetivo era analizar el ADN de aquél para ver si había sufrido un síndrome raro de cáncer genético llamado neoplasia endocrina múltiple tipo 2B, pero las autoridades del museo no permitieron la experiencia en ese momento.

j) Limitaciones de la evidencia de ADN

La evidencia de ADN es poderosa, pero tiene sus limitaciones. Una de las limitaciones está relacionada con conceptos erróneos acerca de lo que realmente significa una coincidencia. Que coincida el ADN de la escena del crimen con el tomado de un sospechoso no es una certeza absoluta de la culpabilidad de éste. En cambio, los expertos forenses prefieren hablar de probabilidad; por ejemplo, podrían hacer una declaración como ésta: la probabilidad es 1/7000 que una persona no relacionada tenga por casualidad el mismo perfil de ADN que el obtenido de la evidencia. Si se combina ese análisis estadístico con otra evidencia, se podrá ver cómo los fiscales pueden hacer casos sólidos contra un sospechoso.

Dudas sobre la confidencialidad

Varios países, incluidos Estados Unidos y Gran Bretaña, han construido bases de datos elaboradas con cientos de miles de perfiles únicos de ADN individuales. Sin embargo, estas bases de datos también plantean interrogantes acerca de la privacidad. El ADN contiene mucha más información acerca de una persona que las huellas dactilares; por ejemplo, el ADN de una persona incluye información acerca de todo, desde el color de ojos hasta los defectos genéticos. Algunos temen que el uso generalizado de bases de datos de ADN podría alentar a los gobiernos a discriminar a las personas por la información codificada en su ADN. Sin embargo, el ADN analizado por el software del CODIS del FBI no está pensado para relacionar los rasgos reales de una persona.

Un factor que contribuye a la falsa idea pública es la de cómo el análisis de ADN es retratado en el cine y la televisión. En EE.UU., algunos abogados y jueces se quejan del llamado "efecto CSI" (Crime Scene Investigation-Investigación en el Escenario del Hecho) puesto que está influyendo en la justicia penal. El efecto CSI (nombre de una serie televisiva) se manifiesta cuando los jurados demandan exámenes de ADN en los casos en que son innecesarios, o confían demasiado en la evidencia de ADN, excluyendo otras evidencias físicas tomadas en la escena del crimen.

Aún más preocupantes son los casos de fraude de ADN –casos en que los delincuentes plantan muestras falsas de ADN en la escena del crimen–. En 1992, el médico canadiense John Schneeberger implantó evidencia falsa de ADN en su propio cuerpo para evitar sospechas en un caso de violación. La "siembra" de ADN falso obtenido de otra persona es

sólo una parte del problema. Los científicos de Nucleix (una empresa con asiento en Israel, especializada en análisis forenses de ADN y en la prevención del robo de identidad biológica) informaron recientemente que, con el acceso a los perfiles almacenados en una de las bases de datos de ADN, podrían fabricar una muestra de ADN sin la obtención de algún tejido de esa persona.

Nucleix ha desarrollado una prueba para distinguir muestras reales de ADN de las falsas, con el objetivo de vender la prueba a los laboratorios forenses. Pero tomando estas precauciones adicionales para asegurar la validez de sus resultados sólo se ralentizará aún más el trabajo a los atareados laboratorios. De hecho, los atrasos en los trabajos de casos forenses se están convirtiendo en un problema grave.

A medida que se hacen avances en las pruebas de ADN, algunos de estos retos pueden convertirse en menos severos, pero aparecerán probablemente imprevistos.

k) Avances en la evidencia de ADN

Una serie de avances han permitido a los investigadores criminales perfeccionar las técnicas relacionadas y enfrentar demandas legales contra las huellas dactilares de ADN. Las mejoras incluyen:

- Procedimientos nuevos que requieren menos cantidad de ADN y pueden completarse rápidamente.
- Origen del ADN: la ciencia ha encontrado formas ingeniosas de extracción de ADN a partir de fuentes que solían ser poco accesibles o estar demasiado contaminadas para su uso. En algunos casos, los investigadores están usando análisis de ADN de manera ingeniosa para obtener una condena; por ejemplo, en Arizona fueron capaces de vincular a un sospechoso con una víctima de asesinato mediante las pruebas del ADN de un árbol llamado palo verde, encontrado en la escena del crimen. Estos árboles poseen vainas que contienen semillas; algunas de estas vainas se hallaron en la camioneta del sospechoso. Para demostrar que las vainas provinieron del árbol encontrado en la escena del crimen y no algún otro palo verde, los investigadores se volcaron hacia el análisis del ADN. Las vainas encontradas en la camioneta coincidían entre sí –y coincidían con las muestras tomadas del árbol en el lugar del hecho–. Fue la primera vez que el ADN de una planta se utilizó en un juicio penal.

Los avances que hicieron de la evidencia de ADN una herramienta valiosa para el sistema de justicia penal han galvanizado también el interés público. Las clases que se dan sobre el ADN y sus propiedades se han vuelto más profundas y generalizadas en muchas escuelas. Los dramas televisivos sobre crímenes que evidencian ADN de forma destacada continúan floreciendo. Todo ese conocimiento trae buenas y malas noticias, pero la peor noticia está reservada para los delincuentes, quienes encontrarán cada vez más difícil la posibilidad de salir de la escena del crimen sin dejar un trozo de prueba biológica incriminatoria detrás.

II. PALINOLOGÍA FORENSE

a) Introducción

La palinología es la ciencia basada en la identificación y datación de los granos de polen contenidos en determinados sedimentos. Es un método auxiliar de la antropología forense, la criminalística y la medicina legal. También podemos definirla como la rama de la ciencia que se ocupa del estudio del polen, las esporas y palinomorfos similares vivos y fósiles.

El término "palinología forense" se utiliza muy poco en los Estados Unidos; la palabra forense se refiere a las evidencias utilizadas en los tribunales de justicia. Palinología es un término utilizado por primera vez por Hyde y Williams (1944) para el estudio colectivo de los granos de polen y esporas. Años más tarde, la disciplina se amplió para incluir también el estudio de un número de otros microorganismos resistentes a los ácidos.

Hoy en día, la ciencia de la palinología forense se centra tradicionalmente en evidencias legales derivadas del estudio del polen y las esporas, tanto fósiles como modernos. En su aplicación más amplia, el campo de la palinología forense también incluye información jurídica derivada de los análisis de otros palinomorfos como los dinoflagelados, acritarcos, y quitinozoarios. Sin embargo, en la mayoría de las tomas de muestras los palinólogos forenses rara vez se encuentran con estos otros tipos de pólenes resistentes al ácido, porque la mayoría son marinos y muchos se limitan sólo a los depósitos fósiles.

Es difícil establecer con precisión cuándo comenzó el campo de la palinología forense. Los intentos realizados con anterioridad a la década de 1950, o los que pueden haber fallado, probablemente no ganaron la atención del público y por lo tanto no se informaron. También es posible que si se hicieron intentos tempranos, los resultados pueden haber sido deliberadamente ocultados a los medios de comunicación a fin de no alertar a los delincuentes sobre el uso de esta técnica.

Uno de los primeros casos exitosos donde se utilizó la palinología forense, y uno de los más dramáticos fue en un hecho criminal en Austria en 1959 (Erdtman, 1969). En este caso, la resolución de un asesinato y la condena del homicida se basaron principalmente en la evidencia recuperada de una muestra de polen asociada con el hecho. Los detalles del hecho no vale la pena exponerlos.

Un hombre, en un viaje por el río Danubio, desapareció cerca de Viena, pero su cuerpo no pudo ser encontrado. Otro hombre, con un motivo para matarlo, fue arrestado y acusado de asesinato. Sin embargo, sin

una confesión o un cuerpo el caso del fiscal parecía carecer de esperanzas. A medida que la investigación avanzaba, el fango encontrado en un par de zapatos de la parte demandada fue dado al palinólogo Wilhelm Klaus, de la Universidad de Viena, para su análisis. Klaus determinó que el lodo contenía abeto, sauce y polen, así como un grano de polen fósil de nogal de 20 millones de años procedente de un depósito del mioceno. Sólo una pequeña zona a 20 kilómetros al norte de Viena, a lo largo del valle del Danubio poseía suelos que contenían esta mezcla precisa de polen. Cuando se hizo el confronte, el acusado confesó su crimen y mostró a las autoridades dónde había enterrado el cuerpo, que de hecho estaba en la región señalada por Klaus (Erdtman, 1969; Newman, 1984).

En 1970, los sospechosos del secuestro y asesinato de un granjero en el condado de Macoupin, Illinois, fueron encontrados culpables en parte gracias a muestras de polen de maíz detectadas en sus ropas, las cuales coincidieron con la ubicación del auto donde fue abandonada la víctima, en las inmediaciones de una plantación de maíz. En una investigación forense realizada en 1994 en Magdeburg, Alemania, se utilizó la combinación de muestras de polen halladas en los restos de 32 hombres asesinados y enterrados en una fosa común como evidencia final para concluir que los culpables de este crimen eran miembros de la policía secreta soviética. Las especies de plantas que conformaban las muestras de polen extraídas de las fosas nasales de las víctimas presentan su máximo de producción de flores en esa localidad entre junio y julio, meses durante los cuales, en 1953, ocurrió una revuelta con numerosas bajas en la que estuvieron implicadas las fuerzas soviéticas de ocupación. En este caso las muestras de polen sirvieron para determinar el tiempo de muerte de las víctimas.

Más allá del valor que tiene la palinología para resolver casos de homicidio, el estudio del polen y las esporas también nos puede dar indicios útiles para resolver otros problemas de orden legal, tales como el origen y las rutas de transporte de drogas como la marihuana y la cocaína, el origen y destino final de mercancías sujetas a estrictas regulaciones internacionales de comercialización, la autenticidad de una obra de arte y el origen de fabricación de un objeto de valor, entre otros muchos ejemplos.

La limnología, que es el estudio de la ecología de cuerpos de agua dulce, la principal fuente de información aplicable a la investigación criminal junto con la palinología, tiene que ver con la caracterización de plantas acuáticas y algas, tanto macroscópicas como microscópicas (diatomeas). La presencia de diatomeas, esporas o polen de origen acuático en la médula de los huesos de un cadáver es indicativa de que la persona murió ahogada en un cuerpo natural de agua dulce, porque estas partículas son incorporadas a los pulmones y de ahí pasan al torrente sanguíneo y son enviadas a los diferentes órganos y partes del cuerpo. La composición

de especies de diatomeas polen o esporas y sus patrones de distribución pueden usarse para caracterizar cuerpos de agua específicos asociados a un hecho criminal.

b) Estudios sobre polen

Hoy en día el estudio de polen fósil y moderno tiene muchos usos: desde ayudar a la gente a identificar sus diversas alergias hasta darnos información acerca de la ubicación del petróleo, el carbón y recursos gasíferos necesarios para abastecer a nuestra moderna civilización. Sin embargo, de los muchos usos de la información que ofrece el polen, uno de los menos conocidos y utilizados es la aplicación de los estudios de polen para la ciencia del análisis forense.

El estudio de la palinología ha estado, por necesidad, estrechamente asociado con el desarrollo y las posteriores mejoras de los microscopios. Debido a que los granos de polen son microscópicos, la humanidad tuvo que esperar hasta la invención del microscopio compuesto, a mediados de los años 1600, antes de poder ver los granos de polen en detalle. Durante los próximos dos siglos después de la invención del microscopio, los botánicos estudiaron las características morfológicas de los granos de polen, su forma y estructura, y comenzaron a desarrollar claves taxonómicas para su identificación (Wodehouse, 1935). Fue durante este período cuando los botánicos aprendieron que algunas plantas eran polinizadas por el viento, mientras que otras lo eran por los insectos de polinización. Los geólogos, como Christian Ehrenberg, fueron los primeros en darse cuenta de que los granos de polen se conservaban en los sedimentos antiguos y que muchos de ellos tenían un aspecto similar a los tipos de polen que producen las plantas que crecen hoy (Traverse, 1988).

El nacimiento de la palinología moderna se produjo a comienzos de 1900 cuando investigadores como Gustav Lagerheim sugirieron que el polen fósil podía proporcionar una pista útil para los ciclos de vegetación del pasado. Unos años más tarde su discípulo Lennart von Post agregó el uso de normas estadísticas y estableció la teoría básica del análisis de polen (Faegri e Iversen, 1975).

Entre los años 1920 y 1930 ecologistas y geólogos estaban utilizando polen fósil para fechar depósitos cuaternarios tardíos y reconstruir secuencias de los ciclos ambientales pasados, de sedimentos tomados del fondo de los lagos y de los núcleos de depósitos de turba de toda Europa. Algunos arqueólogos también comenzaron a usar datos sobre el polen de sus sitios de excavación, como una técnica de datación para los elementos que recuperaban.

Hasta la década de 1940 se hicieron esperar otras aplicaciones para los estudios de polen; en los comienzos de esa década los arqueólogos descubrieron que el polen fósil podía decirles algo más que la edad proba-

ble y el entorno ambiental de un sitio. Johannes Iversen fue el primero en mostrar cómo los registros del polen fósil podían proporcionar información sobre la introducción de la agricultura, dietas antiguas, el establecimiento de viviendas y pueblos permanentes, y el comienzo de la domesticación de animales en las regiones de Dinamarca (Iversen, 1941).

A finales de 1940 el geólogo Grimsdale señaló que el polen fósil podía ser usado para correlacionar los sedimentos de edad similar en depósitos subterráneos profundos, en áreas que estuvieran siendo probadas para la exploración petrolera. Después de refinar esta nueva aplicación de la palinología, las compañías petroleras fueron capaces de perforar en busca de petróleo y gas encerrado en depósitos profundos donde las correlaciones estratigráficas fueron una parte fundamental de la exploración y el proceso de recuperación. Así, el período de la década de 1940 fue el punto de inicio en que los palinólogos comenzaron a buscar todo tipo de formas nuevas y creativas de la aplicación de registros sobre el polen, a la resolución de problemas científicos.

Ver imagen 19 en el Anexo fotográfico

c) Palinomorfos. Producción y dispersión del polen

La producción de polen y esporas es una consideración importante en el estudio de la palinología forense. En primer lugar, si uno sabe cuál es la producción esperada y los patrones de dispersión de esporas y polen (llamado la lluvia de polen) para las plantas en un área determinada, entonces se sabrá qué montaje de polen debería encontrarse en las muestras obtenidas de ese lugar. Si un palinólogo examina una muestra de material (por ejemplo, barro, tierra, ropa, etc.) que cree que procede de una región geográfica específica, el conjunto esperado de polen y esporas no se va a encontrar, o si el polen y otros tipos de esporas están presentes en un número inusual, los resultados sugerirán que algo está mal. Un ejemplo así es el patrón "fuera de lo común", que da claves al palinólogo forense y sugiere que debería buscar las razones por las que la muestra es diferente del patrón esperado de polen. Como cualquier detective, el palinólogo debe utilizar el conocimiento de su disciplina para vincular una muestra específica de polen a una localidad o evento preciso. El conocimiento de la dispersión y la productividad del polen a menudo desempeña un papel importante para ayudar a resolver estos problemas. Hay una serie de métodos diferentes por los cuales las plantas dispersan su polen o sus esporas. Muchas angiospermas con flores que viven completamente sumergidas en agua liberan su polen debajo de ella y dependen de las corrientes para transportar el polen de la antera masculina al estigma femenino de una flor vecina. Este modo de transporte, como el viento, es un método de polinización. Por esta razón, estas plantas tienden a tener altos niveles de productividad de polen con cada antera, produciendo miles de granos.

Sin embargo, dado que estas plantas producen tipos de polen que consisten únicamente en una pared de celulosa de una sola capa, el polen casi nunca se conserva en los sedimentos de lagos y en general se oxida si se lo extrae del agua. Debido a estas limitaciones, estos tipos de polen son de poco valor potencial para el trabajo forense.

Un pequeño grupo de plantas llamado "autógamas", porque se autopolinizan, es tan eficiente que se necesita poca producción de polen. La mayoría de las plantas en esta categoría producen menos de 100 granos de polen por antera. El polen de estas plantas raramente se dispersa en la atmósfera a pesar de que se conserva bien y tiene una pared exterior duradera, llamada exina, hecha de un compuesto químico estable llamado *sporopollenin*. Al igual que el polen producido por las plantas sumergidas, el polen de las plantas autógamas generalmente es de poco valor en el trabajo forense, ya que existe en una cantidad mínima en los depósitos de la mayoría de las regiones.

En un gran número de plantas, llamado plantas "zoogámicas", la polinización depende del transporte de polen de las anteras de una planta al estigma de otra por algún tipo de insectos (por ejemplo, abejas, avispas, escarabajos, polillas, hormigas) o animal (es decir, colibríes, lagartijas, murciélagos que se alimentan de néctar, u otros pequeños mamíferos). El polen de las plantas zoogámicas generalmente tiene una exina gruesa que ofrece protección esencial contra los cambios de humedad y la posible abrasión durante el transporte.

Debido a la eficiencia de las plantas zoogámicas, la productividad de polen suele ser muy baja, no tanta como la que se encuentra entre las plantas autógamas. El valor potencial del polen zoogámico en el trabajo forense es excelente por dos razones: en primer lugar, los granos de polen zoogámico tienen algunas de las exinas más durables, esto significa que sus granos a menudo permanecen conservados en los depósitos durante largos períodos y generalmente son menos susceptibles a la destrucción que los granos de polen dispersados por otros métodos; en segundo lugar, el polen zoogámico se produce en bajas cantidades y por lo tanto no es normalmente un potencial contaminante encontrado en la lluvia de polen de una zona. Este último punto es bueno y malo: es bueno porque si el polen de una especie de planta zoogámica se encuentra en una muestra forense, hay un alto grado de confianza de que el polen pertenezca a la muestra y no sea un contaminante de la atmósfera; es malo porque tan poco polen es producido por cada planta zoogámica que las posibilidades de su polen de entrar en alguna de las muestras se reducen.

La última categoría de polen es el tipo de polinización (por el viento) de las plantas anemófilas. Este grupo incluye una amplia gama de productores de polen, como las gimnospermas y un número significativo, pero no una mayoría, de las angiospermas. También se incluyen en este grupo a las plantas que producen esporas, como los hongos, helechos y musgos.

Debido a que la polinización del viento es el método de dispersión más ineficiente y más arcaico, las plantas anemófilas deben producir grandes cantidades de polen o esporas y producir granos de peso ligero que viajará con facilidad en las corrientes de aire. Algunas especies de plantas polinizadas por el viento, como la marihuana (cannabis), producen hasta 70.000 granos de polen por flor. Cuando los grandes campos de estas plantas crecen juntos, sus flores pueden producir millones de granos de polen que se dispersan diariamente durante la época de floración. Por lo tanto, existe una probabilidad alta, como en el ejemplo del polen de marihuana, de que estos tipos de polen se acumulen y se mezclen con todos en las proximidades de estas plantas en flor.

Muchas de las plantas que producen granos polinizados por el viento, como la ambrosía, céspedes, algunas especies de eucaliptos, pinos, robles, nuez, nogal, abedul, aliso y olmo, producen anteras que contienen entre 10.000 y 100.000 granos de polen cada uno. Incluso los tipos de anemófilas que producen pequeñas cantidades de polen seguirán produciendo más de 10 veces la cantidad de polen por planta, que casi todas las especies de plantas zoogámicas.

Debido al gran volumen de polen producido por las plantas anemófilas, sus tipos son los más comunes encontrados en la lluvia de polen de la mayoría de las regiones del mundo. Como tales, sus tipos son los más comunes en el registro de polen fósil de una región y también son los tipos más comunes analizados para estudios forenses.

d) Velocidad de caída del polen

Otro factor que determina la cantidad de polen que llega a ser realmente parte de la lluvia de una región es la "velocidad de caída" o velocidad con la que un grano de polen cae a la tierra. El polen de la marihuana, el aliso, el enebro y el abedul es muy pequeño y liviano. Su tasa de caída media es de unos 2 cm por segundo. Por otra parte, el maíz y el abeto producen polen que es grande y pesado y tiene una tasa de caída 15 veces más rápida que los más livianos. Utilizando sólo estos dos ejemplos se puede ver que el área de distribución potencial de maíz y granos de polen de abeto será mucho menor y más restringida que el área cubierta por la dispersión de las plantas de la primera categoría. Desde el punto de vista de los estudios forenses, esto significa que cuando se encuentran muestras de granos de polen de maíz y tipos similares, grandes y pesados, están indicadas las pequeñas áreas de dispersión y puede ser posible mayor precisión en la identificación de la región de origen.

e) Degradación del polen

Al examinar las muestras forenses, los palinólogos deben considerar cuánto y qué tipos de polen pueden faltar debido al diferencial de preservación y degradación. Los estudios realizados por Havinga (1964,1984), Sangster y Dale (1961, 1964), Holloway (1981), Hall (1981) y Bryant y Schoenwetter (1987), han señalado que no todos los tipos de polen se conservan igualmente bien en los sedimentos. Algunos tipos, como el césped, materiales compuestos y el pino, son muy duraderos y permanecen a menudo mucho tiempo después de que otros granos de polen se han oxidado o se han degradado tanto que ya no son reconocibles. A veces, sin embargo, las muestras de polen utilizadas en los estudios forenses son de depósitos modernos y por lo tanto la degradación o la conservación diferencial no suelen ser un problema.

f) Reciclaje del polen

Es otro problema que hay que tener en cuenta al analizar las muestras forenses. A veces el polen que erosiona de los depósitos anteriores puede llegar a ser incorporado en las muestras contemporáneas, como el ejemplo de los 20 millones de años de edad de los granos de polen del mioceno, que se convirtieron en un factor clave en el estudio forense de Austria. En algunos casos, el polen reciclado puede proporcionar información valiosa sobre lugares específicos y puede emplearse para identificar las regiones con precisión. En otros casos, puede ser de las variedades modernas y, por tanto, oscurecer/confundir los datos deseados.

Dependiendo de lo mal que los granos de polen reciclado han sido degradados, pueden o no ser capaces de estar separados de la lluvia de polen original. Si los granos de polen reciclados no se pueden distinguir de la lluvia de polen normal, la adición de polen reciclado puede enmascarar la verdadera identidad de un lugar de destino. Esto podría ocurrir cuando el conjunto combinado de polen (moderno + reciclado) sugiere una flora muy diferente de las reconstrucciones florales basadas en muestras de control de polen moderno recogidas en el mismo lugar.

Hay varias técnicas que los palinólogos utilizan para identificar el polen reciclado en las muestras estándar. En un estudio reciente de la lluvia de polen de Arizona, O'Rourke (1990) separó el polen recientemente liberado del polen reciclado, mediante la tinción con fucsina básica y, a continuación, señaló qué granos contenían una intina, y cuáles no. Los que todavía tenían una intina se contaron como parte de la lluvia de polen reciente; los que no fueron considerados polen reciclado.

Otras técnicas de uso frecuente para identificar polen reciclado o reelaborado en las muestras estándar es la tinción diferencial y microscopia de fluorescencia (Traverse, 1988). En un estudio conducido por Stanley (1966) se dio cuenta de que los granos de polen de reciclado absorbieron diferentes cantidades de colorante safranina -O. En algunos casos absorbieron menos tintura y en otros casos más. Esto llevó a Stanley a proponer esta técnica como un método útil para aislar reciclados de polen en las

muestras normales. La fluorescencia también se ha utilizado con cierto éxito para reconocer cuáles granos son reciclados y cuáles no. El polen y otros tipos de materiales orgánicos en diferentes estados de conservación, o en diferentes etapas de carbonización, emitirán una luz de intensidad y longitud de onda variables. Estas diferencias se pueden detectar bajo la luz ultravioleta durante los estudios de fluorescencia y hacer que los granos de polen aparezcan como diferentes matices de color.

La teoría de usar las dos técnicas se basa en la creencia de que el polen reciclado tiene diferentes historias de depositación que la del polen normal y por lo tanto hará que los granos reciclados aparezcan como diferentes. Se ha encontrado que, aunque cada una de las técnicas mencionadas es útil, y que cada una ha ayudado a separar polen moderno del reciclado en algunas muestras forenses, en cada caso, siempre se ha procedido con mucha cautela y con reservas en cuanto a los resultados analíticos. Se ha encontrado que no todo el polen reciclado se comportará como en los casos indicados anteriormente.

En experimentos realizados en 1977 en el Laboratorio de Palinología A&M, en Texas, se agregó polen moderno y "espigas" de esporas a las muestras de polen de edad conocida recogidos de la turba del pantano Boriack. Después de procesar y contar el polen en las muestras de turba, se añadió polen actual y espigas de esporas a otras muestras de turba de las mismas muestras y luego se procesaron. El estudio fue hecho por un palinólogo que no sabía qué tipo de polen y esporas modernas se habían añadido a las muestras fósiles. Los resultados de su contabilidad demostraron que para las muestras de turba examinadas, que tenían edades comprendidas entre 2000 y 15.000 años, sólo un poco del polen añadido podía ser reconocido utilizando tintura o fluorescencia.

g) Recolección y extracción de palinomorfos de muestras forenses

En palinología forense la recolección y extracción de polen y esporas de conjuntos de muestras son aspectos críticos. La recolección inadecuada y/o la contaminación accidental de las muestras forenses producirán resultados inexactos. Esto no sólo puede conducir a la desinformación, sino que la recopilación y el manejo inadecuado de las muestras forenses pueden utilizarse para rechazar los datos resultantes como prueba válida.

Idealmente, las muestras de polen deberían ser recogidas por un palinólogo competente con conocimientos en el campo de la ciencia forense. Estas personas saben cómo recoger las muestras libres de contaminación. Además, sabrá qué precauciones se deben tomar para asegurar que las muestras permanezcan libres de contaminación durante el almacenamiento, extracción en fase de laboratorio, y durante el proceso de análisis. Si no es posible disponer de las muestras recogidas por un palinólogo forense, hay otras pautas a seguir para garantizar que tales

muestras se recojan adecuadamente y se mantengan libres de contaminación. También es importante llevar un registro preciso de cómo se recoge cada muestra y lo que ha sucedido a cada una a partir del momento de la recolección hasta ser examinadas.

La seguridad debe ser una preocupación esencial. Para garantizar la admisibilidad de las pruebas judiciales será fundamental que el palinólogo que trabaje con la muestra pueda afirmar que la misma fue almacenada en un lugar cerrado y seguro. Si cualquier indicio de contaminación, ya sea natural o intencionado, puede ser probado o implica que haya sido posible, entonces habrá duda con respecto a los resultados y las interpretaciones resultantes.

h) Recolección de muestras

Al determinar qué tipo de materiales se deben seleccionar para el estudio forense de polen, se deben considerar tres aspectos: 1) qué tipo de materiales deben ser recogidos; 2) cómo deben ser recogidos y por quién, y 3) cómo deben ser tratadas las muestras una vez que se recogen. La consideración más importante a tener en cuenta por la persona que recoge muestras forenses es asegurarse de que todas las herramientas a emplear y todos los contenedores de recolección estén libres de contaminación por polen. Si se utilizan procedimientos inadecuados de toma de muestras, o se emplean herramientas contaminadas durante la recogida, o las muestras no son colocadas en contenedores sellados y estériles, el valor de una muestra se verá comprometido.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de los materiales comunes que a menudo se incluyen en las muestras forenses para el polen:

1. Tierra y suciedad

La suciedad, el barro o polvo, que se supone están asociados con un crimen, en general son buenas fuentes de información sobre el polen. Las muestras de suciedad recogidas de la ropa, piel, zapatos, o el coche de una víctima, pueden ser útiles en la vinculación de la víctima con el lugar donde ocurrió el hecho. Lo mismo podría decirse de cualquier sospechoso que se cree está asociado con un crimen. El barro encontrado en un vehículo robado, o usado en un delito, podría vincular a éste con la escena de un crimen o enlazarlo con el lugar de donde fue robado. La suciedad que es encontrada asociada con otros objetos u otros tipos de medios de transporte (por ejemplo, bicicleta, motocicleta, bote, etc.) que se considere vinculada con un crimen también podría producir evidencias de polen útiles para vincular esos elementos con un delito específico o un lugar geográfico específico.

En cada uno de estos ejemplos se debe tener mucho cuidado al tomar muestras para el análisis forense. En los casos donde la suciedad y el ba-

rro se han secado sobre los objetos, se debe usar un pincel suave y limpio para limpiar la superficie antes de la recolección. Se ha determinado que los pinceles para aplicar cosméticos faciales son los más adecuados para este tipo de trabajo. Este procedimiento eliminará la contaminación superficial de polen ambiental que se haya asentado en la tierra o el barro de la muestra después de que se secara. El pincel que se use debe estar limpio y libre de polen. Ello se puede lograr mediante el lavado a fondo con una mezcla de agua destilada y detergente y luego el enjuagado, primero con agua destilada y luego con alcohol antes del uso. Es conveniente tener un suministro de cepillos de repuesto en una bolsa plástica separada, estéril y sellada. Sólo el agua destilada se debe utilizar para la limpieza de los pinceles, ya que muchos sistemas de agua pueden estar libres de microbios, pero no libres de polen.

El colector debe usar un par limpio de guantes quirúrgicos estériles, para asegurar que el polen en la mano no contaminará la muestra. La recolección real debería consistir en recoger la suciedad o los fragmentos de barro, raspando suavemente con un instrumento limpio. El tamaño de la muestra puede variar: las pequeñas son más fáciles de proteger de la posible contaminación, sin embargo, cuanto más pequeña, más difícil será para el palinólogo extraer un número suficiente de polen para su análisis. En caso de duda, es preferible recoger un poco más de muestra de lo necesario. Si es posible, recoger 15 a 30 gramos de suciedad, ello sería una cantidad recomendable.

Es conveniente el uso de bolsas de plástico para el guardado del material extraído, a pesar de que hay dos posibles inconvenientes. En primer lugar, si una muestra de suciedad, barro o cualquier otro material está húmeda, no secará correctamente si está sellada dentro de la bolsa. La solución a esto es sellar la bolsa cuando se recoja la muestra y luego abrirla con cuidado y colocarla en un horno a fuego lento hasta que la muestra se seque. La otra alternativa consiste en añadir alcohol suficiente para matar los microbios que pueden causar daños al polen de la muestra.

El segundo inconveniente con el uso de bolsas de plástico es la electricidad estática. Cuando las condiciones atmosféricas son de sequedad, podría ser difícil conseguir el polvo en una bolsa de plástico llena de estática. Si después de varios intentos todavía hay demasiada estática en la bolsa de plástico, poner el polvo en un sobre de papel limpio. Después, sellar el sobre y ponerlo dentro de la bolsa sellada. A veces los sobres contienen polen accidentalmente incorporado en el proceso de fabricación de papel.

En situaciones en las que sólo está presente el polvo, y no hay suficiente polvo para barrer dentro de algún tipo de contenedor, entonces se debe tratar de recoger muestras de polen utilizando cinta adhesiva transparente. Un rollo de cinta adhesiva de una pulgada de 2,5 cm de ancho,

aproximadamente, es ideal. Usar guantes estériles y arrancar pedazos largos de cinta para pegarlos en las superficies objeto de muestreo. A continuación, retirar la cinta con cuidado, con el polvo adherido, y unir los extremos, es decir, una media de cinta pegada sobre la otra mitad. Esto protege la superficie de muestreo de la cinta y evita una mayor contaminación de las superficies pegajosas. Cuando el muestreo se ha completado, colocar cada cinta por separado, en bolsas de plástico estériles, con cierre hermético para evitar la posible contaminación. Una vez en el laboratorio, los palinólogos forenses utilizan solventes para aflojar el material pegado a la cinta.

El pelo/cabello es una trampa de polen excelente. Cuando el viento sopla a través del pelo, el polen queda atrapado en los espacios abiertos entre los filamentos individuales. En los seres humanos, la adición de varios tipos de aerosoles para el cabello y de tónicos hace pegajosa la superficie del pelo y proporciona una mejor trampa para el polen. Para la obtención de muestras, el cabello/pelo debe ser cuidadosamente lavado con detergentes y agua tibia y destilada. Este proceso afloja el polen atrapado y lo libera de las superficies pegajosas. Una vez recolectada, el agua de lavado se debe almacenar en un recipiente estéril que esté bien cerrado y congelado o conservado a una temperatura cercana a la congelación, en un refrigerador para retardar el crecimiento de microbios. Si la refrigeración no es posible, un método de almacenamiento alternativo consiste en añadir alcohol suficiente a la muestra para evitar la proliferación de bacterias y hongos. Por lo general, si la solución contiene aproximadamente 10% de alcohol, será suficiente para matar los microbios que puedan dañar el polen. No usar peróxido de hidrógeno en lugar de alcohol, porque el peróxido de hidrógeno es un oxidante que daña el polen.

La toma de muestras de pelo no debe estar restringida/limitada a los seres humanos. Las alfombras de piel encontradas en la escena de un crimen podrían haber sido utilizadas para limpiar los zapatos y por lo tanto pueden ser ricas en polen. Ovejas, vacas u otros animales de pelaje, robados, pueden rastrearse hasta su dueño original a través del análisis del polen de muestras de pelo lavado, o afeitado de sus cuerpos. El pelo de abrigos de piel, mantas, sombreros de fieltro, o pieles de ovejas empleadas a veces como asientos de vehículos, actúan como excelente trampa de polen y deben ser considerados por su potencial valor forense. Telas, bolsos tejidos, cestas, sogas, ropa y los materiales tejidos en general tienen muchas de las mismas propiedades como trampas de polen que el pelo. El polen en la atmósfera se coloca constantemente en superficies expuestas. El material tejido expuesto al aire se cubre de polen, que queda atrapado en las fibras del mismo. Las bolsas de arpillera o de tela tejida utilizadas para el transporte de productos se exponen a la lluvia de polen de la región donde sus contenidos están siendo producidos y enva-

sados. Así, los granos de café recogidos y empaquetados en bolsas de arpillera en Costa Rica contendrán un conjunto de polen representativo de Costa Rica. Del mismo modo, los sacos de arroz empaquetados en Texas o Louisiana deben contener un conjunto de polen de esas regiones.

Si el artículo completo no puede colocarse en una bolsa estéril de plástico y sellada, entonces, cada elemento de muestra debe manejarse con trozos de cinta adhesiva de celofán transparente. Se debe utilizar el mismo procedimiento explicado anteriormente para la toma de muestras de polvo. Sin embargo, dado que la mayor parte del polen a menudo se ve atrapado entre la trama de los tejidos, es mucho mejor dejar que un palinólogo forense examine el elemento completo (es decir, saco de arpillera, suéter, camisa, pantalones, etc.) siempre que sea posible. El muestreo de la superficie de los tejidos mediante el procedimiento de cinta de celofán sólo debe usarse cuando el elemento en cuestión no puede ser retenido como evidencia para su posterior examen.

Las cestas de mimbre utilizadas para transportar productos suelen contener granos de polen atrapados en los espacios entre los tejidos. Estos tipos de polen son frecuentemente indicativos del lugar donde se hicieron las canastas. Asimismo, los productos almacenados en cestos (té, marihuana, hojas de coca, granos de café, etc.), a menudo contienen polen que se queda atrapado en el tejido de la cesta. Al igual que las cestas y sacos tejidos, el tejido de prendas de vestir también se convierte en una trampa natural para el polen ambiental (atmósfera). Esto es especialmente cierto en tejidos gruesos de prendas de arpillera, algodón o lana, donde las fibras gruesas actúan como trampas del polen natural.

Cuando se toman muestras del polen atrapado en bolsos tejidos, cestas o artículos de vestir, el elemento también debe ser colocado en una bolsa plástica grande y estéril, sellada. Más tarde, en el laboratorio, un palinólogo forense puede quitar el polen de estos artículos lavándolos con cuidado en una solución de agua destilada caliente y jabonosa. Como se describió anteriormente, este proceso desalojará el polen atrapado. Una vez retirada, la solución de lavado debe ser tratada por su contenido de polen o congelada hasta que pueda ser procesada.

2. Materiales de embalaje

Muchos productos están envasados con diversos tipos de materiales de embalaje. En los casos donde los productos son envasados al aire libre, o en los depósitos al aire libre, el polen del ambiente atmosférico puede entrar en el área de empaque y depositarse en el material de embalaje utilizado. Más tarde, un análisis de polen de estos materiales podría revelar pistas sobre la localización donde determinados productos fueron elaborados o envasados.

Las aspiradoras pequeñas y portátiles son herramientas eficaces para recoger el polen de los materiales de envasado. La principal ventaja de ellas es que pueden operar sobre una gran superficie de forma rápida y la succión que producen generalmente desalojará la mayoría del polen atrapado y lo llevará a la trampa interna de la aspiradora. Otra de las ventajas de una aspiradora es que permite a una persona recoger muestras fácilmente del revestimiento interior de un contenedor y, sobre todo, de las esquinas de cajas de madera o cartón. Cuando se utiliza esta técnica es importante que se empleen bolsas de aspiradora especiales y estériles y que la aspiradora se limpie a fondo entre cada uso. Son convenientes las bolsas de fibra de vidrio o de papel de filtro, pero las de algodón se pueden utilizar si se las ha limpiado a fondo. La fibra de vidrio y las fibras del papel se disuelven rápidamente en ciertos ácidos, este proceso deja el polen recolectado en buen estado.

3. Drogas ilegales

Una de las aplicaciones más útiles de las muestras de polen forense está en la búsqueda, e identificación de drogas ilegales. A menudo, es importante vincular a individuos concretos con los envíos específicos de drogas ilegales, determinar si los medicamentos encontrados en varios lugares son parte de la misma expedición original, o puede ser importante rastrear e identificar los envíos de drogas procedentes de un laboratorio específico de tratamiento o una localización geográfica determinada.

Como se mencionó anteriormente, las plantas de marihuana son uno de los productores de polen más prolíficos de la naturaleza. Debido a que el crecimiento, la cosecha y el empaque de la marihuana se produce muchas veces al aire libre, grandes cantidades de polen de marihuana, así como el polen de lluvias locales, será incorporado como parte del material de embalado. Por otra parte, si las plantas de marihuana se cultivan, cosechan, procesan y envían desde lugares que están completamente en el interior, algunos ejemplos de la lluvia de polen local quedarán incorporados en el producto cosechado; ello hace que sea difícil determinar la ubicación geográfica exacta donde las plantas se cultivaron o procesaron. Debido a que las plantas de marihuana son prolíficas en su capacidad de producir y dispersar el polen, todo lo que sus granos de polen contacten estará contaminado.

En un ejemplo relacionado, el proceso de convertir las hojas de coca en cocaína se inicia cuando las hojas de la planta de coca se cosechan, se secan y procesan al aire libre, y luego se refinan en cocaína. Dado que la mayoría de esto ocurre cerca o en el lugar donde las hojas de coca se cultivan, el polen de otras plantas en la zona debería quedar reflejado en las muestras de la cocaína refinada. Del mismo modo, el primer paso en la

producción de heroína es marcar la superficie externa de la vaina de una semilla de amapola inmadura. Esta marcación produce una savia pegajosa que se convierte en una trampa de polen excelente hasta que se seque. Hasta donde se sabe, la recuperación de polen de cocaína, crack o heroína nunca se ha intentado, pero en teoría estos productos contienen polen.

Bolsas, cestas, materiales de embalaje, vehículos, la ropa de las personas, e incluso el papel moneda asociado a las transacciones de droga son fuentes potenciales para la recolección de muestras de polen para estudios forenses. La información resultante de los estudios de polen podría vincular a las personas u objetos con los envíos de drogas ilegales, puede determinar si varios traslados tienen un origen geográfico diferente o común, y muchas veces puede determinar con precisión el origen geográfico donde las drogas fueron fabricadas o elaboradas. Por último, hay que recordar que la recolección de polen de muestras forenses relacionadas con transacciones de drogas debe llevarse a cabo con el mismo grado de cuidado y habilidad que otros tipos de materiales.

4. Estómago e intestinos

En situaciones delictivas en las que ha habido muertos, las muestras forenses de polen deben recogerse, durante la autopsia, del estómago, intestino delgado y colon. El tiempo transcurrido entre la muerte de una persona y el momento en que se lleva a cabo una autopsia no debe afectar la conservación o la validez de los resultados obtenidos.

Cuando los investigadores encuentran que los restos de una víctima se han descompuesto severamente, o que la víctima fue enterrada y el único material que permanece son los restos óseos, las muestras de polen igual deben recogerse. En los entierros se debe recolectar la capa delgada en contacto real con la parte inferior de los huesos del esqueleto en el pecho y la región pélvica. Estas muestras podrían proporcionar pistas sobre la época del año en que la víctima fue enterrada o podrían contener polen que había estado en la ropa de la víctima en el momento de la muerte. También deben recogerse muestras de tierra de la región dentro del área pélvica, porque estas muestras pueden revelar pistas sobre la dieta de la víctima y, posiblemente, donde la misma vivía.

Las muestras forenses de polen de los entierros se deben recoger con el mismo grado de atención antes mencionado. Siempre que sea posible, es recomendable recolectar 10-20 gramos de tierra con instrumentos libres de contaminación y luego sellados en bolsas de plástico herméticas. Si la tierra está húmeda, deben considerarse los procedimientos antes mencionados para prevenir posteriores daños del polen por parte de los microbios del suelo. La recolección de muestras de polen forense durante la autopsia debe hacer hincapié en la no contaminación entre muestras.

Al igual que con las muestras de suelo, las de materia fecal o del estómago deben consistir en 10-20 gramos de material siempre que sea posible.

Un examen de polen de materiales recogidos del estómago y/o del tracto intestinal de una víctima puede proporcionar una variedad de pistas que no son evidentes a partir de otros tipos de estudios. Como se mencionara, el polen del ambiente está en constante sedimentación, por lo tanto, es posible que algunos de los granos de polen puedan haberse asentado en los alimentos y bebidas consumidos por la víctima. Si es así, el polen atrapado en el estómago y los intestinos puede proporcionar pistas sobre dónde había estado el individuo justo antes de la muerte. Además, los granos que a menudo se incorporan accidentalmente en muchos de los alimentos manufacturados que consumimos podrían ofrecer pistas sobre la dieta de la persona durante los últimos días o incluso semanas antes de la muerte.

Diversos estudios de polen (Kelso, 1976; Williams-Dean, 1978) revelan que los distintos tipos de polen permanecen atrapados en el tracto digestivo humano durante diferentes períodos. El polen del brócoli, por ejemplo, es muy pequeño y tiene una ornamentación en forma de reticulado en la superficie, factor éste que permite que sea fácilmente atrapado en los pliegues del estómago e intestino. Pruebas experimentales han demostrado que después de comer una comida que incluye brócoli, habrá una concentración inicial alta de polen en las heces de esa persona dos días después. Luego de ello, el porcentaje de polen de brócoli en las heces sigue siendo alto durante aproximadamente una semana más, antes de que comienza a declinar. Sin embargo, las pruebas muestran que los restos de polen todavía son detectables en heces producidas hasta un mes después de la ingestión inicial.

5. Materiales diversos

Hay muchos otros materiales que pueden utilizarse para estudios de polen. Como se mencionó anteriormente, el polen es uno de los contaminantes más comunes en nuestra atmósfera, se instala fuera de ella y queda atrapado en casi cualquier superficie y puede incorporarse en cualquier sedimento.

Los ejemplos de otros tipos de materiales adecuados para el estudio forense de polen son casi infinitos. Algunos ejemplos adicionales incluyen: 1) la miel, para verificar supuestas fuentes florales y lugares geográficos específicos; 2) frutos secos (albaricoques importados, ciruelas o pasas de uva) para determinar su país de origen; 3) té, para determinar su país de origen; 4) el azúcar en bruto, para autenticar su origen geográfico; 5) café, para validar el país de origen mediante el examen de polen atrapado en el tejido de bolsas de arpillera utilizadas para empaquetar los granos

de café; 6) sisal, para confirmar que la soga importada de sisal procede efectivamente del país supuestamente de origen; 7) monedas y billetes, para validar si las monedas antiguas o el papel moneda son de su país de origen o son falsos o, en algunos casos, si han estado en contacto con el polen de marihuana; 8) tabaco, para determinar si es de fuentes extranjeras o nacionales; 9) muebles antiguos, para confirmar la edad y posible origen de muebles antiguos que supuestamente provienen de un lugar geográfico específico, y 10) filtros de aire, para indicar lugares que los aviones privados, camiones o coches han visitado.

6. Muestras de control

Cada vez que se recogen muestras de polen, también es fundamental recoger "muestras de control". Las muestras de control son las muestras de suciedad/tierra de la superficie de la zona donde se ha cometido un delito o de una región donde se cree que un crimen ha sido cometido. Las muestras de control las utilizan los palinólogos forenses para formar una "línea base" de datos sobre el conjunto de polen esperado en un sitio dado. Una vez que la línea base de información se determina a partir de las muestras de control, entonces el polen recuperado a partir de muestras forenses se puede comparar con los datos de control para ver si ambos coinciden.

Un ejemplo de por qué las muestras de control son importantes se puede ilustrar de la siguiente manera. Si se comete un delito en un lugar boscoso donde las plantas dominantes son el abedul, el aliso, el pino y el arce, las muestras de control de la suciedad/tierra de la superficie recogidas en esa región deberían revelar un registro de polen que contiene distintos porcentajes de los principales tipos de polen y restos de otros componentes menores de polen. Más tarde, si los zapatos lodosos de un sospechoso, o el barro del coche de un sospechoso se recoge y analiza, el conjunto de polen en las muestras forenses podría coincidir con la asociación de polen encontrada en las muestras de control. Sin embargo, si se desconoce qué tipos de polen y en qué porcentajes se debería esperar encontrar en la escena del crimen, es difícil argumentar en los tribunales que el polen encontrado en los zapatos de un sospechoso o en el coche vincula realmente a esa persona con la escena del crimen.

Es difícil saber cuántas muestras de control recabar de la escena de un crimen. Cuanto más se recoge y examina, más información se tiene sobre el polen en el lugar donde se cometió el crimen. Debido a que el polen en cada muestra de control puede variar ligeramente en los tipos y porcentajes encontrados, su registro combinado ofrece un rango potencial de variación de polen para la escena del crimen. Este conocimiento hace que los resultados de la comparación de polen de las muestras con

locaciones reales sean más seguros. Ello es especialmente cierto cuando se puede demostrar que los datos de la muestra forense caen dentro del rango de variación de polen que se esperaba; poseer sólo una muestra debilita la seguridad de los datos de polen cuando contienen conjuntos de polen similares, pero no exactamente iguales, a los de la muestra de control único.

Los factores de costo y tiempo también deben ser considerados. Una política prudente podría ser recoger tantas muestras de control como lo permita el tiempo del que se dispone, sin embargo, es importante ser selectivo a la hora de analizarlas. Idealmente, si se recoge un número de muestras de control en la escena de un crimen, y se da a un palinólogo forense la ubicación exacta y la descripción del lugar donde cada una fue recolectada, entonces pueden ser seleccionadas para estudio el menor número y las más apropiadas.

La recolección debe considerar los siguientes criterios. En primer lugar, y de ser posible, recoger una muestra de control lo más cercana al lugar exacto donde ocurrió el hecho, si es que se conoce. En segundo lugar, tomar muestras adicionales de control de las zonas cercanas al escenario. Si el área que rodea en un kilómetro de distancia se compone de vegetación similar, entonces serían suficientes una o dos muestras de control de cada uno de los cuatro puntos cardinales, a unos 500 metros de la escena del crimen. Si el área dentro de un radio de un kilómetro contiene diferentes tipos de vegetación (por ejemplo, pastizales abiertos, campos agrícolas, zonas boscosas, etc.), entonces se deben recolectar una o dos muestras de cada zona de vegetación diferente.

La manera ideal para recoger muestras de control es utilizar el método del "pellizco" (Adams y Mehringer, 1975). Esto puede hacerse mediante la selección de un área de aproximadamente 50 a 100 metros cuadrados y yendo y viniendo recogiendo pizcas de polvo/tierra en toda la zona. A medida que se recoge cada una, se debe combinar en una sola bolsa estéril de plástico y luego sellarse. La razón de la combinación es para evitar la posibilidad de sobrerrepresentación de un solo tipo de polen. Las pruebas realizadas con este método revelan que en la mayoría de los casos son necesarios más de ocho "pellizcos" de polvo/tierra para cada muestra de control antes de que se convierta en un conjunto fiable de polen de la flora regional. En general, la recogida de 10-20 pizcas de suciedad/tierra por cada muestra de control de la zona de muestreo es suficiente para garantizar exactitud. Al igual que con la toma de muestras forenses, se deben utilizar guantes limpios y quirúrgicos para la recolección, o lavarse cuidadosamente las manos con detergente antes, y entre cada muestra de control. Este procedimiento evitará la contaminación por polen potencial de muestras a medida que se están recogiendo.

i) Extracción

Una de las partes más importantes de un estudio de polen forense es el proceso de extracción. El procedimiento de extracción de laboratorio es un proceso destructivo; a fin de concentrar el polen en muestras forenses suele ser necesario disolver o destruir todo tipo de detritus (restos que quedan de la desintegración y deterioro de vegetales y animales; residuos de descomposición de un cuerpo; término dado para un fragmento de material orgánico generalmente proveniente de la descomposición animal o vegetal) que no sea de polen. En la mayoría de los casos esto significa que las muestras de polen forense no estarán disponibles posteriormente para otros tipos de pruebas forenses. Si la muestra se va a utilizar para múltiples pruebas forenses, entonces las demás pruebas deberán ser concretadas primero y por último la de polen. Por otra parte, cuando estos múltiples procedimientos se utilizan en una muestra única, hay una mayor probabilidad de que se produzca contaminación.

1. Personal

El proceso de extracción del polen es tan importante como la recolección o la fase de análisis. La clave para la toma adecuada de muestras es contar con personal capacitado y luego asegurarse de que las muestras siguen estando libres de contaminación hasta que se procesen en un laboratorio. El mismo procedimiento es esencial durante la fase de extracción de polen. Las extracciones de polen de muestras forenses deben ser realizadas por un palinólogo forense competente, familiarizado con los problemas de trabajar con pequeñas cantidades de material de muestra. La experiencia previa del palinólogo, la reputación profesional y la reputación de la instalación utilizada para la extracción de laboratorio son factores importantes a considerar.

2. Laboratorio

Un laboratorio de polen forense debe estar libre de contaminación y examinarse a intervalos regulares para garantizar que se mantiene libre de polen ambiental y contaminación de esporas. Toda la cristalería y otros equipos deben limpiarse a fondo y se recomienda utilizar solamente agua destilada para cada etapa del procedimiento de extracción. Los procedimientos de extracción que aseguren la recuperación máxima de polen y la mínima posibilidad de pérdida de polen deben ser los únicos que se empleen. En algunos casos, habrá que realizar comprobaciones iniciales utilizando tinción para determinar si algo de polen y de esporas en una muestra forense todavía tiene intina o citoplasma. Como se mencionó anteriormente, estos criterios se utilizan a veces para distinguir el polen fresco del fósil. Este tipo de examen de preextracción puede ser útil para determinar si una muestra pudo o no haber sido contaminada por polen reciente.

Los registros escritos cuidadosamente deben mantenerse para cada muestra, y deben registrarse en un libro de registro, notaciones precisas de los procedimientos y observaciones para cada paso del proceso de extracción. Es importante recordar que cada paso de un proceso de extracción y cada observación puede necesitar justificarse, explicarse y defenderse en un tribunal de justicia.

3. Procedimientos de extracción

La extracción del polen de muestras forenses requiere habilidad, paciencia y experiencia. Hay muchos procedimientos de extracción de polen conocidos y utilizados por palinólogos; algunos de ellos han demostrado ser útiles en la labor forense, otros no. En gran medida, los procedimientos de extracción deberán ser modificados y adaptados al tipo de material que está siendo examinado y la cantidad de material en una muestra de polen forense. Cuando hay gran cantidad de material, los procedimientos normales de extracción utilizando procedimientos estándar, como acetólisis, solución de Schulze, ácido nítrico, ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico, separación altamente densa, y otras técnicas, funcionan bien. Sin embargo, en la mayoría de los casos muy poco material de muestra está disponible para su análisis; por lo tanto, las posibilidades de perder el polen durante el uso de tubos de ensayo de tamaño estándar es un riesgo demasiado grande y debe ser evitado. En estos casos, todo el trabajo de extracción debe hacerse en tubos de vidrio de tamaño muy pequeño (1-5 ml) o en la depresión cóncava de un portaobjetos en forma de gota. Se ha encontrado que, si es necesario, se puede completar todo el proceso, incluso acetólisis, en el dispositivo mencionado en último término.

Cuando se ha empleado la cinta de celofán para recoger una muestra de polen forense, ésta se puede pegar (lado pegajoso hacia arriba) a un portaobjetos de microscopio, usando cinta adhesiva de doble cara. La superficie original expuesta, con el polen todavía adherido, se puede teñir y examinar sin ningún otro tratamiento. A veces, es mejor utilizar un disolvente para remover el polen de las muestras de la cinta adhesiva y luego procesar el material extraído en un tubo de prueba de microtamaño. Ensayo y error y la experiencia previa es la mejor guía para saber cuándo usar una de estas técnicas en lugar de la otra.

4. Otros tipos de muestras de partículas pequeñas

A menudo los palinólogos y otros especialistas forenses (geólogos, expertos en pelos y fibras, botánicos, etc.) trabajarán juntos en el análisis de las muestras. Por ejemplo, una sola muestra de tierra puede contener

palinomorfos mezclados con las diatomeas, otros fragmentos de algas, nanoplancton, radiolarios, cutícula vegetal y fragmentos de tricomas, así como piezas de pelo o fibra. A veces los datos de polen de una muestra de tierra, combinada con datos sobre el suelo y la estructura de la composición, ayudan a comprobar el origen geográfico preciso de una muestra de suelo. Si otros tipos de partículas pequeñas son importantes para el estudio forense general de un caso, entonces los procedimientos de extracción de polen que se usen no deben causar la destrucción de esos otros elementos.

j) Análisis y testimonio

1. Análisis

Una de las principales preocupaciones en los estudios forenses es el potencial de errores de identificación del polen y la subsiguiente mala interpretación de la evidencia. Hay millones de especies de polen y esporas de plantas productoras en el mundo. Ningún palinólogo puede convertirse en una autoridad en todos los tipos de polen y esporas y rara vez una instalación de polen tiene colecciones modernas de polen de referencia; normalmente contiene más de unos pocos miles de taxones de polen y esporas. Además, es raro que un palinólogo tenga un conocimiento práctico de la flora precisa de polen o conjuntos de polen, típicamente encontrados en más de unas pocas regiones del mundo. Ésta es la razón por la que los palinólogos muchas veces presentan resultados en términos de "probable" en lugar de "preciso" cuando se habla de algunas muestras.

2. Testimonio

La mayoría de los resultados e interpretaciones del polen son circunstanciales más que precisos. Su utilidad se basa en su capacidad de asociar a un sospechoso o un objeto con la escena de un crimen, y por implicación muestra que el sospechoso o un objeto puede haber estado involucrado en el hecho. Ésta es una de las razones por las que la información sobre el polen no se ha utilizado más ampliamente como prueba en los tribunales.

Al informar los resultados de las muestras forenses, un palinólogo podría decir que la evidencia del polen "probablemente" indica una localización geográfica específica. Bajo interrogatorio, sin embargo, el mismo podría tener que admitir que, sin pruebas extensas de muchas muestras de control, es imposible afirmar, sin lugar a dudas, que un conjunto específico de polen es absolutamente único. Siempre es posible que algunas otras locaciones o alguna otra región, con similares componentes florales, también pueda tener un conjunto de polen similar.

La evidencia de polen no es como la huella dactilar genética (ADN) mediante la que se puede indicar la probabilidad de que dos muestras

sean idénticas. Aunque cada conjunto de polen es único a su manera, es difícil ilustrar este punto sin necesidad de utilizar complejos cálculos matemáticos que requieren mucho tiempo de muchas muestras de polen de control, y confiar en los programas generados por computadora para mostrar probabilidad estadística. Estos puntos deben ser mencionados y explicados ante el tribunal, pero la fuerza de la evidencia del polen debe centrarse en su capacidad de proporcionar una mayor probabilidad que el promedio, de que los resultados relacionen la muestra de polen con el sospechoso, con la escena del crimen, o vinculen una muestra con una ubicación geográfica específica.

Uno espera encontrar muestras forenses de polen que pueden contener algún tipo distintivo de "marca registrada", como el polen o las esporas de alguna especie única de planta sólo encontrada en una región geográfica limitada.

k) Resumen

Todo el potencial de la palinología forense permanece no explotado e ignorado en la mayoría de los países. En la actualidad, Nueva Zelanda es líder mundial en el uso de la palinología forense y en su aceptación de la evidencia del polen en los casos judiciales civiles y penales. Éste no es el caso en los Estados Unidos, ya que se ha descubierto que pocas agencias municipales, estatales o federales parecen ser conscientes de cómo los datos de polen se pueden utilizar para resolver cuestiones relacionadas con asuntos legales o penales.

No se está en condiciones de determinar la situación actual o el uso de la palinología forense en otros países con excepción de Nueva Zelanda o Estados Unidos. Sin embargo, a juzgar por la ausencia de literatura sobre el tema en las principales revistas y libros publicados en la mayoría de los países de Europa, América del Norte y del Sur, se puede sospechar que la ciencia de la palinología forense es poco conocida y/o poco utilizada en estas regiones.

Se han esbozado las numerosas maneras en que la palinología forense puede ser utilizada en situaciones en que otros elementos de prueba pueden ser demasiado circunstanciales para emplear en el tribunal de justicia u otro tipo de pruebas puede no existir. También se señaló que por cada intento exitoso de utilizar muestras forenses de polen, habrá muchas otras circunstancias y muchos otros casos donde la información sobre el polen demostrará ser poco convincente o carente de todo valor probatorio. Sin embargo, cuando los investigadores no tienen en cuenta el uso de la palinología forense, pueden estar pasando por alto una valiosa fuente de evidencia.

Hay inconvenientes para los analistas de polen que pueden considerar el examen de las muestras forenses. En primer lugar, hay pocos ana-

listas de polen en el mundo que tienen experiencia forense o que están entrenados en las técnicas de la palinología forense. Hay menos aún que podrían estar dispuestos a trabajar en proyectos de polen forense. Entre las principales preocupaciones en algunos países, están los límites de la responsabilidad personal si se pide declarar en las causas judiciales; otro motivo de preocupación es el tiempo necesario para investigar los antecedentes y realizar análisis forenses y la forma en que el trabajo puede interferir con otros tipos de investigación sobre el polen que el palinólogo ya tiene bajo investigación.

En segundo lugar, la recolección de muestras sigue siendo un problema importante. Las muestras forenses de polen recolectadas de forma inapropiada o contaminadas después de su recogida son de un valor mínimo para el palinólogo. Por esta razón se recomienda que las agencias policiales busquen el consejo de un experto forense palinólogo tanto antes como después de que las muestras sean obtenidas. Ningún palinólogo forense quiere perder tiempo examinando muestras y conduciendo análisis de materiales que luego resultan ser de poco valor debido a la obtención inadecuada o a la contaminación.

En tercer lugar, muchos palinólogos pueden no estar equipados para realizar el trabajo forense. Se necesitan instalaciones de laboratorios libres de contaminación, con tipos especiales de equipamiento y sólo los mejores microscopios ópticos deben utilizarse para llevar a cabo el trabajo analítico. También, porque en general hay cientos o miles de taxa de plantas que podrían existir en cualquier entorno determinado, cada uno de los cuales podría ser un contribuyente potencial de polen o esporas al conjunto de polen; la identificación precisa de todos los taxa de polen en una muestra forense suele consumir bastante tiempo. Los tipos de polen y esporas desconocidos deben cotejarse con amplias colecciones de referencia y claves taxonómicas; aunque la mayoría de los palinólogos tienen acceso al polen y las esporas de las colecciones de referencia, no todos tienen colecciones que abarcan una amplia gama de tipos de polen encontrados en muchas regiones diferentes del mundo. Por último, no todos los palinólogos tienen acceso a microscopios electrónicos de barrido, que en algunos casos críticos son necesarios para determinar identificaciones precisas.

Y cuarto, la financiación para el trabajo forense a veces puede ser una preocupación importante. Al igual que cualquier otro tipo de investigación sobre polen, los fondos son necesarios para el pago de los suministros fungibles, reponer productos químicos de laboratorio, y por el tiempo utilizado por un técnico de laboratorio forense y el analista de polen. Aunque algunos palinólogos forenses están empleados por agencias estatales, provinciales o federales, y son capaces de llevar a cabo algunos estudios forenses, sin costo alguno, la mayoría de las veces esto no es así. La mayoría de los

laboratorios de palinología están siendo financiados y con frecuencia se basan en un cargo por conducir la investigación afuera.

Cualquier agencia que busque un lugar para su trabajo sobre examen forense de polen también debe tener en cuenta los posibles problemas que puedan surgir. En primer lugar, es esencial encontrar un palinólogo con experiencia forense que sea competente y respetado por la exactitud de su investigación. Sin esto, la credibilidad del análisis o del testimonio judicial de esa persona podrá ser puesta en duda. En segundo lugar, es importante encontrar un palinólogo que esté dispuesto a realizar análisis forense y que pueda cumplir los plazos fundamentales para el análisis de la muestra. En tercer lugar, los organismos de previsión de la necesidad de la recolección de muestras de polen forense deben contar con la ayuda de un especialista forense antes de recoger las muestras. Esto asegurará que el muestreo se lleve a cabo correctamente y que se sigan los procedimientos adecuados para mantener las muestras libres de contaminación. En cuarto lugar, la financiación para pagar por un trabajo de polen forense debe estar prevista. Por último, si se necesitara el testimonio ante la justicia, la agencia que solicita los análisis tiene que saber si el palinólogo forense que contrata estará dispuesto a testificar, y necesitan explicarle cuáles son los límites de responsabilidad que el mismo debe esperar como resultado de su testimonio.

La palinología forense está en su infancia. Sigue sin ponerse a prueba en muchas regiones del mundo, aunque se está utilizado en otras, pero todavía no es aceptada o reconocida como una evidencia muy valiosa en los sistemas de la mayoría de los tribunales. Se espera que en breve tiempo se convierta en una herramienta valorada en el arsenal de técnicas utilizadas por la mayoría de las fuerzas de seguridad. Los recursos que pueden contribuir a la masificación de esta disciplina incluyen: oferta de cursos de capacitación, edición de manuales de instrucción, foros nacionales e internacionales de discusión del valor de estas técnicas, la creación de bases de datos de polen y tejidos vegetales de todo el mundo y la conformación de redes nacionales e internacionales de botánica forense como órganos vinculantes de los esfuerzos realizados dentro de cada país y entre distintos países.

Capítulo VIII

ENTOMOLOGÍA FORENSE. TÉCNICAS FORENSES DE RECONSTRUCCIÓN FACIAL

I. Entomología forense

1. Concepto e historia

La entomología forense está destinada en su origen al estudio de la relación entre la presencia de insectos y la descomposición de un cadáver humano. Hoy en día, dicha presencia también es estudiada en otras áreas de la investigación policial diferentes a la existencia de cadáveres, tales como la escena del hecho, vehículos y operaciones de tráfico ilícito de drogas.

La presencia de las moscas está documentada en escritos tempranos como la "Tabla 14", de la serie Harra-Hubulla (lista sistemática de animales salvajes terrestres de la época de Hammurabi), hace unos 3600 años. En ella se mencionan por primera vez la "mosca verde" (Lucilia) y la "mosca azul" (Calliphora), comunes en casos forenses. En las civilizaciones antiguas, moscas y escarabajos aparecen como amuletos, en sellos cilíndricos, como un dios y como una de las plagas de la bíblica historia del Éxodo. Pero fue Aristóteles quien aportó datos anatómicos y biológicos que describió y clasificó dentro del orden científico.

El nacimiento de la entomología forense se produjo en el siglo XIII, en China, cuando en 1235 Sung Tz'u, escribió el libro *The Washing Away of Wrongs*, donde aparece el primer documento escrito de un caso resuelto por la entomología forense.

Recién a mediados del siglo XIX, en Francia, la ciencia surgió como tal. Orfila (1848) listó 30 insectos y otros artrópodos que colonizaron un cuerpo, sus observaciones podrían ser las primeras en sistematizar el conocimiento de la sucesión de artrópodos, aunque a Bergeret (1855) se le da el crédito de aplicar este conocimiento a un caso criminal.

En 1887, J. P. Mégnin amplió y sistematizó los estudios publicando *La fauna de las tumbas* y *La fauna de los cadáveres* en 1894: identificó ocho etapas de descomposición humana. Los estados de descomposición descritos fueron seguidos por Leclercq (1969), Easton y Smith (1970).

La ecología y el comportamiento general de las moscas de importancia forense fueron tratados extensamente por Greenberg (1973) y Putman (1983); la sucesión de fauna se estudió en varias regiones en cadáveres no humanos, desde lagartos hasta cerdos, entregando información de la estructura de la comunidad, orden de colonización, estacionalidad y preferencias de oviposición de moscas de carroña.

La entomología médico criminal entró en una fase de rápido crecimiento y desarrollo a partir de las reseñas de Leclercq (1978), Nourteva (1977), y se convirtió en una disciplina exacta referida a la teoría y práctica forenses. Los precursores han sabido integrar entomología y ciencia forense, y los criminólogos han rescatado muchos detalles hasta obtener conclusiones útiles y una visión holística del tema.

Pese a los estudios parciales realizados desde mediados del siglo XIX, hubo que esperar hasta 1986 para ver aparecer una obra monográfica de entomología forense: *A Manual of Forensic Entomology* (*Smith, 1986*).

2. *Necesidad*

La necesidad de la entomología forense se fundamenta en que, pasadas las primeras fases de la descomposición cadavérica, los métodos habituales empleados para datar la muerte (livideces, enfriamiento, rigidez cadavérica, bioquímica post mortem y evolución de los fenómenos de putrefacción) se vuelven inútiles, por lo que es preciso recurrir al estudio de la fauna que aparece alrededor del cadáver para poder precisar la fecha buscada.

La fermentación de las grasas, la de las sustancias albuminoideas y la fermentación amoniacal, atraen con sus diversos olores a una serie de variados insectos, de interesante valor para la datación de la fecha de la muerte.

3. *Especies de insectos*

Podemos decir entonces que entomología forense es el nombre dado a cualquier aspecto del estudio de insectos y artrópodos. Asociados con cadáveres, que interactúan en la materia legal los artrópodos (*Arthropoda*, del griego αρθρον, *arthron*, "articulación" y ωούς, *pous*, "pie") constituyen el tipo de organización más numeroso y diverso del reino animal (Animalia). Incluye, entre otros, insectos, arácnidos, crustáceos y miriápodos. El término se aplica a animales invertebrados dotados de un esqueleto externo y apéndices articulados, como los crustáceos, los insectos, y las arañas. Lord y Stevenson (1986) la dividieron en tres componentes: entomología urbana (procedimientos legales que involucran insectos y animales relacionados que afectan estructuras hechas por el hombre y

otros aspectos del ambiente humano); entomología de productos almacenados (procedimientos involucrando insectos que infectan productos almacenadas tales como cereales y otros productos de cocina), y entomología médico-legal.

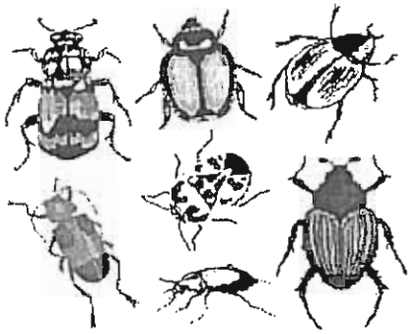
La entomología forense se utiliza, entre otros propósitos, para estimar el tiempo transcurrido entre la muerte o intervalo *post mortem* y la identificación de los posibles traslados del cuerpo, así como las características de las zonas de procedencia. Los episodios entomológicos *post mortem*, de modo resumido, inician con los dípteros, a continuación suelen aparecer los coleópteros. Los coleópteros son un orden de insectos masticadores, con dos pares de alas: el primero llamado *élitros*, endurecido para proteger al segundo, que es membranoso y suele estar plegado en abanico y doblado bajo aquéllos. Los *élitros* dejan visible una pequeña porción del mesotórax, llamada escudete, mientras que el metatórax está completamente oculto por aquéllos.

Es el conjunto más extenso de toda la naturaleza: comprende más de 100.000 especies, de todos los tamaños y colores, y adaptados a cualquier clase de existencia.

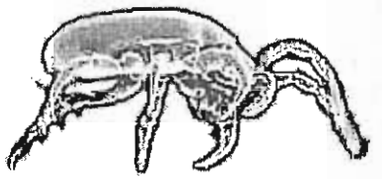
Algunos ejemplos son: el escarabajo, la luciérnaga, el gorgojo y la vaquita de San Antón. Están divididos en dos subórdenes: adéfagos y polífagos, aunque también incluyen otros menores como los arcostematos y los mixófagos). Durante un tiempo convivirán en nichos diferentes coleópteros y dípteros, por último convivirán, también en nichos diferentes, coleópteros, ácaros (*Acari* o *Acarina*, del griego *akarés*, "diminuto", "que no se corta") son una subclase de arácnidos, aunque durante mucho tiempo fueron considerados un orden. Existen casi 50.000 especies descritas, y se estima que existen entre 100.000 y 500.000 especies que todavía no han sido clasificadas. La mayoría de los ácaros son diminutos y alcanzan unos pocos milímetros de longitud; el ácaro de los folículos humanos mide sólo 0,1 mm (menor que algunos protozoos) y los ácaros del polvo doméstico miden entre 0,2 y 0,5 mm; ambos son, pues, microscópicos; en el otro extremo, los ácaros de terciopelo alcanzan longitudes de 10 mm) y lepidópteros (se aplica al insecto que tiene dos pares de alas membranosas cubiertas de escamas, aparato bucal chupador, un par de antenas, ojos compuestos y metamorfosis completa, como las mariposas y las polillas: los lepidópteros, como las mariposas diurnas, presentan alas de colores brillantes).

Pero la propia secuencia de colonización y las especies implicadas variarán en función de múltiples parámetros, entre los que se destacan la región biogeográfica, la época del año y las características ambientales particulares del hábitat en que se encuentra el cadáver.

Coleópteros



Ácaro



El tiempo transcurrido desde la muerte es un asunto de crucial importancia, desde el punto de vista legal, para establecer culpabilidad o para identificar a la persona desaparecida. Uno de los métodos para determinarlo es la observación externa del cadáver; influyen factores como temperatura corporal, livideces cadavéricas, rigidez, signos de deshidratación, lesiones externas, acción por animales e invasión de insectos. En cuerpos humanos es estimado por varios métodos: histológico, químico y zoológico. Sin embargo, tal como lo expresáramos oportunamente, transcurridas 72 horas la entomología forense es usualmente el mejor método y en muchos casos el único para establecer el intervalo *post mortem*.

Existen dos métodos para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte usando la evidencia de los artrópodos: el primero utiliza la edad y tasa de desarrollo de larvas; el segundo emplea la sucesión de artrópodos en la descomposición del cuerpo. Ambos métodos se pueden utilizar por separado o conjuntamente, dependiendo siempre del tipo de restos que se están estudiando. Por lo general, en las primeras fases de la descomposición las estimaciones se basan en el estudio del crecimiento de una o dos especies de insectos, particularmente dípteros, mientras que en las fases más avanzadas se utiliza la composición y el grado de crecimiento de la comunidad de artrópodos encontrada en el cuerpo y se compara con patrones conocidos de sucesión de fauna para el hábitat y condiciones más próximas.

Los insectos ingresan en un cadáver a través de aberturas en el cuerpo –ojos, oídos, nariz, boca, ano y genitales– para colocar sus huevos; si entran a través de otra área, es probable que esto indique la zona de una herida.

A medida que estos huevos se incuban y se alimentan, atraen a otros depredadores y parásitos, tales como moscas, escarabajos, abejas y avispas. Algunos de estos insectos tienen apetito por la carne humana y de

ellos, algunos prefieren un "muerto fresco" y otros el olor a podredumbre. Las moscas son los insectos más comunes atraídos por el olor a carne podrida, pero sólo estarán activas en torno a esa carne cuando la temperatura exterior sea de 11 grados centígrados o más.

> La entomología forense es una ciencia para analizar las larvas de insectos en los casos en que se están alimentando y creciendo dentro de tejidos humanos en descomposición.

Los insectos son criaturas notables; son la forma de vida más antigua y más dominante en la Tierra, superando en número a los animales por tres a uno. En comparación con los seres humanos, podría decirse que están de adentro hacia afuera, debido a que sus esqueletos están en el exterior y sus médulas espinales están al revés. No tienen pulmones, pero respiran a través de pequeños orificios detrás de sus cabezas, distribuidos por todo su cuerpo en un sistema de pequeños tubos.

La mayoría tiene dos conjuntos de ojos, dos o tres ojos simples y un par de ojos compuestos. La audición se lleva a cabo con tímpanos (para algunos), o por antenas (para la mayoría). La mayoría de ellos tienen habilidades para camuflarse; pueden imitar su entorno por el cambio de color, o imitar a otros insectos cambiando su comportamiento. La mayoría pueden ser congelados a muchos grados bajo cero y ser revividos.

Además, pueden manejar las diferencias extremas de presión en el vacío o el aire con bastante facilidad. La temperatura más apropiada está en el rango de 38 a 49 grados centígrados; sus habilidades para la organización social, control de sexo, y la puesta de huevos, son altamente complejas. Parecen estar en constante búsqueda de hábitats nuevos y curiosos, moviéndose por el sentido del olfato (feromonas), la temperatura, la luz, la gravedad y el aire o las corrientes de agua.

No se ven afectados por la estimulación táctil. Su proceso de reproducción es único; sus huevos se convierten en larvas, a continuación entran en una etapa de pupas, y se convierten en adultos de gusanos o larvas (metamorfosis). Los insectos se alimentan casi de cualquier cosa; un pequeño número son vegetarianos (se alimentan de plantas), pero la mayoría son carnívoros. Algunos son depredadores, otros parásitos y otros son succionadores de sangre.

La mayoría tienen apetito por el material en descomposición; su boca contiene mandíbulas muy poderosas y piezas como agujas que funcionan como dientes. En los insectos masticadores, las mandíbulas se mueven hacia los lados; los chupadores tienen una probóscide larga (apéndice alargado y tubular ubicado en la cabeza) y requieren alimentos líquidos. La mayoría no requiere agua, ya que sus órganos o bien la conservan o la metabolizan de los alimentos.

Su sistema digestivo no se diferencia del de los humanos; las relaciones sexuales tampoco. En un ambiente húmedo y apropiado para los insectos, más de 300 especies visitarán un cuerpo humano en descomposición, desde la muerte hasta la etapa de su transformación en esqueleto.

Todos los seres vivos se clasifican en un filo (tronco o tipo) –Clase –Orden –Familia –Género –Sistema de especies. Filo se refiere a cómo de "alta"o "baja" es la forma de vida en la escala evolutiva; la clase suele distinguir entre las características estructurales (los insectos, por ejemplo, pertenecen a la clase *insecta* en el filo artrópodos).

La orden díptera es el grupo de insectos que poseen dos pares de alas. A menudo se dice que la palabra dípteros está referida a las verdaderas "moscas". Las órdenes se subdividen en familias, y las familias en géneros y los géneros en especies.

Nuevos "tipos" o especies están siempre en evolución, pero una regla principal de la zoología es que no se pueden tener dos especies del mismo género con el mismo nombre. Nos ocuparemos de la orden díptera y algunas familias de la misma que se alimentan de seres humanos. Como se expresara anteriormente, tienen dos pares de alas (delanteras y traseras), partes de la boca especialmente agudas, larvas llamadas gusanos, y experimentan su metamorfosis ya sea en carne animal o excrementos.

Se los considera como "limpiadores de la naturaleza", ya que, si se les da tiempo, eliminarán todo rastro de cadáver de un área. Sin embargo, donde hay un gran número de cadáveres y dípteros, también hay por lo general brotes de disentería. Algunos dípteros son parásitos, lo que significa que, si pueden lograrlo, van a tratar de encontrar un animal huésped para plantar sus huevos en él (los caballos, por ejemplo, son especialmente buscados por esto, y los huevos son colocados en su boca, que luego se ingieren, permitiendo a los gusanos crecer en el estómago).

Existe una familia de dípteros que son depredadores; buscan, cazan y atacan animales con la esperanza de matarlos para colocar sus huevos. Éste es el grupo al que nos estamos refiriendo, el que sólo desea encontrar un cadáver humano; los moscardones se encuentran prácticamente en todas partes, y se ven como una mosca doméstica común, o un poco más grande. Muchos son de color azul o verde metálico.

Tienen las patas traseras especialmente fuertes. Cada hembra pone alrededor de 100 huevos o más. Loa cadáveres llenos de gusanos son, por lo general, densamente poblados por las larvas de los moscardones. Las moscas de la carne también son bastante comunes, similares en color, pero de forma diferente que las anteriores (patas pequeñas, por ejemplo); sus larvas tienden a ser más pequeñas que las de los moscones en tamaño y número.

Ver imágenes 20 y 21 en el Anexo fotográfico

Su preferencia es ser parasitario, adjuntando sus huevos a huéspedes con vida, de ser posible. Una especie, la Wohlfahrtia, sólo parasita en los seres humanos. La mosca del gusano barrenador del ganado es más bien baja, gorda y redonda, y existe en numerosas especies; prefieren poner sus huevos en la piel de un huésped vivo. A medida que los huevos incuban, las larvas se esconden debajo de la piel hasta que encuentren un órgano interno. Algunas especies parásitas son tan inteligentes como para poner sus huevos en un alimento justo antes de que el animal se lo coma.

4. Períodos en la descomposición de un cadáver

Los períodos considerados más importantes en la descomposición de un cadáver son:

a) El cromático

Se aprecia una mancha verde abdominal de color verde, en la piel de la fosa ilíaca derecha, debido a que los clostridios y coliformes descomponen la hemoglobina en compuestos azufrados de color verde, que tiñen la piel. Este período se manifiesta entre las 24 y las 36 horas del fallecimiento.

En los fetos las bacterias penetran por los orificios naturales, principalmente por las vías respiratorias, por lo que la mancha verde se observa en cuello y parte superior de tórax. En cuerpos que presentan lesiones supuradas o neoplásicas, la mancha verde aparece alrededor de las lesiones.

Se empieza a ver el entramado venoso por la transformación de la hemoglobina.

b) El enfisematoso

Se presenta por la producción de gran cantidad de gases derivados del metabolismo propio de las bacterias, que abomban y deforman el cadáver. La infiltración gaseosa invade el tejido celular subcutáneo, se hincha la cabeza, los párpados se hacen prominentes, los genitales adquieren volúmenes importantes, el abdomen se distiende, la red venosa se hace muy aparente adquiriendo la piel una coloración negruzca o verdusca. Este fenómeno se observa en un período de entre 48 horas del inicio, completándose en un término aproximado de siete días.

Comienza el desprendimiento de la epidermis.

c) Período colicuativo

En esta etapa el tejido blando se licua, el cadáver adopta un aspecto acaramelado entre 2 y 4 semanas; los órganos se reblandecen y se licuan, durando entre 8 y 10 meses. La próstata y el útero son los órganos

más resistentes a esta fase. Los tejidos se transforman en un magma putrilaginoso y desaparece su forma habitual.

d) Período de reducción esquelética

En el término medio de 2 a 3 años, pudiendo porlongue hasta 5 años, todas las partes blandas desaparecen a través de la licuefacción, los elementos más resistentes suelen ser los del tejido conectivo como cartílago, tendones, ligamentos. El esqueleto puede avanzar hasta la pulverización en un tiempo de 50 años, inhumado; si el cadáver se encuentra a la intemperie, la pulverización puede presentarse en 5 años.

Todos estos períodos se encuentran afectados por una serie de factores que retardan o aceleran esta descomposición:

1) circunstancias de la muerte,
2) condiciones del cuerpo anteriores a la muerte,
3) temperatura,
4) humedad,
5) tipo de suelo en el que se produce la putrefacción,
6) insectos,
7) otros animales.

Debido a la gran dificultad para calcular la tasa de descomposición por el crecimiento bacteriano, existe un gran número de estudios sobre el efecto de los insectos necrófagos en restos humanos encontrados al descubierto.

En los cadáveres se produce una progresión sucesiva de artrópodos que utilizan los restos en descomposición como alimento y como extensión de su hábitat. Esta sucesión de artrópodos es predecible, ya que cada estadio de la putrefacción de un cadáver atrae selectivamente a una especie determinada. Aunque el papel de las diferentes especies de artrópodos es variable y no todas participan activamente en la reducción de los restos.

5. Legiones, oleadas o escuadras

Los estudios más importantes sobre entomologia forense clásica son los de Jean Pierre Megnin (1894), Oerfila y Leclercq. Megnin considera ocho oleadas o "escuadras de la muerte", mientras que Balthazard y Leclercq sólo consideran siete, e incluso únicamente cinco. Leclercq entiende que es una cuestión ecológica, dependiendo de la estación, los factores geográficos y ambientales, el que aparezcan las distintas especies de insectos antes o después. Las clasifica en necrófagas, necrófilas, omnívoras y oportunistas. Según Megnin, estas escuadras son atraídas de una forma selectiva y con un orden preciso: tan preciso que una determinada población de insectos sobre el cadáver indica el tiempo transcurrido

desde el fallecimiento. En consecuencia, de acuerdo a Megnin podemos contar con datos objetivos que van a permitir un diagnóstico certero.

Por otra parte, es necesario saber que ha cambiado completamente el plan de trabajo original de Megnin, quien con sus escuadras y en forma distinta a la actual abordaba esta problemática. En cada país, y dentro del mismo en cada región, debido a sus particulares características, existen distintos integrantes de cada una de las escuadras, por lo que el estudio entomológico a emprender en la investigación criminal debe realizarse sobre los conocimientos previamente adquiridos por la investigación científica, que hoy no se admite que realice persona ajena a la entomología.

En caso de hallar insectos, se deben colocar en frascos con alcohol, que los mata y fija inmediatamente, sin alterar sus dimensiones y características.

Según el propio Megnin, los insectos pueden agruparse en cuatro grupos diferentes:

1er grupo: Es el de las especies necrófagas, y dura alrededor de tres o cuatro meses, correspondiendo a la primera y segunda cuadrillas. Son principalmente dipteros (moscas) y coleópteros (escarabajos). Estos últimos por lo general aparecen más tarde, cuando la materia orgánica ha comenzado a secarse.

2° grupo: Corresponde a los insectos cuyo alimento lo constituyen las especies necrófagas. Su importancia radica en que su acción depredadora puede modificar la tasa de crecimiento de las especies necrófagas y de esta forma tornar dificultoso su empleo para establecer el cronotanatodiagnóstico. Dura también tres o cuatro meses, y corresponde a la tercera cuadrilla.

3° grupo: Está integrado por especies que al mismo tiempo son necrófagas y depredadoras. Tal es el caso de la moscarda azul de cara blanca. Se extiende de cuatro a ocho meses y corresponde a la cuarta y quinta cuadrillas. El cadáver se encuentra convertido en una verdadera papilla negruzca, líquida o semilíquida, con un olor que recuerda al del queso podrido.

4° grupo: Aquí hacen su aparición los acarianos, que integran la sexta, séptima y octava cuadrillas, que encuentran en el cadáver una extensión de su hábitat, y se prolonga entre seis y doce meses.

La mayor parte de los autores considera que la fauna cadavérica comienza su tarea con la musca doméstica o mosca común, la mosca verde o *lucilia caesar* y la mosca azul o *Calliphora erytrocephala*.

Todas ellas inician el proceso entomológico depositando sus huevos en los orificios naturales húmedos, ello es, el ángulo del ojo, debajo de los párpados, en la boca y en los restantes orificios húmedos del cuerpo.

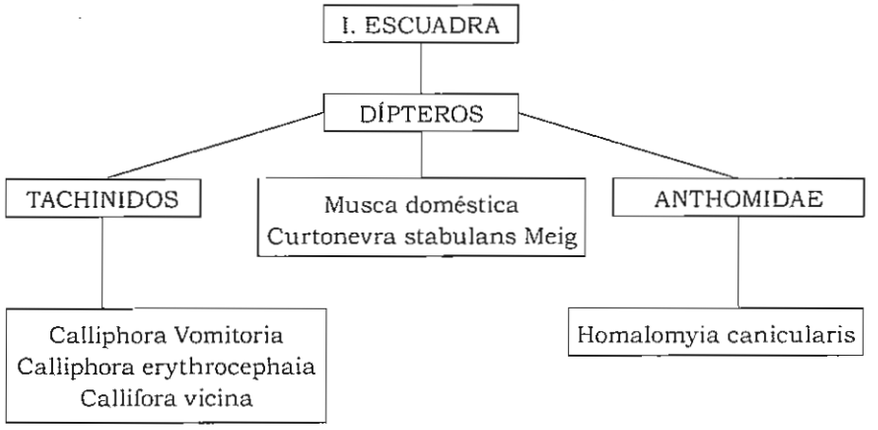
Las diferentes generaciones, según la especie y conforme a las condiciones medioambientales (calor y humedad), pueden ser determinadas entomológicamente. Es posible establecer cuánto tiempo hace que el cadáver se encuentra en posición de hallazgo.

Existen dos métodos para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte usando la evidencia de los insectos: el primero de ellos emplea la edad de las larvas y la tasa de desarrollo; el segundo utiliza la sucesión de insectos en la descomposición del cuerpo. Ambos se pueden usar por separado o conjuntamente, siempre dependiendo del tipo de restos que se estén estudiando. Por lo general, en las primeras fases de la descomposición las estimaciones se basan en el estudio del crecimiento de una o dos especies de insectos, particularmente dípteros, mientras que en las fases más avanzadas se utiliza la composición y el grado de crecimiento de la comunidad de artrópodos encontrada en el cuerpo y se compara con patrones conocidos de sucesión de fauna para el hábitat y condiciones más próximas.

Son ocho las escuadras más aceptadas, en la primera se encuentran los insectos que llegan al cadáver y a veces incluso a los moribundos. Se trata de los dípteros de los géneros *musca y curtonevra*, siguiendo después los géneros *Calliphora* y *Anthomya*. Sólo atacan a cadáveres frescos, y a veces ya en el período agónico.

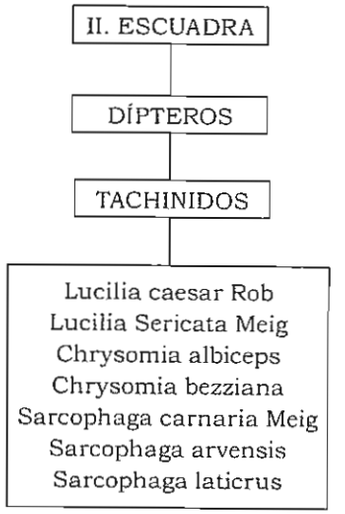
El género musca pertenece a la familia de los múscidos, que comprende más de 4000 especies y se hallan diseminados por toda la tierra. Las moscas del género *Curtonevra* son muy parecidas a la doméstica; se encuentran en los establos y cerca de los animales domésticos y en los mercados.

Ver imagen 22 en el Anexo fotográfico



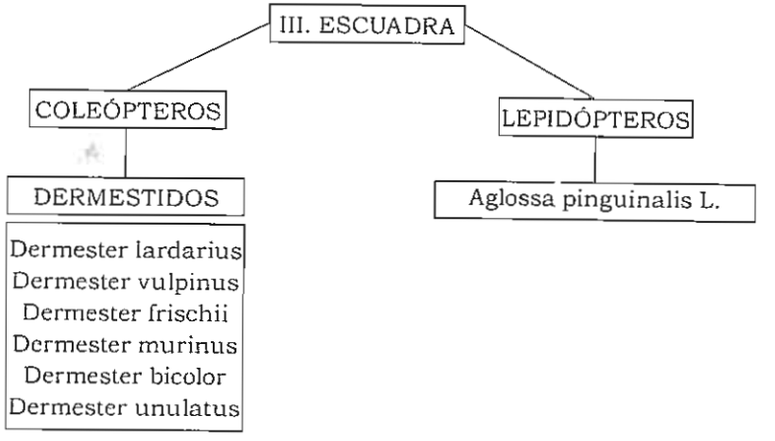
En la segunda escuadra (según Megnin) aparecen insectos del género Lucilia, como la *Lucilia caesar Rob* y la *Lucilia sericata*, y otros del género *Sarcophaga*, como las *Sarcophaga carnaria, arvensis* y *laticrus*. Ambos géneros son incluidos por Balthazard y Leclercq en la primera escuadra. Lucilia aparece cuando surge el olor cadavérico al aire libre, ello es, cuando se instala la putrefacción en su fase gaseosa. La mosca más característica de este género es *Lucilia caesar Rob*. A continuación podemos decir que otros géneros comunes son la Sarcophaga carnaria o mosca gris de la carne, la *Sarcophaga arvensis* y la *Sarcophaga laticrus*.

Ver imagen 23 en el Anexo fotográfico



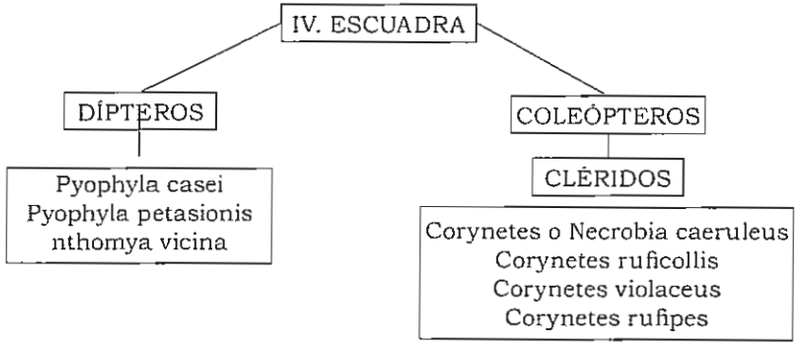
La tercera escuadra se presenta en el período de putrefacción butílica, es decir, cuando se producen ácidos grasos, despidiendo el típico olor a grasa rancia del ácido butírico producido por la saponificación de las grasas. Esto sucede dependiendo de las condiciones ambientales (calor, humedad), de los tres a los seis meses después de la muerte. Los insectos que tienen apetencia por este olor son: *Dermeste lardarius* (o del tocino) y el género *Aglossa*, comprendido dentro de los lepidópteros (fam. *Piralidae*), que es una pequeña polilla que coloniza los cadáveres a los 3-6 meses después de la muerte.

Ver imagen 24 en el Anexo fotográfico



La cuarta escuadra corresponde al periodo de putrefacción butírica y gaseosa, es decir, de grasas y proteínas acidificadas. La componen los dípteros y coleópteros (*anthomya vicina*, *pyophyla casei* y *petasionis*, *corynetes* o *necrobia*, *ruficollis*, *coeruleus*, *rufipes* y *violaceus*).

Ver imagen 25 en el Anexo fotográfico



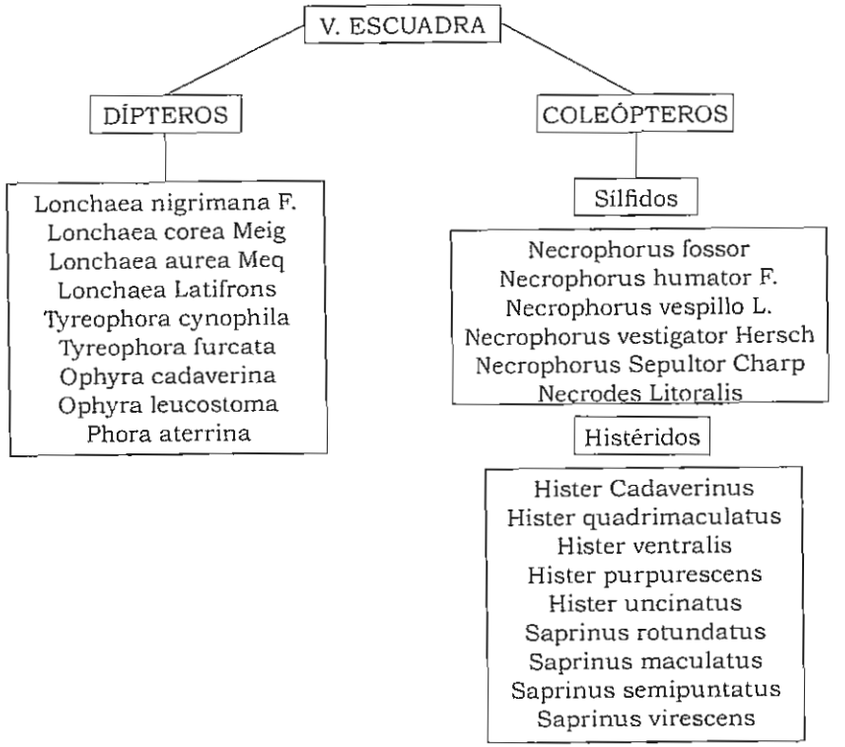
La quinta escuadra es atraída por la fermentación amoniacal que licúa gran parte de los tejidos blandos putrefactos que quedan convirtiéndolos en putrílago, de color pardo negruzco. Se compone de dípteros de los géneros tyreophora (cynophila, anthropophaga y furcata), *lonchea nigrimana*, *ophyra* (*cadaverina* y *leucustoma*), *phora aterrima*, y también de coleópteros, de la familia de los sílfidos, de los géneros *necróphorus humatur* o *necróphorus fossor*, *silphia* (*littoralis* y *obscura*), *hister cadaverinus* y *saprinus rotonmdatus*.

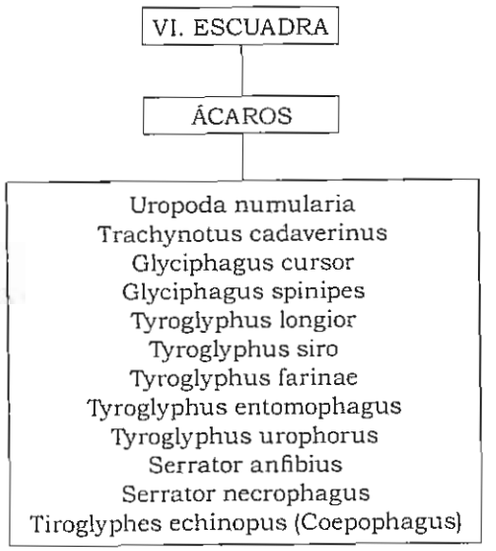
Ver imagen 26 en el Anexo fotográfico

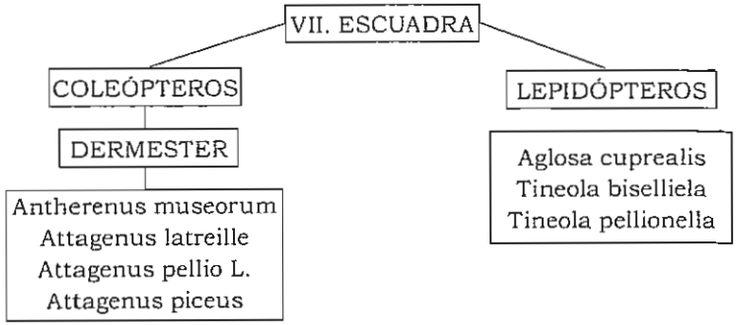
La sexta escuadra se encarga de absorber los humores líquidos que dejan las cuadrillas anteriores, por lo que desecan y pueden llegar a momificar los tejidos orgánicos aún existentes. Se trata de acarianos, de los géneros *serrator* (*amphibius* y *necrophagus*), *tiroglifinos* (*entomophagus, faringe, longior, myophagus, siculus, siro* y *urophurus*), *carpoglyphus*, *caedpophagus* o *tyrogflyfus echinopus*, *glyciphagus* (*cursos* y *spinipes*), *uropoda numularia* y *trachynotus cadaverinus*.

La séptima escuadra se presenta cuando quedan únicamente restos momificados que no permiten que actúen los fermentativos. La componen los mismos insectos que roen los tejidos, tapices, pieles, y colecciones de historia natural. El cadáver conserva algunos tejidos ya secos que no han sido destruidos por las anteriores escuadras. Son precisamente esos tejidos duros, tales como pelos y uñas, los que apetece a ciertas especies de coleópteros como algunos *dermester* (*attagenus pellio*) y *Antrenas*, y a algunos microlepidópteros (*aglossa cuprealis* y *tineola biseliella*).

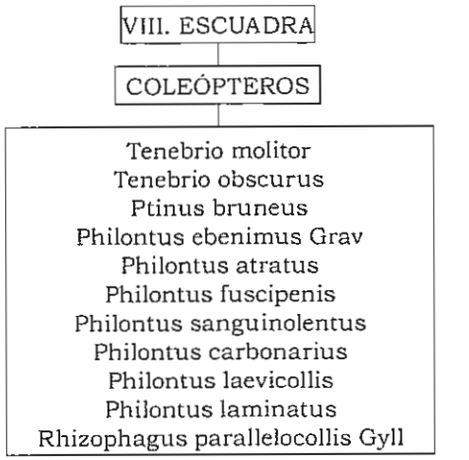
Ver imagen 27 en el Anexo fotográfico

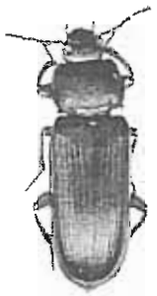






La octava escuadra está integrada por dos especies: *tenebrio* (monitor o gusano de la harina y obscurus) y ptinus brunneus. Cuando la muerte se remonta a tres años, señala Leclercq que ciertos coleópteros vienen a hacer desaparecer los restos dejados por sus predecesores. Balthazard no considera la existencia de la 8ª escuadra. Megnin, de igual que Leclercq, considera incluidos en ella dos géneros de coleópteros: *tenebrio* y *ptínido*.





Tennebrio obscurus

Ptinus bruneus

6. Estudio de la fauna

La identificación de las especies animales en la fauna cadavérica y la determinación de la edad de cada uno de los estadios que en ellas encontramos, tiene mucha importancia para establecer la fecha de la muerte. Obtener muestras de insectos vivos y muertos y sus larvas, exuvios, etc., así como señalar el lugar del cuerpo del que han sido obtenidos, forma parte de la investigación de los restos cadavéricos.

El estudio de las diversas generaciones de insectos que se han sucedido en el cadáver permite estimar la época de la muerte y en qué estación del año ha ocurrido.

Los estudios precisos concretados en relación con la edad de las formas inmaduras de las especies que infestan el cadáver, clasifican dichos insectos en tres grupos principales:

a) Insectos necrófagos, que se alimentan del propio cadáver; incluye fundamentalmente a los dípteros.

b) Insectos predadores, que se alimentan de los insectos del grupo anterior; incluye principalmente a los coleópteros.

c) Insectos omnívoros, con las dos características anteriores; básicamente himenópteros (avispas, hormigas).

7. Diferencias de faunas

Entre un cadáver enterrado y otro que ha permanecido en superficie, existen diferencias entre la fauna. De igual manera, presenta particularidades un cadáver sumergido (y si lo fue en agua dulce o salada).

También existen diferencias entre las faunas de los distintos ecosistemas, de tal manera podemos encontrar moscas sarcosaprófagas de entornos específicos como bosques, ciudades, áreas montañosas, a nivel del mar, etcétera.

8. Otros usos de la entomología

Su empleo es útil en la investigación de determinados productos en los que, durante el proceso de fabricación, han quedado atrapados insectos; procedencia de embalajes, en los que han quedado retenidos o han ovado insectos; medio en que la fauna ha podido subsistir (medios alterados por productos contaminantes, venenos tóxicos), en caso de que no sea factible realizar análisis al cadáver; procedencia de insectos o larvas existentes en el lugar del crimen, vehículo empleado, etc.; investigación toxicológica de las larvas encontradas en el cadáver. Considerando que no siempre va a ser posible obtener sangre u orina del cadáver para el examen toxicológico, el mismo puede llevarse a cabo en las larvas de insectos.

9. Cómo recuperar insectos en un cadáver

Se debe concentrar en la búsqueda de larvas y pupas (la pupa es el estado por el que pasan algunos insectos en el curso de la metamorfosis que los lleva del estado de larva al de imago o adulto). Las larvas no tienen alas, son generalmente de color blanco y se parecen más a gusanos que a insectos. Las pupas se parecen a semillas o momias diminutas, tal vez incluso a pastillas; no se alimentan ni se mueven. Para las larvas, hay que tratar de obtener una sección transversal representativa de los tamaños, asegurándose de incluir siempre los individuos más grandes; tratar también de conseguir un representante de los adultos del cadáver.

Ver imagen 28 en el Anexo fotográfico

Las larvas, pupas y adultos se matan fácilmente y se conservan con un 70-80% de alcohol isopropílico, éste es el alcohol que está disponible en muchas tiendas de comestibles o farmacias. No utilizar las concentraciones más altas que a veces están disponibles, tales como el 90%, porque esta alta concentración de alcohol hará frágiles a los insectos.

Los insectos pueden colocarse directamente en el alcohol y este último se puede colocar en casi cualquier tipo de contenedor, siempre y cuando tenga una tapa hermética para que no se escape. Si se coloca en un recipiente un gran número de insectos, el alcohol debe ser cambiado un par de horas más tarde, ya que los cuerpos de los insectos contienen agua, la cual va a diluir el alcohol a un punto en que puede tener lugar la pudrición.

Cada envase debe contener sólo los insectos recolectados de una parte particular del cuerpo y debe contar con un etiquetado (por ejemplo, área del hombro). La etiqueta también debe tener la fecha y hora en que los insectos han sido recogidos (por ejemplo, 10 de octubre 93, 1400 horas). Los contenedores pueden etiquetarse en la parte externa con tinta resistente al agua, aunque a veces esta tinta se correrá cuando se humedezca con alcohol; un método mejor es escribir las etiquetas con lápiz oscuro en papel con al menos un contenido del 50% de trapo. Estas etiquetas pueden ser colocadas en el recipiente con los insectos.

También es una buena idea mantener vivas algunas larvas y pupas para que sean criadas hasta ser adultas. Es más fácil identificar las especies utilizando adultos.

Las larvas y pupas vivas se pueden morir si se deja que se sequen. Esto se puede evitar sin ahogarlos, mediante la colocación de unas bolas de algodón húmedo o un material similar junto a ellas. Una vez más, cada frasco sólo debe contener los insectos de una parte determinada del cuerpo. Se debe tomar la misma información que para los insectos conservados, pero los frascos deben estar etiquetados en la cara externa. Los insectos vivos deben ser entregados de inmediato a un especialista; es mejor si la entrega se hace en persona o mediante un servicio de entrega urgente.

10. El moscardón: su ciclo de vida y dónde buscar para las diferentes etapas

Con mucho, los insectos más importantes en los cadáveres son los moscardones o moscardas de la carne, moscas azules o verdes de aspecto metálico de la familia *Calliphoridae* (califóridos). Algunos miembros de esta familia suelen llegar a los pocos minutos de ocurrida la muerte.

a) Etapas

Huevo. Los huevos son de color blanco, con forma de salchicha y se ponen habitualmente en grupos. En cadáveres frescos, buscar estos grupos en la boca, en los orificios nasales, los oídos, y en general en cualquier área en la que las membranas mucosas entren en contacto con el aire exterior. También buscarlos en las heridas y contusiones; no pensar que porque todavía no han nacido no son importantes, los huevos pueden ser identificados y datados. Poner un poco de huevos en alcohol y ahorrar otro poco para la cría.

Larva. Las larvas o gusanos salen de los huevos. Ellos también son de color blanco, pero su forma es más parecida a un cono que a una salchicha. La boca está en la punta del cono, y el gusano utiliza un par de "ganchos" para adherirse al cadáver, mientras se alimenta. Los gusanos también utilizan esos ganchos para ayudarse a movilizarse. Normalmente se mueven por las extensiones y las contracciones de su cuerpo segmentado, sin piernas.

Las diferencias en la fina estructura de los ganchos y espiráculos de la boca pueden ayudar a un entomólogo forense a establecer tanto la especie a la que pertenece la larva como el número de veces que se ha despojado de su piel. Las larvas mudan la piel tres veces: cada vez que obtienen una nueva, aparecen espiráculos y ganchos de la boca ligeramente más grandes y diferentes. Tres hendiduras son características de gusanos del tercer estadio; los gusanos del segundo estadio tienen dos. Otros caracteres de las aberturas espiraculares son característicos de las especies; por ejemplo, el borde exterior o "peritremo" de la apertura (superior izquierda) se interrumpe en la base. En otras especies puede ser completa.

Los gusanos serán la más obvia/evidente etapa de la vida en los cadáveres que han permanecido fuera durante varios días a una semana o algo así. Inicialmente se concentrarán en los mismos lugares que los huevos, pero a medida que crecen van a deambular a otras áreas. La mayoría de los gusanos grandes en los cadáveres expuestos se encuentran por debajo, a lo largo de los bordes, donde hay más aire y donde indirectamente pueden aprovechar el calor del sol. Al recoger estos gusanos, asegurarse de obtener una amplia gama de tamaños, incluyendo el más grande que se pueda encontrar; también asegurarse de apartar algunos para la cría.

Ver imagen 29 en el Anexo fotográfico

Pupario (cápsula protectora de la pupa de muchos dípteros, constituida por la piel o tegumento endurecido del último estadio larval). La tercera vez que un gusano "se despoja de su piel" algo extraordinario ocurre: la piel se contrae a una forma de cápsula y se vuelve rígida y endurecida. En realidad no es una cubierta, pero sigue cubriendo el interior del insecto recién mudado. Se puede ver que la piel puparial es la misma que la piel del gusano de edad, ya que conserva las líneas generales de los espiráculos y otras partes esclerotizadas de esa etapa.

El insecto vivo que está dentro del pupario es de color blanco pálido, no se puede mover o alimentar, y tiene patas, alas, antenas, etc., rudimentarias. Esta forma como de momia se denomina pupa. La piel endurecida que la rodea se llama *pupario* (Plural: *puparios*).

Estas pupas a menudo están presentes en la escena del crimen, pero no son recogidas, porque nadie las está buscando, o porque nadie está mirando en el lugar correcto. Usualmente se encuentran en las proximidades del cadáver, no realmente sobre él. Los pliegues en la ropa son buenos lugares para buscar. También se pueden encontrar hasta un metro de distancia de un cadáver, por ejemplo en el pelo largo de algunas alfombras o en los pliegues de las cortinas interiores, etc. Si las pupas están presentes en la escena del crimen, es muy importante encontrarlas, porque son la etapa más antigua que definitivamente se puede vincular con el cuerpo.

Adultos. El pupario está equipado con una tapa en forma de gorra que puede ser extraída por la mosca emergente. Las moscas recién emergidas son de color claro al principio, suaves al tacto, y con las alas arrugadas, sin expandir. Más tarde las amplían y se ponen verdes o azules.

Los moscardones no vuelan mucho por un día o dos, mientras su cuerpo se está endureciendo. Si se tiene la suerte de ver una mosca así asegurarse de obtenerla, porque, sin duda, se desarrolló en el lugar. Las moscas adultas vuelan después de haberse endurecido completamente. Una vez que se han apareado se ubican entre las criaturas más móviles en la tierra (por su tamaño), y pueden viajar varios kilómetros para encontrar un sitio para depositar sus huevos. Las moscas adultas serán muy evidentes en la mayoría de los cadáveres. Asegurarse de recoger unas pocas, ello permitirá que el entomólogo forense sepa qué moscas se encontraban en la zona. No cometer el error de pensar que por haber capturado moscas adultas, se ha hecho el trabajo. Debido a su movilidad, las adultas plenamente maduras no tienen valor como indicadores forenses.

11. Cómo montar gusanos en preparaciones microscópicas

En la actualidad, los gusanos de los casos forenses rara son vez montados en portaobjetos de microscopio. Por qué esto es así no se está en condiciones de decirlo, en cualquier caso, los forenses e investigadores

de homicidios necesitan saber poco sobre el tema, salvo el hecho de que un portaobjeto bien preparado es la forma más eficaz de examinar un gusano y es, el registro más permanente de dicho examen.

Cuanto más se observar los gusanos en tales dispositivos, más nos daremos cuenta de lo variables que son la mayoría de los caracteres utilizados actualmente en su taxonomía, y con qué facilidad se pueden cometer errores producto de esa variabilidad con sólo uno o dos ejemplares, sobre todo si se los examina mientras están en alcohol. Es por ello que a continuación nos referiremos a los fundamentos de la preparación.

Se han encontrado fósiles de insectos en ámbar de una antigüedad de más de 40 millones de años; a pesar de su avanzada edad, cuando estos fósiles se pulen todos los detalles de los insectos en el interior se pueden ver. Aunque aparece milagroso y alejado de la vida, este ámbar es realmente una sustancia muy común. Es la resina endurecida de determinadas especies de árboles de coníferas. La idea detrás de las monturas de *slides*/diapositivas es duplicar y mejorar este proceso de fosilización.

La principal y mejor sustancia para el montaje permanente de una diapositiva es el bálsamo de Canadá. Esta sustancia es un derivado de la resina de abeto de bálsamo. Para uso de laboratorio, se purifica y transforma en polvo, y luego se vende, ya sea en esa forma, o se disuelve en xileno, un disolvente orgánico. La mezcla de bálsamo y xileno en la que se coloca al insecto es inicialmente líquida y viscosa, pero se endurece con el tiempo debido a que el xileno se evapora lentamente con la exposición al calor y al aire. Este proceso deja un sólido soporte que puede ser examinado con un microscopio.

Pero antes de que el gusano se introduzca en el bálsamo, debe ser preparado de varias maneras para hacer el montaje más efectivo. Parte de esta preparación es para quitar la fina capa de aire en la superficie de la cutícula de la larva o la piel, que oscurecería las diminutas partes que son necesarias para la identificación. Se trata de eliminar el agua en los tejidos y el intestino. El agua no se mezcla con la resina de bálsamo, y si se deja en su lugar se forma un halo blanquecino alrededor de la montura. También se deben es hacer transparentes las estructuras que son naturalmente opacas, ya que éstas oscurecen los contornos de cualquier estructura que se pueda superponer. Y por último, colorear selectivamente partes del insecto para sacar a relucir los detalles de especial interés. La preparación estándar se describe en los párrafos siguientes.

1. Colocar las muestras en una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) a temperatura ambiente durante varios días. El KOH es una base muy cáustica, esto significa que disolverá o "quemará" la carne, incluyendo la piel y los ojos de quien realiza la operación si no se toamn las precauciones del caso. La idea es que la solución eliminará todos los tejidos del exoesqueleto de los gusanos (el exoesqueleto es el esqueleto

externo continuo que recubre toda la superficie de los animales del filo artrópodos: arácnidos, insectos, crustáceos, miriápodos y otros grupos relacionados).

2. Trasladar los gusanos a 70% de alcohol etílico (EtOH), de 10 a 15 minutos. Esto elimina el KOH. El 70% de alcohol isopropílico funciona tan bien como el EtOH. Mientras que los gusanos se encuentran en el alcohol, perforar cada uno con un alfiler (por una cara) y luego aplastarlos con una pequeña espátula. Esto es para eliminar los restos de los contenidos del cuerpo; también a facilita la sustitución de líquidos en la cavidad del cuerpo, en los pasos siguientes.

3. Para teñir los gusanos, transferirlos al fluido de aclaramiento y dejarlos allí durante la noche; deben haberse agregado varias gotas de doble tinción al fluido. Las fórmulas se dan al final de estas instrucciones.

4. Transferir los gusanos de nuevo a 70% EtOH durante 10 a 15 minutos. Esto es para eliminar el fluido del interior de su cutícula. También permite "afinar" el proceso de tinción, es decir, para lograr que la cutícula o "piel" de la larva muestre exactamente el grado de transparencia que se desea. Los gusanos se mancharán en forma oscura cuando se coloquen en el EtOH, y pasarán a ser más claros cuanto más tiempo permanezcan allí. Si después de 15 minutos el grado deseado de transparencia no se ha obtenido, dejar espécimen en el EtOH hasta que lo logre. Una vez más, el 70% de alcohol isopropílico funcionará tan bien como el EtOH.

5. Transferir los gusanos a 100% de EtOH durante 10 a 15 minutos. El alcohol puro (200 de graduación) deshidrata la muestra, es decir, elimina toda el agua.

6. Transferir los gusanos a aceite de clavo, de 10 a 15 minutos. El objetivo es poner las muestras en una solución que se mezcle bien con xileno y bálsamo. El alcohol puro no se mezcla bien con el bálsamo, aunque no nubla la montura. La luz no va a pasar a través de las dos sustancias de la misma manera. El aceite de clavo no tiene inconvenientes, tiene el mismo índice de refracción que el bálsamo y puede ser mezclado con éste en cualquier proporción.

7. Cada larva se debe montar por separado en el centro de un portaobjetos de microscopio estándar. Poner una gota grande de bálsamo en medio de la diapositiva. Se intenta tener bálsamo suficiente para cubrir la muestra, pero no tanto como para hacer flotar al cubreobjetos. La práctica y la experiencia dirán la cantidad apropiada que conviene usar.

Colocar el gusano de costado en la gota. Esta posición es ideal para examinar los ganchos de la boca y espiráculos anteriores. A continuación, colocar un cubreobjetos sobre la gota, tratando de emplear cubiertas circulares en lugar de cuadradas; las circulares permiten que el bálsamo se esparza mucho más uniformemente. De cualquier modo, asegurarse de

aplicarlo de un solo lado, de tal manera que no queden burbujas de aire atrapadas en la montura; invariablemente, estas burbujas se juntan justo sobre los caracteres más importantes de la muestra. A veces la muestra es demasiado gruesa para que la cubierta permanezca chata. Para solucionar este problema, colocar tres o cuatro astillas del cristal roto de la cubierta en la gota de bálsamo en torno a la muestra. Estos trozos de vidrio actuarán como accesorios; también se pueden comprar pequeños nódulos de plástico diseñados específicamente para este propósito.

8. Transferir los *slides* a un secador de diapositivas o a un horno de secado a 400° C durante unas dos semanas. Si se dejan en la secadora más tiempo, el bálsamo comenzará a cocinarse y se tornará oscuro. Si se los quita tempranamente y luego se guardan las diapositivas de costado, el bálsamo lentamente se escurre y arruina las monturas, y tal vez la caja de almacenamiento en que se encuentran también.

Éste es quizás el lugar para mencionar que las diapositivas deben ser observadas tanto bajo un microscopio de disección como bajo un microscopio compuesto. Por ejemplo, un microscopio de disección con un alto poder, de 80x, es ideal para el examen de los espiráculos, ganchos de la boca y otras grandes estructuras del gusano. Pero este aumento no es suficiente para trazar con claridad la distribución de las espinas diminutas, tan importante en la identificación de larvas.

Modelo de fluido de aclaración:

Acido láctico (85%), 20 partes.
Fenol (licuado), 2 partes.
Ácido acético glacial, 4 partes.
Agua destilada, 1 parte.

Doble tinción:

10 ml 55 lignina acuosa de color rosa.
5 ml de fucsina ácida acuosa.

12. Sucesión de generaciones de insectos en el cadáver

En su momento, Balthazard señalaba que cada exhumación conforma para el médico forense una fuente de nuevas sorpresas sin que sea posible prever o descubrir la razón de las destrucciones rápidas o anormales de los cadáveres.

El estudio de las diversas generaciones de insectos que se han sucedido en el cadáver nos permite estimar la época de la muerte y en qué estación del año ha ocurrido.

El cuadro que publicara Balthazard, adaptado por Guiart, puede servir de guía:

CADÁVER CONSERVADO AL AIRE LIBRE

Se encuentran: *Curtonevra stabulans* *Calliphora vomitoria* *Lucilia caesar* *Sarcophaga carnaria* (o sus ninfas o pupas vacías	La muerte data de unos 6 meses como mínimo
Dermester lardarius *Aglossa pinguinalis*	De 6 a 9 meses
Pyophila petasionis *Anthomyia vicina* *Corynetes coeruleus*	10 meses por lo menos
Tyreophora cynophila *Lonchea nigrimana* *Ophyra cadaverina* *Phora aterrima* *Necrophorus fossor* *Dylpha obscura* *Hister cadaverinus* *Saprinus rotundatus*	De 1-2 años
Acáridos	De 2-3 años
Tenebrio obscurus *Ptineus bruneus*	De 3-4 años

CADÁVER INHUMADO

Únicamente las pupas vacías de los mismos Dipteros	La muerte data de 3-4 meses por lo menos.
Rhizophagus parallelocollis *Ophyra cadaverina* *Phora aterrima*	La muerte data por lo menos de un año

II. TÉCNICAS FORENSES DE RECONSTRUCCIÓN FACIAL

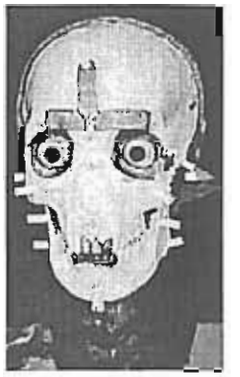
1. Introducción

La reconstrucción facial forense es el proceso de recreación a partir del cráneo, de una imagen suficientemente parecida de la persona cuando estaba viva, que ayudará en la identificación de restos óseos cuando no hay otro medio disponible. Una vez que la piel y la carne del cráneo de un cadáver se pudren, su naturaleza y apariencia física desaparecen junto con él; se convierte entonces en la tarea de forenses *antropólogos*, escultores y otros artistas creativos, reconstruir una vida como la forma de lo que la persona parecía desde el esqueleto y, a veces,

las partes restantes de un esqueleto. Para no dañar el original, normalmente se procede a efectuar una réplica del cráneo en escayola, alginato o resina, realizada con el método convencional de moldes de silicona o a partir de un escáner en 3D. Seguidamente, se marcan 32 puntos craneométricos en el original, 10 sobre la línea media y 11 bilaterales. Después se localizan estos mismos parámetros en el molde de yeso y se taladran pequeños agujeros, en los que se insertan palitos calibrados con el grosor de los tejidos blandos, para lo que se utilizan unas tablas de grosores tisulares. En un principio estas medidas se tomaban en cadáveres a través de agujas calibradas que se introducían en diversos puntos anatómicos del cráneo. Sin embargo, esta técnica ha dejado de utilizarse, ya que desde el momento de la muerte se produce una retracción de los tejidos blandos y su deshidratación, lo que resta fiabilidad a la muestra. En la actualidad se usan métodos no invasivos para tomar una muestra del grosor de los tejidos blandos en individuos vivos, como los ultrasonidos, las radiografías o las tomografías axiales computarizadas (TAC). Estas técnicas permiten crear unas tablas más precisas que tienen en cuenta el sexo, la edad y la complexión física.

Una vez que se han recreado los rasgos faciales, entran en juego la parte artística y los medios de los que se disponga, debido a que el resultado final puede ser muy distinto en función del tipo de reconstrucción que se realice: realista, escultórica o virtual.

La arcilla es una forma común de reconstrucción. Esta técnica se utiliza para ayudar a descubrir la identidad de las víctimas de delitos, y también con fines arqueológicos, para conseguir una visión del pasado. Carrie Olsen, (escultora de retratos, cuya formación en medicina le dió el conocimiento de la anatomía que imprime una precisión increíble en sus esculturas, estudió retrato y arte figurativo, así como la reconstrucción facial forense) trajo a la reconstrucción facial forense algunas habilidades únicas.



El cráneo está marcado con puntos de referencia óseos según las normas. Esto revela la profundidad media del tejido en estos puntos.

En la parte final de la reconstrucción el talento se une con los conocimientos para mostrar una "mejor estimación" de cómo lucía la persona en vida. Es aquí donde se añade profundidad y realidad a la escultura. Ésta es la reconstrucción completa.

La arcilla es añadida a la profundidad de los marcadores y las características se esbozan a partir de allí.

Esta foto muestra a la misma persona de edad avanzada

2. Tipos de reconstrucciones

a) En dos dimensiones (2D)

Ver imagen 30 en el Anexo fotográfico

Las reconstrucciones faciales bidimensionales se basan en fotografías anteriores a la muerte, y el cráneo. En ocasiones se usan radiografías de cráneo, pero no es ideal ya que muchas de las estructuras craneales no son visibles o no están en la escala correcta. Este método suele requerir la colaboración de un artista y un antropólogo forense. Un método de uso general de reconstrucción facial en 2D fue iniciado por Karen T. Taylor, de Austin, Texas, durante la década de 1980. Su método implica adherir marcadores de tejido profundo sobre un cráneo no identificado, en varios lugares de interés antropológico, y a continuación fotografiarlo. Se emplean luego impresiones fotográficas de tamaño natural o frontal y lateral uno a uno, como base para los dibujos faciales hechos en papel vitela transparente. Los programas de software informático, F.A.C.E. y C.A.R.E.S. recientemente desarrollados, en forma rápida producen aproximaciones faciales de dos dimensiones que pueden ser editadas y manipuladas con relativa facilidad. Estos programas pueden ayudar a acelerar el proceso de reconstrucción y permitir que se apliquen sutiles variaciones al dibujo, aunque pueden producir imágenes más genéricas que las ilustraciones dibujadas a mano.

b) En tres dimensiones (3D)

1. Introducción

Las reconstrucciones faciales tridimensionales son: 1) esculturas (hechas de moldes de restos craneales) creadas con plastilina y otros materiales, o 2) de alta resolución, imágenes tridimensionales computadas. Al igual que las reconstrucciones en dos dimensiones, estas reconstrucciones por lo general requieren un artista y un antropólogo forense. Los programas de computación crean reconstrucciones tridimensionales mediante la manipulación de fotografías escaneadas de los restos del cráneo no identificados, fotografías de archivo de los rasgos faciales y otras reconstrucciones disponibles. Estas aproximaciones computadas suelen ser más eficaces en la identificación de víctimas, ya que no parecen demasiado artificiales.

Los desarrollos contemporáneos de captura de imágenes digitales en tres dimensiones (3D), el modelado gráfico y la animación han comenzado a integrar algunas áreas muy tradicionales de las ciencias forenses. La reconstrucción facial forense sirve como un ejemplo de ello, pero el reconocimiento y la reconstrucción y el modelado y la animación de accidentes o escenas del crimen son otros campos en los que los métodos computarizados en 3D están siendo adoptados gradualmente.

Nos centraremos en la reconstrucción facial en 3D, describiendo brevemente el método tradicional y definiendo el enfoque novedoso que se adopta en el proyecto 3D de reconstrucción facial forense computarizada de la Universidad de Sheffield (EE.UU.).

2. Reconstrucción facial forense tradicional

En la primera parte del siglo XX, o antes, las mediciones de profundidad de los tejidos utilizadas eran las recogidas de cadáveres. Estas mediciones son parciales ya que provienen de muestras pequeñas, porque los tejidos de una persona muerta no son los mismos que los de una persona viva, y debido a que sólo toman cuenta limitadamente las diferencias promedio entre personas de diferentes edades, contextura y sexo, y entre los principales agregados de la diversidad humana. Durante más de un siglo, los artistas y científicos han estado tratado de mejorar la calidad de la reconstrucción facial del cráneo, esfuerzos que han tenido un éxito muy limitado. Más recientemente, se han desarrollado métodos informáticos para la reconstrucción facial 3D (Ubelaker y O'Donnell 1992; Vanezis 1989; Shahrom 1996; Miyasaka 1995). Estos métodos emplean programas de computación para transformar imágenes 3D de cráneos escaneados con láser, en rostros. Aunque los resultados son más reproducibles que las reconstrucciones esculpidas, puede prevalecer cierta subjetividad en la "vinculación" de una imagen facial compuesta en la matriz del cráneo digitalizado. El uso de esta imagen normalizada reducirá la influencia de la forma individual de cada cráneo, que es fundamental para la apariencia de la persona. Los métodos informatizados pueden ser repetibles, rápidos y precisos, pero en la medida en que se empleen datos antiguos la calidad de la reconstrucción se verá afectada.

3. Desarrollos actuales en Sheffield (EE.UU.)

Se utilizó un escaner láser color Cyberware 3030 RGB NC y una computadora Silicon Graphics Indy ™ para capturar imágenes en 3D del cráneo. A medida que la plataforma gira se genera una matriz que parece de alambre.

Ver imagen 31 en el Anexo fotográfico

Escáner láser color

El escaneo con tomografía computarizada (TC) permite la medición más exacta de la profundidad del tejido; se pueden juntar grandes muestras de mediciones de la profundidad del tejido, con los atributos asociados a edad, sexo, contextura y, donde resulte apropiado, grupo étnico. Las imágenes digitalizadas de los rasgos faciales no previstos por los contornos del cráneo (nariz, ojos y boca) se deben agregar por otros medios para generar una cara con forma de marco de alambre, en la que el color y la textura se pueden representar posteriormente. Si es necesario, un cráneo se puede reconstruir "virtualmente" de las partes escaneadas por separado.

4. Desarrollo en España

En 2008, una investigadora del Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada terminó de confeccionar la base de datos más completa que existe en el mundo, que permitirá identificar cadáveres en avanzado estado de descomposición y restos óseos a partir de reconstrucciones faciales realizadas mediante gráficos computarizados tridimensionales.

Esta técnica hará que se reduzcan los costos de dinero y tiempo que conlleva este proceso; asimismo, evitará en muchos casos realizar en vano la costosa prueba del ADN, porque la reconstrucción facial será un complemento que permitirá decidir si es conveniente realizar el análisis de ADN sólo cuando existan claros indicios.

Gracias a esta investigadora los forenses podrán determinar las características faciales generales e individuales del sujeto en cuestión. La investigación ha estado encabezada por el director del laboratorio, y, tras la completa base de datos a la que ha dado lugar, ahora los investigadores buscan alguna empresa o grupo de investigación que desarrolle el software informático necesario.

En la actualidad existen algunos sistemas parecidos en países como Estados Unidos, Inglaterra y Australia, pero no existía una base de datos similar para identificar a individuos pertenecientes al fenotipo mediterráneo.

5. Evolución futura

En la actualidad, la recopilación de datos de los escaneos con TC es un proceso arduo y requiere mucho tiempo para acumular una serie de medidas de punto a punto. La captura automática de datos 3D de estos escaneos es una propuesta novedosa, pero no será rentable para la reconstrucción facial en un futuro próximo. Los métodos para el envejecimiento de una reconstrucción o para hacer comparaciones con bases de datos digitalizadas de personas desaparecidas, están también muy lejos. Se ha sugerido que un eventual entendimiento de la genética del desa-

rrollo del crecimiento facial puede permitir que el ADN forense o antiguo sea utilizado para tomar parte de reconstrucciones.

c) Superposición

La superposición es una técnica que a veces se incluye entre los métodos de reconstrucción facial forense. No siempre está incluida como una técnica porque los investigadores ya deben tener algún tipo de conocimiento sobre la identidad de los restos óseos con los que están trabajando (en oposición a las reconstrucciones 2D y 3D, cuando la identidad de los restos óseos es generalmente desconocida por completo). Las superposiciones forenses se crean mediante la superposición de una fotografía de un individuo sospechoso de pertenecer a los restos esqueléticos no identificados sobre una placa de rayos X del cráneo no identificado. Si el cráneo y la fotografía son del mismo individuo, entonces, las características anatómicas del rostro deben alinearse con precisión.

d) Historia

Con la aparición del ordenador la superposición cráneo-foto se agiliza y se facilita alcanzar conclusiones más certeras en cuanto a la identificación individual.

Los primeros trabajos precursores del actual estudio de análisis de imagen se remontan al siglo pasado y son un ejercicio de reconstrucción histórica. Iscan y Helmer (1993) citan a Welcker (1883) y His (1895) como precursores de este tipo de estudios. Estos autores realizaron un gran número de mediciones de los tejidos blandos y establecieron las primeras relaciones con los rasgos externos del individuo. Esta idea básica persiste hasta la actualidad.

Welcker (1883) y His (1895) fueron los primeros en reproducir aproximaciones faciales tridimensionales a partir de restos craneales. La mayoría de las fuentes, sin embargo, reconocen a His como el precursor en el avance de la técnica. También produjo los primeros datos sobre el espesor del tejido facial promedio seguido por Kollmann y Buchly, quienes más tarde recogieron datos adicionales y compilaron tablas a las que aún se hace referencia en la mayoría de los laboratorios que trabajan actualmente con reproducciones faciales.

Las conclusiones de estos métodos dependen de si el examinador puede realizar comparaciones con un retrato, busto, una máscara mortuoria, etc. His, en 1895, modela un busto en un molde de yeso a partir del cráneo de Juan Sebastián Bach, de acuerdo con las medidas de los tejidos blandos. Para establecer las características faciales usa alguno de los retratos que se creía que poseían las características más fiables de este personaje. Por esta vía, His identifica el cráneo de Bach, determinando además en el esqueleto la edad, sexo, estatura, y fecha de la muerte. Welcker, en 1883,

dibuja un contorno del cráneo y de la máscara mortuoria y los posiciona, de forma que los dos contornos dibujados estén en una correspondencia exacta. De esta forma identifica el cráneo de Inmanuel Kant.

La reconstrucción facial se originó en dos de los cuatro subcampos principales de la antropología. En antropología biológica, se utilizó para aproximar la apariencia de las primeras formas de homínido, mientras que en arqueología fueron utilizados para validar los restos de personajes históricos. En 1964, Mikhail Gerasimov fue probablemente el primero en intentar la reconstrucción facial paleo-antropológica para estimar la apariencia de los pueblos antiguos.

Aunque los estudiantes de Gerasimov utilizaron más tarde sus técnicas para ayudar en las investigaciones criminales, fue Wilton M. Krogman quien popularizó la aplicación de la reconstrucción facial en el terreno forense. Krogman presentó su método en su libro de 1962, que detalla la metodología para la aproximación. Otros que han ayudado a popularizar la reconstrucción facial tridimensional son a Cherry (1977), Angel (1977), Gatliff (1984), Nieve (1979) e Iscan (1986).

Existe un gran número de estudios que se realizan tratando de superponer un cráneo con la fotografía de una persona desaparecida. Vamos a revisar algunos de ellos, que son históricos, y otros como otra opción para la superposición. La dificultad reside en orientar el cráneo en la misma posición que tiene la fotografía. La fotografía está casi siempre en un ángulo desviado, es decir, ni en visión facial ni en visión lateral estricta.

Prinsloo, en 1953, usó fotografías de presumibles víctimas poniéndolas en relación con los rasgos craneales y consiguió comparaciones satisfactorias.

El caso más famoso de comparación craneofotográfica es el que realizaron Glaister y Brash en el "Caso Ruxton", que describe Smith (1961) y citan igualmente Krogman (1986) e Iscan (1993).

Krogman e Iscan (1986) exponen varios casos históricos en los que empezó a aplicarse esta técnica. Uno de los primeros, según estos autores, es el que expone Lander, donde se examina un esqueleto de edad, sexo y raza conocida del que existía una fotografía en vida. Lander, sólo en base a la inspección visual, concluye que "parece bastante improbable que nadie examinando el cráneo postulara que existe un tipo similar de cara como el visto en la fotografía".

Iscan, en 1980, llevó a cabo un gran número de superposiciones usando un video. En esta nueva técnica utiliza dos cámaras que captan una imagen del cráneo y una imagen de la fotografía, que lleva a un mismo tamaño y después mezcla. Este procedimiento comenzó colocando la fotografía en un panel y el cráneo en un trípode. Los ejes cámara-objeto se tomaban paralelos uno al otro. El cráneo se orientó en la misma posición que la fotografía. Varias marcas, como márgenes infraorbitales, márge-

nes externos de las órbitas, dientes anteriores (cuando están presentes en la foto) y otros, se marcan en la fotografía y en el cráneo. Cuando es necesario la cámara se mueve sólo a lo largo del eje objeto-cámara. El proceso completo llevaba alrededor de una hora y puede ser realizado por dos personas, una observando el monitor y la otra ajustando la orientación de las cámaras.

El desarrollo de esta técnica tropieza con dos dificultades principales: la orientación exacta del cráneo y la ampliación precisa de la imagen del rostro respecto de las dimensiones del cráneo. Muchos autores se han preocupado por la resolución de estos problemas y han publicado sus opiniones y resultados. Así, Chai (1989) propone resolver la exacta orientación del cráneo mediante la determinación de unos índices en la fotografía. Otros trabajos, como el de McKenna (1994), tratan de resolver este problema determinando las dimensiones dentales para obtener el factor de magnificación, aunque no siempre es posible. En ocasiones se ha recurrido a la distancia interpupilar de una segunda persona (Loh y Chao, 1989).

Otros autores diseñaron un equipo para la realización de las fotografías craneales necesarias para el cotejo (McKenna; 1988) (Brocklebank y Holgren, 1989). Se ha propuesto por Pesce Delfino (1986) la evaluación de la congruencia de una superposición mediante un método ayudado por ordenador.

En la Escuela de Medicina Legal de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, se empezó utilizando un analizador de imagen (Vidas Kontron). El mismo está diseñado para medir dimensiones espaciales y la densidad de gris de una imagen tomada mediante cámara de video; asimismo, permite el conteo automático de objetos por campo. Este método permitía superponer en directo una imagen de video del cráneo y una imagen delineada de la fotografía; además se podían practicar múltiples intentos de adaptación. Uno de los problemas es la fotografía que se recibe para establecer la comparación. Normalmente esta fotografía ha sido tomada en condiciones que se desconocen: tipo de cámara, luz, tiempo de exposición, ángulo de inclinación, expresión y posición del individuo, etc. También las imágenes recogidas en una cámara de video tienen el problema de que son de difícil delimitación, además de que normalmente tampoco se toman en buenas condiciones de luz, posición, etcétera.

La fisonomía del individuo también es un factor influyente en la fiabilidad de la superposición, ya que el estilo del peinado, la expresión facial, la cantidad de pelo, la existencia de barba, la existencia o pérdida de dientes, etc., pueden afectar negativamente en su identificación.

Del mismo modo, la edad que tenía el individuo al tomar la fotografía puede que acentúe las diferencias en algunos aspectos, como nariz, oídos, y en caso de que haya padecido un traumatismo puede modificarse

su aspecto. También pueden representar un inconveniente las alteraciones provocadas por cirugía plástica y el empleo de anteojos.

En el año 2004, el Dr. Andrew Nelson, del Departamento de Antropología de la Universidad de Ontario Occidental, hizo saber que el reconocido artista canadiense Corbet Christian había creado la primera reconstrucción facial forense de una momia de aproximadamente 2200 años de antigüedad, basado en tomografías computadas y escaneos láser. Esta reconstrucción se conoce como el proyecto Momia Sulman.

e) Técnica para realizar reconstrucciones tridimensionales en arcilla

Debido a que no ha sido ampliamente aceptado un método estándar para la creación de reconstrucciones faciales forenses tridimensionales, se utilizan múltiples métodos y técnicas. El proceso que se detalla a continuación refleja el método presentado por Taylor y Angel en su capítulo referido a identificación craneofacial en medicina legal. Este método supone que el sexo, la edad y la raza de los restos a someterse a la reconstrucción facial ya se han determinado a través de técnicas antropológicas forenses.

El cráneo es la base de la reconstrucción facial, sin embargo, otros restos físicos que están a veces disponibles, con frecuencia han demostrado ser valiosos. En ocasiones, los restos de los tejidos blandos se encuentran en un conjunto de restos. A través de un examen minucioso, el artista forense se puede aproximar fácilmente al grosor del tejido blando sobre las restantes áreas del cráneo, basado en la presencia de estos tejidos. Esto elimina uno de los aspectos más difíciles de la reconstrucción, la estimación del espesor del tejido. Además, cualquier otra evidencia corporal o física encontrada en asociación con los restos (por ejemplo, joyas, pelo, gafas, etc.) es vital para las etapas finales de la reconstrucción, ya que reflejan directamente la apariencia de la persona en cuestión.

Sin embargo, más comúnmente, sólo el cráneo y un mínimo o ninguna parte de otros tejidos blandos están presentes en los restos que reciben los artistas forenses. En este caso, se ha completado un examen minucioso del cráneo; este examen se centra en, pero no está limitado a, la identificación de cualquier patología ósea o marcas inusuales, la resistencia de los sistemas de unión de los músculos, perfil de la mandíbula, simetría de los huesos nasales, dentición, y el desgaste de las superficies oclusales. Todas estas características tienen un efecto en la apariencia de la cara de un individuo.

Una vez finalizado el examen, el cráneo se limpia y las áreas dañadas o fragmentadas se reparan con cera. La mandíbula se vuelve a unir, de nuevo con cera, de acuerdo con la alineación de los dientes, o, si no hay dientes, promediando las dimensiones verticales entre la mandíbula y el maxilar superior. Los orificios como los nasales se rellenan con pasta de modelar y los ojos protésicos se insertan en las órbitas, centrados entre

los bordes orbitales superiores e inferiores. En este punto, se prepara un molde de yeso del cráneo.

Después de establecer un molde, plásticos de colores o elementos similares se adhieren a veintiun lugares específicos, que corresponden a los datos de referencia. Estos sitios representan la media del espesor del tejido facial de las personas del mismo sexo, raza y edad como la de los restos. A partir de ahora, todas las características se añaden usando arcilla de modelaje.

En primer lugar, los músculos faciales se colocan en capas sobre el molde en el siguiente orden: temporal, masetero, bucinador y occipitofrontales y, finalmente, los tejidos blandos del cuello. A continuación, se reconstruyen la nariz y los labios antes de formar cualquiera de los otros músculos. Los labios son aproximadamente tan anchos como la distancia interpupilar, sin embargo, esta distancia varía significativamente con la edad, el sexo, la raza y la oclusión. La nariz es uno de los rasgos faciales más difíciles de reconstruir porque el hueso que subyace es limitado y la posibilidad de variación es expansiva. El perfil nasal se construye midiendo, primero, el ancho de la abertura nasal y la espina nasal. Empleando un cálculo de tres veces la longitud de la espina más la profundidad del marcador de tejido número cinco, dará la longitud aproximada de la nariz. A continuación, la inclinación de la nariz se determina mediante el examen de la dirección de la espina nasal (hacia abajo, plana, o hacia arriba). Un bloque de arcilla que es la longitud adecuada, se coloca a continuación sobre la espina nasal y el tejido nasal restante se rellena empleando marcadores tisulares dos y tres como guía para el puente de la nariz. Las alas se crean marcando primero un punto cinco milímetros por debajo de la parte inferior de la abertura nasal; después de construir la parte principal de la nariz, se construyen las alas como pequeñas bolas de arcilla en forma de huevo, que son de cinco milímetros de diámetro en el punto más ancho; éstas se colocan en los lados de la nariz que corresponden a la marca hecha previamente. Las alas son luego mezcladas con la nariz y la estructura general se redondea y se da forma adecuadamente.

Los músculos de la expresión facial y el tejido blando alrededor de los ojos se añaden seguidamente. Durante esta etapa se efectúan mediciones adicionales según la raza (especialmente para aquellos con pliegues de ojos, característicos de origen asiático). A continuación, los tejidos se forman y agregan con una precisión de un milímetro de los marcadores de espesor de tejido y los oídos (indicados como extremadamente complicados para reproducir). Por último, se le da aspecto de "carne" al rostro, lo que significa agregar arcilla hasta que los marcadores de espesor de tejidos estén cubiertos, y se añade cualquier caracterización específica (por ejemplo, el pelo, las arrugas en la piel, rasgos raciales notorios, anteojos, etcétera).

f) Insuficiencia de datos respecto del espesor del tejido

Existen múltiples problemas destacados relacionados con la reconstrucción facial forense. La cuestión más acuciante se refiere a los datos utilizados para obtener la media del espesor del tejido facial. La información disponible para los artistas forenses todavía es muy limitada en los rangos de edades, sexo, y construcción del cuerpo. Esta disparidad afecta en gran medida la precisión de las reconstrucciones; hasta que estos conocimientos no se desarrollen más ampliamente, la probabilidad de producir la reconstrucción más precisa posible es bastante limitada.

g) Falta de estandarización metodológica

Un segundo problema es la falta de una estandarización metodológica en la aproximación a los rasgos faciales. No se ha reconocido aún un método único, oficial, para la reconstrucción de la cara. Esto también presenta un gran obstáculo en la aproximación facial, porque rasgos como los ojos y la nariz, y las características de individualización, como corte de pelo, que son aquellas con más probabilidad de ser recordadas por los testigos, carecen de una forma estándar de ser reconstruidas. Las investigaciones recientes sobre métodos asistidos por ordenador, que aprovechan el procesamiento digital de imágenes y reconocimiento de patrones, prometen superar las limitaciones actuales en la reconstrucción facial y la vinculación.

Las reconstrucciones sólo revelan el tipo de rostro que una persona *puede* haber mostrado debido a la subjetividad artística. La posición y la forma general de los rasgos faciales principales son en su mayor parte exactas, porque están en gran medida determinadas por el cráneo.

h) Reconstrucciones faciales en arqueología

Las reconstrucciones faciales históricas tienen un precedente que se remonta por lo menos tan lejos como sus homólogas forenses. En el siglo XIX, se hicieron reconstrucciones del escritor y filósofo Schiller y del filósofo Kant (Welcker 1883). Más recientemente, Richard Neave reconstruyó la cara de una calavera de Vergina (Grecia), que se presumía era de Filipo II de Macedonia (Neave 1984), y de Lindow Man (Neave, 1989). Neave también apareció en la televisión describiendo a un rostro "maya" perteneciente a una de las famosas calaveras de cristal. Sin embargo, teniendo en cuenta que la forma de la nariz se puede predecir sólo con el sesenta por ciento de precisión, aproximadamente, y la forma de la punta sólo con un cuarenta por ciento (Macho 1989, 1986), y que la forma del cabello y la línea respectiva son desconocidas, esta fue realmente una reconstrucción inspirada.

Muchas de las reconstrucciones de Neave se exhiben en el Museo de Manchester. Las exposiciones de reconstrucciones también han demostrado ser populares en Jorvik (Noruega), en York (Inglaterra) y en el Museo Nan Eilean, Stornoway (Escocia) (MacLeod y Cowie 1996).

i) Conclusiones

La reconstrucción facial está destinada a seguir siendo un arte, aunque cada vez más informado. La forma de la cara tiene un parecido restringido a la estructura ósea. Las reconstrucciones faciales son inherentemente imprecisas, por lo tanto, no se pueden utilizar como una prueba positiva de identificación. Como muchas cosas en la arqueología, una reconstrucción facial es una recreación artística científicamente informada, una interpretación. Sin embargo, una reconstrucción facial forense tiene valor al permitir potencialmente la exclusión de un individuo en particular como el sujeto no identificado y, lo más importante, al actuar como un *estímulo para el recuerdo* de un prójimo ausente, amigo o pariente. En este sentido, la exactitud de la imagen puede no ser tan importante como permitir que los organismos de investigación se beneficien de la atención de los medios de comunicación y la opinión pública.

La relevancia actual de la investigación en el modelado y la animación computarizada puede beneficiar a la arqueología intelectual y financieramente. Dentro de la arqueología, los aspectos de mejora estética de la reconstrucción facial aumentan aún más la cantidad de errores incorporados en el modelo. Sin embargo, las reconstrucciones faciales sensitivamente presentadas pueden fomentar una mayor empatía con las personas cuyas vidas se intenta de alguna manera representar.

CAPÍTULO IX

LA PRUEBA DOCUMENTAL

I. INTRODUCCIÓN

En la era de la comunicación electrónica, los documentos en papel y las firmas manuscritas con tinta siguen siendo la manera en que se realizan la mayoría de las transacciones comerciales. Litigios civiles y penales, disputas domésticas y empresariales y otras controversias giran en torno a pretendidas irregularidades en cheques, testamentos, contratos, pólizas de seguros, escrituras y otros documentos cuestionados. Éste es el campo del examinador forense de documentos.

La documentología se basa en una combinación de principios utilizados con éxito durante el siglo pasado, y técnicas y tecnología que están a la vanguardia de la ciencia del siglo XXI. Se pretende aquí explicar algunos conceptos básicos sobre el trabajo de los examinadores de documentos forenses y los peritos calígrafos en identificación.

II. ALGUNAS APLICACIONES TÍPICAS DEL EXAMEN DE DOCUMENTOS

En general, el mayor número de preguntas relativas a los documentos son acerca de la escritura a mano –en especial las firmas–, e incluyen las siguientes:

Firma manuscrita

- ¿es auténtica la firma?;
- ¿está simulado/trazado el documento?, y si es así ¿fue realizado por una persona en particular?
- ¿es la misma persona el autor de varios documentos?;

- ¿cuál de un grupo de personas escribió una carta anónima?;
- ¿alguien guió la mano de una persona cuando se firmó el testamento?;
- ¿el médico regresó más tarde y alteró los registros médicos?;
- ¿el firmante del documento también inicialó los cambios?;
- ¿qué está escrito debajo de la parte tachada de la escritura?;
- ¿el documento se escribió en la fecha indicada?

También hay preguntas sobre escrituras con máquinas de escribir o procesos de impresión:

- ¿están ambos documentos escritos en la misma máquina?;
- ¿fue retirado el documento de la máquina de escribir y luego reinsertado durante su preparación?;
- ¿hizo una persona en particular la escritura?;
- ¿qué tipo de impresora o qué proceso de impresión se usó para imprimir el documento?;

Algunas preguntas no tienen que ver con la escritura a mano o la máquina de escribir:

- ¿hay borraduras/raspaduras en el documento?;
- ¿hay alteraciones u obliteraciones en el documento?;
- ¿cuál había sido escrito antes de la alteración o bajo la obliteración?;
- ¿hay perforaciones, pliegues, agujeros de agujereadoras o engrampadoras, u otro tipo de pistas físicas en el documento?;
- ¿fue todo el documento reescrito, o fue preparado de forma secuencial, durante un período de tiempo?

Dependiendo de la naturaleza y la condición de los documentos afectados, estas preguntas pueden ser respondidas por el examinador de documentos cuestionados, con formación y experiencia. El primer grupo de preguntas, que involucra la escritura a mano, requiere de una comparación de los documentos cuestionados y conocidos. Este examen se hace a simple vista y con lupas y microscopios con diferentes grados de aumento. La pregunta que no puede ser abordada de esta manera es la referida a la fecha del documento. Las pistas físicas en el elemento pueden permitir al examinador llegar a algunas conclusiones sobre el tiempo y la secuencia de la preparación del mismo, pero para datar la tinta se consulta a un químico especializado.

Las preguntas relativas a hendiduras, tachaduras y alteraciones pueden ser contestadas con el uso cuidadoso de la iluminación, la fotografía y las pruebas simples, no destructivas, en el laboratorio. La fotografía infrarroja y la fotografía ultravioleta se utilizan para responder a las preguntas que se mantienen en el misterio a la luz normal.

Las máquinas de escribir se están convirtiendo en una reliquia del pasado a medida que más gente emplea computadoras y procesadores de

texto. Está evolucionando una nueva área de documentos cuestionados que involucran fotocopias, faxes e impresiones de computadoras. Con el fin de responder a algunas de estas preguntas, un examinador forense de documentos debe estudiar las características de todas las clases de máquinas, tales como fotocopiadoras, y luego tener acceso a archivos detallados que muestren las características específicas de la producción de una marca específica de máquina.

En lo que respecta a las de escribir, la individualización de características a menudo se desarrolla debido al desgaste o los daños en el elemento de escritura. Esto puede dar lugar a un aspecto distintivo del documento, que el examinador puede detectar a través de una cuidadosa observación y medición. La pregunta más difícil de responder es si una persona escribió un documento, y sólo determinadas circunstancias permiten una respuesta a esta pregunta.

En una situación similar, que involucra máquinas de oficina, las preguntas sobre el papel requieren el conocimiento de las características del mismo. El examinador puede necesitar tener una biblioteca de muestras de papel a su disposición. Al igual que en el caso de la datación de la tinta, en algunos casos es necesario consultar a un especialista en la fabricación de papel.

III. TEXTOS MANUSCRITOS Y FIRMAS. ALGUNOS HECHOS BÁSICOS Y CONCEPTOS TEÓRICOS

a) La fisiología de la producción de la escritura a mano

La escritura a mano se origina en el cerebro cuando se forma una imagen mental de letras y palabras. La señal para tratar de duplicar la imagen mental se envía al brazo y a la mano a través de los músculos y el sistema nervioso. La producción real casi nunca es una coincidencia exacta de la imagen mental original.

Trozo de escritura a mano

b) Las habilidades automáticas se convierten en patrones

Un bebé nace con ciertas habilidades básicas y automáticas. Puede respirar, llorar, succionar, mover sus extremidades al azar. Para llevar a cabo tareas más complejas, el bebé debe aprender; los patrones deben formarse y almacenarse en el cerebro, el que a su vez hará que los mensajes viajen a través del sistema nervioso a los músculos para producir movimientos (comportamiento).

Sonreír es una conducta simple que un niño aprende a temprana edad. Al principio, imita las sonrisas de sus padres, y como este comportamiento es recompensado con más sonrisas y abrazos de sus padres (retroalimentación positiva), se construye un patrón en el cerebro del bebé. Éste aprende a pedir/invocar/reclamar ese patrón para producir una sonrisa. Pronto, sonreír se vuelve automático, como respirar.

De manera similar, el bebé aprende a alcanzar, asir, hablar y caminar. Las acciones más y más complejas son posibles cuando el bebé construye las vías nerviosas que viajan entre los músculos y el cerebro a través del sistema nervioso. La escritura a mano es una tarea motora extremadamente compleja, que no suele ser aprendida hasta que el niño alcanza los 5 o 6 años y ya domina habilidades más simples.

c) El sistema motor de control

El sistema motor controla el movimiento y la postura necesarios para la escritura a mano, por la contracción y relajación de los músculos. Los mensajes van y vienen de los músculos y el cerebro a través del sistema nervioso. Durante el proceso de aprendizaje, los sentidos y los músculos envían mensajes (realimentación) de regreso al cerebro para que éste sepa cómo se desarrolló la secuencia, el ritmo y la fuerza aplicada. El cerebro hace los ajustes necesarios para dar un máximo resultado; finalmente, se forma un programa motor. Se trata de un conjunto de comandos musculares que se pueden llevar a cabo automáticamente con el ritmo y la secuencia correctos, sin retroalimentación, para dar el mejor resultado posible.

d) Escritura

La escritura es el resultado de ese conocimiento motor almacenado. La escritura a mano es distal, lo que significa que se produce en las extremidades y consiste en la actividad motora fina en oposición con una habilidad como la de caminar, que es proximal –una habilidad motora grande, o gruesa–. Una razón por la cual los individuos encuentran difícil simular la escritura de los demás es que, para hacerlo con éxito, se hace necesario comprender la esencia del programa de control motor del escritor y ejecutar un programa de control motor que produzca un resultado muy similar.

Hagamos un experimento. Tomemos una hoja de papel sin renglones, libre de escrituras y escribamos nuestra firma cerca de la parte superior. A continuación, mantengamos el elemento escritor en el puño cerrado y firmamos nuestro nombre moviendo la muñeca y el brazo. Seguidamente, doblamos el brazo completamente y mantengamos el lápiz en el pliegue del codo y firmemos nuestro nombre con el codo como guía de la pluma/lápiz/esferográfica/etc. Mientras que las firmas segunda y tercera no tienen la fluidez, tamaño y proporción de la primera, veremos que prevalece el mismo patrón general. Esto se debe a que los programas para realizar los complejos movimientos necesarios para producir una palabra escrita se almacenan en el cerebro, no en los músculos. Si quiere probarse más a si mismo, tratemos de escribir nuestro primer nombre en el aire con la nariz o el pie; ¿podemos hacerlo, verdad? La información básica para hacer esto provino de nuestro cerebro, no de los músculos del hombro, brazo, dedos o nariz.

e) El cuerpo como una máquina. Aspectos teóricos de la identificación de manuscritos

Una vez que el patrón básico se establece, los músculos y los nervios del hombro, brazo, mano y dedos se vuelven importantes, porque sin duda efectúan la aparición de la línea escrita. Se puede pensar en el cuerpo como una máquina, una serie de palancas y puntos de apoyo (puntos de giro) con cada parte influenciando en el trabajo de la siguiente parte en el enlace. La fuerza y flexibilidad de los músculos, la posición de la empuñadura del elemento escritor y la postura general del escritor afectan la producción.

Quien tiene a su cargo el examen de un documento desde el punto de vista pericial, cuando se enfrenta con el problema de determinar quién escribió uno en particular usualmente sabe poco o nada de la historia de su autor. Sus resultados se basan en un estudio científico de la escritura y su comparación con ejemplares indubitados.

La individualidad se inyecta en la escritura juntamente con el proceso de aprendizaje y se hace más pronunciada a medida que el escritor la pone en uso diaria o esporádicamente. Es el producto de un esfuerzo combinado entre el cerebro, los nervios y los músculos; la habilidad de estas partes para trabajar juntas influye en las características generales, así como también en los detalles individuales de la escritura. Una vez que un adulto establece un sistema de escritura, rara vez realiza cambios radicales en ella, salvo que sufra algún deterioro físico.

La identificación de manuscritos se basa en el hecho de que cada persona desarrolla peculiaridades individuales en su escritura, resultantes de cientos de miles de movimientos repetidos del brazo y de los dedos. De tal manera, la escritura es el producto del hábito. A medida que una

persona la practica, finalmente se hace tan automática que ni siquiera advierte las muchas formas y trazos de enlace que realiza. Cada escritura individual puede ser identificada con la condición de que sea la verdadera representación de los hábitos normales.

Las características personales que soportan mayor peso son los trazos iniciales y finales, los enlaces y las alturas relativas.

La evaluación de hechos obtenida de la comparación de dos muestras de escritura, de una de las cuales se desconoce su origen y la otra perteneciente a un sospechoso, está sometida a un proceso de evaluación cuantitativa y cualitativa. El experto formula una conclusión basada en estas valoraciones y da su opinión respecto de la autoría de la escritura en cuestión. Los grados de certeza son problemáticos o categóricos.

Las conclusiones categóricas son positivas o negativas, lo cual depende de si se ha establecido una identificación o una no identificación. Las conclusiones probables resultan cuando el perito encuentra imposible identificar con precisión o eliminar al escritor sospechado de un documento cuestionado.

Cuando un perito arriba a una conclusión categórica, significa que tiene sentada una profunda convicción y que la identificación de las características gráficas en su totalidad es suficiente para excluir cualquier coincidencia accidental. Está seguro de que las cualidades comunes evidentes en las dos escrituras comparadas no se dan en la escritura de ningún otro. Consecuentemente, las escrituras analizadas deben haber sido preparadas por un autor; inversamente, las diferencias entre dos muestras que no se deban a una modificación consciente y deliberada (desfiguraciones, simulaciones o copias), ni a una variación natural, evidencian que dos especímenes escriturarios pertenecen a diferentes individuos.

f) Variedad: el área de distribución natural de la escritura a mano

Ninguno de los factores que producen la escritura son rígidos e inmutables. Además de los factores orgánicos (anatomía física y salud, agudeza mental, etc.), hay factores ambientales que afectan la escritura, que incluyen el instrumento escritor en sí, la superficie de escritura, lo que hay debajo de ella, y otras variables. Debido a que el patrón motor principal es en sí mismo una imagen fluida y hay tantas variables orgánicas y ambientales que interactúan en la producción de manuscritos, se ha convertido en un axioma el que sea poco probable que una persona alguna vez duplique exactamente cualquier firma. Cada persona tiene un rango de variación natural, pero incluso con este rango, cada persona crece en su escrito de las formas clásicas enseñadas en la infancia, en una forma individual e identificable de la expresión escrita.

La escritura a mano es una actividad de forma libre, y hay un número infinito de formas de escribir aun la más simple combinación de letras. Es muy poco probable que una persona vaya a escribir su propio nombre de la misma manera dos veces en toda la vida. En realidad, cada persona tiene un rango de variación de escritura a mano determinada por su capacidad de escritura física, la capacitación en "caligrafía", y otros factores. Para el experto, un estudio de muestras conocidas de la escritura puede revelar un conjunto de características individuales que puede permitir al perito identificar o excluir a un individuo como autor de algún documento cuestionado.

Las características de escritura a mano se dividen en dos categorías: general, o características de clase, y las características individuales. Dependiendo del contexto cultural (tiempo y lugar), cuando se aprende a escribir, grupos enteros de personas pueden ser enseñadas o entrenadas para escribir de la misma manera. Cuando estas personas están aprendiendo a escribir, hay diferencias en su capacidad de hacer la tarea y los resultados no son todos iguales, pero las verdaderas diferencias individualizantes aparecen con el tiempo. A medida que crecemos y maduramos física y personalmente, nuestra escritura a mano se convierte en más de un producto individual, a través de cambios de conciencia hechos a la medida de una imagen mental de cómo queremos que nuestra escritura aparezca, o inconscientemente.

La escritura también puede ser afectada por otros factores –lesiones, enfermedades, medicamentos, uso de drogas o alcohol, estrés, superficie de escritura, instrumento escritor, o el intento de ocultar–. Es el trabajo del examinador el que permite entender estos factores, ya que podrían estar referidos a una situación específica.

IV. HISTORIA DE LA ESCRITURA MANUAL. DESARROLLO DE LA ESCRITURA Y EL ALFABETO MODERNO

¿Cómo se desarrolló la escritura? Se desarrolló durante unos pocos miles de años, cambiando y adaptándose a nuevas culturas y nuevas tecnologías. Brevemente digamos que:

En el principio...

Antes de que hubiera escritura, había sólo comunicación verbal, con las normas culturales, rituales e historias/cuentos transmitidos oralmente de una generación a la siguiente. A medida que el idioma y las culturas evolucionaron, también lo hizo la necesidad de comunicación. Los dibujos simples se convirtieron en pictografías y los pictogramas se estandarizaron dentro de cada cultura.

¿Qué es la escritura?

La escritura es un sistema codificado de símbolos estándar: la repetición de formas acordadas simples para representar ideas. Se desarrollaron sistemas de escritura reconocibles en tres grandes culturas dentro de los 1200 años de una a la otra: El sistema cuneiforme de los sumerios, desarrollado alrededor de 3000 a.C.; los jeroglíficos egipcios, alrededor de 2800 a.C., y el precursor de los ideogramas chinos (Kanjis chinos), alrededor de 1800 a.C. El desarrollo de la escritura permitió a las culturas registrar los eventos, la historia, las leyes, las teorías en las matemáticas, la ciencia, la medicina, crear literatura y más.

Los pictogramas sencillos fueron utilizados para representar a las personas, lugares y objetos. A medida que las necesidades de comunicación se expandían, diferentes pictografías se combinaron para representar las ideas y requirieron conocimientos para interpretar los nuevos símbolos. Éstos se convirtieron en ideogramas: símbolos abstractos que se desarrollaron más allá de los dibujos originales.

Innovaciones sumerias

Los escribas sumerios utilizaban, para escribir a lo largo, tablillas verticales de arcilla húmeda y lo hacían de arriba a abajo y de derecha a izquierda. Los escribas diestros tenían problemas, ya que a veces manchaban los símbolos a medida que escribían. Comenzaron a girar las tabletas hacia los lados, y a escribir de derecha a izquierda, luego de arriba a abajo. Los ideogramas también se volvieron hacia los lados a medida que se escribieron, y se convirtieron en más abstractos en apariencia. Además, la introducción de un elemento escritor con punta triangular aumentó la apariencia abstracta de los símbolos.

Los ideogramas se combinaron para pronunciar las palabras más largas. Éstas se convirtieron después en los fonogramas: se pronunció el primer sonido fonético de cada símbolo en un grupo, y juntos los sonidos produjeron una palabra, como "**d**og + **ea**gle + **l**ake = deal (tratar)". Los fonogramas requirieron una persona para descifrar la escritura con el fin de entender el significado.

Innovaciones egipcias

Alrededor del 2400 a.C., los egipcios comenzaron a usar papiro y pinceles de caña para escribir. La tinta fluía más suavemente en el papiro, y permitió a los escribas escribir con mayor rapidez, lo que hizo a los símbolos menos angulares y más redondeados en su apariencia.

Los jeroglíficos se simplificaron cerca de 1500 a.C., y fue conocida como la escritura hierática (escritura sacerdotal). Ésta fue utilizada casi exclusivamente para la escritura religiosa, pero más tarde fue empleada para el comercio. Fue simplificada nuevamente alrededor del 500 a.C., y se comenzó a utilizar en forma más amplia. Esto se llamó escritura demótica (letra de la gente).

El alfabeto fenicio

El antiguo alfabeto fenicio también se desarrolló en torno al 1500 a.C. Éste comprendía 22 símbolos basados fonéticamente y se utilizó ampliamente. Hacia el 800 a.C., se había extendido a Grecia, y bajo el imperio de Alejandro Magno se propagó a Egipto, Persia y la India.

El Imperio Romano

El Imperio Romano se consolidó en el siglo segundo antes de Cristo, y hacia el año 146 a.C. había conquistado Grecia. Los romanos adoptaron muchos aspectos de la cultura griega, incluyendo el alfabeto. Este alfabeto de 23 letras se expandió a toda Europa, Inglaterra, y también al norte de África y el Golfo Pérsico. Las inscripciones en letras mayúsculas fueron talladas en las estructuras de todo el imperio.

La contrapartida manuscrita de las letras mayúsculas esculpidas se llamaba *capitalis quadrata*. Éstas se convirtieron más tarde en las capitales/mayúsculas rústicas, que fueron muy condensadas en ancho, de modo que podía encajar más texto en pergaminos y papiros, que aún eran materiales costosos.

En el 400 d.C., se había desarrollado una escritura diaria romana para las operaciones, la contabilidad y la correspondencia. Las formas de las letras escritas eran mucho más informales en la forma, en comparación con las mayúsculas estructuradas. Las letras comenzaron a fluir juntas para ahorrar tiempo y espacio en el pergamino. Ésta fue la primera señal de formas de las letras minúsculas, con los ascendentes, descendentes y ligaduras entre las letras.

El cristianismo y la escritura celta

Por el momento, el cristianismo era la religión oficial en todo el imperio, y las Biblias eran copiadas y distribuidas en la medida permitida por las limitaciones de la producción a mano de cada una. San Patricio introdujo una Biblia en Irlanda y los irlandeses comenzaron a producir sus propias Biblias elaboradamente diseñadas.

El estilo celta de las letras implicaba escribirlas dentro de las guías cuadradas de una pulgada de lado, y eran conocidas como unciales. Alrededor del 600 d.C., aparecieron las llamadas media unciales, que se parecían mucho a nuestras letras minúsculas modernas. Las letras eran de estilo muy redondeado, y los ascendentes y descendentes se extendieron en las letras minúsculas. Además, el espaciamiento de la palabra fue mayor para mejorar la legibilidad.

Carlomagno estandariza la escritura

A finales del 700 d.C. el emperador Carlomagno controlaba la mayor parte de Europa y nombró a un monje inglés para supervisar las prácticas normalizadas de letras para el copiado de textos. Las unciales grandes fueron utilizadas en el principio de las oraciones, y las letras minúsculas eran ahora una parte uniforme del alfabeto romano.

Este estilo se convirtió en el románico, y más tarde en el estilo gótico en Alemania, alrededor del año 900 d.C. Los caracteres góticos eran gruesos, angulares y estrechamente colocados entre las letras y las palabras para ahorrar espacio. El punto sobre la *i* minúscula fue añadido para distinguirlo de los trazos similares en la *m*, *n* y *u*.

Los estilos de letras se siguieron desarrollando.

Había un estilo común de escritura en uso para propósitos prácticos, y uno más preciso y artístico se utilizó para textos importantes y libros, con gran cuidado para escribir cada letra.

En el siglo X, la letra *u* se creó por separado de la *v*, mientras que antes la *v* se utilizaba para ambos sonidos (como *sirivs* en lugar de *sirius*). La *w* fue creada en el siglo XII para acomodar a más idiomas de Europa, donde la v no serviría. La *j* evolucionó de ser una *i* modificada en el siglo XV. Esto trajo al alfabeto romano un total de 26 letras.

De la escritura a la impresión mecánica, y de nuevo a la escritura

Cuando Gutenberg creó su imprenta de tipos móviles a mediados de 1400, modeló sus letras en el estilo de los escribas de la época. La tecnología avanzó y más letras verticales se diseñaron para la impresión. A finales de 1500, Robert Granjon diseñó tipos que se parecían mucho a la escritura cursiva, lo cual se hizo bastante popular.

El desarrollo del grabado en cobre permitió el uso de tipos muy delicados con muchas flores y bucles en las letras, lo que influyó en la escritura manuscrita. Los maestros de la escritura a mano comenzaron a crecer en número, para producir documentos de muy hermoso diseño. La caligrafía elegante se convirtió en un signo de estatus social.

La institución de la caligrafía

A mediados de 1700, había escuelas especiales creadas para enseñar técnicas de escritura a mano, o caligrafía. Los maestros calígrafos eran empleados para copiar documentos oficiales, como títulos de propiedad, certificados de nacimiento y matrimonio, comisiones militares, y otros documentos legales.

Timothy Matlack fue el encargado de escribir la copia final de la Declaración de la Independencia, y Shallus Jacob escribió la copia final de la Constitución de los Estados Unidos de Norteamérica.

En la década de 1800, Charles Zaner fundó el Colegio Zanerian de Caligrafía, y luego vendió parte a Elmer Bloser. Juntos, fundaron la Compañía Zaner-Bloser y crearon los materiales a utilizar en la enseñanza de buena caligrafía como parte de una educación general. En 1904, publicaron el método Zaner de Movimiento del Brazo, desarrollado especialmente para los niños en edad primaria. El estilo Zaner-Bloser es uno de los principales estilos de escritura que se enseña a los niños en los EE.UU. hasta el dia de hoy.

Un método más nuevo de enseñanza de la caligrafía fue desarrollado a mediados de la década de 1970 por Donald Neal Thurber, llamado estilo D'Nealian. Emplea letras inclinadas para enseñar imprenta, para que los niños hagan más fácil la transición a la escritura cursiva. Esto también se ha convertido en un método popular de enseñanza en las escuelas de EE.UU.

V. LUPAS Y MICROSCOPIOS

a) Introducción

La herramienta más importante que posee un examinador de documentos (perito calígrafo, perito documentológico, etc.) es su propia visión, pero vamos a considerar las herramientas externas que permiten al mismo ver, evaluar y registrar más de lo que es aparente a simple vista. El examen forense de documentos es un campo con muchos subgrupos, la tecnología y la instrumentación son una gran ayuda para el perito; las lupas y los microscopios hacen que los pequeños detalles sean visibles y medibles.

La combinación de esos dispositivos con cámaras permite estudiar y comparar las imágenes y presentar las ilustraciones a los clientes e investigadores de hechos. Una variedad de fuentes de luz especializadas extiende los ojos del examinador en porciones del espectro electromagnético a los que no puede llegar sin ayuda. Las áreas más útiles del espectro para el experto son las longitudes de onda ultravioleta e infrarroja, que permiten la diferenciación de tintas que aparentan ser similares y la revisión de las medidas de seguridad normalmente invisibles. Hablando de lo invisible, el EDD (dispositivo de detección electrostática) revela y pone de manifiesto "la escritura indentada", conocida también como calco, o transmitida por presión del elemento escritor a una o más hojas ubicadas por debajo de la que se ha escrito.

b) Lupas

Existen diversos tipos disponibles de lupas: una de pie es excelente para cualquier tipo de trabajo porque su cuerpo es su propio soporte y las manos quedan libres para otras tareas.

Las lupas de pie con iluminación tienen dos partes: la cabeza y el mango. La cabeza es una unidad circular o rectangular que consta de una carcasa y la lente de aumento. Hay cabezas disponibles en varios aumentos (3x, 4x, 5x , 6x , 7.5x 10x, 12.5x).

De acuerdo con las leyes de la óptica, a medida que se incrementa la ampliación o aumento, el campo de visión disminuye. Además, a medida que el poder de aumento crece, hay algo de distorsión cuando se mira hacia otro lado del centro de la lente. Algunas lupas minimizan la distorsión mediante el uso de una lente con curvatura esférica, pero su utilización exige que el ojo deba estar a una distancia específica de trabajo, respecto de la lente, para evitar la distorsión.

Después de un examen minucioso de las numerosas lentes disponibles, en general podríamos decir que las más útiles son las de 4x y 7x. La de cabezal 4x tiene una distancia de trabajo confortable y un tamaño de campo útil. Ya sea con una cámara de 35 mm, más un anillo de extensión o una cámara digital y zoom, se pueden obtener vistas fotográficas de buen detalle. Para aquellas situaciones donde se necesita una imagen más cercana, la cabeza 7x es la adecuada.

La segunda parte de la lupa es el mango. Éste está diseñado para que, cuando se conecta a la cabeza, toda la unidad se recostará sobre una mesa para formar su propio soporte. En algunas marcas de lupas existen tres tipos de mango: uno de batería incandescente, otro de empuñadura halógena, y finalmente otro de LED. Los tipos de lámpara no son intercambiables, y los montajes eléctricos son específicos para el tipo de bombilla.

El LED tiene la ventaja de que las lámparas no necesitan ser reemplazadas (mientras que las bombillas se queman y necesitan reemplazo periódico), y la duración de la batería se prolonga. Sin embargo, para el examen de documentos no hay contenido de infrarrojo en la iluminación, y por lo tanto la lupa LED no es útil para su uso con filtros infrarrojos.

Lupas: la superior posee una batería incandescente halógena, con mango y una cabeza de 7x; la inferior posee lámpara halógena con aumento de 4x. Observar el campo más amplio y la imagen menos distorsionada a través de la cabeza 4x a esta distancia de trabajo (aprox. 45 cm). También tener en cuenta los diferentes colores de luz. El reóstato en el mango halógeno está fijado para la potencia máxima.

c) Herramientas adicionales útiles

Si se necesitaran hacer mediciones precisas, sin distorsiones, existen lupas con escalas de precisión que aceptan escalas intercambiables. Esos elementos están disponibles en diversos aumentos, el más versátil para el examen de documentos es el de 7x. Algunas unidades poseen una base de plástico transparente que permite que la luz ingrese en el campo; otra opción es combinar la unidad con una cabeza de adaptación que permite que la lupa sea utilizada con cualquier sistema de iluminación en el mango. Existen varias escalas, las más útiles son la lineal y la de combinación. La primera normalmente está equipada con una escala lineal marcada en décimas de milímetro y la segunda ofrece varias opciones de medición útiles.

Escala lineal

d) Microscopios

Los examinadores de documentos utilizan una amplia gama de equipos de amplificación. Las lupas de mano amplían el material de 2 a 10 veces (2x a 10x) y pueden tener capacidad de iluminación, así como aclarar el campo de visión. Para ver los detalles más de cerca hay muchos tipos de microscopios; un microscopio binocular o estereoscópico es cómodo de usar, ya que, como su nombre indica, hay dos oculares y quien mira enfoca con los dos ojos. Además, el microscopio puede tener un tubo de observación para terceros que permite una cámara fotográfica o de video que viene adjunta, para hacer tomas, a través del microscopio, de fotografía o video. Los microscopios digitales combinan la óptica de ampliación con la tecnología de captura digital para permitir al usuario ver la imagen ampliada en el monitor en lugar de o además de la visualización a través de los oculares del microscopio. Los microscopios especiales, como un microscopio de comparación de documentos, llevan a cabo tareas específicas adicionales.

Microscopio binocular estereoscópico

Podría parecer que cuanto más potente es el microscopio en términos de ampliación, es mejor, pero para la tarea de examen de manuscritos, esto no es así. La mayoría de estos estudios se hacen con aumentos de 10x a 50x (el objeto se agranda 10 a 50 veces). Cuando el aumento es mayor, el campo de visión es tan estrecho que el objeto visto pierde relevancia. En el ejemplo siguiente, la firma aparece en 10x, 15x, 20x y 25x.

Una buena idea es empezar con una potencia baja la primera vez que se examina una parte de un documento y, luego, acercar con el zoom el área que se desea inspeccionar.

Ver imagen 32 en el Anexo fotográfico

VI. INFRARROJO/ULTRAVIOLETA

Un instrumento especial para el examen de documentos es un *comparador espectral UV/IR* (ultravioleta/infrarrojo), que hace uso de longitudes de onda electromagnética y varios filtros para diferenciar tintas y revelar el material oculto en los documentos. Tal como puede apreciarse en el ejemplo de arriba, la existencia de una obliteración puede leerse perfectamente con el uso de la tecnología mencionada, es decir, la escritura subyacente se puede leer y fotografiar.

Estas otras imágenes reflejan muchos casos en los que las adiciones (cambio de un número por"agregado") a los documentos pueden detectarse mediante el uso de absorción infrarroja o el examen por luminiscencia. El examen con ultravioleta también resulta útil en el caso de los documentos. En la imagen adjunta, el ultravioleta (UV) revela fibrillas fluorescentes de seguridad embebidas en el papel de mucho papel moneda. Hay muchos otros tipos de exámenes posibles con comparadores espectrales.

Ver imagen 33 en el Anexo fotográfico

VII. ESDA

ESDA significa aparato electrostático de detección (según sus siglas en inglés). Se utiliza para detectar y ayudar en el desciframiento de las impresiones indentadas de la escritura en papel.

Cuando la escritura se produce en una hoja de papel que a su vez se apoya en otras hojas similares, la impresión de la escritura puede indentarse en la superficie de las hojas de abajo. Si estas hendiduras son profundas (causadas, por ejemplo, por la fuerte presión ejercida con el elemento escritor), pueden ser visibles a simple vista –a veces con la ayuda

de una fuente de luz colocada en ángulo oblicuo respecto de la superficie del papel--. Si las muescas son demasiado superficiales para verlas con claridad, entonces se emplea el ESDA.

El examen de los documentos para la búsqueda de impresiones de este tipo puede ser útil en una variedad de investigaciones. Por ejemplo, para determinar el origen de documentos anónimos, la vinculación de documentos aparentemente inconexos y, en algunas circunstancias, en la determinación de la secuencia en que se escribieron una serie de páginas o cuándo fueron escritas.

La técnica

La hoja de papel se ubica en el ESDA y una película delgada de plástico se coloca sobre ella, la que se mantiene en estrecho contacto a través de succión al vacío. La superficie de la lámina de plástico tiene una carga electrostática que se le aplica; la superficie del papel provoca un patrón diferente de carga en las zonas donde hay hendiduras. Esta diferencia de carga se visualiza mediante la aplicación de un tóner negro de carga opuesta. El resultado es que el tóner tiende a adherirse a las áreas correspondientes a las hendiduras. Se coloca luego una película pegajosa, de plástico transparente, a través del trazado que ha dejado el ESDA, para conservarlo.

Lo descripto ha sido la técnica estándar para el revelado de las impresiones de la escritura durante los últimos veinte años.

El proceso del ESDA puede:

- producir una huella permanente de cualquier impresión existente;
- producir buenos resultados con impresiones muy débiles;
- producir resultados con impresiones viejas/antiguas;
- en algunas circunstancias, permite que se establezca la secuencia de los escritos de tinta e impresiones en una hoja.

El proceso de ESDA no podrá:

- producir buenos resultados con las impresiones muy profundas;
- producir resultados de documentos que han sido tratados con un líquido, por ejemplo, los que han sido tratados para revelar huellas dactilares;
- producir buenos resultados de documentos que han estado en contacto con algunos tipos de plástico, en particular portadas de archivos;
- producir buenos resultados de papeles de muy mala calidad o superficies lisas, como las portadas de revistas.

Los documentos que deben ser examinados para detectar la presencia de indentaciones de la escritura deben ser:

- manipulados lo menos posible, el ESDA se ve afectado por las huellas dactilares frescas;

- envasados en sobres de papel o, preferentemente, cajas de cartón;
- protegidos de solventes y líquidos;
- protegidos de la adición de impresiones extra, por ejemplo, deben ser colocados en sobres después que se han escrito las direcciones o marcas identificativas.

Aunque la prueba con el ESDA es bastante sencilla de realizar, se requiere mucha práctica para obtener los mejores resultados. La interpretación de los trazos que se obtienen con este equipo no siempre es fácil y es un trabajo que debe realizar el examinador de documentos experimentado.

Ver imagen 34 en el Anexo fotográfico

VIII. EXAMEN DE ESCRITURAS. CONCEPTOS

1. Escritura

Es la unión inconsciente o subconsciente de la mente y del músculo para expresar físicamente el pensamiento.

2. Orígenes

A. Primeras formas = dibujos. Históricamente, el lenguaje escrito ha emanado de los dibujos (hombre de las cavernas, etc.). Luego, las escrituras pictóricas hasta llegar a las sofisticadas formas de hoy, que abrazan el lenguaje y la pronunciación más que las pinturas.

a. Dibujos (ejemplo: al niño se le da papel y lápiz o crayón).
- relajación,
- tensión,
- ira.

b. Impresión = primer tipo formal de escritura enseñado al niño.
= movimiento ascendente y descendente del infante, también utilizado para el entrenamiento inicial formal (movimiento del dedo).

c. Caligrafía = segundo tipo formal de escritura.
= hacia afuera y alejándose (movimiento de brazo y muñeca).
= frustración de las tendencias normales.
= imagen mental de un estilo de escritura transmitido por músculos (expansión contracción, presión y liberación).

B. Formas desarrolladas = usualmente se estabilizan después de completado el entrenamiento formal.
= desarrollo intelectual y muscular estabilizado.

a. Conocimiento de sistemas de escritura, necesarios para discernir las variaciones de estilo del escritor según los patrones caligráficos.

b. Progresos en el desenvolvimiento de la mano = pueden permanecer muy próximos a los estilos caligráficos, en cuyo caso se hace difícil diferenciar a los escritores; pueden regresar a movimientos de dedo más innatos, reflejados por la angularidad más que por la redondez; a medida que el proceso mental crece, el control muscular no puede mantener su marcha y aparece la ilegibilidad. (Estas observaciones pueden no siempre ser verdad, dado que el proceso mental y la habilidad muscular difieren con cada individuo. Además, obsérvese que el semianalfabeto o pobremente educado –entrenado– puede acusar angulosidades antes que redondeces, pero siempre esta escritura es lenta y laboriosa.)

3. Herramientas básicas

Vista y magnificación.

4. Definiciones básicas

A. Examen de manuscritos: comparación lado a lado de un documento cuestionado con un ejemplar conocido, para determinar identidad o no identidad.

B. Términos elementales:

a. Semejante: es una escritura o característica que indica identidad posible o probable. La combinación de semejanzas conduce a una conclusión de identificación.

b. Diferencia: es una peculiaridad o característica de la escritura que indica posible o probable no identificación.

c. Variaciones: desviaciones de lo esperado, formación normalmente peculiar de una letra.

Variaciones inexplicables: no puede darse una explicación atribuible. Podría deberse al tipo de papel, instrumento escrito, distorsión no intencional o no controlable.

Distorsión: puede ser intencional y también no intencional, por ejemplo: nerviosismo, tensión, alcohol, drogas, irritación, etcétera.

C. Deformación/desfiguración.

a. Escritura con la mano opuesta: forma común de desfiguración intencional.

b. Escritura deformada: escritura vacilante, trémula; letras hechas con plantillas (pueden deberse a desfiguración intencional, nerviosismo, etcétera).

c. Escritura débil.

d. Otras = edad, enfermedad, lesión, etcétera.

5. ¿Es el examen de un documento un arte o una ciencia?

A. Arte: desarrollo de habilidades (innatas, educación, entrenamiento).

B. Ciencia: conocimiento; conjunto de hechos o información sobre una materia en particular. (Es sistematizada y basada en principios observables, científicos y reconocidos.)

C. Experto o perito: es quien posee un conocimiento especializado sobre una materia en particular (especialista).

El testimonio del experto es un testimonio de opinión. El experto puede testificar y dar conclusiones. El testigo ordinario sólo puede testificar sobre hechos; su opinión sobre los mismos, sin embargo, será excluida como opinión testimonial.

6. Principios científicos básicos

A. Las diferencias de todas las cosas en la naturaleza (aun el hecho de que no haya dos personas que escriban exactamente igual).

B. Cada individuo, de diferente capacidad mental y física (muscular), desarrolla peculiaridades o características en la escritura.

Aunque algunas de estas peculiaridades pueden ser características de *clase,* la combinación de peculiaridades es característica de una sola persona.

C. Cuando los escritos son examinados por un experto competente (por ejemplo, uno que tenga conocimiento especializado, adquirido a través de la educación, el entrenamiento y la experiencia –un perito–) puede demostrarse la identidad o la no identidad.

7. Lo siguiente no puede determinarse con certeza:

A. edad,
B. sexo,
C. raza,
D. capacidad o incapacidad física,
E. carácter,
F. educación.

IX. PRINCIPIOS DE LA IDENTIFICACIÓN

1. Desviación de los sistemas.
2. Desviación de las características en la comparación de escrituras.

a. Diferencias en la formación de las letras de un documento cuando se las compara con las mismas letras de otro documento.

b. Diferencias en el ritmo, presionado del elemento escritor, espaciado, trazos, etcétera.

3. Una similitud excluye la no identificación positiva.
4. Si hay suficientes diferencias; si las variaciones observadas pueden ser explicadas, y si no se detectan similitudes, puede obtenerse una conclusión de no identidad.

   Nota: Las no identificaciones usualmente son más difíciles de establecer que las identificaciones.
5. Debe estudiarse cuidadosamente la escritura dubitada respecto de la significación de las características que sean adecuadas para una no identificación determinada. En muchas ocasiones el material cuestionado exhibe una calidad tan pobre que no es viable identificar o no identificar el mismo.

Es importante comprender que las diferencias en la configuración en general (impresiones gráficas) no son la única consideración a tener en cuenta para establecer una no identificación. La escritura cuestionada debe estar naturalmente preparada y poseer un determinado número de diferencias significantes. Sólo así puede darse una opinión de no identidad sobre base realista.

X. EXÁMENES DE FALSIFICACIONES

1. Calcados

Es un calcado es un dibujo de una escritura.

A. Tipos:

1. Carbónico (mediante el empleo de papel carbónico debajo del original). Grafito (mediante el empleo de un lápiz).
2. Luz transmitida (por transparencia).

B. Factores de detección:

1. Vestigios de carbón depositados en el papel o depósitos de grafito.
2. Indentaciones (hendiduras o depresiones) debajo de la firma.
3. Pobre calidad de las líneas.
4. Rasgos de ataque y finales romos.
5. Borraduras.
6. Levantamientos del elemento escritor y retoques.
7. Firma original.

C. Identificación

1. Como falsificación = usualmente es de fácil determinación, especialmente si se localiza la firma original (*master*), tomada como modelo.
2. Para determinar autoria: es prácticamente imposible lograrlo ya que el calcado consiste en dibujar la escritura de otra persona.

D. Modelos de escrituras indubitadas

Dado que un calco es un dibujo de la escritura de otro, se superpondrá al original empleado para su preparación. Dos firmas, si son genuinas, no se superponen, dado que la variación natural que surge en las escrituras normales evita que ello ocurra. Los esfuerzos de un investigador deberian estar dirigidos hacia la obtención de firmas genuinas que hayan podido ser utilizadas para la maniobra de calcado, antes que lograr muestras indubitadas de sospechosos y victimas (ya sea mediante cuerpos de escritura o no).

2. Imitaciones

La imitación es la copia de un escrito.

Generalmente se realiza tomando una firma como modelo y copiándola.

- Un semidibujo.
- Un intento de hacer aparecer la escritura propia como perteneciente a otra persona.
- Práctica de la escritura de otra persona (asimilación de los hábitos de otro).

A. Factores de detección:

1. Calidad de las líneas y ritmo.
2. Rasgos de ataque y finales.
3. Levantamientos del elemento escritor y retoque.
4. Variaciones en la formación de las letras.
5. Temblores.
6 Escritos indubitados.

B. Identificación

1. Para identificarse como falsificación puede ser dificultosa. Depende de la habilidad para escribir del autor y de la victima.
2. Determinar autoría resulta muy difícil dado que las características normales del escritor están generalmente ocultas; sin embargo, resulta extremadamente complicado para un escritor ocultar sus propias características escriturales.

C. Muestras o modelos de escritos auténticos

1. Necesidad de escritos de la victima o damnificado para ver cuán buena es la imitación y si están presentes caracteristicas extrañas.
2. Necesidad de escritos de sospechosos para ver si algunas de las caracteristicas propias y normales se han insinuado en la imitación.

3. Falsificaciones a mano libre

El escritor no conoce cómo escribe la víctima.

Permite identificar fácilmente a su autor, siempre que se cumplan estas tres condiciones:

1. Que se obtengan escritos auténticos, de comparación.
2. Que tales escritos sean normales, sin desfiguraciones ni distorsiones.
3. Que contengan suficientes y significativas características identificativas.

Falsificación	Características	Hallazgos posibles	Limitaciones	Posibilidades de investigación
Calcado	Las curvas grandes son vacilantes (aspecto mecánico). Lentitud. Comienzos y finales romos. Roturas y conexiones inadecuadas. Superposición.	Prueba de que es un calco. Identificar de qué original fue obtenido	No se pude identificar el escritor	Se debe obtener el original
Imitación	Todas las anteriores excepto la superposición. Compromiso entre velocidad y precisión.	Calidad pobre. Ausencia de características de la firma normal de la víctima. Rara vez puede identificarse una falsificación.	Depende de la calidad	Debe contarse con numerosas firmas de la víctima
A mano libre (el falsario desconoce cómo es la firma de la víctima)	Todo luce mal.	Se puede establecer que no es genuina. Se puede identificar al autor.	A menudo contiene desfiguraciones.	

4. Métodos variados de falsificación/técnicas de desfiguración.

A. Firmas *levantadas:*

1. Cinta adhesiva.
2. Otras técnicas de levantamiento.

B. Autofalsificación

Calcos o imitaciones concretados por la pretendida víctima, con la intención posterior de negar la escritura.

Es más difícil de detectar, particularmente en los casos de imitaciones, dado que los factores de detección ya mencionados estarán presentes. El problema de la autofalsificación sólo sirve para ilustrar el meticuloso cuidado y la experiencia que se necesita para examinar escritos en que se sospecha una falsificación.

XI. TÉCNICAS COMUNES DE DESFIGURACIÓN

Las soluciones que seguidamente se ofrecen para resolver formas de desfiguración presuponen que se pueden obtener cuerpos de escrituras de los sospechosos.

1. Escritura con la mano opuesta

A. Esta técnica muy común de desfiguración puede a veces vencerse a través de la observación de la posición y manipulación que hace del papel el sospechoso al momento de escribir, al igual que su ubicación corporal.

1. Utilizar papel rayado.
2. Colocar el papel en posiciones oblicuas extremas.
3. Hacer sentar al escritor en posición normal y hacerlo escribir con codo y antebrazo apoyados o próximos a la superficie de escritura (escritorio, mesa, etc.). El codo debe estar próximo al cuerpo.
4. Pedirle que escriba sobre las líneas del papel.

2. Escritura distorsionada o falseada

Generalmente es difícil de identificar, pero puede resultar una excelente ayuda la siguiente regla:

Reproducir tan aproximadamente como sea posible las condiciones originales del escrito

Explicación de la regla:

1. Utilizar la misma medida y tipo de papel.
   a. Rayado o no rayado.
   b. Si posee algún tipo de formato en especial, utilizar otros similares en blanco para la toma de muestras.
   c. Si son cheques, utilizar otros similares en blanco.
2. Utilizar el mismo tipo de elemento escritor.
   Crayón, lápiz, esferográfica, pluma, etcétera.
3. No permitir que el escritor vea el documento cuestionado.
4. Utilizar palabras o textos similares a los cuestionados, aun tratándose de palabras obscenas.

5. Los dibujos y símbolos también deben ser obtenidos.

6. No dar información sobre signos de puntuación, acentos, deletreo, márgenes, etcétera.

7. Obtener muestras de escritura de la mano más débil (por lo menos el alfabeto).

8. Tomar varias muestras y quitar cada página de la vista de quien escribe, una vez que está terminada.

9. Desarrollar una buena técnica de dictado.

a. Quien dicta debe observar al que escribe. ¿Escribe despacio? ¿Trata de desfigurar o disfrazar su personalidad? ¿Escribe muy ligero como para distorsionar su escritura?

b. Observe su cabeza. ¿Se dirige hacia abajo cuando escribe y se levanta si quien dicta lo hace muy despacio o muy ligero?

c. El objeto de las reglas mencionadas es obtener algunas similitudes de forma, por ejemplo: puntuación, faltas de ortografía, ubicación de la escritura en el renglón, etcétera.

3. Escrituras con la mano más débil.

4. Falsificación.

A. Calcos.
B. Imitaciones.
C. Autofalsificación.

XII. FUENTES PARA ACOPIO DE ESCRITURAS O FIRMAS INDUBITADAS

1. Libros de contabilidad.
2. Declaraciones juradas.
3. Escrituras de bienes.
4. Autógrafos.
5. Formularios para aseguramiento de automotores o inmuebles.
6. Tarjetas de crédito.
7. Registro de firmas para aperturas de cuentas corrientes bancarias.
8. Registro de firmas para aperturas de cuentas de ahorro bancarias.
9. Legajos de identidad o prontuarios policiales.
10. Constancias en el Registro Nacional de las Personas.
11. Documentos de identidad (CI, LE, DNI, etcétera).
12. Solicitudes de empleo y legajos personales en empresas.
13. Cheques y endosos de los mismos.
14. Pagarés.

15. Escrituras de cesión o traspaso.
16. Diarios íntimos.
17. Formularios para contratación de servicios.
18. Registro de hotel.
19. Solicitudes de patentamiento de inventos.
20. Cartas.
21. Telegramas.
22. Formularios para seguros de vida.
23. Manuscritos.
24. Memorandos de todo tipo.
25. Tarjetas postales.
26. Recibos de alquiler, etc.

XIII. FALSIFICACIÓN MEDIANTE CALCADO

Constituye uno de los métodos tradicionalmente utilizados en la imitación de textos manuscritos. El que ahora nos ocupa consiste en calcar un escrito original sobre un documento falsificado. En la mayoría de los casos sólo se calcan las firmas, pero también hay ocasiones en que ocurre lo propio con gran parte del texto.

Muchas veces el procedimiento consiste en lo que podríamos llamar falsificación mediante unión de letras o palabras; el falsificador escoge algunas palabras o letras de una comunicación escrita u otro documento, las arregla en el orden en que estén y las calca en otro papel. Tal método debe estudiarse con auxilio de instrumental óptico.

En el escrito original, la altura de las letras y las distancias entre palabras serán más o menos uniformes, pero cuando un falsario escoge letras de diferentes partes del documento y las acomoda donde le conviene, habrá ligeras variaciones en alturas y otras diferencias que no podrán observarse en la falsificación, a menos que el documento esté muy ampliado.

Se emplean diferentes métodos para calcar; el más sencillo consiste en utilizar papel calco y llenar con tinta las líneas calcadas.

Tal procedimiento puede descubrirse inmediatamente mediante un examen microscópico, pues debajo de la tinta se verán partes de las líneas calcadas. Otro método consiste en colocar el papel donde está la firma original, contra el vidrio de una ventana, poner sobre él el documento que se va a falsificar y seguir la firma por transparencia. Un calcado de esta índole se puede reconocer por los trazos un tanto forzados que se obtienen.

Un falsificador experimentado emplea el aparato que utilizan los fotógrafos para retocar negativos, vale decir, un vidrio despulido, inclinado, con una lámpara eléctrica por detrás. De esta forma la mano queda en la posición natural de escribir, y si el calcado se hace varias veces para

adquirir práctica, puede llegar a ser muy semejante al original. Sin embargo, un examen minucioso y detenido podrá revelar la maniobra.

El falsificador levantará a menudo el elemento escritor del papel y se detendrá un momento a mirar su trabajo y pensar cómo habrá de continuar. Estas interrupciones en la escritura se ocultan mediante un retroceso, de tal manera que el nuevo trazo comienza sobre el anterior. Tal retroceso difiere de las interrupciones normales de las escrituras, no sólo porque no es natural, ya que a veces se encuentra en medio de una letra, sino también porque una interrupción natural no trata de ocultarse.

El falsificador retocará a menudo su trabajo, especialmente cuando el trazo no ha seguido los lineamientos exactos del original.

Estos retoques no deben confundirse con los que muchas personas hacen en su propia escritura; los mismos pueden originarse en el exagerado cuidado o una afección nerviosa. Sin embargo, es frecuente que la escritura de quien retoca en la forma mencionada en último término no sea muy legible, es entonces cuando dicha persona trata de perfeccionar las partes que no le parecen claras. Aquí vemos también la diferencia entre el falsificador y el retocador normal: el primero retoca aun partes de letras que son claras y perfectamente legibles, a fin de lograr mayor semejanza con el original, mientras que los retocadores normales sólo actúan sobre las letras ilegibles.

Elementos de delación. Los rasgos insertos no muestran la rapidez, espontaneidad y soltura de la escritura normal y, en consecuencia, las letras revelan a menudo que han sido escritas por una mano más o menos temblorosa. Sin embargo, el temblor puede ser natural y, por tanto, es necesario distinguir entre el temblor del falsificador y el que es debido a la edad, al frío o alguna enfermedad.

El del falsificador se notará especialmente en los trazos ascendentes y en los lugares donde el elemento escritor, al copiar, cubre la escritura original. El temblor debido a edad avanzada se observa principalmente en los trazos iniciales, mientras que el frío y la rigidez de los dedos a menudo producen una escritura angular.

El temblor patológico de diversas enfermedades, tales como la parálisis y el mal de Parkinson, suele ser muy característico.

Se observa con bastante frecuencia en el falsificador el hecho de comenzar a calcar una letra en un punto que no es normal o no condice con la forma en que lo hizo su verdadero autor. Por ejemplo, comenzar indistintamente el calcado de una"o"cerrada, ya sea desde arriba o desde abajo.

A veces es factible obtener el original del cual se concretó el calcado, especialmente cuando se trata de documentos vencidos o de cheques. En tal caso resulta muy fácil descubrir la falsificación, dado que dos firmas

nunca pueden ser exactamente iguales en todas sus proporciones; por tanto, si se encuentran dos firmas absolutamente iguales, una de las dos tiene que ser falsificada.

Si se compara el original y la copia o calco, se suele encontrar que la forma de los trazos iniciales y la puntuación varían, ya que el falsificador a menudo los dibujará después de haber completado su dibujo; también suelen diferir los rasgos finales, pero las distancias entre letras y entre las partes importantes se encontrarán completamente iguales.

XIV. EL MATERIAL IMPRESO COMO EVIDENCIA

Resulta extremadamente importante tanto para el investigador como para el perito que examina documentos, estar al corriente del rol del proceso de impresión y de los documentos impresos en el área del fraude. Con el rápido avance de la tecnología el falsificador ha sido provisto de un arsenal de *armas* en el terreno de las artes gráficas. Las variadas formas de impresión cubren los terrenos de la computación, la fotografía, la impresión mecánica, la fotomecánica y los procesos electrostáticos.

Utilizando una variedad de métodos gráficos posibles, deviene relativamente fácil confeccionar un documento fraudulento partiendo de un modelo auténtico. Su finalidad es sorprender al desprevenido con un efecto visual de autenticidad muy simple de producir; sin embargo, las características de un documento legítimo están, muchas veces, más allá de la capacidad de reproducción del falsario, pese a que muchos no deseen crear un elemento perfecto sino uno que pase el escrutinio preliminar.

Para poder adquirir una comprensión fundamental del potencial probatorio reflejado en los documentos impresos de origen fraudulento, es de suma importancia poseer un conocimiento general de los procedimientos de impresión.

a) Tipografía

Sin entrar en detalles históricos, diremos simplemente que es la impresión de motivos en relieve. Las partes impresas son prominentes y entintadas por rodillos cuya tinta grasa se transmite al papel bajo el efecto de la prensa. El impresor realiza así impresos por medio de formas compuestas de caracteres, de filetes y de clisés, cuya altura normal es de 23,56 mm. El siglo XX aportó una importante evolución en los caracteres: grabadores de renombre crearon los caracteres modernos como, por ejemplo, el antiguo *lito,* el *times,* la *carabela,* etcétera.

b) Talla dulce

El nacimiento de la talla dulce se remonta a 1452. Un orfebre italiano, Thomas Finiguera, grabó en hueco, sobre una plancha de plata, un mo-

tivo que representaba a la Virgen y de la cual hizo tiradas en papel. Esta técnica aplicada a metales menos nobles (cobre) fue luego utilizada por los más célebres grabadores.

El procedimiento consiste en grabar con un buril o cualquier otro instrumento muy afilado y sobre una plancha de cobre, surcos, letras o un dibujo. Se recubre de tinta la superficie total de la plancha con ayuda de un pincel, por ejemplo, y se seca esta superficie dejando subsistir únicamente la tinta contenida en los huecos. Se aplica luego sobre la plancha preparada un papel secante o esponjoso, ejerciendo una fuerte presión sobre el soporte elegido; la tinta contenida en los huecos será absorbida por el papel, reproduciendo así la imagen trazada sobre la plancha.

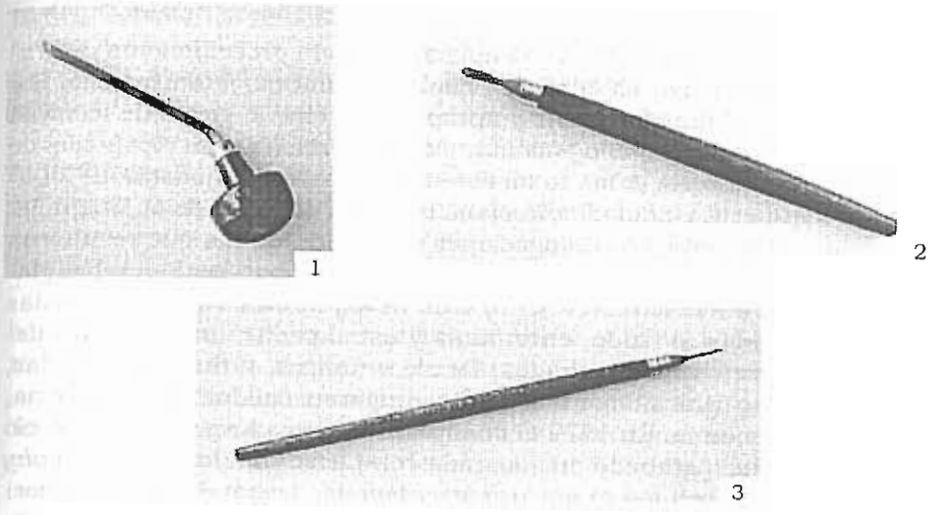
Este procedimiento se utiliza ahora en gran escala con máquinas modernas (los sellos postales se imprimen así). El trabajo artesano tiende a desaparecer poco a poco por ser muy oneroso. La talla dulce se emplea para la impresión de ciertos trabajos lujosos, como, por ejemplo, las tarjetas de visita, las invitaciones de boda, los encabezamientos de cartas, los sobres, etc. Este procedimiento se reconoce por el ligero relieve que aparece en el emplazamiento del grabado, pero no hay que confundirlo con la impresión en termograbado.

La técnica de grabado a buril, o talla dulce, recibe su nombre de la principal herramienta que se utiliza para tallar la plancha: el buril. Con él se talla la plancha o matriz dejando unos surcos o tallas de diferente profundidad y forma, con las que se crea la composición del grabado.

La matriz que se emplea es de metal (cobre, acero, zinc, etc.). El grabador talla la matriz, y en los huecos (tallas) que en ella abre se depositará la tinta. Después, como final del proceso, con una fuerte presión en una prensa la composición se trasladará al papel obteniéndose el grabado.

Para la talla dulce se emplean y se han empleado distintos metales, siendo los más usados: el acero, el zinc y preferentemente el cobre.

• El grabado a buril es una técnica de difícil ejecución, que requiere un largo aprendizaje y exige mucha meticulosidad y paciencia durante la realización de la plancha o matriz. Con esta técnica se logran bellos efectos y una rica extensión de matices, que van desde los blancos apagados a los negros intensos, profundos o aterciopelados. Las sombras se consiguen por entrecruzamiento de líneas: cuanto más cercanas, más sombreada la imagen.



1. Buril - 2. Bruñidor - 3. Punta seca

Las herramientas que se utilizan para el grabado a buril son:

• El buril. Los hay de distintos tamaños, según la profundidad y el grosor con los que se desee incidir.

• El rascador o desbarbador. Es una herramienta de tres aristas terminada en punta, con mango cilíndrico de madera, y se utiliza para quitar las rebabas que deja el buril en el metal.

• El bruñidor. Se utiliza para atenuar o hacer desaparecer tallas en las partes grabadas mediante frotamiento. Es una lámina de acero de sección ovalada que termina en punta roma y está montada en un mango cilíndrico de madera. Hay bruñidores de forma de punta cilíndrica y de forma de espátula curvada de modelar.

• La punta seca. Es una barrita o alambre de acero de sección circular, montada como la mina de un lápiz en un cilindro alargado de madera. Su función es la de abrir tallas finas completando en la talla dulce la labor del buril.

• Punta escoplo. Es una barrita de acero muy duro, algo más gruesa que las otras puntas con una sección en forma de elipse. Se emplea generalmente para hacer tallas anchas, aunque puede tener otras aplicaciones variando el tipo de punta, como por ejemplo las múltiples que se emplean para hacer rayados paralelos, o las de diamante, que se emplean para trabajos muy delicados.

• La entenalla. Se emplea para sujetar las planchas cuando sea necesario calentarlas, evitando quemaduras en las manos.

c) Heliograbado

El término *heliograbado* puede aplicarse a todo procedimiento de grabado fotográfico y, por extensión, a cualquier proceso fotomecánico. Sin embargo, su uso más frecuente y apropiado se ciñe al grupo de técnicas en hueco. El heliograbado o *fotoaguatinta* proporciona gran resolución de imagen y una extensa gama tonal con negros mates e intensos.

El proceso está vinculado directamente a los orígenes de la fotografía. Tiene sus raíces en las investigaciones de Niépce, de las que resultaron las primeras imágenes fotográficas conocidas. Estaban hechas sobre placas metálicas y recibieron el nombre de *héliographies*. Algunas de estas placas –mordidas al ácido, entintadas y estampadas– pueden considerarse los primeros heliograbados. Desde entonces, y durante décadas, se investigaron procedimientos que conjugaran calidad, permanencia, sencillez y economía. En 1879 el ilustrador bohemio Karel Klíč estableció la técnica de heliograbado más lograda complementando la *photoglyphy* de W. H. Fox Talbot con el *proceso al carbón* de Joseph Swan. Posteriormente, su proceso heliográfico se utilizaría de forma generalizada tanto en plancha plana como en rotativa. La adaptación industrial del proceso recibió el nombre de huecograbado rotativo o *rotograbado* y dominó la industria gráfica en hueco hasta los años 1960. Aún hoy se sigue utilizando el procedimiento fotoquímico original, aunque ya ha sido casi completamente desplazado por métodos electromecánicos o digitales.

El heliograbado fue muy practicado por el británico Peter Henry Emerson –precursor de la denominada fotografía pictórica–, quien lo consideraba, junto a la *platinotipia*, el único procedimiento digno de ser utilizado para la realización de fotografías. La tendencia pictorialista fue impulsada en EE.UU. por Alfred Stieglitz, editor de las revistas *Camera Notes* (1897-1903) y *Camera Work* (1903-1917), muchas de cuyas ilustraciones eran heliograbados de los fotógrafos más destacados de la época. Fuera de las corrientes fotográficas, artistas gráficos como Félicien Rops utilizaron el procedimiento para transferir dibujos a planchas de grabado. Las matrices solían acabarse a mano con punta seca, ruletas, aguatinta o barniz blando, combinando de este modo la imagen fotomecánica con el grabado tradicional.

La complejidad y laboriosidad del método, frente a la inmediatez de la imagen digital, es la causa principal de que actualmente muy pocos artistas practiquen esta técnica. Casi toda la actividad en este campo se sitúa en América del Norte. En Europa, cuna del procedimiento, la práctica regular del heliograbado es muy escasa.

d) Litografía

No se puede hablar de impresión *offset* sin hablar de la litografía, ya que este procedimiento es su precursor. La litografía es un procedimiento de impresión creado en el año 1796, hoy casi en desuso salvo para la obtención y duplicación de obras artísticas. Su creador fue Aloys Senefelder (1771, Praga-1834, Múnich). Etimológicamente, la palabra litografía proviene de los términos griegos *lithos* (piedra) y *graphe* (dibujo).

La técnica litográfica se basa en el desvío recíproco entre sustancias hidrofóbicas e hidrofílicas, esto quiere decir que el agua rechaza o acepta las tintas grasas; las zonas que imprimen y las que no imprimen se encuentran en el mismo nivel, por ello las matrices litográficas se llaman también planográficas.

En las técnicas manuales la formación de la matriz consiste en la adhesión de las tintas grasas y resinosas sobre el papel litográfico. Con estas tintas se efectúa el dibujo que se trata de reproducir, el cual queda fijado mediante una solución de ácido nítrico y goma arábiga. La adhesión de la sustancia grasa produce un jabón calcáreo o metálico insoluble que constituye la base de señales de impresión. Sobre las partes que no se imprimen, una preparación especial determina la formación de sales hidrófilas, con lo cual sobre el plano de la matriz existen dos zonas contrapuestas gráficamente que permiten la impresión, previas operaciones de entintado y humidificación. De los fondos coloreados y conformados de acuerdo con las zonas claras del original hasta el empleo de tintas planas superpuestas, se pasó por las coloraciones por superposición.

Engelmann, hacia 1835, llamó cromolitografía a la técnica de reproducción litográfica en colores. Se hacen tantos dibujos sobre papel o placa como tintas se consideren necesarias para la reproducción. El registro se obtiene realizando sobre el papel de cada color la correspondiente cruz de registro.

Para este tipo de impresión se utiliza una piedra caliza pulimentada sobre la que se dibuja la imagen a imprimir (de forma invertida) con una materia grasa, bien sea mediante lápiz o pincel. Este proceso se basa en la incompatibilidad entre la grasa y el agua. Una vez humedecida la piedra, la tinta de impresión sólo queda retenida en las zonas dibujadas previamente.

En una imagen litográfica las letras no pueden ser retiradas y reutilizadas en otro sitio: son únicas y precisan redibujarse, o copiarse, para cada uso. El litógrafo podía reproducir una imagen"única"dibujada, combinando texto e imagen en complicadas disposiciones formales del color. El proceso cromolitográfico alcanzó su cima durante el siglo XIX. La mejora en los métodos del fotograbado (el grabado de una imagen fotográfica en una plancha metálica recubierta con una capa sensible y 'mordida"después con ácido, obteniéndose así una imagen impresora en relieve) amenazó la supervivencia de la litografía, conduciendo a su progresivo declive a partir de la década de 1890.

e) Offset

El *offset* es un sistema de impresión que usa placas de superficie plana. El área de la imagen a imprimir está al mismo nivel que el resto, ni en alto ni en bajo relieve, es por eso que se lo conoce como un sistema *planográfico.*

Se basa en el principio de que el agua y el aceite no se mezclan. El método usa tinta con base de aceite y agua. La imagen en la placa recibe la tinta y el resto la repele y absorbe el agua. La imagen entintada es transferida a otro rodillo llamado mantilla, el cual a su vez lo transfiere al sustrato. Por eso se lo considera un *método indirecto.* Las placas para *offset* por lo general son de metal (aluminio) pero también las hay de plástico. Hay varias calidades de placa que determinan el precio y el uso que se le da (de acuerdo a su resistencia y facilidad de reutilización).

La mayoría de los documentos que vemos impresos han salido de una máquina *offset* y, a pesar de mostrar millones de colores, se han realizado con cuatro tintas solamente (los colores primarios): cian, magenta, amarillo y negro. La mezcla de estos colores, en diversas proporciones, produce nuevos tonos.

Los colores que vemos en un documento impreso son normalmente fruto de un engaño de nuestro ojo. Normalmente, si miramos de cerca un documento con una lupa, no son colores planos (uniformes) los que componen la impresión, sino miles de pequeños puntos de los cuatro colores primarios, que, al estar tan cerca, engañan al ojo, que cree ver el color que resulta de esa mezcla.

El *offset* es el sistema más utilizado por los impresores debido a la combinación de buena calidad y economía, así como por la versatilidad de sustratos. Algunas de las piezas que se pueden imprimir en *offset* son: volantes, anuncios, afiches, revistas, cuadernos, libretas, carpetas, etcétera.

En la práctica, la forma está constituida por una plancha metálica (zinc y aluminio) muy delgada, enrollada en un cilindro; esta plancha se obtiene mediante un tratamiento químico. La imagen de la forma se reporta sobre el cilindro intermediario, recubierto de una mantilla de caucho que la calca luego sobre el papel. El término *offset* evoca además la idea de calco-reporte. Se emplea actualmente en la prensa para los diarios y las publicaciones periódicas. Los textos son, la mayoría de las veces, fotocompuestos y reproducidos por fotograbado sobre las planchas *offset.* El *offset* produce una imagen lisa y uniforme y es usado frecuentemente en la manufactura de documentos falsos debido a su fácil uso y al bajo costo del equipo.

f) La flexografía

La flexografía (*flexography*) es un sistema de impresión en altorrelieve (las zonas de la plancha que imprimen están más altas que aquellas que

no deben imprimir). Al igual que en la tipografía, xilografía o linograbado, la tinta se deposita sobre la plancha, que a su vez presiona directamente el sustrato imprimible, dejando la mancha allí donde ha tocado la superficie a imprimir.

Lo que distingue la flexografía de la tipografía (de la que es un derivado) es que la plancha es de un material gomoso y flexible (de ahí su nombre de flexo-grafía).

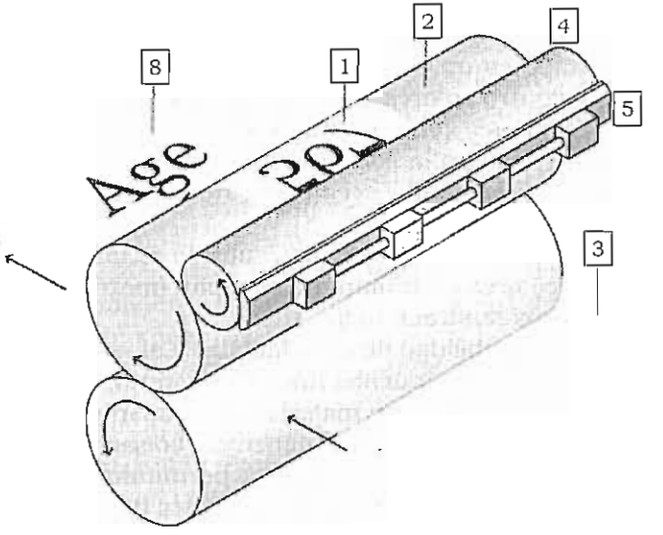
Este sistema de impresión se conocía en principio como"impresión a la anilina"o impresión con goma. Tras algunos intentos en Inglaterra, nació definitivamente en Francia a finales del siglo XIX como método para estampar envases y paquetes de diverso tipo a partir del uso de prensas tipográficas en las que se sustituyeron las planchas usuales por otras a base de caucho.

Gracias al desarrollo de los tintes a la anilina, de gran colorido, y de materiales plásticos como el celofán, la impresión a la anilina tuvo una gran aplicación en el mundo de los envases de todo tipo.

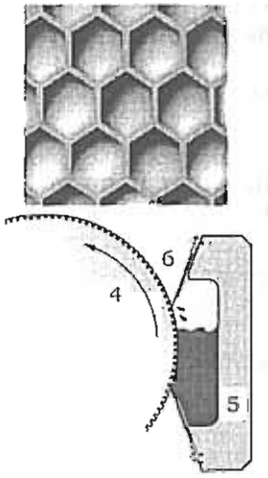
Despues de la II Guerra Mundial, las tintas de base alcohólica y acuosa fueron sustituyendo a las de anilina (que es tóxica) y el proceso pasó a denominarse flexografía.

La aparición de sistemas entintadores de cámara (*chambered systems*) y de planchas basadas en fotopolímeros (en lugar de las tradicionales de caucho) y los avances en las tintas de base acuosa y de los cilindros anilox de cerámica han mejorado enormemente este sistema de impresión, que en la actualidad ha sustituido casi por completo a la tipografía tradicional en trabajos de gran volumen.

En el siguiente esquema (muy simplificado), podemos ver cómo funciona una rotativa flexográfica:



1. Se prepara la plancha (1) con un material flexible y gomoso; la imagen impresa de forma invertida (en espejo). Las zonas que van a imprimir van en relieve con respecto a las zonas no imprimibles.
2. La plancha se ajusta al cilindro portaforma o portaplancha (2).
3. Se engancha el papel o sustrato (3) al sistema.



4. Un cilindro de cerámica o acero (4) (el cilindro anilox), cubierto de miles de huecos en forma de celdillas, recibirá la tinta.

Una vez en marcha, una cámara cerrada (5) proporciona tinta a un cilindro anilox (4). Una rasqueta (6) extremadamente precisa elimina el sobrante de tinta del cilindro e impide que la tinta escape de la cámara.

5. Al girar, el cilindro anilox entra a su vez en contacto directo con la plancha, situada en el cilindro portaplancha (2) y le proporciona tinta en las zonas de relieve. Las zonas más bajas quedan secas. El uso del cilindro anilox es esencial para distribuir la tinta de forma uniforme y continuada sobre la plancha.

6. La plancha, ya entintada, sigue girando y entra en suave contacto directo con el sustrato (que puede ser papel, cartón o algún tipo de celofán). El cilindro de impresión (7) sirve para mantener el sustrato en posición.

7. El sustrato recibe la imagen de tinta de la plancha y sale ya impreso, secándose de forma muy rápida.

Ese proceso imprime un color. Cada sistema de cilindros/plancha/mojado/entintado es un cuerpo de rotativa capaz de imprimir un color. Para imprimir cuatro colores hacen falta cuatro cuerpos, aunque las variantes y posibilidades son muy numerosas.

Las tintas de flexografía son no grasas (su base es alcohólica o acuosa). Tienen poca viscosidad y secan muy rápido (por eso es un proceso de impresión muy ágil).

Son translúcidas: no son opacas y cuando se imprime una tinta encima de otra, los colores se suman, no se tapan (mezcla de colores sustractiva: los pigmentos sustraen luz).

Debido a la adaptabilidad de sus planchas y al rápido secado de sus tintas, la flexografía admite muchos tipos de sustrato, siempre ha destacado en la impresión de envases con materiales de superficies desiguales: cartón corrugado, tetrabriks y envases de alimentos, bolsas, etiquetas, etcétera.

La mejora de calidad del sistema ha permitido incluso la tímida entrada de la flexografía en mercados editoriales de bajo costo (prensa popular y libros de bolsillo). Incluso hoy día no es raro encontrar sistemas flexográficos combinados con *offset* y huecograbado para la aplicación de barnices o similares.

g) Impresión tipo plena (entallada)

Este método utiliza una lámina de metal que está grabada al agua fuerte, a mano o químicamente. Dicha lámina y tinta especial son aplicadas a la superficie impresa bajo presión. El resultado es un efecto elevado con un leve plumaje alrededor del borde de la imagen impresa como consecuencia de la presión. La impresión tipo plena permite detalles muy bellos en las imágenes que se obtienen. Este método de impresión es considerado muy seguro, dada su difícil producción, la belleza del posible detalle y su gran costo.

h) Termografía.

También produce una impresión elevada. Este método, junto con la flexilografía, es empleado para reproducir impresiones de tipo pleno en documentos falsos. Una imagen de *offset* es impresa usando una tinta especial que no se seca. La tinta que no se seca es entonces rociada con una sustancia plástica en polvo. El exceso de polvo es removido utilizando una aspiradora y la superficie impresa es entonces *horneada* para fijar el polvo. La termografía produce una imagen grabada sin el detalle fino de la impresión tipo plena, pero con bordes lisos y parejos. Las burbujas de aire o cristalizaciones son resultado del proceso de horneado y pueden ser vistas claramente bajo una inspección microscópica.

i) Xilografía

La xilografía (del griego *xylón*, madera; y *grafé*, inscripción) es una técnica de impresión con plancha de madera. El texto o la imagen deseados se tallan a mano con una gubia o buril en la madera; se utiliza habitualmente una sola matriz (llamada también *taco*) para cada página. A continuación se impregna con tinta y presionándola contra un soporte (como el papel) se obtiene la impresión del relieve.

Las maderas más adecuadas para realizarla son la de boj, la de cerezo o la de peral. Otras maderas menos duras, como las de arce y roble, no son adecuadas para la xilografía.

Existen dos tipos de xilografía en función de cómo se realice el grabado en la madera:

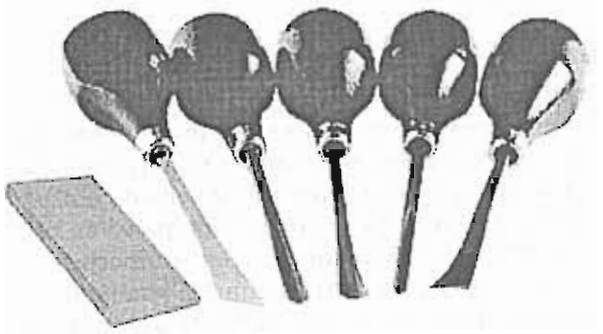
- Xilografía "al hilo": la superficie de grabado está cortada en paralelo a las fibras del tronco. Este método es propenso a la aparición de nudos y fibras irregulares con el consecuente problema para la impresión.

• Xilografía "a testa": la cara es perpendicular a las fibras.

Prácticamente el único uso que se le sigue dando a la xilografía es el artístico, debido a su notorio carácter gráfico (el trazo grueso).

j) Linograbado

La misma técnica de la xilografía se ha utilizado con diversos materiales como el cuero, aunque el principal es el linóleo, con el que se obtiene el linograbado o linoleograbado. También se han utilizado metales (con los que se obtiene el grabado criblé, cribado o acribillado), aunque el metal, como veremos, es la materia propia de la matriz o plancha en la técnica de grabado en hueco.



Herramientas para la realización de linograbados.

La técnica del linograbado utiliza como matriz el linóleo, que es un material flexible, ligero y fácil de cortar. El proceso de trabajo y las herramientas son idénticos a los de la xilografía, aunque, al ser un material más blando, resulta más fácil de trabajar. También el proceso de entintado y estampación es similar. La técnica de grabado en linóleo es muy estimada y utilizada por los artistas plásticos en nuestra época.

k) Serigrafía

La serigrafía es una técnica de impresión empleada en el método de reproducción de documentos e imágenes sobre cualquier material, y consiste en transferir una tinta a través de una malla tensada en un marco, el paso de la tinta se bloquea en las áreas donde no habrá imagen mediante una emulsión o barniz, quedando libre la zona donde pasará la tinta.

El sistema de impresión es repetitivo, esto es: una vez que el primer modelo se ha logrado, la impresión puede ser repetida cientos y hasta miles de veces sin perder definición.

l) Distinción de los procedimientos de impresión

A menudo es difícil distinguir los procedimientos de impresión, salvo para un profesional conocedor de los mismos. Lo más frecuente es que el simple examen visual de la impresión y, si es preciso, el tacto del papel sean suficientes para informarlo. Si duda, puede entonces observar más atentamente la hoja impresa con ayuda de un cuentahílos para detallar, en este orden, el texto, las ilustraciones y el papel. En la medida de lo posible, el perito debe tener siempre consigo un cuentahílos extremadamente preciso.

Para adquirir esta percepción de lo impreso y hacerla menos intuitiva, es necesario, primero, tomar como modelos impresos cuyo procedimiento es ya conocido, para determinar lo que caracteriza a cada uno de ellos. A continuación, bastará con establecer comparaciones entre las características propias de cada uno de los procedimientos.

Para la serigrafía es suficiente observar un impreso publicitario del tipo autoadhesivo. Entre las muy numerosas características que pueden servir para la identificación de la impresión clásica por cada uno de los procedimientos, hay que considerar simplemente: 1) el seco y los filetes, que sirven para distinguir la tipografía del *offset*; estas dos marcas hay que examinarlas en los impresos realizados con esos dos procedimientos; 2) el texto y las ilustraciones hay que escrutarlos con ayuda de un cuentahílos en los periódicos y revistas; 3) el papel, que puede resultar una fuente de errores. En efecto, si existe un papel mejor adaptado a tal procedimiento o a un trabajo determinado, cada procedimiento se acomoda, no obstante, con bastante facilidad a otros papeles.

1. *Examen del seco.* Se llama seco al relieve más o menos aparente en el reverso de la hoja; se produce en el curso de la impresión tipográfica por los elementos metálicos en relieve que, incluso en el caso de una colocación efectuada según las reglas del arte, dejan subsistir un ligero hueco en el anverso del papel.

2. *Examen de los filetes.* Los filetes son los trazos verticales y horizontales que se encuentran en ciertos impresos (facturas, presupuestos, cuadros, etc.). En tipografía, a veces están constituidos por diversos elementos, puestos uno tras otro y biselados para formar un cuadro: esos diferentes añadidos pueden producir ligeros blancos en la impresión.

En *offset* los filetes están trazados como se haría a pluma mediante trazos; de esta manera, no los interrumpe ningún blanco, incluso mínimo.

3. *Examen del texto.* En tipografía, sobre papel satinado, los caracteres vistos con ayuda de cuentahílos son muy netos y dan un negro más o menos intenso, según su superficie.

En *offset,* al ser indirecta la impresión, con ayuda de la mantilla, el texto es menos neto y a menudo más gris, a veces incluso irregular. En cambio, en similigrabado el punto es más fino y no está deformado.

En serigrafía no hay seco en el reverso de la impresión, sino que, por el contrario, se comprueba cierto relieve de la tinta, provocado por su paso a través de las mallas, bajo la presión del raspador.

En heliograbado, el examen con el cuentahílos hace aparecer un texto rayado por la trama.

4. *Examen de las ilustraciones.* En tipografía, el examen de las reproducciones fotográficas en similigrabado se hace preferentemente sobre papel cuché, y en *offset,* sobre papel ligeramente granulado. Este estudio de la trama con el cuentahílos, idéntico para los dos procedimientos, no puede dar diferencias sensibles.

De todos modos, hay que señalar las características siguientes:

– Los blancos de la fotografía, en tipografía, tienden a virar hacia el gris, mientras que son puros en *offset* (es el blanco del papel).

– Los puntos de la trama, aureolados en tipografía, están mejor delimitados y generalmente son más finos en *offset,* especialmente cuando la impresión se hace sobre papel cuché.

En heliograbado, la trama cuadrada –especial de este procedimiento– es visible con el cuentahílos en las partes grises; además, la tinta, al extenderse en la salida de las marcas, cubre casi completamente la trama.

En examen a simple vista del rendimiento de una ilustración por cada uno de los procedimientos, se observará:

– En tipografía, una fidelidad severa y contrastada; los tintes son netos.

– En heliograbado, una fidelidad menos acentuada pero con la sensación de ver una fotografía con un ligero relieve; los tintes son vivos.

– En *offset,* una fidelidad menos contrastada que en tipografía; los tintes son suaves, recordando el papel o la acuarela.

– En serigrafía, una sensación de pintura al óleo con colores intensos y puros.

Es bueno recordar que, si puede procurarse un grabado con color más o menos semejante para cada procedimiento, la yuxtaposición de esas diferentes reproducciones hará resaltar aún mejor las características de rendimiento de cada procedimiento.

En lo que se refiere a los peritajes de falsificaciones en materia judicial, conviene estudiar bien los impresos en cuestión a fin de determinar, en la medida de lo posible, el procedimiento de impresión. Pero hay que guardarse bien de definir el tipo de máquina utilizada, pues esas deducciones son aleatorias. Se sabe que la mayoría de las imitaciones fraudulentas se ejecutan en impresión *offset,* pero sucede que pueden estar implicadas dos disciplinas de trabajo; es el caso, especialmente, de las imitaciones fraudulentas de cheques impresos en *offset,* mientras que la numeración y la perforación se realizan en tipografía.

m) Reprografía

La reprografía es un proceso que permite reproducir documentos impresos mediante técnicas como la fotocopia (o xerocopia), el facsímil o la fotografía. El término está compuesto por la combinación de dos vocablos: *reproducción* y *grafía.* Consiste en el traspaso de tinta a un soporte mediante presión, y tiene como objetivo final reproducir gráficamente la cantidad"*n*"de copias que sean iguales (reproducción masiva de piezas).

Dicho con otras palabras, se llama así al"conjunto de procedimientos que realizan la copia automática de documentos por medio de técnicas que utilizan las propiedades de las radiaciones".

Hay que distinguir la reprografía en blanco y negro de la que se realiza en colores, así como los procedimientos argénticos basados esencialmente en los principios de la fotografía; la diazocopia; la termocopia y la fotocopia electrostática.

1. *Reprografía en blanco y negro.* Los procedimientos argénticos se basan en la utilización de superficies sensibles esencialmente compuestas de sales de plata; por lo tanto, resulta necesario poseer papel para la fotocopia ordinaria en luz atenuada, así como los productos de tratamiento correspondientes. Este procedimiento de reproducción está ahora casi abandonado por ser muy anticuado y costoso.

2. *Diazocopia.* Es un procedimiento de reprografía que aprovecha las propiedades de los compuestos diazoicos. En general, el aparato se construye a lo largo, ya que utiliza papel de rollo.

Está constituido por una rampa de iluminación de tubos fluorescentes y utiliza un baño de producto de revelado así como papel sensibilizado.

El principio de la copia es el siguiente: el papel (que en general es de color amarillo) se pone en contacto con el documento transparente (calco, kodatraza, película positiva, etc.), a continuación se introducen las dos partes en el aparato y pasan sobre un cilindro en cristal que gira alrededor de la fuente luminosa para efectuar la exposición. Las dos partes continúan su marcha y son dirigidas hacia un baño revelador. Al quedar terminada la operación el papel vuelve a ser blanco enseguida. La calidad de la copia es excelente y este sistema se utiliza muy ampliamente en los talleres de reprografía.

3. *Termocopia.* Este procedimiento de copia, que no hace mucho tiempo estuvo en boga, tiene tendencia a ser abandonado hoy día.

a. *Termocopia directa:* Está fundada en la utilización de papel recubierto de un baño cuya coloración es modificada por la acción de los rayos infrarrojos.

Para la obtención de la copia se efectúa la exposición por reflexión, al ser reemplazados los rayos luminosos por las radiaciones emitidas por un tubo de infrarrojos. El calor que atraviesa el papel sensible no es suficiente para modificar su tinte, pero las partes oscuras del original ab-

sorben este calor y lo restituyen al papel sensible, el que, en los lugares correspondientes, se colorea netamente.

De esta manera se obtiene una copia en pocos segundos.

b. *Termocopia indirecta*: Este procedimiento utiliza un soporte intermedio que recuerda mucho a un papel químico cuya capa se vuelve inmediatamente pastosa bajo la acción del calor.

La obtención de la copia se efectúa sobre cualquier soporte (papel, calco, celofán, planchas *offset,* etc.); entre este soporte y el original se intercala el intermediario termosensible, capa contra soporte. Bajo la acción del calor, la capa del intermediario se vuelve pastosa en los lugares que corresponden al texto y una simple presión hace que se adhiera al soporte. La obtención de la copia es muy rápida (algunos segundos son suficientes).

Aunque todavía se utiliza, este procedimiento está condenado a desaparecer.

4. *Copia electrostática (o xerografía)*. Desde hace varios años este procedimiento ha conquistado el primer lugar en el mercado de la reprografía. La sociedad Rank-Xerox, inventora del principio y única poseedora durante largo tiempo de la patente, fue la que dio origen al nombre de xerografía (escritura en seco), como frecuentemente se denomina este procedimiento.

Existen dos clases de aparatos:

– los que permiten obtener bien una copia por reporte;

– aquellas que permiten obtener bien una copia directa.

a. *Copiadoras electrostáticas por reporte*: Estos aparatos proporcionan copias por vía seca. La imagen del original es proyectada, a través de un objetivo fotográfico, sobre un cilindro (tambor) metálico y dieléctrico cuyo revelado se cubre con una capa de selenio. Sobre esta capa se forma la imagen latente invertida con respecto a la original. A continuación se espolvorea el cilindro con *tonificador,* compuesto por una mezcla de resina sintética, coloreada y pulverulenta y un vehículo, cuerpo inerte finamente molido, son minúsculas bolas de un cuerpo eléctrico neutro o magnético). El *tonificador* no se adhiere sobre las paredes del cilindro más que en los lugares cargados y transforma la imagen latente en visible.

La hoja de papel se aplica contra el cilindro y atrae el *tonificador,* entonces se corrige la imagen y a continuación la *cuece* sobre una rampa de rayos infrarrojos que la fija definitivamente.

En la copia, en el emplazamiento de las partes reveladas se observa un ligero relieve constituido por la resina fundida.

b. *Copiadoras electrostáticas directas*: También estos aparatos proporcionan copias secas, pero utilizan un *tonificador* en suspensión en un líquido, o *dispersante* (generalmente un hidrocarburo cercano al petróleo que después de evaporarse no deja rastros sobre el papel).

Por medio del objetivo fotográfico, la imagen original se proyecta en el lugar, sobre una hoja de papel cuya superficie lleva una capa sensible de óxido de zinc cargada electrostáticamente.

Durante la exposición, las cargas desaparecen de la superficie de la hoja, salvo en el emplazamiento de la imagen. La proyección del *tonificador* transforma la imagen latente en visible, fijada a continuación bajo una rampa de rayos infrarrojos, la que evapora el dispersante y seca la copia.

Este procedimiento se emplea en la mayoría de las fotocopiadoras de oficina: existen ciertos modelos que pueden proporcionar copias ampliadas o reducidas.

5. *Reprografía en color*. Recurre esencialmente al procedimiento electrostático. Se distinguen:

a. *Fotocopiadoras por transferencia*: Se recubre el tambor con una capa de selenio/arsénico. La exposición se efectúa en tres pasos sucesivos, correspondiendo cada uno a uno de los tres colores del original (amarillo, cian y magenta). El negro se obtiene por superposición de tres colores fundamentales.

Los modelos de la firma Rank-Xerox utilizan tres *tonificadores* coloreados en polvo, que se dispersan sobre la hoja.

Los modelos de la marca Cannon recurren a tres *tonificadores* coloreados sólidos que se fijan sobre la hoja por presión.

El resto del tratamiento es idéntico al de las copias en blanco y negro.

Con estos aparatos se emplea papel ordinario, que puede exponerse anverso-reverso.

b. *Fotocopiadoras directas*: Utilizan un papel especial cuché al óxido de zinc; los cuatro *tonificadores* son líquidos.

Las fotocopiadoras en color son aparatos muy voluminosos, que no aceptan más que trabajos legales. En la hora actual estos aparatos constituyen un peligro real para los documentos de seguridad.

XV. LA FOTOCOPIA COMO ELEMENTO DUBITADO O CUESTIONADO

Prácticamente todo ámbito laboral moderno posee una fotocopiadora para obtener copias de documentos de diferente naturaleza.

Dado que existe una necesidad evidente de que tales instrumentos tengan capacidad de reproducción rápida, la demanda pertinente dio paso a una industria en expansión. Esta industria utiliza tecnología altamente sofisticada en procura de fabricar fotocopiadoras confiables, de precio razonable y costo adecuado. En tal sentido, los manufacturadores han tenido éxito en su tarea de inundar el mercado con una variedad de elementos que emplean variados procesos de copiado. Los distintos dispositivos comienzan con máquinas portátiles pequeñas y continúan con fotocopiadoras que posean poder de reducción y la posibilidad de, virtualmente, reproducir cualquier forma de espécimen original. Dado

que resulta fácil el acceso a máquinas de fotocopiado, tanto en oficinas públicas como privadas, suelen ser utilizadas con frecuencia en la perpetración de maniobras delictivas; los casos de fraude incluyen numerosas fotocopias como evidencia importante.

A medida que los temas delictivos donde aparecen fotocopias se hacen más evidentes, tanto el investigador como el perito especializado deben poseer una comprensión más amplia del potencial probatorio que exhibe una fotocopia.

Cuando se copia un documento, generalmente se habrá utilizado uno de los siguientes procedimientos: 1) electrostático indirecto; 2) electrostático directo; 3) transferencia de tinte; 4) termal; 5) transferencia por difusión; 6) espectro dual; 7) diazo y 8) estabilización. Estos procedimientos difieren en diversos aspectos técnicos, con la distinción primaria de ser *húmedos* o secos. Los primeros implican el uso de materiales de aluro de plata, sensibles a la luz. Existen algunos cientos de modelos diferentes de máquinas en el mercado, que emplean los distintos procedimientos conocidos.

Los procesos más comunes, aparentemente de uso general, son el electrostático indirecto y su similar directo. El primero, a veces llamado xerografía, está destinado para el uso de papel puro, sin cobertura; en muchas fotocopiadoras de esta categoría puede copiarse casi cualquier tipo de original; ha dominado el mercado debido a que, comparativamente, no es costoso y puede producir muchas copias en forma rápida. El segundo emplea hojas de papel revestido (óxido de zinc), para lograr la fotoconductividad.

El terreno del fotocopiado se ha expandido con la introducción de máquinas que producen copias en color. Las mismas pueden resultar suficientes para engañar al ojo desnudo cuando se imita un documento original, pero el perito puede diferenciar entre el original y la copia.

Lo mejor que cualquier fotocopiadora puede hacer es concretar una imitación de un original. En este último el ojo puede detectar tres dimensiones; sin embargo, la fotocopiadora sólo transforma vagamente dos dimensiones del original en la copia terminada. Efectivamente, las medidas del original no están verdaderamente reflejadas en la copia, dados la mecánica y el funcionamiento de la máquina. Para un examen comprensivo de un documento cuestionado, ninguna copia puede reemplazar adecuadamente al original.

Los exámenes de papel, tinta, escritos endentados y calcos, no son posibles mediante una fotocopia. Las razones por las cuales los estudios resultan inconcluyentes cuando se ofrecen fotocopias en lugar de originales, son: 1) el investigador no ha sido adecuadamente informado respecto de los requerimientos necesarios para un examen apropiado de documentos, y 2) hay un concepto erróneo en el sentido de que la fotocopiadora producirá copias que son completamente representativas del documento original.

Cuando una fotocopia es por sí misma la única evidencia, el investigador debe estar atento a las características que deja una máquina de fotocopiado durante el procedimiento de transporte del papel (clasificación de la fotocopia) así como a la identificación de la fotocopia de acuerdo con la capacidad del laboratorio que se hará cargo.

Usualmente, las correas, los rodillos o tambores y las mordazas o agarraderas harán que el papel se mueva dentro de la fotocopiadora. Estos mecanismos dejarán marcas en la copia terminada que, basándose en el tipo, medida y ubicación, podrán ayudar a establecer la marca (y a veces el modelo) de la máquina. Asimismo, con el paso del tiempo y el uso y abuso de un instrumento, pueden depositarse polvo, hilachas, fibras, cabellos y otros desechos; estas partículas contaminantes aparecerán como *huellas de basura* que pueden ser vistas en las copias terminadas. Son marcas que aparecen de manera fortuita y única sobre las fotocopias y pueden ser utilizadas para mostrar que una copia específica fue producida en una máquina determinada.

El concepto anterior es, en esencia, la identificación de fotocopias.

Muchas veces se requerirá saber cuál de varias máquinas fue la utilizada para preparar una copia específica. Para que el perito pueda llevar a cabo tal cometido, el investigador (o el propio perito) tendrá que obtener copias indubitadas de todas las fotocopiadoras involucradas. En tal sentido, hay muchas variables que habrán de conocerse para asegurar un adecuado material de cotejo. La operación o el manipuleo de la máquina determinará el procedimiento correcto utilizado para la obtención del material; si una máquina posee una cubierta o superficie de goma (como muchas máquinas Xerox), se deberán obtener numerosas muestras con y sin ella, etiquetando posteriormente cada copia para su individualización al respecto.

Adicionalmente, cada copia tomada deberá ser marcada en orden numérico, ya que las características de la máquina pueden aparecer reproducidas en forma sucesiva o entrecortada. Por ejemplo, un tambor de selenio en una máquina Xerox, que se utiliza para transferir la imagen al papel, gira a medida que opera el procedimiento. La circunferencia del tambor puede, usualmente, acomodar al menos dos hojas de papel. Por lo tanto, diferentes *marcas de basura* y características adicionales únicas pueden aparecer en dos copias sucesivas. A veces, la *generación* de una fotocopia es importante en un tema criminal. Si esta circunstancia es relevante, el investigador deberá adoptar medidas para adquirir ejemplares en la secuencia *copia de una copia*. Pueden existir entre la segunda y quinta generación de fotocopias (por ejemplo) variaciones apreciables que incluyen medidas y características individuales.

La situación en cada caso indicará cómo deben obtenerse las muestras; de lo contrario, el investigador deberá tomarlas en todos los modos de operación de la fotocopiadora en cuestión.

A pesar de la aparente sofisticación de los procedimientos de fotocopiado y de la maquinaria involucrada, debe recordarse que una fotocopia es todavía una hoja de papel; por lo tanto, en una copia terminada habrá características físicas observables. Al igual que otros papeles, las fotocopias deben ser adecuadamente preservadas y manipuladas, a fin de que no resulten destruidas o contaminadas. Nunca deben ser engrampadas, desgarradas, cortadas o perturbadas en su forma original; tampoco deben utilizarse bolsas o sobres plásticos como contenedores para empaque de tales elementos, dado que, por contacto, pueden desvirtuarse algunas características químicas. El *toner,* por ejemplo, en contacto con el plástico produce una reacción química que hace que se adhiera a éste.

El examen de un documento a través de su fotocopia. El examen de una fotocopia en lugar del documento original (sin hacer caso de su calidad) puede poner varias limitaciones a los descubrimientos del perito. El mismo puede no ser capaz de determinar en una fotocopia si han estado presentes escrituras endentadas, borradas, obliteraciones y marcas de agua, en el documento original. Las fotocopias rara vez revelan tales fenómenos con suficiente claridad, del mismo modo que otros tales como levantamientos del elemento escritor, retoques, matices, remanentes de líneas que puedan haber quedado en un trazado falso, la dirección del movimiento escriturario, la secuencia de trazos u otros detalles diminutos, cuya presencia podría indicar la falsedad de un escrito.

Los agregados a un escrito original confeccionado en tinta pueden haber sido preparados con una tinta de matiz diferente.

Mientras tal agregado resultaría obvio en un examen del elemento original, podría pasar inadvertido en una fotocopia si las diferentes tintas coloreadas fuesen reproducidas en el mismo tono de gris.

No obstante lo expresado, cuando no resulta viable obtener un documento original, se puede llegar a obtener conclusiones definidas sobre el estudio de su fotocopia. El hecho de que un original sea indisponible no debería impedir la remisión de una fotocopia clara, de tamaño real, de detalles pronunciados, libre de distorsiones y de moderado contraste (ni poco ni mucho), ya que con ello el perito al menos podrá dar una información indiciaria, con reserva de derechos en todos los casos.

XVI. EL PAPEL COMO EVIDENCIA

Desde que el hombre ha procurado documentar sus pensamientos mediante símbolos escritos de expresión, ha sido importante la presencia

de un soporte sobre el cual pudiera colocar las notaciones simbólicas. En su búsqueda por encontrar una superficie sobre la cual grabar la experiencia humana, ha utilizado elementos tales como paredes de cavernas, placas de piedra, pieles de animales y cortezas de árboles. A medida que la capacidad de autoexpresión se desarrolló, necesariamente también lo hicieron nuevos y mejores medios de grabación de la palabra escrita.

Todo lo expresado condujo a la actual industria de fabricación del papel, extremadamente sofisticada por cierto y pendiente de las demandas del mercado moderno; ello incluye toda la línea de papeles para negocios y uso personal.

Sin que importe cuál sea su finalidad, podemos definirlo como un conjunto de fibras en forma de hoja, amalgamadas previamente en una suspensión de agua. Durante el proceso de fabricación, el agua drena a través de una malla para permitir que la hoja se vaya secando. En los sucesivos pasos de la producción, se le agregan aditivos y tratamientos especiales, todo lo cual varía de acuerdo con el tipo de producto que se desea obtener. Tanto el investigador como el perito están interesados en el valor probatorio inherente al papel, ya que frecuentemente su empleo está conectado con la actividad criminal. Un conjunto de papeles puede suministrar la evidencia física necesaria para el éxito de una investigación.

La mayor parte de la evidencia asociada con el papel es sutil y en general no puede ser rápidamente detectada con el ojo desnudo. El valor de esta evidencia cae generalmente dentro de tres categorías: 1) características físicas; 2) características químicas, y 3) características ópticas.

Las primeras son aquellas que usualmente pueden ser observadas por el ojo y descubiertas de una manera no destructiva, por ejemplo: dimensiones, espesor, márgenes, escritos endentados (calcos), etc. A veces, estas características no pueden ser determinadas mediante fotografía u otros métodos reproductivos.

En cuanto a las químicas, están referidas a los aditivos que en el proceso de fabricación se colocan en la hoja para crear cierto efecto. Estos materiales pueden proveer de importante información concerniente a la datación de la hoja.

Las características ópticas, por su parte, incluyen ítems tales como opacidad, blancura y brillo. Las técnicas de fotografía especializada son, en este caso, esenciales.

Por ejemplo, dos hojas de papel que al ojo desnudo aparecen semejantes pueden contener componentes químicamente diferentes; la fotografía puede exhibir estas diferencias concluyentemente. Por otro lado, algunas características ópticas del papel pueden ser visibles a simple vista, como la opacidad (cantidad de luz que puede atravesarlo cuando es expuesto a una fuente lumínica).

Las características físicas más significativas, que caen dentro de la escala de lo observable, son los calcos, las marcas de agua, las dimensiones y los bordes rasgados o cortados.

La presencia de calcos de escritura en hechos delictuosos es un hecho frecuente; es relativamente fácil para individuos involucrados con estos casos olvidar que una firma, un número telefónico o una dirección puede aparecer en forma endentada en un papel. Cuando se los detecta con auxilio de una fuente lumínica que opera en forma oblicua o rasante, pueden suministrar la evidencia necesaria para asociar un documento cuestionado con una fuente sospechada y particular.

Las marcas de agua son inscripciones o impresiones ubicadas en una hoja de papel durante el proceso de fabricación. Por lo general aparecen en forma de *logo* y pueden observarse a ojo desnudo por aplicación de luz por transparencia; normalmente estas marcas las origina el fabricante como símbolo de una marca o para identificación, circunstancia ésta que puede resultar de utilidad para el investigador en la determinación de la procedencia del papel, y para ello resulta de interés contar con una nutrida base de datos o información.

Las dimensiones o medidas que pueda arrojar una hoja de papel son también elementos importantes para examinar y comparar.

En tal sentido, son de destacar el espesor, el largo, el ancho, la distancia entre márgenes y líneas impresas, etc. Las mediciones precisas pueden suministrar la información necesaria para mostrar las diferencias entre dos hojas que, a simple vista, aparentan ser de la misma medida.

La tendencia general es la de pensar en el papel en términos de *hoja de papel*; sin embargo, deben tenerse en cuenta materiales de papel tales como sobres, periódicos, revistas, panfletos, bolsa, cartón, estampillas, papel de embalaje, cheques, bonos, acciones, *tickets*, certificados, etcétera.

El papel como evidencia cubre una gama tan amplia que puede predecirse su relevancia en diferentes situaciones. El investigador y el perito deben comprender que existen un sinnúmero de evidencias susceptibles de aparecer en tales elementos, que no son fáciles de detectar sin un examen comprensivo.

PROPIEDADES SIGNIFICATIVAS DEL PAPEL
(*físicas, ópticas y químicas*)

Espesor	Calcos
Longitud	Peso base
Ancho	Bordes y esquinas
Color	Márgenes
Tipo de papel, acabado o textura	Distancia entre líneas
Marcas de agua	Perforaciones
Bordes rasgados o cortados	Textura del material
Opacidad	Coberturas
Resistencia a la grasa	Materiales de relleno o recarga
Refractividad de la superficie	Matices o pigmentos de color
Fibra	Adhesivos
Planicidad	Patrones de uso o desgaste
Adornos	Resistencia a la absorción de tinta y agua
Resistencia a la tracción	Resistencia a la perforación
Elasticidad	Suavidad o tersura
Cortes o huellas de herramientas	Satinado
Fluorescencia	Rendimiento de la superficie del papel
Brillo	Otros
Composición de las fibras	
Material de apresto	

Papel inflamable. Es aquel que ha sido tratado con una mezcla concentrada de ácidos sulfúrico y nítrico, para convertir los componentes de celulosa de aquél en nitrocelulosa. Normalmente, se enciende a una temperatura que oscila entre los 150 y 170 grados centígrados, arrojando una llama amarilla y poca o ninguna ceniza. Se tiene conocimiento de que enciende espontáneamente.

Generalmente este tipo de papel es empleado por magos o ilusionistas para la realización de diversos trucos.

XVII. EXAMEN DE TINTAS

a) Generalidades

La tinta es una materia compleja, más o menos consistente y diversamente coloreada, utilizada para escribir o imprimir.

Las primeras tintas estaban constituidas por negro de humo disuelto en goma arábiga; es la fórmula que todavía hoy sirve para fabricar la tinta china. Hasta la Segunda Guerra Mundial la mayoría de las tintas contenían extractos naturales de origen vegetal o animal: desde esa época ya no se hallan más que tintas a base de componentes sacados de la síntesis química.

Los principales procedimientos para el examen de tintas son exámenes ópticos y químicos no destructivos. Los exámenes ópticos incluyen aquellos que usan la luz visible y las fuentes alternativas, por ejemplo, determinar si la clase de tinta es de bolígrafo; utilizar el examen ultravioleta para detectar indicios de que un documento ha sido manchado por productos químicos, y emplear luz infrarroja reflejada para observar la luminiscencia en diferentes longitudes de onda. El examen químico incluye pruebas durante las cuales los disolventes se aplican en peque-

ñas cantidades a la línea de tinta. Por ejemplo, las tintas de bolígrafo, que son a base de aceite o a base de glicol, son altamente solubles en piridina. Las tintas formuladas para plumas estilográficas, bolígrafos de punta porosa, y *roller pens* generalmente son solubles en agua en etanol y agua. Los marcadores indelebles son a base de solvente y, en general, serían solubles en piridina.

El examen de tintas puede tener dos objetivos: identificación de clase, para la cual la intención es identificar la fórmula de la tinta o el tipo, basado en una biblioteca de referencia de muestras de tintas, y la comparación, para lo cual el objetivo es comparar dos muestras de tinta para determinar si son de común origen. Las comparaciones de tinta por lo general se realizan para responder a cuatro categorías básicas de preguntas: 1) si una tinta es la misma (en la fórmula) como los de otras partes del mismo documento o en otros documentos; 2) si dos escritos con tintas similares poseen un origen común (por ejemplo, el instrumento de la escritura misma, o bien la tinta); 3) si la tinta de las entradas en un período es consistente con diferentes edades o indica la preparación de una sola vez, y 4) si la tinta es tan antigua como pretende ser.

La mayoría de los problemas con los exámenes de tinta derivan de factores de confusión que interactúan con la tinta. Éstos pueden ser parte del proceso de escritura, como secar la tinta húmeda (papel secante); variaciones en los papeles; diversas formas de contaminación en el documento, o una combinación de estos factores. La mayoría de los exámenes de tinta se deben realizar en papel y sin desfigurar la letra, y esto crea una serie de problemas de muestreo y retos analíticos.

b) Análisis

El análisis de tinta puede ser una parte importante de la investigación de documentos cuestionados, incluida la falsificación de cheques, testamentos o registros alterados. A pesar de que todas las tintas de color azul o negro pueden parecer lo mismo, puede haber algunas diferencias importantes en su composición química. Éstas pueden ser reveladas por los análisis de laboratorio, y los resultados ayudarían a evaluar si ha habido adiciones o modificaciones a un documento.

El análisis de los documentos bajo el microscopio puede ser informativo, como primer paso. El investigador puede ser capaz de ver ligeros cambios en el color de la tinta, no visibles a simple vista, que podrían ser indicativos de alteraciones, o puede haber sugerencias de obliteración y sobreescritura. La propia tinta puede analizarse mediante pruebas no destructivas o destructivas, dependiendo de si la muestra debe ser tomada del documento, un proceso que lo alteraría. Es preferible intentar el enfoque no destructivo en primer lugar, para que el documento se deje intacto.

El principal método de análisis no destructivo de tinta es la microespectrofotometría. Ello implica la exploración de la tinta con luz ultravioleta o infrarroja para grabar su espectro, es decir, las longitudes de onda de luz que absorbe. Algunas tintas son fluorescentes, o emiten luz, al ser expuestas a los rayos ultravioletas, mientras que otras desaparecen. Cada tinta debe dar un patrón distinto o espectro cuando se expone a los rayos ultravioletas o luz visible. En pocas palabras, ésta es una manera de descubrir el verdadero"color"de la tinta. El espectro de la tinta en el documento, por lo tanto, se puede comparar con los espectros de las tintas estándar. Otros métodos no destructivos o destructivos mínimamente, como la espectroscopia, se pueden utilizar como complemento de la microespectrofotometría. Analizar el documento con la luz infrarroja puede resultar muy informativo debido a que, a altas frecuencias, la tinta es invisible, pero se mostrarán las marcas de lápiz que puedan estar por debajo.

El principal método de ensayo no destructivo de la tinta es conocido como cromatografía en capa fina. En realidad, no es muy destructivo para el documento si se hace con cuidado. Sin embargo, se toma, antes de iniciarlo, un registro fotográfico del documento original; una pequeña muestra del papel entintado, se perfora con una aguja fina y hueca, una jeringa hipodérmica es ideal. El investigador evita lugares donde el elemento escritor ha cambiado de dirección o cuando las líneas de tinta se encuentran/cruzan. Esto evita cualquier interferencia con los análisis de escritura subsiguientes. La muestra se coloca en un tubo de ensayo con un solvente que disuelve la tinta; a continuación, un pequeño rincón de la solución de la muestra se coloca sobre una tira de papel, junto con manchas de diferentes muestras de tinta de referencia. El papel se coloca en un vaso que contiene una pequeña cantidad de otro disolvente; se coloca de manera que el papel se sumerja en el disolvente, pero las manchas de la muestra permanezcan secas. El disolvente sube al documento a través de la acción capilar y las manchas de la muestra se mueven con él. Cromatografía significa"escribir con colores", y los componentes químicos de la tinta, que son, por supuesto, de color, viajan con el disolvente a una velocidad que depende de su composición.

El resultado final es un patrón de manchas de color, conocido como cromatograma, para cada tinta. Las tintas diferentes tendrán cromatogramas diferentes. Si la tinta de la muestra tiene el mismo cromatograma que una de las tintas de referencia, ello sugiere que son las mismas, y así puede hacerse la identificación.

Otra técnica conocida como cromatografía líquida de alta resolución, que puede ser utilizada como una alternativa a la anteriormente citada, consiste en inyectar la muestra de tinta en una columna de metal larga y delgada que se lava de nuevo con una mezcla de disolventes, llevando

los componentes de la tinta, uno a la vez, a un detector electrónico. Entre ellos, los métodos no destructivos y destructivos de análisis pueden identificar más del 90% de las tintas de bolígrafo.

El hecho de que un documento parece haber sido escrito con la misma tinta no significa que no ha sido alterado o añadido. La misma tinta llena diversos implementos escritores. Los bolígrafos, por lo general, se distinguen microscópicamente mirando las zonas que no poseen tinta, conocidas como estrías dentro de una línea de escritura. Las estrías surgen de las imperfecciones dentro de la caja contenedora de la bola o esfera de la lapicera.

Sin embargo, puede ser difícil datar una tinta, a menos que se sepa con certeza que la tinta no existía cuando se dice que el documento ha sido preparado. Desde la década de 1990, algunos fabricantes de tinta comenzaron a agregar una etiqueta química a sus productos para indicar el año de fabricación.

c) Composición y tipos de tintas

1. Tintas a base de componentes naturales

Son esencialmente:

1) Las tintas de campeche: contienen madera de campeche, bicromato de potasio, ácido clorhídrico y agua. Son, en general, tintas negras, rojas o violetas, según los aditivos.

2) Las tintas gálicas: conocidas desde el siglo XIII, se obtienen mezclando la agalla (o agalla de roble) con soluciones de sales metálicas (sulfato de hierro y/o cobre); tienen el defecto de ser muy ácidas.

3) Las tintas de tanino: aparecidas después de 1700. Contienen una solución de sulfato ferroso y de tanino; el sulfato ferroso se oxida con el aire y da sulfato férrico, que reacciona, sólo entonces, con el tanino.

Todas estas tintas ya no se utilizan.

2. Tintas a base de componentes sintéticos

Desde el descubrimiento de la anilina en 1856, se han podido sintetizar una infinidad de colorantes que no existen, en la mayoría de los casos, en estado natural (colorantes diazoicos).

Fue hacia 1920 cuando se inició la comercialización de las primeras tintas de colorantes noiónicos, y a partir de 1927, la de las tintas alcalinas de secado rápido.

Actualmente, la mayoría de las tintas son soluciones que contienen uno o varios colorantes, cuya estructura química deriva de la anilina.

Si las tintas modernas presentan ciertas ventajas, tienen a veces tendencia a deteriorarse con el tiempo, mientras que las tintas gálicas y tánicas se oscurecen, dando aspecto envejecido.

En su fórmula actual, las tintas están constituidas:

– por *conductores*, es decir, por el conjunto de sustancias que sirven para el transporte de las materias colorantes, así como para su solubilidad, su secado, su lustre, etc.; desde el punto de vista químico, estos *conductores* están constituidos por una materia grasa, un agente que moja, un disolvente del colorante, agentes que lustran, diversos aditivos y líquidos volátiles;

– por pigmentos, negro animal o vegetal;

– por colorantes, bastante numerosos, a los que se da a veces el nombre de *tóner* (tintes); son ácidos o básicos.

3. Diferentes tipos de tintas

Se distinguen las tintas fluidas de las pastosas. Las fluidas son las tintas líquidas comercializadas en botellas o en cartuchos intercambiables.

Las tintas pastosas contienen un disolvente, colorantes y un elemento que espesa o un plastificador.

a. *Tintas para estilográficas*: Son simples soluciones de colorantes con poder tintóreo.

b. *Tintas para estilográficas con punta de fibra*: Contienen un conductor acuoso u orgánico (y muy volátil) así como colorantes relativamente ligeros (de los que se aumenta sensiblemente el número para compensar la debilidad) y empapan una mecha colocada en el depósito. La impregnación de la punta se hace por capilaridad entre las fibras.

c. *Tintas chinas*: Contrariamente a las anteriores, que son soluciones, las tintas chinas están compuestas por partículas de negro de humo (negro coloidal) en una resina natural (goma vegetal). Estas tintas tienen un poder de compensación muy elevado porque dejan una capa espesa de materia sobre el papel.

d. *Tintas para tampones*: Existen diversos tipos. Las reservadas al uso administrativo son insensibles a la acción de todos los disolventes conocidos, se dice que son indelebles. Algunas contienen anilina en solución dentro del agua glicerinada.

e. *Tintas para bolígrafos*: El bolígrafo se inventó en Europa en el año 1935; al año siguiente se fabricaron un millar de ejemplares en la Argentina, luego se olvidó el invento. Fue después de la Segunda Guerra Mundial cuando el bolígrafo conoció una gran popularidad.

La tinta para bolígrafos es pastosa (si no, se correría inopinadamente, por gravedad); está constituida por colorantes transportados por un conductor más o menos viscoso.

El conductor, en las primeras tintas para bolígrafos (hasta 1951), era neutro y contenía oleína, o bien aceites minerales o animales. Desde esa fecha, el conductor contiene disolventes alcoholizados (butileno-glicol, polietileno-glicol, etc.). Son tintas ligeramente ácidas y de secado rápido.

Como plastificantes se emplean resinas sintéticas, tales como el cloruro de vinilo, acetato de polivinilo, etc., que se mezclan con *suavizantes* tales como el fosfato de tricresil y el lautaro de diglicol.

Según la naturaleza química del conductor, se utilizan colorantes solubles en aceite o en alcohol, derivados de la anilina.

Desde 1954 se emplean colorantes a base de ftalocianina (ftalocianina-ácido tetrasulfónico de cobre) que tienen bonitos tintes y son muy estables a la luz.

Las tintas azules y negras para bolígrafos contienen a menudo también un pigmento (negro de humo).

6. *Tintas para cintas de máquinas de escribir*. Están constituidas por un conductor, pigmentos y colorantes:

– el conductor contiene, en general, un aceite vegetal o animal, un agente que moja (ácido oleico), un agente que da brillo (cera natural o sintética) y éteres de glicol;

– los pigmentos están constituidos por negro de humo o de grafito;

– los colorantes (o *tóner*) son azules (azul de Prusia, azul victoria, etc.) o violetas (violeta cristal o violeta de metilo).

La mayoría de estas tintas son inactínicas, es decir, insensibles a los efectos de la luz.

7. *Tintas especiales*. Clasificamos en este grupo dos categorías de tintas, en sentido amplio:

– Las que solamente son visibles tras la acción de un *revelador*. Son las tintas simpáticas. Aunque estas sustancias responden a la definición enunciada anteriormente, no puede hablarse propiamente de tintas, porque el colorante puede ser también zumo de limón o de naranja más que sulfato de quinina, de aspirina u otros.

Como revelador se utiliza una fuente de calor o radiaciones ultravioletas, o incluso diversos productos químicos.

– Las que permiten corregir los errores son las tintas borrables para bolígrafos (tipo Replay o Papermate), los cuales se venden con una goma prevista a tal efecto. El secreto de la fabricación obliga a no formularse más que hipótesis en cuanto a la naturaleza exacta de los productos utilizados: es probable que se incorpore un *retardador* a la tinta y que ésta no pueda sino depositarse sobre las fibras del papel sin penetrarlas, lo que en un primer momento permite el borrado por la acción de la goma.

Posteriormente, la tinta penetra en las fibras y las tiñe, quedando entonces fuera del alcance del efecto superficial de la goma.

d) Reacciones tinta-papel

La tinta depositada en el papel debe teñir las fibras superficiales, pero no debe difundirse alrededor del trazo, porque el texto se volvería rápidamente ilegible; es la cola la que impide que se *embeba* el papel.

La cohesión del papel en gran parte está asegurada por este engomado que refuerza los enlaces hidrógenos y cubre las fibras sin colmar los espacios interfibrilares, permitiendo así el paso del aire.

Sólo los papeles cuché (sobre los que se deposita una película de gelatina y de barita o de caolín) están recubiertos de una especie de glacis que tapa los espacios interfibrilares.

En los papeles simplemente glaseados (la mayoría de los casos), la tinta no tiñe más que las fibras superficiales, sin difundir el teñido en profundidad; cuando se examina un trazo de tinta bajo el microscopio se observa que se ha teñido una proporción importante (pero no la totalidad) de las fibras superficiales.

Deben señalarse aquí dos casos particulares:

– la tinta china, que deja en el papel un verdadero charol espeso, con poder cubriente muy elevado (por eso, si dos trazos de tinta china de colores diferentes llegan a cruzarse, siempre se verá, a simple vista, el color del segundo en el lugar de la intersección);

– las tintas negras o de colores (aunque no se trate ya aquí de una tinta), cuyo comportamiento también es interesante, dejan en el papel un depósito que no penetra en las fibras y aparece, bajo el microscopio, formado por montoncitos (o laminillas) con una densidad bastante alta; el comportamiento del lápiz en el papel es, de alguna manera, intermedio entre el de la tinta china y el de una tinta fluida.

e) Estudio físico-químico de las tintas

El estudio de las tintas en el peritaje de documentos falsos recurre a métodos ópticos y analíticos.

1. Métodos ópticos

Son esencialmente los que estudian el comportamiento de las tintas sometidas a la luz. Es útil recordar aquí que la luz natural (es decir, la luz solar, o incluso luz blanca) está constituida por tres tipos de rayos:

– las radiaciones infrarrojas, cuyo espectro está comprendido entre 10.000 nm (ondas radio: 1 nanómetro = 10^{-3} micras = 10^{-9} metros) y 723 nm;

– la luz visible, que se extiende entre 723 y 397 nm, está constituida por las bandas coloreadas siguientes:

- roja: 650 nm;
- anaranjada: 600 nm;
- amarilla: 560 nm;
- azul: 460 nm;
- violeta: 420 nm;

– las radiaciones ultravioletas comprendidas entre 397 y 20 nm, estando esta última longitud en el límite de los rayos X.

Cuando un rayo de luz natural viene a tocar un trazo de tinta, éste absorbe una parte y rechaza el resto. Son las radiaciones así difundidas las que dan su color.

El color de una sustancia no es pues más que el resultado de su comportamiento con respecto a la luz; así:

– si difunde la totalidad de la luz, aparecerá blanca;

– si absorbe la totalidad de la luz, aparecerá negra;

– si absorbe de forma igual una parte de cada radiación del espectro, aparecerá gris;

– si absorbe todas las radiaciones salvo una (el azul, por ejemplo), aparecerá de este color (azul).

El color de un cuerpo varía de acuerdo con la calidad espectral de la luz que lo alumbre, a la cual se le da el nombre de *temperatura de color* (se mide en grados Kelvin). Así, la luz natural llega a 5500 grados Kelvin, mientras que las lámparas de incandescencia no alcanzan más que 2900 a 3200 grados Kelvin, conteniendo una fuerte proporción de amarillo. El ojo humano compensa sin esfuerzo esta distorsión, pero en fotografía es necesario corregirla por medio de filmes o de filtros especiales.

a. *Acción de las radiaciones ultravioletas*: Para el estudio de los documentos se utilizan sólo las radiaciones comprendidas entre 315 y 397 nm, pero los mejores resultados se obtienen a 365 nm.

Las radiaciones ultravioletas tienen la propiedad de excitar los electrones, dándoles un suplemento de energía; volviendo a su nivel energético inicial, éstos emiten una luz inducida más o menos intensa, o *fluorescencia*.

La fluorescencia, como la fosforescencia, son dos formas de la luminiscencia (se llama luminiscencia a las diferentes clases de emisiones luminosas sin origen térmico).

Según su composición, las tintas dan fluorescencia de manera más o menos intensa, lo que se aprovecha para distinguirlas.

Estos cuerpos químicos poseen además la propiedad de continuar emitiendo rayos luminosos algunos instantes después de que haya cesado la irradiación (remanencia); este poder es aplicable en ciertas protecciones para documentos fiduciarios.

Las radiaciones ultravioletas pueden suministrarse por una fuente específica (lámpara de Wood, de vapor de mercurio), aunque más generalmente se efectúa con una lámpara fluorescente cuyo espectro luminoso se filtra por una pantalla de Wood (vidrio con óxido de níquel).

Se hallan fácilmente en el comercio filtros para la fotografía en ultravioleta; son, en general:

– filtros amarillos que cortan el espectro solar a 440 nm;

– filtros violetas que no dejan pasar más que las radiaciones cuya longitud de onda es inferior a 360 nm.

b. *Acción de las radiaciones infrarrojas*: No son más que forma de la energía calorífica, pero su poder penetrante es más elevado que el de la luz natural. Como las ultravioletas, estas radiaciones pueden inducir a una fosforescencia, pero la debilidad y la gran longitud de onda de ellas hacen que no puedan hallar aplicación aquí porque son invisibles (sin embargo, son muy útiles para el análisis químico).

Según su naturaleza, ciertas tintas absorben las radiaciones infrarrojas y aparecen negras, mientras que las demás las rechazan totalmente y desaparecen.

i) Examen comparativo de las tintas

Dos tintas de color idéntico y que presentan la misma intensidad de fluorescencia bajo las radiaciones ultravioletas podrán comportarse de manera opuesta bajo los infrarrojos (una permanece visible y la otra desaparece).

Esta propiedad es muy útil para distinguir dos tintas diferentes, pero no es infalible ya que estas últimas también pueden comportarse de forma idéntica bajo los infrarrojos.

ii) Revelado de los textos enmendados

Si la tinta de la corrección se borra por las radiaciones infrarrojas, el texto encubierto aparecerá en su estado inicial.

La fuente de radiaciones infrarrojas podrá ser una simple lámpara caliente (del tipo de las utilizadas en las incubadoras) o un convertidor tipo Leitz, el cual facilita una ancha banda por encima de 700 nm, que se puede cortar, según las necesidades, por una gama de filtros.

Si se desea fotografiar un documento bajo estas condiciones, se utilizará una película para infrarrojos y filtros apropiados (estos últimos, en general, están previstos para longitudes de onda de 720 nm o de 900 nm). La mayoría de los objetivos fotográficos actuales disponen de un punto rojo en el graduador de puesta a punto, para las tomas de vista en infrarrojos (al ser la longitud de onda de los infrarrojos mayor que las de radiaciones visibles, la imagen no se forma en el mismo lugar).

Pueden diferenciarse tintas de colores semejantes por la observación de su luminiscencia infrarroja: se utiliza una radiación de excitación en lo visible que cuando la absorben las tintas devuelven la emisión de una radiación de longitud de onda mayor.

Desde el punto de vista práctico, se ilumina el documento con una luz monocromática de 500 nm (azul-verde), las tintas se reflejan más o menos según su naturaleza, conteniendo una luz de infrarrojos a 750 nm que se fotografía tras la filtración, sobre una película infrarroja.

3. *Acción de la luz visible*: Con la ayuda de un prisma es posible separar las diferentes radiaciones coloreadas que constituyen la luz blanca.

Si se desplaza una pantalla perforada en una hendidura sobre la trayectoria de los rayos difractados por el prisma, se obtienen haces sucesivos de luz de un solo color (violeta, después azul, después verde, etc.); se dice que esta luz es monocromática.

Hemos visto que, según su naturaleza, toda sustancia refleja más o menos las radiaciones coloreadas que recibe, al lograrse el máximo de esta reflexión en la gama de las longitudes de onda que corresponden a su color.

Se puede, pues, hacer llegar un haz de luz monocromático a una sustancia (una tinta, por ejemplo) y estudiar el comportamiento de esta última en función de la longitud de onda de la iluminación incidental.

Es posible así:

– *Apagar* un color iluminándolo con una radiación cuya longitud de onda corresponda exactamente a la suya. Esto puede aplicarse al estudio de ciertas falsificaciones.

– *Medir* el porcentaje de luz reflejada con respecto a la luz incidental, y esto para cada una de las rayas coloreadas del espectro visible. Esta técnica –que se denomina fotometría en lo visible– consiste en medir la luz reflejada por la sustancia por medio de un fotómetro, el cual transforma la energía luminosa en energía eléctrica.

La relación detallada punto por punto (o, mejor, automática) de los diferentes valores de la reflexión en función de la longitud de onda de la iluminación incidental, permite trazar curvas o diagramas. Estas curvas, cuyo perfil variará más o menos de una sustancia a otra, podrán luego compararse en forma útil.

Actualmente, en el peritaje de los documentos, uno se orienta hacia la microfotometría, es decir, la fotometría combinada con el microscopio. La ventaja consiste en el hecho de que se pueden efectuar medidas a escala microscópica, pero también en la posibilidad de ajustar la superficie (o campo) de medida y suprimir los errores eventuales debidos al entorno y a las dimensiones relativas de los objetos examinados.

Así, si se tienen que estudiar dos trazos de tinta de anchuras diferentes, el microfotómetro se calibrará en lo más estrecho y suministrará dos curvas que se podrán comparar sin preocuparse más de las dimensiones de los dos trazos.

2. Métodos analíticos

El estudio químico de las tintas en el peritaje de los documentos reviste dos aspectos:

– uno consiste en buscar las grandes propiedades químicas de la tinta, considerada en su totalidad, por microrreacciones;

– el otro se interesa más especialmente por la heterogeneidad de la tinta y busca disociar los elementos constitutivos por cromatografía.

I. *Microrreacciones (o spots-tests)*: Esta técnica se aplicaba, en particular, antes de la guerra; después su empleo cayó en desuso en razón del descubrimiento de la cromatografía; sin embargo, conserva un valor de orientación para la resolución de los exámenes.

Se practican estas microrreacciones en pequeños fragmentos de trazos de tinta delicadamente tornados al escalpelo y que se colocan en contacto con los siguientes productos químicos:

– un oxidante (permanganato de potasio, hipoclorito);
– un reductor (solución de cloruro estañoso);
– un ácido (ácido clorhídrico diluido);
– una base (amónica, sosa);
– diversos disolventes orgánicos (alcohol, éter, cloroformo, acetona, etcétera).

Estas reacciones permiten saber si la tinta es ácida o alcalina, si se halla en estado reducido u oxidado y elegir el o los solventes más apropiados para el estudio por cromatografía.

II. *Cromatografía*: Se llama cromatografía la técnica que consiste en aislar y caracterizar los diversos constituyentes de un compuesto por su velocidad de migración sobre un soporte.

En el peritaje de documentos la cromatografía de capa fina (o delgada) es una técnica de selección y aplicación corriente.

La cromatografía, cuya invención se remonta a 1903, pasó inadvertida hasta 1931, época en la que fue redescubierta. Su uso no se propagó hasta después de 1944 y su aplicación en el peritaje de las tintas data de los años 50.

Actualmente existen dos clases principales de cromatografía, pero sólo hablaremos de la de capa delgada. El principio de esta técnica se basa en la desigual solubilidad de las moléculas entre dos fases, una estacionaria y otra móvil. Muestras (0,5 x 2 mm) del papel portadoras del trazo de tinta se colocan en microtubos en presencia del disolvente apropiado. La tinta así disuelta se deposita con la ayuda de una micropipeta en un soporte (papel o placa recubierta de una capa especial) y éste se introduce en un recipiente de cristal, en el fondo del cual se halla el disolvente.

Migrando a través del soporte, este disolvente arrastra los componentes de la tinta y los separa (desplazándose los más ligeros más rápido que los más pesados).

Al término de la cromatografía, cada componente aislado se define por:

– su color, en luz natural, bajo radiaciones ultravioletas o después de la proyección de un reactivo colorante;
– su posición, que se mide en valor relativo o RF (referencia frente):

RF = distancia recorrida por el componente/distancia recorrida por el frente del disolvente

Este RF est á en función de un gran número de parámetros, pero, en condiciones operativas precisas, no depende más que del único peso molecular del cuerpo.

Existen diversos tipos de cromatografías, según sean:

– verticales: estando el soporte vertical, el desplazamiento del disolvente podrá entonces ser ascendente o descendente;

– circulares: el soporte, que es también circular, está colocado a lo largo, y el disolvente migra desde el centro hacia la periferia;

– unidimensional o bidimensional según se haga desplazar el disolvente en una o dos direcciones (en ángulo recto tras el desplazamiento a 90 grados del soporte);

– de adsorción (en capa fina: TLC = *Thin Layer Chromatography* = o HPTIC = *High Power Layer Chromatography*) o de reparto (en papel).

En la cromatografía de adsorción, el soporte (placa de vidrio, hoja de materia plástica) está recubierto por una sustancia absorbente (que cambia de enlaces polares reversibles con los componentes que migran): esta sustancia absorbente constituye la fase estacionaria, es generalmente el almidón, el carbonato de magnesio, de sodio o de potasio, gel de silicio, el acetato de magnesio, etc.; la elección la guiará el uso previsto.

El disolvente (fase móvil) está formado, la mayoría de las veces, por una mezcla de dos líquidos con poder elutivo elevado; son, por ejemplo:

- éter de petróleo
- tricloretileno
- benzeno
- cloroformo
- piridina
- acetona
- alcohol etílico
- metanol
- agua

El aumento del poder elutivo de estos líquidos está dado por el orden en que fueron especificados (el primero tiene menos poder que el último).

Comúnmente, en presencia de un disolvente fuerte se pone un absorbente débil, y viceversa.

En la cromatografía de división (cromatografía de partición) se utiliza como soporte el papel: la fase móvil (disolvente) pasa atrás de la fase estacionaria (agua unida al papel), transportando con ella las sustancias a separar y que se reparten entre las dos fases.

Se forma un equilibrio cuando la relación de las concentraciones del constituyente en cada una de las fases alcanza un valor constante (coeficiente de Nornst).

La distinción entre cromatografía de adsorción y de partición no es muy clara, porque se puede considerar que la celulosa del papel tiene también un papel adsorbente. Ésta es la razón por la que parece preferible referirse al balance de las fuerzas que intervienen.

La cromatografía aparece como la resultante de fuerzas opuestas que se clasifican en dos grupos:

– las fuerzas de propulsión unidas:

• a la cantidad grande de disolvente que desplazan los diversos componentes de tinta a velocidades diferentes;

• a la solubilidad que es diferente según los disolventes (cuanto más soluble es una sustancia en un disolvente, tanto más rápidamente se desplaza);

– las fuerzas de retardo, que son:

• la adsorción, es decir, la fijación superficial y reversible de una sustancia sobre un soporte;

• la partición o fuerza de separación entre las fases móvil (disolvente) y estacionaria (agua libre o unida a la celulosa del papel).

Desde el punto de vista práctico, los productos utilizados son generalmente los siguientes:

– soportes: papel Watmann n° 1 o n° 4, Schleicher y Schüll;

– disolventes: se elige entre una multitud de *fórmulas* más o menos originales de las que algunas no convienen más que en algunos casos precisos.

Estos disolventes se utilizan, indiferentemente, en cromatografía, en papel o en capa fina; no parece haber disolvente específico en una u otra de estas técnicas.

De forma general, la cromatografía en capa fina ofrece diversas ventajas con respecto a la del papel:

– el tiempo de migración es más corto;

– el poder de resolución es más elevado;

– los *spots* son más compactos.

3. Electroforesis

Se llama de esta manera la técnica que consiste en separar los componentes de un cuerpo complejo, sometiéndolos a un campo eléctrico.

Se utiliza el mismo papel que en cromatografía, pero el disolvente se reemplaza por una solución tampón, como la siguiente:

amoníaco N/10 50 cc

acetato de amonio N/25 50 cc

y la fuerza de migración la facilita una corriente eléctrica continua.

En el caso de las tintas, se procede del siguiente modo:

– se hace una primera cromatografía sobre papel, como se ha indicado anteriormente, y se seca el cromatograma;

– se vaporiza el soporte con la solución tampón;
– después de haber girado el cromatograma 90 grados, se lo disuelve en un recipiente de electrodos (lógicamente habrá un polo positivo y uno negativo);
– se hace pasar una corriente continua entre los dos electrodos separándose las moléculas de la tinta en función de su carga eléctrica (las moléculas cargadas de electricidad negativa migran hacia el polo positivo y viceversa).

Se ve pues el interés de la electroforesis combinada con la cromatografía, ya que se efectúa una separación bidimensional de los componentes de la tinta según:
– su peso molecular (cromatografía);
– su carga eléctrica (electroforesis).

Los resultados difieren, pues, de los obtenidos en cromatografía bidimensional.

f) Identificación de las tintas

Es absolutamente imposible identificar una tinta a primera vista, a partir de su solo aspecto. Sólo el análisis físico-químico permite determinar un número suficiente de características esenciales para efectuar una discriminación entre varias tintas, permitiendo su identificación posterior.

Si se trata de una tinta aislada que se quiere identificar, se debe recurrir a colecciones de tintas de comparación o, mejor, al análisis de comparación (cromatogramas).

¡Para tener un valor real, estas colecciones deben ser tan completas como sea posible y, como mínimo, deberían contener todos tipos de tintas fabricadas en el mundo en el curso de los últimos veinticinco años!

Actualmente no existe nada parecido; puede disponerse de colecciones más o menos ricas, más o menos seguidas y, por ello, de alcance práctico limitado.

Ocurre a veces que, al referirse a ellas, puede darse una simple indicación sobre el fabricante eventual, porque:
– si se trata de una tinta fluida no se puede determinar si procede de un cartucho o de un depósito, ni identificar la pluma estilográfica utilizada;
– si se trata de una tinta de bolígrafo, se debe recordar que la misma tinta puede comercializarse en estilográficas de marcas diferentes, en un mismo país o en países diferentes; la composición de tal tinta puede presentar, en el curso de producción, variaciones que, si no están numeradas, corren el riesgo de falsear los resultados.

El perito en documentos emitirá, pues, algunas reservas cuando se trate de identificar formalmente un tipo preciso de bolígrafo de pluma o de punta de fibra, en ausencia de elementos de comparación precisos.

Si se dispone de una tinta de comparación, es el caso particular cuando:

– se han incautado uno o varios documentos portadores de trazados diferentes que es preciso comparar con un trazado litigioso;
– se ha incautado la tinta o las plumas estilográficas que tratan de compararse con un trazado litigioso.

Tales comparaciones no suscitan, en general, ningún problema, y el análisis por cromatografía permite determinar si el trazado incriminado es (o no) de la misma tinta que tal o cual otro.

Las aplicaciones son innumerables: cheque adulterado, testamento *modificado,* abuso de firma en blanco, etcétera.

Sin embargo, si las tintas son idénticas será imposible decir –salvo caso excepcional– que se trata de la misma pluma estilográfica y de ésa solamente, porque nada permite excluir la eventualidad de que haya sido utilizada por dos estilográficas de la misma marca, del mismo modelo y conteniendo la misma tinta. Además, el falsificador puede utilizar la pluma estilográfica de la víctima sin que ésta lo sepa.

g) Edad de las tintas

De alguna manera, es un problema similar al anterior.

1. *Fecha de la tinta en sí.* Se podría proceder a la determinación de la fecha, remitiéndose al período de fabricación o al envejecimiento de la tinta.

a. *Con respecto al período de fabricación de la tinta*: Se referiría entonces a las colecciones, con todos los riesgos que acabamos de ver, ahora bien:
– no se dispone más que excepcionalmente de las fechas de fabricación y/o comercialización de tal o cual tinta;
– en la eventualidad de que se dispusiera de tales datos, sólo la fecha de la primera fabricación tendría un interés como valor límite (un documento portador de esta tinta que no pueda ser anterior a esta fecha).

El año en que ha cesado la fabricación no tiene más que un valor ilusorio para la determinación de la fecha de un documento, en razón:
– de la diferencia de tiempo entre la fabricación y la venta de la pluma o de la tinta;
– del hecho de que cada uno puede guardar una pluma que funciona varios años después de que haya cesado la fabricación de ese modelo.

En lo que se refiere a los bolígrafos, las modificaciones importantes de la naturaleza de la tinta son, en general, de una antigüedad de más de veinte años y hallan raramente su aplicación en el dictamen.

b. *Con respecto al envejecimiento de la tinta*: Se han propuesto diversos métodos para medir el envejecimiento del depósito de tinta en el papel; se basan en:
– la oxidación del hierro ferroso en hierro férrico, en el caso de las tintas galotánicas (reactivo: el 2-2 dipiridilo);
– la pérdida progresiva de solubilidad de la tinta, que se somete a prueba con el ácido oxálico; los resultados son aleatorios;

– la difusión de iones cloruros que se hallan en las tintas que contienen colorantes derivados de la anilina (azul de metilo y violeta de metilo), raramente se aplica hoy;

– la *transferibilidad* de la tinta sobre un soporte; esta propiedad disminuye mucho con el tiempo pero de manera totalmente incontrolable;

– la migración en el papel de los iones cloruro y sulfato de la tinta (método Metzger y Hess); como reactivos se utilizan el nitrato de plata para los cloruros y el perclorato de plomo para los sulfatos; este método sólo se aplica en las tintas ferrogálicas, dando resultados mediocres con las tintas a base de anilina y resultando absolutamente inutilizable con las tintas de bolígrafo.

Más recientemente se ha propuesto un método que recurre a un material más sofisticado y basado en las transformaciones progresivas de las moléculas complejas de colorantes diazoicos bajo la influencia del oxigeno del aire y/o de la luz. Estos últimos provocan:

– el paso de formas *cis* a formas *trans*;

– isomerizaciones;

– reestructuraciones internas de moléculas, etcétera.

Este método, que no ha franqueado aún la fase experimental, tropieza más que cualquier otro con las condiciones de conservación.

2. *Fecha relativa de dos tintas.* Cuando un documento consta de dos (o varios) trazados, de los que uno es controvertido, se pide a veces al perito que determine el más antiguo de ellos.

Podría pensarse que basta con medir la antigüedad de cada tinta y hacer la diferencia para responder a tal pregunta, pero:

– la determinación de la antigüedad de una tinta a partir de la alteración progresiva de sus propiedades físico-químicas es, como acabamos de verlo, prácticamente imposible;

– el eventual envejecimiento relativo de una tinta con respecto a otra es, la mayoría de las veces, aleatorio para hallar una aplicación práctica.

Sin embargo, la cuestión se suscita de forma diferente si los trazados se cruzan, es decir, si vienen a concurrir en un punto, porque basta entonces con buscar el que recubre al otro y que es forzosamente el más reciente.

Este problema, tan simple en apariencia, ha sido el escollo de los peritos en documentos a lo largo de los últimos cincuenta años. Se han propuesto varios métodos, los que, a pesar de ser más o menos fiables, sólo hallan su aplicación en casos especiales.

Entre otros, existen dos métodos diferentes para fechar los textos posescritos.

El primero se basa en la puesta de manifiesto de los surcos abiertos en el grosor del papel por los trazados; con intersección, el segundo trazo deforma, según su orientación propia, el surco dejado por el primero.

Por medio de una pasta de silicona que no altera el documento, se toma la huella (en relieve) de la intersección, y la observación de esta última bajo iluminación tangencial permite ver el trazo que corona al otro.

El segundo se basa en las propiedades ópticas de la tinta con respecto al espectro solar.

Por microfotometría, se estudia la curva de reflexión de cada tinta, después la del punto de intersección. Si el perfil de esta curva se acerca al de una de las dos tintas, se deducirá que esta última está sobre la otra y, por lo tanto, que se ha colocado después.

Dos factores perturban, no obstante, los resultados; ellos son:

– la importancia relativa de un trazo de tinta con respecto a otro; se puede remediar esto focalizando la medida en una ventana estrecha (0,1 x 0,1 mm);

– la intensidad de una tinta con respecto a otra si una tinta es pálida y la otra muy oscura o negra; esta última puede, eventualmente, dominar a la otra, cualquiera que sea su posición.

XVIII. LOS SELLOS DE GOMA Y SUS IMPRESIONES COMO EVIDENCIA

El estampado de un sello de goma es una impresión producida por un dispositivo comunmente utilizado con fines personales y comerciales. Es un hecho rutinario y simple el empleo de tales elementos selladores para imprimir firmas, fechas, direcciones y demás información en documentos. Normalmente esta estampación se concreta a mano; sin embargo, también existen dispositivos mecánicos para este propósito. Sea de una forma o de otra, los efectos de la aplicación sobre papel son esencialmente los mismos.

En muchos hechos delictivos resulta de notoria importancia demostrar que la impresión de un sello fue llevada a cabo mediante la utilización de un dispositivo específico. Ciertas características de clase e individuales, tanto del sello como de su estampa, se consideran de manera combinada para proporcionar tal demostración. A fin de comprender adecuadamente el potencial de los sellos de goma y sus impresiones, es necesario conocer en forma básica cómo están hechos. Por ejemplo, la preparación de un sello de goma manual normalmente implica el grabado de un texto con relieve, previa composición de los tipos, la impresión térmica de una imagen positiva en una matriz, y la producción de una imagen negativa en goma vulcanizada, que es recortada y montada en una pieza (generalmente de madera o metal) con un mango.

El proceso descripto, por sí mismo, puede originar características individuales que pueden ser utilizadas en la identificación de un sello con una estampa o impresión. Adicionalmente, otras características, tales como daños o deterioros, el entintado y la superficie del papel, desempeñarán un rol muy importante en tal determinación.

Hay numerosas consideraciones que deberán ser estudiadas cuando se trate de llevar a cabo tales tareas de cotejo, en orden a obtener identificaciones positivas. La siguiente información describe algunos de los principales aspectos vinculados con el tema:

a) Características de las estampas que ayudan a distinguirlas de impresiones llevadas a cabo por otros medios

1) Efecto de enjugado (característico de todos los métodos de impresión por relieve).

2) Distorsión en el diseño de los caracteres debida a la naturaleza flexible de la goma.

3) Tipo de tinta (usualmente soluble; es también la clase de tinta utilizada en otros tipos de dispositivos para marcar, algunos metálicos).

4) Ausencia de endentado.

b) Sellos de goma confeccionados en una sola pieza.

1) Si la tipografía está incluida, es más probable que esté convenientemente alineada, que en el caso de sellos hechos con elementos sueltos o individuales.

2) Las impresiones cuestionadas incluyen:

a) Modelo o diseño determinado.

b) Características no determinadas o accidentales.

3) Cuando los diseños del material dubi-indubitado son idénticos en apariencia, se debe depender de las características accidentales para alcanzar las conclusiones.

a) No siempre es posible determinar de una sola impresión dubitada la fuente de un defecto particular.

i) Si el sello está hecho de un estereotipo, electrotipo o clisé de plástico, el defecto podría estar en la matriz o molde.

ii) El molde como el mencionado usualmente está realizado de baquelita; sin embargo, todavía puede emplearse el método anticuado de la arcilla. Tales defectos identifican el molde.

iii) La plancha de goma en sí misma.

– distorsiones resultantes de traccionar la plancha de goma del molde mientras está caliente y/o estiramientos que se producen durante su colocación.

iv) La manera o forma en que se realizan las impresiones:

– aplicando presión desigual sobre la superficie del diseño;

– aplicando presión en una dirección no perpendicular al plano del diseño;

– aplicando presión con un movimiento rodante de atrás hacia adelante;

– aplicando presión con un movimiento giratorio.

Son elementos que producen imágenes de defectos no existentes.

v) Material extraño en la estampa.

– hebras;

– marcas de tinta seca.

Identifican al sello.

vi) Material extraño en la almohadilla.

Produce la ilusión de defectos en la estampa.

vii) Naturaleza de la superficie sobre la que se apoya el papel:

– encuadernaciones u otras superficies ásperas;

– bordes de papeles, etcétera.

c) Sellos confeccionados con partes intercambiables

1) La tipografía invariablemente posee alineación pobre.

2) Algunos defectos en el tipo de goma pueden haber ocurrido en la fabricación.

Cuando sea posible, el sello que se sospecha ha sido utilizado para realizar una impresión cuestionada debería ser remitido al perito, juntamente con la tinta y la almohadilla sospechadas. Cuando sea necesario tomar impresiones testigo en el propio lugar de los hechos o en el laboratorio, se deben obtener ejemplares donde aparezcan las diferentes formas de presionado. La superficie del sello no debe ser limpiada o raspada, ya que esta acción puede destruir características necesarias para una identificación positiva.

XIX. ADULTERACIÓN DE DOCUMENTOS MANUSCRITOS

Comencemos expresando en forma sintética que adulteración de un documento es toda alteración ilícita del mismo, concretada en alguna o gran parte de su contenido.

Existen diversos procedimientos a los que se apela para adulterar documentos manuscritos, entre ellos, el borrado, el raspado, el lavado, el testado y la enmienda del texto, y la amputación del soporte.

El borrado no sólo afecta al texto, sino que inevitablemente ataca al soporte (papel) que lo contiene, eliminando su apresto, para dejar en libertad a las fibras que lo conforman, fibras cuyo erizamiento es perfectamente captable mediante la observación microscópica. Por su fácil captación, esta maniobra es poco usada para eliminar textos a tinta. En cambio, resulta ideal para maniobras sobre textos a lápiz, ya que su eliminación puede hacerse en forma total, y la escritura reemplazante no acusará corrimientos como los que produce la tinta.

El raspado suele llevarse a cabo sobre textos escritos a tinta, empleándose para ello cualquier elemento cortante existente en plaza. Esta maniobra también produce la eliminación del apresto del papel y el erizamiento de las fibras, perfectamente captables a través del microscopio.

El lavado sólo puede emplearse para eliminar textos manuscritos a tinta, ya que el grafito, no reconociendo o no admitiendo disolventes, solamente puede ser suprimido por borrado o raspado. Para su detección resulta clásico el uso de la lámpara de luz ultravioleta.

El testado es el procedimiento al que se recurre para ocultar parcialmente un texto manuscrito, con el propósito de cambiar o restringir su alcance y significado. La enmienda, por su parte, es la maniobra que se concreta para modificar un número, una letra o una palabra.

La amputación del soporte es la supresión de una parte del mismo, valiéndose de elementos cortantes o del fuego.

XX. ADULTERACIÓN Y FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS DE IDENTIDAD, BILLETES DE BANCO Y OTROS

a) *Instrumental técnico necesario.* Para una inspección rápida de tales elementos se necesita un equipo con pocos instrumentos para una buena y rápida inspección. Los más comunes son un amplificador de imagen de baja potencia y una luz ultravioleta.

El motivo para su uso es que, en un tiempo relativamente corto y utilizando uno o ambos elementos del equipo, se pueden descubrir diversas formas de adulterar o falsificar documentos. El amplificador de imagen de baja potencia permite realizar un examen superficial de los detalles del elemento, en áreas que se prestan a adulteraciones o falsificaciones, tales como el nombre del titular, el número de serie del documento, la firma, las fechas de emisión y vencimiento y, en contadas ocasiones, los defectos en la impresión cuando es conocido el posible punto para investigar.

La luz ultravioleta se utiliza para dos propósitos principales. El primero es la ratificación o detección de la pérdida de los elementos ultravioletas de seguridad, que pueden ser parte esencial de un documento, billete, etc., legítimo o de sus componentes. El segundo propósito es hallar marcas de agua falsas.

Es necesario hacer la salvedad de que no todos los documentos o sus componentes contienen elementos ultravioletas de seguridad. No obstante, la tendencia es la incorporación de los mismos como un método para proteger la seguridad de dicha documentación. La falta de cualquier elemento ultravioleta puede ser un indicador útil para justificar un examen más completo del documento.

Por otra parte, la existencia de estos elementos de seguridad no necesariamente prueba su legitimidad, ya que podría tratarse de una falsificación extremadamente sofisticada.

b) *Medidas comunes de seguridad*

1. *Caracteres magnéticos.* Se utilizan especialmente en cheques, con el propósito de sistematizar operaciones bancarias, en el sentido de inscribir, leer, clasificar y despachar con notable y eficiente seguridad tales elementos.

2. *Grabado ciego o en seco.* Es un sello o texto grabado sobre el papel desde una superficie elevada, por presión. Es producido sin utilizar tinta y produce una imagen que es visible con iluminación oblicua o rasante. Se lo utiliza generalmente en sellos de validación.

3. *Fibras.* Las fibras de seguridad son insertadas dentro del papel durante el proceso de manufactura y pueden ser vistas con luz normal, usualmente sin necesidad de ampliación.

4. *Fibras fluorescentes.* Son también fibras de seguridad, normalmente insertadas durante el proceso de manufactura del papel, las cuales fluorescen bajo una luz ultravioleta.

5. *Holograma.* Consiste en una imagen multidimensional hecha sobre un film fotográfico o una lámina, sin utilizar una cámara.

6. *Tinta fluorescente.* Tinta que fluoresce cuando es iluminada por una luz ultravioleta. En algunos casos esta tinta no puede ser vista con luz normal.

7. *Ornamentaciones* (*Guilloche*). Una imagen decorativa muy detallada, compuesta por líneas curvas entrelazadas, impresas.

8. *Patrón geométrico.* Una serie de formas recurrentes usadas como seguridad en el fondo de impresión del soporte.

9. *Tinta fugitiva.* Tinta que se disuelve en un líquido. Ésta es encontrada frecuentemente en el fondo de impresión como una protección contra alteraciones químicas.

10. *Ojales de metal.* Accesorios metálicos utilizados para asegurar la fotografía a la página. Algunos ojales de metal contienen marcas especiales.

11. *Fondo de impresión* (*subtinte*). Un patrón o diseño visible en una página. El texto es normalmente impreso sobre el diseño, aunque en algunos casos el patrón es impreso sobre el texto.

12. *Impresión tipo plena.* Impresión en relieve que utiliza una lámina finamente grabada al agua fuerte, la cual produce ricos detalles.

13. *Imagen latente en impresión tipo plena* (*calcografía*). Una imagen producida utilizando el procedimiento antedicho. La imagen es visible al sostener el área que la contiene en forma oblicua bajo una fuerte luz intensa, y está conformada por columnas que permiten que la luz fluya a través de ellas. La misma no puede ser duplicada por la flexilografía o por métodos termográficos de impresión.

14. *Laminado.* Se trata de una hoja sintética transparente que es colocada sobre las fotografías o sobre la información biográfica y asegurada por medio de un adhesivo o de calor. El laminado puede contener también imágenes impresas o retroflexivas que asisten en la detección de alteraciones.

15. *Cinta de seguridad.* Una cinta sintética, algunas veces impresa con texto muy reducido en su tamaño (microlínea), que está hilada dentro del papel para prevenir la sustitución o falsificación de páginas.

16. *Citocromía.* Impresión en la cual un color se fusiona gradualmente con otro. Los colores son impresos en un solo proceso y no tienen una separación precisa.

17. *Impresión tipográfica.* El proceso que frecuentemente arroja una imagen impresa con un borde de tinta. Es normalmente usada para números impresos.

18. *Números perforados.* Este proceso emplea agujas que punzan agujeros a través de las páginas de un documento, en un solo paso.

19. *Muestras de marcación ("planchettes").* Son pequeños puntos, frecuentemente de plástico o seda, coloreados, y agregados al papel durante el proceso de manufactura. Al igual que las fibras de seguridad, estas marcas pueden ser reactivadas a la luz ultravioleta.

20. *Imagen retrorreflexiva.* Es una imagen invisible incorporada dentro del laminado, visible a través de un visor retrorreflexivo.

21. *Impresión simultánea.* Imágenes impresas en las caras opuestas de la misma hoja que, cuando son vistas a la luz, se alinean exactamente unas con otras.

22. *Indicia confusa.* Se trata de una imagen visible impresa confusamente y que sólo puede ser distinguida por el uso de un visor especial que altera la trayectoria de la luz.

23. *Sello de agua.* Es una imagen resultante de los diferentes grosores de papel. Usualmente se produce por el presionado de un diseño proyectado en el molde o en un rodillo procesador, visible cuando el papel es sometido a la luz. No reaccionará a la luz ultravioleta.

El sello o marca de agua es uno de los elementos de seguridad más efectivos por su extrema dificultad para ser reproducido con efectividad.

Existen tres métodos diferentes para lograrlo fraudulentamente:

El primero es una imitación de índole química que se puede revelar fácilmente con el empleo de la luz ultravioleta.

El segundo método consiste en imprimir la imagen proyectada por la marca de agua legítima, con una tinta de imprenta muy suave. Por razones obvias es la forma más fácil de detectar.

El tercero se logra imprimiendo la imagen de la marca de agua en el papel. No reacciona con luz ultravioleta y cuando se lo observa a través de una fuente lumínica potente, arroja una imagen similar a la de la marca de agua legítima. Se distingue por las impresiones muy marcadas en el papel. Una marca de agua auténtica contiene sutiles diferencias en el grosor del papel que no pueden ser distinguidas por examen, utilizando luz oblicua o rasante.

La imitación señalada sí puede detectarse con luz aplicada de la manera indicada, debido a las marcas y a la relativa profundidad de la impresión.

24. *Encuadernación o costura.* La encuadernación o costura de un documento no deja de ser una medida de seguridad, ya que puede ser examinada para la búsqueda de desarmado y/o rearmado. Para ello deberá determinarse la reacción del hilo a la luz ultravioleta (en caso de ser fluorescente) y que no esté excesivamente flojo o deshilachado.

Las mismas técnicas de examen pueden emplearse respecto de los ganchos metálicos.

c) Tipos de adulteraciones más frecuentes

1. *Sustitución de la fotografía.* Es uno de los procedimientos más frecuentes en la adulteración de documentos de identidad. La fotografía del titular es removida y reemplazada por otra. Por lo general esta maniobra deber estar acompañada de la alteración de los datos biográficos de la persona, a fin de que estén de acuerdo con las características físicas que aporta la nueva fotografía. En ocasiones, ello no se realiza.

2. *Sustitución de páginas.* La información que no ha podido ser fácilmente alterada o borrada se remueve mediante el desarmado del documento, con la extracción y el reemplazo de la hoja no deseada. Esta nueva página puede ser genuina o falsa.

3. *Alteración manual.* Escritura o impresión agregada a letras, palabras o números, y extracción total o parcial de los mismos, con reemplazo o no de dígitos o letras. Las escrituras o impresiones agregadas pueden revelarse mediante el empleo de un dispositivo visor de filtrado infrarrojo.

4. *Borrado mecánico o químico.* La información impresa o escrita puede ser alterada por borrado mecánico o químico, ya sea para eliminación de palabras enteras, letras, números, partes de letras o de números. El borrado químico puede detectarse con luz ultravioleta.

5. *Alteración completa por pegado.* En esta forma de adulteración, una nueva página (falsa o genuina) es pegada sobre la página no deseada para esconder información y alterar el contenido del documento.

XXI. IDENTIFICACIÓN DE CIFRAS NUMÉRICAS MANUSCRITAS

El problema de la identificación de los autores de cifras manuscritas se parece mucho al de los autores de textos escritos con letra de imprenta; en ambos casos, el perito se encuentra ante una serie de caracteres que, normalmente, no están enlazados entre sí. Como las cifras tienen menos características distintivas, sus autores son más difíciles de identificar que los que han escrito letras. Sin embargo, cabe individualizar a

la persona de cuya manera de escribir no se tiene otra muestra más que una serie de números.

Obviamente, no existen sino diez dígitos, pero el documento sometido a examen pericial puede tener –además de los guarismos–, diferentes símbolos utilizados al mismo tiempo que ellos. Al indicar sumas de dinero o cifras numéricas en general, se utilizan símbolos tales como "$", "%", "+", "-", etc. En diversas profesiones y oficios emplean en los informes cifrados diversos signos y símbolos, tales como los puntos o comas de separación de los decimales y las barras horizontales o diagonales. En tales casos, el perito dispone de una cantidad determinada de caracteres diferentes y cuando se habla de identificación de autores de guarismos hay que entender que ese empeño comprende también el estudio de esos símbolos.

La identificación de un escritor de números requiere el empleo de tres elementos fundamentales que son necesarios para individualizar a los autores de cualquier otro tipo de textos escritos: *estudio de la forma de los caracteres, de la calidad de la letra*, es decir, de la forma en que se ha escrito, y de las *variantes*. Las semejantes sirven para establecer una combinación única de factores, que permitirá una identificación positiva. Las diferencias fundamentales permiten hacer la distinción entre las cifras escritas por personas diferentes.

a) *Forma*. La identificación de las personas que han escrito números se basa no sólo en el estudio de la forma básica de éstos, sino también en el análisis completo de las subdivisiones de su trazado: rasgos iniciales, terminaciones, adornos, simplificaciones, inclinación general e influencia mutua de los elementos componentes en lo que se refiere a las cifras complejas:"2","3","4","5","6","8"y"9". Se pueden estudiar también las dimensiones de una parte o su inclinación con respecto al todo. Cabe formularse asimismo las siguientes preguntas:

– ¿Cuántos trazos se utilizan para escribir guarismos tales como"4","5","8"y"9"?

– ¿Cuál es la dirección de los trazos iniciales y de las terminaciones?

– ¿Los trazos rectos son absolutamente rectos o curvas compuestas?

– ¿Hay reasunciones de trazos interrumpidos, lazos o ángulos redondeados en la parte inferior del"2", en el centro del"3", en el extremo izquierdo del"4", en los dos rasgos hacia la izquierda del"5", en la parte superior derecha del"7"y en la unión del óvalo y la pata del"9"?

– ¿Dónde finaliza una parte determinada de un guarismo?¿Se respeta el equilibrio del conjunto?

Los estudios de las formas deben comprender el examen del ángulo formado por dos rasgos de la cifra, en especial en lo que atañe a los guarismos"4","5","7"y"9".

Cuando puede disponerse para la peritación de diversos guarismos, el tamaño o la inclinación de uno de ellos en relación con los otros puede ser peculiar de quien los ha escrito. Por lo general, las dimensiones del conjunto de las cifras dependen del espacio del que disponía el autor del escrito, pero las anomalías constantes de su forma de trazarla son instructivas.

Aparte de las dimensiones de las diversas cifras en comparación con las otras, se puede estudiar también su posición. El espaciamiento puede ser característico y –caso más frecuente– puede haber una alineación especial, sobre todo en lo que se refiere a las fracciones y a las sumas que indican los centavos en caracteres más pequeños, por encima de la línea. Otro elemento que puede ayudar a la identificación: el hecho de que se subraye o no la base de estos guarismos.

Las partes circulares u ovaladas de las cifras presentan una gran variedad de formas y el grado en que están redondeadas tiene importancia para la identificación; los óvalos alargados, junto con el ángulo formado por el eje principal y la vertical, constituyen otro factor de identificación; los óvalos abiertos son relativamente frecuentes en los números escritos de prisa por una persona, pero pueden encontrarse asimismo tanto si ésta quiere escribir con cuidado como en caso contrario. El punto de partida del óvalo –en la parte superior, a la derecha o a la izquierda– y el modo en que está trazado constituyen también elementos característicos de la forma.

La manera de trazar las cifras varía también de una persona a otra, pero está influida en muchos casos por la enseñanza que ha recibido.

Todo el mundo llega a tener una forma personal, a partir de lo que se le enseñó en la escuela. Por ejemplo, en muchos casos es significativa la presencia o la inexistencia de una barra a través del"7". En la arquitectura y en la industria, los delineantes tienen una manera de escribir las cifras que pone de manifiesto su formación profesional. El guarismo"8"formado por dos óvalos, situados uno encima del otro, es aún más típico. Sería extraordinario que de personas a las que se ha enseñado en la escuela dos formas diferentes de escribir, modificadas por sus características personales, llegaran a cambiar sus cifras de modo tan completo que resultase imposible llegar a descubrir, en su manera de escribir normal y natural, algo que reflejara sus diferencias fundamentales de educación. Los peritos calígrafos tienen que conocer las diferencias esenciales en el trazado de las cifras, para no confundirlas con las características personales.

b) *Calidad de la letra*. La forma de escribir los guarismos es muy importante para distinguir la letra de quien los haya trazado. Como las cifras no están enlazadas entre sí, no siempre es fácil apreciar la habilidad, la velocidad y la facilidad de ejecución. Sin embargo, es posible analizar esos factores, junto con otros que en conjunto constituyen la calidad de la letra.

La soltura del elemento escritor es un factor que permite distinguir las cifras de forma análoga, pero trazadas por manos diferentes. Los datos que permiten pronunciarse sobre la soltura son: la regularidad de los trazos, la facilidad de ejecución, los signos de un trabajo automático (o laborioso) y, naturalmente, la precisión del trazado. Hay, a este respecto, numerosos grados, que van desde la ejecución perfecta hasta la más primitiva y tosca.

Los rasgos que constituyen los guarismos pueden ser gruesos o finos. Las cifras pueden ser simétricas o angulosas, demostrar prisa o la falta constante de cuidado, de manera que acaben en curvas o en horquillas, o en forma poco acentuada, sobre todo por lo que se refiere a los"3"y a los"5". En términos generales, se puede decir que todos los elementos que se estudian al examinar la letra manuscrita desempeñan un papel en el trazado de las cifras.

Para identificar a quienes han escrito las cifras, sobre todo las que tienen curvas cerradas, tales como"0","8","6"y"9", es importante observar el punto de partida y la dirección del rasgo trazado por el elemento escritor. El dígito"8"puede escribirse de muchas maneras; hay quienes empiezan muy arriba, a la derecha, y bajan para formar el óvalo interior en sentido contrario al de las agujas del reloj; otras personas empiezan por arriba, a la izquierda, y desplazan el elemento escritor en la dirección enteramente contraria.

Como las cifras deben escribirse por separado, la manera de enlazar dos o tres guarismos es una característica personal. Existe una relación entre los enlaces de las cifras y la rapidez con que se escribe. Lo más frecuente es enlazar los ceros, pero hay personas que llegan a escribir sin levantar el elemento"20","50","80"y, con menos frecuencia,"30". Ello constituye un elemento para la identificación; por otra parte, los enlaces son distintos de una persona a otra.

c) *Variantes.* La letra de cada persona, cualquiera que sea su forma, presenta variantes. Las cifras no constituyen una excepción a la regla. Pueden considerarse con respecto a este problema dos aspectos: las variantes debidas a una ejecución rápida y a una letra descuidada y las variantes de forma. Ambos aspectos no son enteramente distintos, pero se los puede estudiar por separado.

Las cifras escritas a toda prisa y sin poner ningún cuidado al trazarlas son diferentes de las escritas con atención. Por otra parte, el hecho de escribir sin cuidado puede provocar grandes diferencias de una cifra a otra. Puede hacer que las formas no sean exactas y que los detalles sean diferentes de los que presentan los guarismos trazados con más cuidado. Pero incluso las muestras de letras escritas con cuidado presentan variantes. Si se comparan dichos ejemplos de la misma cifra, se observa

que no son absolutamente idénticas. El grado en que difieren de un escrito a otro define el límite de la variación, de tal modo que si se dispone de una serie verdaderamente representativa de muestras testigo de la letra de una persona, cualquier guarismo escrito por ella estará comprendido dentro de los límites determinados por las variantes de las muestras.

En cuanto a las variantes de forma, son de dos tipos: la cifra puede presentar formas enteramente distintas u oscilar en torno a una misma forma básica. El primer tipo se encuentra con mucha frecuencia en la letra de determinadas personas. Por ejemplo, en ocasiones, un individuo puede corregir ligeramente su trazo o interrumpir bruscamente el rasgo al final del trazo descendente inicial de un"5", antes de iniciar el trazo hacia la izquierda para formar la curva inferior del guarismo. Se encuentran a veces algunos"5"escritos como una"s"en caracteres de imprenta. Esta última forma es, sin duda, más frecuente en las cifras escritas de prisa, pero hay personas que utilizan indiferentemente ambas grafías. Se pueden encontrar asimismo en otras cifras formas absolutamente distintas. Cuando un guarismo determinado no presenta un trazado único y se encuentran las dos formas en el texto conocido y el manuscrito cuyo autor se ha de identificar, ello representa más de diez formas de cifras y su conjunto facilita la identificación.

d) Examen de las diez cifras.

1. *El uno.* Normalmente el guarismo"1"comprende un solo trazo descendente, ligeramente oblicuo. El trazo puede ser recto, puede parecer encorvado hacia la derecha o hacia la izquierda, puede ser también un trazo ligeramente sinuoso. Algunas personas empiezan el guarismo con un trazo ascendente en diagonal. El rasgo horizontal al pie de la cifra que aparece en los caracteres de imprenta es raro en los textos manuscritos.

2. *El dos.* La cifra"2"tiene dos partes: en la superior, una gran curva; en la base, un trazo horizontal. Esas dos partes pueden estar enlazadas por una presilla, una reanudación del trazo interrumpido, un ángulo muy agudo o un pequeño rasgo vertical que forma un ángulo casi recto en la parte inferior de la cifra. La parte superior puede comenzar por un trazo ascendente curvo, por un rasgo o una presilla decorativos o por una línea recta casi horizontal. El trazo descendente que va en diagonal de la parte superior derecha a la inferior izquierda presenta, por lo general, la forma de una curva compuesta. Es importante observar su dirección, así como su longitud con respecto al ancho de la cifra. Hay que estudiar el comienzo del rasgo, la forma en que están enlazados sus elementos, la naturaleza de las curvas y la terminación del guarismo. El grado de sencillez o, por el contrario, de complicación, es otro elemento que puede ayudar a la identificación del autor.

3. *El tres.* La cifra"3"tiene dos partes: ambas son arcos de circunferencia o de óvalo enlazadas hacia la mitad del guarismo por una presilla abierta, una reanudación del trazo o un simple recodo abierto. La parte superior del guarismo puede aparecer aplastada y formar un ángulo agudo en el extremo superior derecho. Al comienzo o al final puede haber presillas que constituyan adornos. Es muy importante la relación entre las dimensiones de la parte superior y la inferior; lo mismo puede decirse de la dirección del trazo terminal y del grado de inclinación de la cifra.

4. *El cuatro.* Este dígito puede presentar dos formas principales: la primera tiene una cúspide abierta; la segunda, un triángulo cerrado. Si la parte superior es abierta, puede haber a la izquierda un ángulo casi recto, formado por dos trazos derechos o ligeramente encorvados. A veces esa parte izquierda tiene una especie de presilla o una reanudación parcial del rasgo. El trazo descendente desde la derecha debe, en principio, ser recto y paralelo al de la izquierda, pero ello no es cierto en todos los casos. Su longitud, tanto por encima como por debajo del trazo horizontal, y en que corta a éste, pueden ser detalles importantes, al igual que la altura del trazo derecho y del trazo izquierdo. Si se trata de un"4"con un triángulo cerrado, el lado izquierdo es necesariamente un trazo oblicuo, y los ángulos que forma con la horizontal y la vertical pueden ser característicos de la letra de la persona que lo ha escrito. La longitud del trazo horizontal más allá del vertical, así como la del trazo vertical más allá del horizontal, y el ángulo de intersección de ambos, constituyen indicios complementarios.

5. *El cinco.* La cifra"5"está formada, en principio, por dos trazos y tres partes, pero se la puede simplificar haciendo una sola curva continua, análoga a una"S"mayúscula. Comúnmente, el trazo horizontal de la parte superior se inscribe después de haber escrito el resto del guarismo. Su dirección, su grado de rectitud y su longitud son elementos importantes. En principio, el guarismo debe tener dos partes, que comienzan por un rasgo descendente, recto y oblicuo, enlazado por un recodo que forma un ángulo recto con un arco de círculo (cuya curvatura no siempre es regular). Puede ocurrir que el trazo descendente inicial se aparte de la línea recta y que el ángulo agudo se convierta en un recodo o en una línea curva. La dirección del rasgo final y la adición de una presilla terminal, así como las dimensiones de las tres partes del guarismo, son otros tantos elementos que deben estudiarse.

6. *El seis.* En principio, es un guarismo que está constituido por una curva continua que se desvía al encontrar la línea de base. La persona que escribe sin cuidado tiene tendencia a dejar abierto el óvalo; otras lo cierran, prolongando el rasgo hasta la línea de base o haciéndolo atravesar el trazo descendente. En ocasiones, el trazo descendente inicial es casi recto; en la letra de otras personas, la curva es muy pronunciada. Naturalmente, la relación entre el óvalo inferior y el espacio ocupado por la cifra constituye otro detalle importante.

7. *El siete.* Se utilizan en el mundo dos variantes de este guarismo, que difieren según la manera de escribir y las costumbres. Los angloamericanos utilizan un"7"que está compuesto por un rasgo horizontal recto que va de izquierda a derecha, seguido por un trazo descendente oblicuo. En Europa occidental y en otras partes del mundo, como America del Sur, se añade una barra horizontal que corta el trazo descendente aproximadamente por la mitad; el resultado es un guarismo con una barra, dividido en dos partes. En ambos sistemas el"7"puede empezar con un rasgo horizontal sencillo o con un adorno o una curva que, en muchos casos, forma un ángulo recto con el trazo descendente. Este último puede ser una curva compuesta y el ángulo agudo de la parte superior izquierda puede tener la forma de un recodo muy brusco. La inclinación del trazo y su forma permiten asimismo caracterizar el guarismo. Cuando el"7"tiene una barra, la posición del rasgo transversal, su forma, los adornos que pueda tener y su tamaño en relación con el rasgo superior, son otras tantas características importantes.

8. *El ocho.* Este dígito es el más complejo de todos y puede escribirse de muchas maneras. Comúnmente se traza de una sola vez, pero también es posible hacerlo dibujando dos óvalos enlazados. El punto en que comienzan los óvalos y la forma en que acaban éstos permite, en muchos casos, identificar al autor del escrito. Cuando se trata de un"8"sencillo, trazado de una sola vez, deben estudiarse una serie de elementos. ¿Dónde empieza la cifra y qué forma tiene la parte inicial del trazo? ¿Qué relación hay entre el tamaño del óvalo superior y el del inferior? ¿Qué forma tiene el rasgo final? ¿El guarismo está cerrado o ligeramente abierto? ¿Qué dirección presenta el trazado? ¿En el sentido de las agujas de un reloj o en el inverso? Si la cifra se ha conformado por dos óvalos, ¿presentan éstos la misma forma y las mismas dimensiones? ¿De qué modo se cortan? ¿Están abiertos o cerrados de la misma manera?

9. *El nueve.* La cifra"9"se compone de un óvalo cerrado seguido de un rasgo descendente, ligeramente oblicuo. La forma en que el óvalo está enlazado con el trazo descendente –formando un ángulo muy marcado, una especie de presilla o una reanudación de un trazo interrumpido– contribuye a la identificación de la persona que lo ha escrito. En ocasiones, ésta interrumpe el trazado entre el óvalo y la pata de la cifra. El trazo descendente puede ser recto o curvo. La longitud del trazo por debajo de la línea de base puede tener cierta importancia. También contribuye a caracterizar la letra las dimensiones del óvalo superior, su comienzo y su terminación.

10. *El cero.* El cero está constituido por un simple óvalo y se parece a la letra"o". Hay personas que dejan el guarismo abierto en la parte superior; otras lo cierran superponiendo dos rasgos; otras trazan una especie de elipse o le dan inclinaciones diferentes. En la práctica, el"0", al igual que el"1", es –relativamente– demasiado sencillo para poder aportar datos interesantes en todos los casos.

e) *Observaciones especiales.* Las cifras escritas en impresos o formularios que tienen líneas marcadas (talones de cheques, formularios de contabilidad, etc.) plantean numerosos problemas. Cada persona tiene una manera diferente de alinear las cifras en esos formularios; ese dato constituye un factor suplementario para la falsificación. Se ha observado el caso de dos personas que escribían las cifras de modo muy análogo, pero que las alineaban de modo tan diferente en un formulario impreso, que resultaba posible distinguirlas.

f) *Letra disimulada.* Cuando un documento controvertido contiene sólo cifras, es muy raro que quien lo ha escrito haya tratado de desfigurar su letra. Naturalmente, se encuentran cifras desfiguradas al mismo tiempo que otros elementos de un escrito, sobre todo en las cartas anónimas y en algunos cheques falsos. Como los guarismos se trazan por separado, son más fáciles de enmascarar que las letras, que forman parte de un conjunto enlazado. Cuando sólo se dispone de algunos guarismos, no siempre resulta posible descubrir el enmascaramiento. En principio se observan sin dificultad las formas torpes y las rebuscadas, pero un disimulo hábilmente efectuado puede ser difícil de descubrir. Por otra parte, puede resultar muy difícil identificar al autor de un escrito si no se dispone de un pequeño número de guarismos escritos por él. Es mucho más factible la identificación cuando se dispone de una cantidad de ellos y se pueden utilizar buenas muestras para proceder a la comparación. En la práctica hay que tener mucho cuidado para no confundir las diferencias fundamentales con las que son resultado de un intento de *enmascarar* la letra.

g) *Conclusiones.* Para identificar a la persona que ha escrito unas cifras es esencial descubrir y aislar los elementos característicos y peculiares de la letra del autor. La posibilidad de identificarla está en función de una combinación única de factores personales, entre los que figuran la calidad de la escritura, los elementos de la forma y el estudio de las variantes normales. Bajo la denominación *calidad de la letra* quedan comprendidos todos los elementos que se toman en cuenta para individualizar al autor de un escrito: soltura, velocidad, legibilidad, ligereza o vigor de los rasgos, dirección o movimiento del elemento escritor y forma de enlazar las cifras cuando existe tal enlace. La existencia de cortes de trazos, de levantamiento del elemento escritor, de presillas o de ángulos, constituyen otros tantos factores importantes, al igual que los rasgos iniciales o terminales, o el hecho de no cerrar los óvalos, o la manera de terminar éstos.

Para analizar la forma hay que estudiar el trazado de los detalles, los adornos, las simplificaciones, las dimensiones y la inclinación de las diferentes partes con respecto al conjunto, así como la influencia del sistema caligráfico utilizado.

Por último, la identificación implica el estudio de las variantes que pueden encontrarse en las diferentes cifras trazadas por la mano de la misma persona. Hay que estudiar las formas variables que son resultado de la prisa, de un relajamiento de la tensión, de un cambio de posición, etc. Las cifras presentan las mismas variaciones que las demás formas de la letra.

Pero la existencia de algunos puntos de semejanza no es suficiente para identificar al individuo que ha escrito las cifras. Ni siquiera una forma poco frecuente permite tal identificación. Antes de formular conclusiones hay que estudiar todos los factores que intervienen en el problema, a fin de poder aislar los elementos análogos o muy distintos. Cuando se encuentran diferencias muy importantes, el resultado de la pericia será que los dos documentos no se deben al mismo autor; pero si todos los factores concuerdan, hay que concluir –pero sólo en tal caso– que los documentos de que se trata han sido escritos por la misma persona.

XXII. PERITAJES SOBRE ESCRITURAS EN COPIA CARBÓNICA

Cuando una escritura, tanto manuscrita como mecanográfica, se reproduce una o más veces por medio de carbónico, existen algunas deformaciones que deben analizarse con sumo cuidado y con conocimiento pleno de esas circunstancias. No se trata de medir, pues las medidas se distorsionan en la reproducción, sino de interpretar cuáles son los elementos que aun en copia carbónica se reproducen con una fidelidad tal que permiten una correcta observación y valoración.

En realidad no existe ninguna razón legal que se oponga a la posibilidad de determinar, mediante el estudio técnico correspondiente, el origen de escrituras de este tipo, ni sus condiciones de reproducción, en muchos casos.

Lo que obviamente existe es una razón de prudencia técnica que obliga al perito a dejar expresadas reservas ante la presentación del escrito original. Lo expresado tiene por fundamento el hecho de que en una copia carbónica es difícil, y generalmente imposible, por ejemplo en manuscritos y firmas, analizar diversos elementos del proceso gráfico, analizar las características del elemento escritor, la diferencia de grosor en los trazos, las presiones ejercidas, la velocidad, la espontaneidad, etcétera.

No debemos olvidar que en copias carbónicas pueden ocultarse convenientemente anormalidades tales como: retoques muy leves, levantamientos del elemento escritor, que sí pueden detectarse en el original. Es totalmente imposible, asimismo, llegar a establecer tiempos relativos de ejecución sobre la base de entrecruzamientos de trazos originados por elementos escritores, o de éstos con escritos mecanográficos.

Como conclusión, diremos que jamás sería prudente, desde el punto de vista técnico-pericial, enunciar en forma categórica si una escritura hecha en carbónico es auténtica o falsa.

En todos los casos es aconsejable agotar las posibilidades de encontrar el original y, de no ser posible, la realización de la pericia correspondiente contendrá una formulación de reservas como la mencionada. Se podrán aclarar situaciones y aun formular opiniones, pero las mismas estarán sujetas a modificaciones ante el examen del original pertinente, lo cual implica que las observaciones sobre el material producto de copias carbónicas estarán referidas más al aspecto formativo o externo de la escritura que a los que son personales o de fondo.

No debe dejarse de considerar que en una copia al carbónico puede ocultarse un calco sobre escritos auténticos, maniobra que puede ser demostrada con el original y pasar inadvertida en la reproducción.

CAPÍTULO X

BALÍSTICA

I. CONCEPTO

El término *balística* proviene del latín *ballista,* especie de catapulta, del griego *bállein* (arrojar), siglo XVII, arte de lanzar proyectiles. Ha sido definida como la ciencia que estudia el alcance y la dirección de los proyectiles, o el movimiento de ellos.

Obviamente estamos en presencia de una rama de la física aplicada, que se ocupa del movimiento de los proyectiles en general. Conforme al espíritu del contenido del presente libro, de más está decir que los conceptos que se irán vertiendo estarán referidos a proyectiles procedentes de armas de fuego, aire o gas comprimido, o de acción neumática, ya que la acepción de la palabra balística tácitamente incluye cualquier otro elemento o cuerpo que pueda ser lanzado al aire o que caiga libremente por acción de la gravedad (flechas, piedras arrojadas manualmente o con honda, etcétera).

Su estudio comienza con el proyectil (bala) en reposo dentro del arma, su movimiento dentro del cañón, salida al exterior y consiguiente recorrido por el aire, su impacto y los efectos de esta acción de incidencia en el blanco, hasta llegar nuevamente al estado de reposo del mencionado proyectil. Requiere, por lo tanto, cierto nivel de conocimiento de otras ciencias, tales como matemática, química, física y ramas de ésta.

De todo lo expresado se deduce que en balística hay tres partes fundamentales, reiteradamente señaladas en diferentes textos específicos: una primera, llamada *balística interior,* que se ocupa del movimiento del proyectil dentro del arma y de todos los fenómenos que acontecen para que este movimiento se produzca y lo lleve hasta su total salida por la boca de fuego; una segunda, llamada *balística exterior,* claramente definida por su propio nombre. Afectada principalmente por los rozamientos del proyectil con el aire y la acción de la fuerza de la gravedad sobre éste, y una tercera, llamada *balística terminal o de efecto,* cuyo nombre también es bastante significativo, a la que compete el estudio de la penetración, poder de detención, incendiario, etcétera.

II. BALÍSTICA INTERIOR

Un arma de fuego, sobre todo las semiautomáticas y automáticas, es una máquina o artificio térmico, tal como un motor de combustión interna, una caldera, etc. Todas ellas se caracterizan por el hecho de que, a partir de la liberación de la energía concentrada, por la naturaleza o por medios artificiales, debidamente encauzada, es transformada en otra forma de energía capaz de realizar un trabajo.

a) Definiciones

Energía: Es la capacidad de producir trabajo que posee un cuerpo o sistema de cuerpos.

Trabajo: Es una magnitud escalar que proviene del producto de la intensidad de la fuerza aplicada sobre un cuerpo y la distancia o camino recorrido por éste en la dirección de la fuerza.

En todos los casos la transformación de una energía en otra es realizada con desprendimiento de calor, de allí lo que dijéramos de máquinas térmicas. Circunscribiéndonos a lo específico, podríamos definir nuevamente un arma de fuego como un artificio mecánico en el cual el calor liberado por la combustión de un propulsante es transformado en energía cinética útil de un proyectil, siendo su función la de propulsar proyectiles hacia blancos específicos para producir efectos previstos.

El rendimiento de los artificios térmicos es bajo; la relación entre la energía potencial disponible y la realmente recuperada nos suministra, en forma de porcentaje, cifras realmente bajas.

Existen pérdidas debidas a la movilización de piezas, fricción entre las partes móviles, disipación térmica, etc., a las que no escapan, dentro de los principios de la termodinámica, las armas de fuego. Lo interesante es comprobar en qué otra forma se convierte esta energía que poseemos inicialmente.

Con el objeto de formarnos una idea de ello, se vierten a continuación valores porcentuales de la distribución de la energía de la combustión de la carga propulsora de un arma. Lógicamente, estas cifras variarán para cada arma, pero son útiles como idea general.

Energía consumida en impulsar el proyectil	26-35%.
Energía consumida en forzar al proyectil para que gire alrededor de su eje	0,2%
Energía consumida en vencer el frotamiento del proyectil contra las paredes del tubo	3,0%
Energía consumida en forzar la expulsión de los gases a lo largo del tubo	3,0%

Energía consumida en el estampido de boca	20-40%
Calor producido en la recámara con calentamiento del arma y vaina	20-30%
Energía consumida por el sistema recuperador	0,1%

Por lo que puede observarse, el aprovechamiento de la energía potencial disponible para su utilización en su función específica es del orden del 25-35%, lo que si bien es bajo, significa un buen rendimiento a la luz del de otros artificios. (Por ejemplo, la eficiencia energética real del motor convencional de automóvil está en valores comprendidos en el orden del 10 al 20%).

La llamada *balística interior* comienza en el momento en que el iniciador es activado (por percusión, electricidad, chispa, etc.) para comenzar la combustión de la carga de propulsión, hasta que el proyectil traspasa la boca del arma.

A esta altura el proyectil debe haber adquirido la velocidad y el ángulo de inclinación o de partida correctos como para asegurar que su trayectoria lo llevará hasta el blanco elegido. En el caso de las escopetas, la masa de los perdigones o postas en su trayectoria dentro del tubo o caño se comporta, para la balística interior, como un solo proyectil sólido.

Sintetizando podemos decir que esta parte de la balística estudia los distintos fenómenos físicos que se producen en el interior del arma al efectuarse el disparo, tales como: ignición de la mezcla fulminante; combustión de la pólvora de propulsión; presión producida por la combustión de la carga de pólvora de propulsión; entallado del proyectil en el rayado del arma; velocidad del proyectil en el interior del tubo; giro del proyectil alrededor de su eje, impuesto por el rayado; resistencia de cada una de las partes constitutivas del arma; elevación de la boca del arma a la salida del proyectil; erosión del tubo por efecto de los gases de combustión; desgaste del tubo por efecto del rozamiento del proyectil; retroceso del arma, y vibración del arma.

Evidentemente, nos hemos referido a todos los fenómenos vinculados con el impulso que recibe el proyectil y que lo hace mover hacia adelante. Éste obtiene toda su energía de propulsión dentro del arma, durante la muy pequeña fracción de segundos en que recorre el ánima, hasta transponer la boca, y es aquí donde obtiene su velocidad máxima.

A esta altura cabe hacer una diferenciación entre los proyectiles de vuelo libre que estamos estudiando y los autopropulsados. Estos últimos llevan su carga de propulsión en su propio cuerpo: consecuentemente, su comportamiento en vuelo se asemeja al de las máquinas que se pretendió mencionar anteriormente. Su balística interior es diferente y también lo es la exterior, hasta el momento en que consumen su carga de proyección. En este punto adquieren su máxima velocidad, y a partir de aquí mantienen constante su forma y peso y se los trata como proyectiles

de vuelo libre, sujetos sólo a las acciones de la fuerza de la gravedad y de la resistencia que el aire ejerce a su avance.

Circunscribiéndonos específicamente a lo que ocurre en las armas livianas (fusiles, carabinas, pistolas, revólveres, etc.), nos referiremos a los sucesos que tienen lugar desde el instante en que el percutor del arma es liberado hasta que el proyectil abandona la boca del arma.

En estos acontecimientos, la característica más importante es su extrema rapidez. Dicho período suele ser no mayor de una centésima de segundo (0.01s) y puede ser considerablemente menor.

Para su mejor interpretación, este período puede dividirse en tres más pequeños: a) accionamiento del disparador y percusión; b) ignición, y c) recorrido del proyectil en el ánima.

b) Accionamiento del disparador y percusión

Cuando el disparador (cola del disparador) es accionado por el dedo del tirador, es decir, cuando lo oprime, se libera el percutor o martillo, según el caso. El percutor, actuando bajo la acción de su resorte que se encontraba comprimido, se desplaza velozmente hacia adelante y hunde su punta en la cápsula fulminante (en la munición de fuego central) o en el borde del culote de la vaina (en las de fuego anular). Para generalizar lo denominaremos *iniciador.*

De tal manera, la mezcla fulminante es comprimida y, por este efecto, se produce su explosión.

El tiempo que transcurrió desde el momento en que se libera el percutor hasta que éste golpea al iniciador depende del largo del recorrido del percutor, de su peso y el de otras partes móviles y de la fuerza de compresión del resorte. En fusiles de combate este tiempo es del orden de 0,005 segundo, en tanto que en carabinas deportivas de pequeño calibre puede llegar a 0,002 segundo.

Este tiempo es muy importante, especialmente para tiradores de polígono. Teóricamente, el tirador presiona la cola del disparador cuando cree que su puntería es correcta, pero es posible que durante este período el fusil se mueva y la puntería se altere. Por lo tanto, cuanto menor sea este período, más ventajoso será para el tirador.

Desde el punto de vista de la balística interior, la energía con que el percutor golpee al iniciador es más importante que su velocidad.

Por supuesto, la energía también depende de la velocidad y del peso de las partes móviles. Si la energía no es lo suficientemente potente, la mezcla fulminante no será correctamente comprimida y puede ocurrir una ignición deficiente, un retardo de ignición o que ésta no se produzca.

Una ignición deficiente, tendiendo hacia un retardo, producirá una combustión incompleta de la carga de propulsión, consecuentemente una reducción de la velocidad inicial que puede llegar al orden de los 30 m/s y, por ende, un tiro impreciso.

Si la energía es demasiado grande, la cápsula fulminante puede ser perforada, con los peligros consecuentes para el tirador, más el escape de gases de propulsión que producen una disminución de la presión que debe mover el proyectil con el mismo resultado anterior: disminución de la velocidad inicial. Es por ello que diferentes tipos de iniciadores y distintas fabricaciones de los mismos requieren distintas energías del golpe del percutor para producir una ignición ideal.

c) Ignición

Cuando la mezcla fulminante es comprimida, explota produciendo la ignición de la pólvora de propulsión. Si la ignición es normal, el tiempo que demanda este acontecimiento es extremadamente corto, del orden de 0,0002 segundo. Ésta es la fase más importante de la balística interior.

Tanto la eficiencia como el tiempo de ignición dependen del volumen y del calor generado por la llama producida por la explosión de la mezcla fulminante. Para que esta llama cumpla con su cometido, deben ser correctos la clase, el tipo y la granulometría de la composición de la mezcla que produce la ignición, lo mismo que su volumen, el tamaño y forma de la cámara que la aloja, como también los diámetros de los oídos o del agujero único que posee la vaina y por donde pasa esta llama a la cámara en la que se aloja la carga de propulsión.

Esta llama debe tener tal volumen y potencia que pueda entremeterse en todos los espacios que ocupan los granos de la pólvora, con el objeto de llenar casi la totalidad de la capacidad de la recámara contenida dentro de la vaina y propagar simultáneamente su fuego a todos los granos que forman la carga propulsora.

Ello significa que la llama no debe quemar solamente los granos próximos a los orificios por donde ella emerge y de allí propagarse al resto, sino a toda la carga simultáneamente. La pólvora negra inicia su combustión muy rápidamente y se necesita para ello un iniciador relativamente débil, pero las pólvoras sin humo son mucho más difíciles de iniciar.

Las pólvoras de grano muy fino y las pólvoras a la nitrocelulosa inician fácilmente y requieren iniciadores menos potentes que las pólvoras de grano grueso o a la nitrocelulosa.

Un cartucho que posee una recámara muy larga requiere un iniciador potente. Un iniciador diseñado para un cartucho de pistola suministrará una ignición pobre y sus resultados serán también pobres en un cartucho de fusil. Por otra parte, iniciadores potentes en pequeños cartuchos suministrarán presiones altas y erráticas, y la precisión de los disparos será exigua.

Cuando la mezcla fulminante es comprimida suavemente por el percutor, se produce lo que se denomina detonación en vez de explosión. Es un fenómeno sumamente interesante: los pequeños trozos de pólvora que pesan centésimas de gramo se transforman en 0,00001 segundo de sólidos, a temperatura ambiente, a una masa de gases blancos generando presiones internas del orden de los 700 kg/cm². Pero debido a que el resto de la masa de granos todavía no quemó y las paredes de la vaina y la recámara también están frías, la presión total en la recámara es muy baja y no alcanza más de los 140 kg/cm².

Cuando la ignición es correcta, la recámara se llena casi instantáneamente de gases calientes generados por la combustión de la carga de proyección.

d) Recorrido del proyectil en el ánima

La descripción general y básica de lo que ocurre en el interior del arma, en el momento del disparo, que es competencia de la balística interior, puede sintetizarse de la siguiente manera:

$$a = pA + f/m$$

En esta fórmula, "a" es la aceleración; "p", la presión; "A", la superficie de la sección vertical del ánima del cañón; "f", la fuerza de resistencia, y "m", la masa del proyectil.

La presión "p" en la base del proyectil es la variable principal en esta ecuación. Una vez conocida, puede derivarse la aceleración.

Por otra parte, y a los fines ilustrativos, mencionaremos la fórmula básica y simplificada de la ecuación de Abel para la balística interior:

$$p = f\,(D/I - aD)$$

En ella, "p" es la presión desarrollada; "D", la densidad de la carga de pólvora, obtenida del peso de la pólvora, dividida por el volumen de la cámara; "a", el volumen de gas a temperatura absoluta = cero; "f", el valor de RTc para la pólvora particular en uso ("R" es la constante de los gases; Tc es la temperatura de combustión); "RTc" constante para una pólvora dada y diferente para cada pólvora.

La velocidad de un proyectil, dentro de ciertos límites, depende de la longitud del cañón del arma. Para una combinación de pólvora y balas dadas, existe una relación entre velocidad y longitud del cañón que es aproximada y está indicada de la siguiente manera:

la velocidad inicial guarda una interrelación aproximada con la raíz cuarta de la longitud del cañón.

En relación con las estrías del cañón podemos decir que tienen como única misión dotar al proyectil de un giro sobre su propio eje, produciendo un efecto giroscópico que lo estabiliza durante su trayectoria. En las armas largas el número de estrías modernamente suele ser de cuatro y en las cortas de seis, y la forma con las aristas vivas o romas. El paso de hélice está calculado dependiendo de la longitud del cañón y velocidad inicial del proyectil.

En las armas cortas, al ser mucho menor la longitud del cañón, el paso de hélice de las estrías es mayor. Han existido muchos tipos de rayado de cañones y el número de estrías ha variado desde dos hasta el llamado polirranura, con varias decenas de ellas.

Las armas de aire comprimido o de acción neumática también poseen sus pequeñas estrías, aunque en los primeros modelos los cañones eran lisos.

III. BALÍSTICA EXTERIOR

La velocidad de un proyectil, tanto la inicial como la remanente, es una de las cualidades más importantes del binomio arma-cartucho, entendiéndose por velocidad inicial (Vo) la que el proyectil lleva en el momento de salir por el cañón; ésta se mide en metros que el mismo recorrería en un segundo si conservase dicha velocidad. Remanente es la que tiene en cualquier punto de su recorrido.

La *balística exterior o externa* se inicia en el momento en que el proyectil abandona la boca del arma rotando sobre su eje para una mayor estabilización y consiguiente precisión, generalmente por encima de las cien mil revoluciones por minuto. La velocidad de rotación del proyectil se obtiene dividiendo la velocidad inicial en metros, por el paso de hélice también en metros y multiplicando luego el resultado por 60, para obtener las revoluciones por minuto (r.p.m.). Por ejemplo, el proyectil 7 mm del fusil Mauser, modelo 1893, rotaba a 180.000 r.p.m.

Justo ahora el proyectil inicia su trayectoria, que si estuviera sometida únicamente a la fuerza de proyección de la pólvora, sería recta, o sea, seguiría constantemente la dirección del eje del cañón y recorrería distancias iguales en tiempos iguales.

Pero tan pronto como dicho elemento abandona el cañón, se encuentra sometido a las fuerzas de resistencia del aire y de atracción de la gravedad.

La resistencia del aire le hace perder constantemente parte de su velocidad, reduciendo su alcance, de modo que en tiempos iguales recorre cada vez distancias más pequeñas. La fuerza de gravedad, por su parte, solicita al proyectil hacia el suelo. Esta última fuerza actúa de modo que el descenso del elemento hacia el suelo es más rápido a cada momento, siguiendo la ley de la caída libre de los cuerpos ($Vf = Vo + g\,t$), donde Vf es la velocidad final.

La combinación de estas tres fuerzas da lugar a que la trayectoria en el aire no sea recta ni circular, sino una curva parabólica. Como la acción de cada una de las tres fuerzas citadas es independiente de las otras dos, se entiende claramente que cuanto mayor sea la fuerza de proyección que adquiera y conserve el proyectil, más distancia habrá recorrido antes de caer al suelo; por tanto, la velocidad favorece el alcance.

Otro factor que ayuda al alcance, hasta ciertos límites, es la inclinación del arma –45 grados es el ángulo óptimo–, puesto que a mayor ángulo, mayor será la altura a la que se envíe el proyectil y, por tanto, más tiempo tardará en llegar al suelo, tiempo en el que, evidentemente, no está dejando de avanzar. Matemáticamente, la fórmula $X = V^2 \text{ sen } \alpha / g$ nos confirma la totalidad de lo dicho, en donde X = distancia recorrida por el proyectil; α = su ángulo de proyección, y V = las pérdidas de velocidad por rozamientos con el aire.

Ya tenemos el proyectil volando a la máxima velocidad inicial posible gracias a los fenómenos ocurridos en tiempo de balística interior; ahora tenemos que procurar que esta velocidad alcanzada se mantenga el mayor tiempo posible. Ello se consigue mediante la aplicación del conocimiento de dos conceptos muy relacionados entre sí: *densidad seccional* y *coeficiente balístico*. Veamos en qué consisten.

a) Densidad seccional

Si consideramos dos proyectiles cilíndricos del mismo diámetro y longitud, uno hecho enteramente de madera y el otro de plomo, y los disparamos a la misma velocidad, no nos cabe la menor duda de que el de plomo iría mucho más lejos e impactaría más fuerte que el de madera. Pues bien, puesto que sus dimensiones son iguales, sus velocidades iniciales también y la resistencia del aire es común a ambos, tenemos que lo único que los hace comportar de forma diferente es la densidad del material con que están hechos. Diremos, pues, que el proyectil de plomo tiene mayor densidad seccional que el de madera.

Sabemos que la densidad del plomo (cociente entre la masa y el volumen del material) es muy superior a la de la madera (11,4 y 0,7, respectivamente), lo cual explica en parte lo dicho; pero, ¿qué ocurre cuando tomamos dos proyectiles cilíndricos del mismo diámetro y ambos de plomo, con la única diferencia de que uno es más largo que el otro, digamos el doble, por ejemplo? Si los disparásemos a la misma velocidad, tampoco nos cabe duda de que el más largo iría más lejos y golpearía más fuerte que el corto.

La única razón es que el más largo tiene mayor densidad seccional que el corto, y esta mayor densidad seccional nos viene a decir que proyectiles de la misma forma, pero con más peso en relación con su diámetro retienen mejor y por más tiempo su velocidad y su energía.

Puede darse el caso de que proyectiles de distintos diámetros y longitudes tengan la misma densidad seccional, y esto, así como todo lo anterior, viene expresado por la fórmula matemática $Ds = P/d^2$, en donde se nos dice que la densidad seccional de un proyectil es directamente proporcional a su peso e inversamente proporcional al cuadrado de su diámetro. En esta relación y en nuestro sistema, el peso viene expresado en kg (kilogramos) y el diámetro en metros; los anglosajones, para esta misma fórmula, emplean como unidad de peso la libra y de longitud la pulgada, obteniéndose en cualquier caso una cifra de tres dígitos que, cuanto mayor sea, indicará mayor densidad seccional en el proyectil en estudio.

b) Coeficiente balístico

Sin necesidad de recurrir a ningún ejemplo práctico, comprendemos perfectamente que cualquier cuerpo que se desplaza dentro de un fluido (y el aire lo es) avanzará más o menos rápidamente, o, lo que es lo mismo, será más o menos frenado por dicho fluido, dependiendo ello de la velocidad y de la forma dada al cuerpo en movimiento.

Parece claro, pues, que entre un proyectil de igual diámetro y peso que otro (misma densidad seccional), pero con distinta forma en su punta, una chata y la otra ojival, será el de la punta ojival el que tenga, a igualdad de velocidad inicial, mayor alcance y penetración.

El mayor alcance es debido a una mayor facilidad de penetración en el aire. Pues bien, la forma dada al proyectil, unida a su densidad seccional, es lo que se llama *coeficiente balístico,* y está también definido por una cifra de tres dígitos que, al aumentar, aumenta dicho coeficiente y, por tanto, menor es la pérdida de velocidad del proyectil, lo que viene a significar, entre otras ventajas, una trayectoria más plana, una menor desviación por causa de la acción de vientos laterales, llegar antes al blanco y una mayor energía retenida para ser usada y aprovechada en el momento del impacto.

El coeficiente balístico de un cuerpo está expresado por la igualdad $Cb = P/d^2K$, donde se ve que es la misma fórmula que la de la densidad seccional afectada por un factor de forma (K) que penaliza a los proyectiles de punta chata o roma y favorece a los puntiagudos.

c) Estampido de boca y de proyectil

Cuando se dispara un arma de fuego, ya sea automática o no, se distinguen dos clases de detonaciones:

– el estampido de boca, originado por la expulsión violenta de los gases detrás del proyectil;

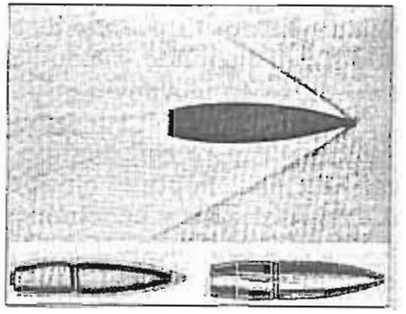
– el estampido de proyectil, producido por el espesamiento del aire, llamado *onda de cabeza,* que se forma delante de éste durante su reco-

rrido, cuando su velocidad es superior a la del sonido, problema que no se soluciona con el uso de los llamados *silenciadores*.

En combate se demostró que, al recibir fuego enemigo, se oye primeramente el estampido de boca, generalmente seco, y luego el estampido de proyectil, generalmente sordo. El intervalo que existe entre uno y otro es tanto mayor cuanto más próximo se esté en la dirección del tiro.

En el espacio detrás del arma, abarcando aproximadamente un ángulo de 45 grados a la derecha e izquierda del plano de tiro, se percibe una sola detonación, constituida por la suma de ambos estampidos (de boca y de proyectil); por ello el tirador oye uno solo.

El estampido de proyectil puede inducir a cometer errores en la apreciación de la distancia y, en especial, de la dirección desde donde se tira; esta última sólo puede ser apreciada por el estampido de boca.



Proyectil en vuelo, calibre .30-06, de 11,66 gramos, donde pueden apreciarse las ondas de aire y la resistencia al avance reducida por el diseño "cola de bote". Izquierda: corte transversal longitudinal del mismo proyectil. Derecha: el elemento luego de pasar a través del ánima rayada del arma que lo disparara.

d) Influencias atmosféricas

Se entienden por tales las influencias que ejercen sobre el proyectil el peso del aire y el viento. El peso del aire depende de la presión atmosférica, de la temperatura y del coeficiente de humedad; es tanto menor cuanta más alta sea la ubicación del lugar y cuanto mayor sea la temperatura.

En general, las graduaciones de las alzas (en armas de muy buena calidad) están referidas a un peso medio del aire de 1,206 kg/m^3, correspondiente a la altura del nivel del mar, a una presión atmosférica de 750 mm de mercurio, a una temperatura de 15 grados centígrados y a un coeficiente de humedad del 50%, sin viento y a velocidades iniciales medias del proyectil.

Sólo en estas condiciones se obtendrá un disparo *de alza* (cuando el punto apuntado coincide con la línea de puntería); un menor peso del aire aumenta el alcance del tiro y un peso mayor lo disminuye. Grandes variaciones de temperatura pueden influenciar considerablemente el alcance; por ejemplo: un cambio de temperatura del aire de 10 grados a una distancia de 1000 metros desplaza el punto de impacto medio aproximadamente un metro en sentido vertical.

La influencia del cambio de presión atmosférica se nota recién con grandes diferencias de altura, al igual que la incidencia del coeficiente de humedad, que se supone para todos los casos del 50%, por ser también despreciables los efectos de sus variaciones.

El viento de frente disminuye el alcance del tiro, mientras que el de atrás lo aumenta. A 1000 metros de distancia, un viento a velocidad media (4 m por segundo) que sople de costado origina un desplazamiento lateral del proyectil de 2 a 3 metros, desplazamiento éste que aumenta o disminuye proporcionalmente a la velocidad del viento.

e) Influencia de la luz del sol

Aunque parezca un detalle de poca importancia, no lo es cuando se trata de lograr un disparo de precisión, porque un guión muy iluminado desde arriba, debido al reflejo de la luz, parece más grande de lo que realmente es, por eso involuntariamente no se toma la cantidad necesaria de guión y, en consecuencia, el tiro es bajo y corto. Por el contrario, en tiempo nublado, o dentro de un bosque, con poca luz, fácilmente se toma una cantidad excesiva de guión, lo cual produce un tiro largo o alto.

Si un costado del guión recibe más luz que el otro, el más iluminado parece más grande, ello induce al tirador a colocar en la ranura del alza no la cúspide del guión, sino la parte más iluminada de éste, lo que origina una desviación del tiro hacia el lado oscuro.

f) Rendimiento de tiro

El rendimiento de tiro de un arma, ya sea militar o de uso deportivo, y el rendimiento de su munición, dependen de los siguientes factores:

- la forma de la trayectoria (tendido);
- la dispersión;
- el efecto del proyectil.

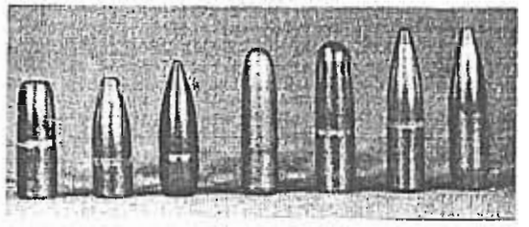
El tendido de la trayectoria, en el tiro contra blancos visibles, es de importancia trascendental, pues aumenta la zona batida, entendiéndose por ésta el espacio situado delante y detrás del blanco donde caen los proyectiles.

Cuanto mayor sea el tendido, tanto más se compensan las consecuencias de los errores inevitables en la apreciación de distancia y de las influencias atmosféricas.

Efectuando con un arma cierta cantidad de disparos, bajo condiciones lo más constantes posibles, los proyectiles no hacen impacto en un mismo punto, sino que se distribuyen sobre una superficie de dimensiones variables; esto se llama dispersión y sus causas son debidas a: vibraciones del cañón, variaciones en las influencias atmosféricas, pequeñas diferencias en el peso y la forma de los proyectiles, y en la carga y combustión de la pólvora.

La dispersión natural de un arma es siempre aumentada por los errores del tirador al apuntar y al ejecutar el disparo. Si interceptáramos la dispersión con un plano vertical, veríamos que, en general, tiene una mayor extensión en altura que en ancho, con lo cual podemos concluir que la dispersión vertical es mayor que la lateral.

Si por la agrupación de impactos recogidos en un plano (blanco) trazamos una línea horizontal y otra vertical, tratando de que en cada cuadrante se encuentre igual número de impactos, el punto de intersección de las dos líneas constituye el punto de impacto medio que, teóricamente, debería coincidir con la línea de alza o el punto apuntado. Ello en la realidad nunca ocurre.



Proyectiles encamisados con coeficiente balístico creciente.

Proyectiles "minié" en calibre .38 con densidad seccional y coeficiente balístico creciente, de izquierda a derecha.

g) Trayectoria del proyectil en el vacío y en el aire

El estudio de la trayectoria real que sigue un proyectil es un problema complejo, dado que, como ya se ha dicho, son muchas las fuerzas que influyen en forma conjunta sobre el mismo en su recorrido.

Entre los factores mencionados, se encuentran la gravedad, la resistencia del aire, el viento, el movimiento del arma desde la cual es disparado el elemento y el giro de éste impartido por las estrías del cañón.

Con el propósito de arribar a alguna de las ideas generales concernientes a la trayectoria, es necesario despreciar todos los factores indicados precedentemente, excepto la fuerza de gravedad. Así es posible demostrar el recorrido bajo condiciones ideales. La trayectoria que resulta de este procedimiento es conocida como *trayectoria en vacío* (camino recorrido por el proyectil si fuese disparado en un vacío real).

La forma de este recorrido es parabólica. En general, el alcance de un proyectil se incrementa a medida que el ángulo del arma con la horizontal (elevación) crece hasta un cierto valor máximo. Si el ángulo que el arma forma con el horizonte supera este punto, que podríamos llamar ángulo "d", el alcance del proyectil decrecerá. La altitud máxima que alcanzará el proyectil por sobre la horizontal se incrementará a medida que el ángulo de disparo sea mayor hasta que el arma esté apuntada directamente hacia arriba. Cuando el cañón del arma forme un ángulo de 90 grados con respecto a la horizontal, obtendremos la altitud máxima que puede alcanzar el elemento. Esta información carece de valor práctico, salvo que esté referida al tiro de artillería de largo alcance o al disparo antiaéreo. A fin de asegurar el máximo alcance, la trayectoria tendría que acusar un ángulo de partida de 45 grados respecto de la horizontal. En el vacío, si el proyectil parte con este valor, caerá formando otro ángulo de igual valor.

El estudio del recorrido de un proyectil en el vacío revela un número interesante de hechos: el alcance puede incrementarse en proporción a la energía del proyectil a la salida de la boca del cañón. Tales incrementos, desde un punto de vista práctico, son reducidos por cuanto las balas reales se disparan en la atmósfera y están sujetas a la resistencia del aire. A medida que aumenta la velocidad, la resistencia que ofrece el aire también lo hace, y de tal manera que, a velocidades de 900 metros por segundo o más, la distancia sólo se incrementa en pequeñas cantidades si se aumenta la energía en la boca del cañón.

Como se indicara, en orden a alcanzar algunos conceptos generalizados sobre la trayectoria de un proyectil, era necesario despreciar un número de factores, entre los cuales se encuentra la resistencia del aire. Sin embargo, en la balística práctica los efectos de aquélla no pueden ser despreciados; este hecho se ilustra comparando experimentalmente trayectorias en el vacío y en el aire. Son diferentes. La trayectoria en el aire es más corta que otra en el vacío, y decrece a medida que el calibre del arma disminuye.

El alcance máximo de una bala de carabina, pistola o revólver, es de aproximadamente 1/7 del alcance máximo que podría ser calculado para la trayectoria en vacío. Es importante comprender que en la atmósfera la

trayectoria no es simétrica como en el vacío. En el aire, la curva del recorrido del proyectil se hace más pronunciada en la rama descendente que en la ascendente. El vértice de la trayectoria se mueve así hacia el lado descendente del paso del elemento. Por otra parte, el ángulo de elevación sobre la horizontal, que resultará en el avance máximo en el aire, no es de 45 grados (como lo es en la trayectoria en vacío), sino de varios grados menos. Para las armas pequeñas, tales como revólveres y pistolas, el ángulo de elevación para el alcance máximo es aún menor.

Hay diferencias enormes en el alcance entre la trayectoria real de un proyectil en el aire y la calculada en el vacío. Por esta razón, los expertos balísticos han pasado mucho tiempo tratando de mejorar la forma de las balas, para recuperar tanto como fuese posible la eficiencia perdida de los proyectiles en el aire.

Si la velocidad de un proyectil es pequeña, la resistencia del aire también lo es. Con incrementos de velocidad, sin embargo, la resistencia del aire aumenta. Cuando la velocidad es de alrededor de 330 metros por segundo, la resistencia del aire comienza a elevarse en una medida mucho mayor. Es interesante observar que la velocidad a la cual la resistencia del aire crece de una manera significativamente más grande es la misma que la velocidad del sonido en el aire.

En el frío, la velocidad del sonido es más baja.

Entre algunos científicos balísticos que tratan con balas de alta velocidad, es común referirse a estas velocidades en términos de relación entre la velocidad de la bala y la del sonido. Por ejemplo, si un proyectil se mueve a una velocidad de 660 metros por segundo a nivel del mar, se dice que tiene una velocidad de Mach. En otras palabras, la velocidad real de 660 m/s está dividida por 330 m/s (velocidad del sonido en el aire), para dar el valor 2. Este número Mach es denominado así debido a Ernst Mach, un físico conocido por su estudio acerca de la velocidad del sonido en diferentes tipos de materiales.

Un proyectil que viaja más ligero que la velocidad del sonido forma en el aire una onda de presión aguda o angulosa; esta onda es la que cuenta en la resistencia del aire que ofrecen las balas de alta velocidad. La base chata de la mayoría de las balas causa una turbulencia o estela a su paso. Esta turbulencia también produce resistencia.

El movimiento del aire, tal como lo es el viento, que se mueve a través del recorrido de un proyectil, hará que este último se desvíe a izquierda o derecha. Esta fuerza de desvío no es la misma que la corriente de aire resultante del movimiento giratorio del proyectil en el aire.

h) Estabilidad del proyectil

Si se disparara una antigua bala esférica con un arma o si se arrojara una pelota de béisbol, en ningún caso se modificaría la trayectoria si la

esfera girara, ya que siempre presentará una superficie esférica al aire. Las balas modernas no son esféricas, sino alargadas, a fin de incrementar el coeficiente balístico. Si la bala alargada es para funcionar efectivamente, debe presentar siempre su punta aguda en la dirección que va el proyectil. Es solamente en este estado en que la resistencia del aire y la retardación que produce puede mantenerse tan baja como sea posible.

El tema de asegurar que el proyectil sigue a lo largo del recorrido teórico es un problema de estabilidad. Es posible asegurarla de dos formas:

– hacer girar la bala antes de que abandone el ánima del arma;

– colocando aletas en la parte trasera, a fin de que la presión del aire pueda mantener el proyectil en su curso.

El uso de aletas en armas pequeñas no es práctico. Sin embargo, se las utiliza en cohetes y algunas clases de granadas.

Consecuentemente, para asegurar estabilidad a las balas, se les da giro mediante el estriado. La resistencia del aire actúa para invertir al proyectil. Si el giro impartido es el adecuado, el mismo permanecerá en su curso con la punta siempre en la misma dirección; cabría decir entonces que la estabilidad siempre podría asegurarse dándole al elemento una vuelta violenta para que gire rápidamente. Sin embargo, la dificultad con este movimiento estriba en que si el proyectil gira demasiado rápido, siempre apuntará en la misma dirección una vez que abandone la boca del cañón. Esta situación se denomina sobreestabilización.

Un proyectil en esas condiciones tendría su nariz apuntando en la dirección apropiada sobre la rama ascendente de la trayectoria, pero cuando el pico o cima de la curva fuera alcanzado, la punta estaría hacia arriba, mientras el recorrido real se habría nivelado. De tal manera, durante la rama descendente del trayecto, la punta que gira rápidamente continuaría apuntando hacia arriba con un ángulo igual al de salida, aunque en realidad esté cayendo.

En esta situación el aire estaría soplando de través sobre el proyectil y, por ende, acusaría una gran resistencia del medio gaseoso.

Por las razones antedichas es importante darle a la bala sólo la velocidad de giro necesaria, ya que de esta manera su punta se mantendrá en la dirección del movimiento. Un exceso incrementará la resistencia del aire y un valor menor al apropiado también lo hará, dada la tendencia al bamboleo o tambaleo de un proyectil con escasa velocidad de giro.

i) Comportamiento de los proyectiles para cartuchos de escopeta

El vuelo de los perdigones surge ante un disparo de cartucho para escopeta o pistolón por los mismos medios utilizados para impulsar una bala. Existen diferencias menores entre la balística de un arma de cañón estriado y la de otra de cañón liso.

La velocidad inicial de una carga de perdigones es menor que la de un proyectil disparado con cañón de ánima estriada; además, dado que los primeros se desplazan en forma libre en el interior del arma, se requiere una presión menor para impulsarlos fuera de ella. Dadas estas bajas presiones, las pólvoras propulsoras no queman bien, es por ello que los cartuchos usualmente se llenan completamente y la pólvora se fabrica en forma de delgadas laminillas con espesores significativamente más pequeños que los granos de pólvora empleados en cartuchos de bala única. Las presiones de gas en el caño de una escopeta aparecen rápidamente, y tanto es así que la presión máxima surge antes que la masa de perdigones se hubiere desplazado 2,6 cm dentro del ánima. Luego de ello, los gases se expanden de tal manera que en la boca del arma la presión es muy baja. Consecuentemente, el destello en la boca es inexistente o muy pequeño.

Los perdigones se fabrican en general de plomo considerablemente blando, causa por la cual distorsionan su aspecto esférico cuando golpean unos contra otros en el vuelo, o bien cuando rozan las paredes del caño en su interior. El resultado final será una dispersión significativa de la masa de perdigones, que se va incrementando con la distancia recorrida.

A fin de mantener estos elementos y la pólvora en sus respectivos lugares dentro del cartucho, se utilizan tacos hechos de fieltro, papel o plástico, o combinación de ellos. Estos materiales son livianos y tienden a caer rápidamente para no interferir con el vuelo individual de los perdigones.

A medida que la masa de esferas se aleja del caño, se distancian entre sí debido a que no todas poseen características balísticas idénticas. Por otra parte, los perdigones que componen la parte frontal de la masa causan una perturbación que inhibirá el vuelo de aquellos que vienen detrás. El distanciamiento al que se ha hecho referencia es importante para asegurar precisión.

El desempeño de las diferentes municiones varía considerablemente. Por ejemplo, en EE.UU. las postas n° 00, favoritas de las instituciones policiales, tienen un alcance máximo de 500 metros cuando la escopeta se sostiene formando un ángulo de 25 grados con la horizontal. La velocidad en la boca del caño es de 335 metros por segundo. Por el contrario, si se trata de perdigones pequeños como los del n° 8, el alcance máximo es de 200 metros, solamente cuando la elevación del arma es de 30 grados. La velocidad inicial en este caso es de 316 metros por segundo. Finalmente, los individualizados con el n° 9 tienen un alcance máximo de 184,5 metros con un ángulo de 30 grados y la velocidad inicial es de 312 m/s.

Los indicados han sido alcances máximos. Ordinariamente, las escopetas se emplean a una distancia máxima de 90 metros, pero es conveniente hablar de 45 metros, ya que más allá de esta distancia su efectividad decrece.

j) Desvío por movimiento giratorio

Existe una desviación lateral de la trayectoria de un proyectil respecto del plano de partida del mismo, causada por la rotación. Como resultado del desvío, el trayecto horizontal del proyectil es curvo y no en línea recta.

En distancias cortas esta desviación no es significativa con respecto a la precisión y en elementos disparados con pistolas o revólveres puede ser despreciada. En disparos efectuados en polígonos de larga distancia, la desviación puede tener alguna importancia.

Hasta aquí se ha hecho referencia a factores interiores del cañón que afectan el desenvolvimiento de una bala disparada con un arma. Los factores externos también ejercen influencia sobre el vuelo desde el arma hasta el blanco. En ellos se incluyen la dirección y velocidad del viento, gravedad y desvío lateral.

La gravedad es constante en toda la esfera terrestre, para todos propósitos prácticos. Los aparatos de puntería están fabricados y ajustados para incluir correcciones de sus efectos.

El desvío al que se ha hecho referencia es la tendencia de un proyectil a viajar hacia la derecha o izquierda, como resultado del giro que le produce el estriado del cañón del arma. Para las armas de puño este desvío no es un gran problema, ya que basta con ajustar los aparatos de puntería.

Un cierto desvío mínimo es el acompañamiento natural del giro impartido a la bala. Para el calibre .38 Special es de alrededor de 2,6 cm en 45 metros.

k) Resistencia del aire

Los componentes del aire que actúan en dirección opuesta a la que se mueve el centro de gravedad de un proyectil definen la resistencia de aquél. A medida que un proyectil se desplaza desde la boca del cañón hacia el blanco, el aire retarda su recorrido o tiende a retenerlo. Si dicho elemento se mueve a través de algún otro medio, tal como un metal o carne, ese medio actúa entonces para frenarlo.

El fenómeno de la retardación es más grande cuanto más altas las velocidades (varía directamente con el cuadrado de la velocidad) y con balas de diámetro mayor (superficie seccional). En medios de gran densidad la retardación se incrementa, por ejemplo, es más grande en el agua que en el aire. Cuanto más pesada es la bala, menor es el rango a que se hace referencia. Estos factores de retención son importantes en la determinación de la energía cinética utilizable para producir una herida o daño a una estructura.

Un proyectil que en el aire tiene una velocidad de 2100 m/s se retarda o frena seis veces más rápido que uno que se mueve a 30 m/s. De igual

manera, un proyectil que se mueve a 900 m/s de velocidad se retarda casi tres veces más rápido que otro que se desplaza a 300 m/s.

l) Giro sobre el eje transversal

La tendencia al giro sobre el eje transversal de un proyectil se magnifica cuando dicho elemento abandona un medio para moverse en otro, por ejemplo, del aire a un músculo; de un músculo al hueco de un órgano interno, etcétera.

m) Desviación lateral respecto de la línea regular de vuelo

Esta desviación está referida al ángulo conformado por la dirección del movimiento de un proyectil y el eje longitudinal del mismo, a veces llamado ángulo de desviación lateral.

Este ángulo varía periódicamente pero el promedio se incrementa con el tiempo de vuelo de un elemento inestable.

Relacionado con el fenómeno de desvío lateral está el factor de estabilidad, que indica la relativa capacidad del proyectil de mantener una actitud fija en vuelo, bajo condiciones dadas. El factor depende de los momentos de inercia del proyectil, de su giro y del momento de la fuerza aerodinámica respecto del centro de gravedad.

Una condición necesaria pero no suficiente para la estabilidad es que el factor de estabilidad sea mayor que la unidad o negativo. Este factor es llamado, a veces, coeficiente de estabilidad giroscópica.

n) Alcance del proyectil

Los cálculos teóricos balísticos a menudo consideran que el proyectil se desplaza en el vacío. Bajo esta condición, el alcance máximo se logra cuando el arma forma 45 grados con la horizontal. El alcance variará entonces directa y únicamente con la velocidad inicial.

Ha sido calculado, por ejemplo, que en el vacío el calibre militar .30, disparado formando un ángulo de 45 grados, hará un recorrido de 68,8 km; en el aire, la bala tiene un alcance máximo de tan sólo 3,2 km.

Es tan pronunciada la resistencia del aire que el alcance máximo de un disparo efectuado con un revólver calibre .38 Special, con cañón de 4 pulgadas, se obtiene cuando se concreta con el arma formando un ángulo de 25 a 29 grados por encima de la horizontal. Si dicho ángulo es mayor o menor, el alcance decrece.

Para averiguar de manera general la distancia máxima en metros, que denominaremos "X", es útil la siguiente ecuación que considera cualquier tipo de proyectil disparado en el vacío, a un ángulo de 45 grados:

$$X = \frac{(\text{velocidad inicial})^2}{10}$$

Por ejemplo, el cartucho .38 Special (Winchester-Western), con bala de 9,6 gramos, tiene una velocidad inicial de 318 m/s. En el vacío enviaría al proyectil a 10.112 metros.

El cartucho norma .357 Magnum, con bala de 10 gramos, tiene una velocidad inicial de 430 m/s y, consecuentemente, su alcance sería de 18.490 metros.

Recordemos que los valores antes dados son en vacío. Las balas pesadas disparadas a baja velocidad en el aire tienen un alcance tan sólo del 15 al 20% del máximo teórico calculado en el vacío.

Las balas de masa pequeña y alta velocidad alcanzan en el aire una distancia máxima que representa un bajo porcentaje del máximo teórico en el vacío (4 al 10%). La siguiente tabla puede resultar de utilidad:

Proyectil	Velocidad inicial (m/s)	Alcance en el vacío (metros)	Alcance en el aire (metros)
.22 LR - 2,56 gr	343,50	11.799	1350
.380 ACP - 6,08 gr	291,00	8468	980
.45 ACP - 14,98 gr	246,00	6052	1476
.30 carabina - 7,11 gr	591,00	34.928	1980
.50 AP - 46 gr	852,00	72.590	6547

Asimismo, los alcances máximos en el aire, para diversos calibres de uso frecuente, expresados en metros, son los siguientes:

.22 LR = 1755
.38 Special = 1620
.357 Magnum = 2115
9 mm Luger = 1710
.44 Magnum = 2250

ñ) Caída del proyectil

La caída de un proyectil en vuelo puede calcularse. Ordinariamente, tales cálculos no son necesarios, salvo que se esté probando con disparos experimentales.

En estas operaciones matemáticas se presupone que el proyectil alcance la mitad del recorrido en la mitad del tiempo de vuelo; asimismo, se considera que en todo momento en la trayectoria el elemento está cayendo hacia el centro de la Tierra. Cuando se emplea este cálculo, sólo es válido para distancias cortas (un máximo de 270 metros).

La cantidad de caída determinará cuánta elevación se necesita para acertar en el blanco.

Las tablas de información balística corrientemente editadas por "la mayoría de los fabricantes de munición incluyen distancias de la caída del proyectil, así como también altura de la trayectoria media. En ausencia de ello o en experiencias de prueba, el cálculo es muy útil.

Un objeto cae libremente en el vacío de acuerdo con la relación ½ g t^2, donde "g" es la aceleración de la gravedad y "t" es el tiempo en segundos. Un proyectil que se mueve en el aire no cae tan rápido; por lo tanto "g" debería ser ajustado o corregido para representar la caída real de los proyectiles en el aire. Esta corrección arroja una nueva cantidad que llamaremos "f":

$$f = g\left[1\text{-}b\left(\frac{Vo\text{-}v}{Vo}\right)\right]$$

"Vo" es la velocidad inicial; "v", la velocidad remanente en algún punto del recorrido; "b" posee un valor de 0,4 (cuando "v" es mayor que Vo/s). Es esencial la medición precisa del tiempo en este cálculo.

o) Pérdida de energía

La pérdida de energía cinética de un proyectil en vuelo (Ec = 1/2 masa por la velocidad al cuadrado) es la resultante de diversos factores. Las ondas de aire que crea el proyectil indican la existencia de energía. La cantidad de ésta que se pierde depende de la forma y superficie de la sección de la bala. La succión y corriente en remolino producidas por el proyectil consumen energía. La forma de aquél juega un rol clave en este itinerario de pérdida de energía. Finalmente, la energía se disipa como calor proveniente de la resistencia a la fricción. Esta ruta de pérdida de calor depende de la forma y del arma y las características de su superficie.

Según toda probabilidad, virtualmente toda la energía perdida por un proyectil en vuelo responde a la creación de ondas de aire y a las corrientes de succión y remolino.

Cartucho	Energía inicial	Energía a 45 m	Pérdida a 45 m	Energía a 90 m	Pérdida a 90 m
9 mm Luger	46,50	39,15	16%	31,72	32%
.38 Special	56,02	49,95	11%	37,80	32%
.357 Magnum	114,07	89,77	21%	59,40	48%
.44 Special	43,06	38,47	8%	35,77	14%
.44 Magnum	153,90	91,12	24%	90,45	42%
.45 Automatic	49,95	44,95	10%	41,17	18%

El porcentaje de pérdida de energía a 90 metros es más bajo en el calibre .44 Special. En distancias más grandes la energía absoluta retenida por el .44 Special lo hace competitivo con el 9 mm Luger y el .38 Special.

p) Proyectiles en caída libre

Si se dispara una bala directamente hacia arriba, debe, por supuesto, regresar finalmente a la tierra. "Lo que sube debe bajar". Si el disparo se hizo en el vacío, alcanzará una altura pico (y velocidad cero) por encima de la boca del cañón, luego caerá hacia la tierra. Cuando alcance en su regreso la boca del arma, se estará moviendo a una velocidad idéntica a la de su salida hacia arriba; este valor se denomina velocidad final o terminal.

Por ejemplo, una bala de plomo de 10,11 gramos, calibre .38 Special, que abandona la boca del cañón de un revólver de 4 pulgadas, en vuelo vertical hacia arriba, tiene una velocidad de 254 metros por segundo y una energía cinética de 33,88 kilográmetros. Esta última le permitirá al elemento alcanzar su altura pico, pero en el procedimiento el nivel de energía caerá a cero, transformándose en energía potencial; se hace cargo entonces la aceleración de la gravedad y lo dirige hacia abajo, a razón de 9,6 m/s. En el momento en que alcanza en su caída el nivel de la boca del cañón, la velocidad es nuevamente de 254 m/s y la energía cinética de 33,88 kilográmetros. Es un misil peligroso.

Sin embargo, en la práctica los proyectiles no caen en el vacío, lo hacen en una atmósfera que les impide la caída libre. De tal manera, en su regreso el proyectil estará afectado por el aire y comenzará a girar sobre su eje transversal, pudiéndose considerar desde el punto de vista físico que se comporta como una esfera.

Utilizando la imposición antes enunciada, la velocidad final de un proyectil calibre .22 LR, de 2,56 gramos de peso, puede decirse que es de 39 metros por segundo y su energía de 0,27 kilográmetro. Para el calibre .30-06 y un proyectil de 14,08 gramos, tales parámetros serían: 48 m/s y 1,75 kgm.

Resulta obvio que una bala disparada verticalmente hacia arriba regresa a la tierra con considerable capacidad de daño; no es como el agua de lluvia.

Ver tablas de características de la munición en la página siguiente

q) Trayectoria

El comportamiento de un proyectil desde que abandona el arma hasta que alcanza el blanco está incluido en el estudio de la balística exterior (movimiento del proyectil mientras se encuentra en vuelo). Para predecir el recorrido de dicho elemento a través del aire, deben considerarse, como ya se ha expresado, factores tales como la gravedad, el viento, la densidad del aire, la temperatura y la curvatura de la Tierra. Cuando no pueda calcularse una fuerza, debe hacerse una estimación, a fin de considerar el efecto que tendrá sobre el proyectil en su vuelo y corregirlo.

CARACTERÍSTICAS DE LA MUNICIÓN .22 L.R. Y .32 S&W, PRODUCIDA POR LA "D.G.F.M."

Calibre	.22 L.R. "PS"	.22 L.R. "AV"	.22 L.R. "PHAV"	.22 L.R. "Competición"	.32 S&W Largo
Tipo	Largo Rifle	Largo Rifle Alta Velocidad	Largo Rifle Punta Hueca Alta Velocidad	Largo Rifle Competición	Largo
Longitud cartucho (mm)	25,15	25,15	24,95	24,90	32,5
Peso cartucho (gr)	3,46	3,46	3,27	3,38	9,74
Identificación cartucho	Sigla "FM" estampada en el culote				
Longitud bala (mm)	12,27	12,27	12,20	11,80	15
Peso bala (gr)	2,46	2,46	2,45	2,58	6,35
Material bala	Aleación plomo antimonio				
Longitud vaina (mm)	15,40	15,40	15,40	15,40	23,37
Peso vaina (gr)	0,72	0,72	0,72	0,72	2,9
Material	Latón Cu 70% - Zn 30%				
Pólvora	Monobásica tipo A-22 n	Monobásica tipo A-22 a			Monobásica tipo A-23
Iniciador	No oxidante - no corrosivo				
Velocidad (m/s)	340	376	360	360	222,5
Presión (bares)	Menor 1500	Menor 1820	Menor 1500	Menor 1100	Menor 800
Energía (Joule)	152	174	160	115	157

CARACTERÍSTICAS DE LA MUNICIÓN 9 x 19 mm; 9 x 17 mm; 11,25 x 23 mm Y .38 SPECIAL, PRODUCIDA POR "D.G.F.M."

Calibre	9 x 19 mm "C"	9 x 19 mm "T"	9 x 17 mm	11,25 x 23 mm	.38 Special
Tipo	Común	Trazante	Corto	Común	
Longitud cartucho	29,7	29,6	24,9	32,4	38,85
Peso cartucho (gr)	12	12,4	9,77	21	15,2
Identificación	FMK 5 Mod O Periferia de cápsula roja	FMK 2 Mod O Periferia de cápsula roja y punta proyectil roja	Periferia de cápsula color violeta	FMK 1 Mod C Periferia de cápsula violeta	Periferia de cápsula violeta
Longitud bala (mm)	15,7	17,3		16,8	17,9
Peso bala (gr)	8	7,18	6,15	14,9	10,25
Material bala	Plomo antimonioso con camisa de latón Cu 90% Zn 10%	Plomo antimonioso con camisa de latón y cápsula interior con sustancia trazante	Plomo antimonioso con camisa de latón Cu 90% Zn 10%	Plomo antimonioso con camisa de latón Cu 90% Zn 10%	Plomo antimonioso
Longitud vaina (mm)	19,1	19,1		22,8	28,8
Peso vaina (gr)	3,9	3,9		5,5	4,5
Material vaina	Latón Cu 70% - Zn 30%				
Pólvora	Monobásica tipo A 22		Monobásica	Monobásica Tipo A2	Monobásica Tipo A23
Cápsula	No corrosiva - No oxidante				
Velocidad	V 12,5:345	V 2:340	V 2:274	V 2:248	V 2:255
Presión	2800 Kg/cm^2	2800 Kg/cm^2	Menor 1500 Bares	1340 Bares	Menor 1000 Bares
Energía (Joule)	476	415	230	(a 25 m) 458	(a 2 m) 333

r) Movimientos horizontales y verticales

Idealmente, un arma no debería moverse en ninguna dirección; sin embargo, algunos movimientos de este tipo son inevitables. Por ejemplo, un arma larga y delgada siempre se inclina un poco, pero al ser disparada la presión interna la endereza algo. Todos estos movimientos son indeseables por cuanto cambian ligeramente la dirección y perjudican la precisión.

El cambio en la dirección (que sería la que indica el eje longitudinal del cañón) es llamado salto. En la mayoría de los casos el arma *salta* sustancialmente de la misma manera para cada disparo, lo cual debe ser tenido en cuenta al apuntar. Este salto puede ser imaginado como una rotación efectiva del eje del cañón en el proceso del disparo, aunque realmente es un fenómeno más complicado. Con armas bien diseñadas y emplazadas, estos movimientos son extremadamente pequeños y se salvan corrigiendo la elevación para el alcance máximo.

s) Las ecuaciones de la balística exterior

Coeficiente de rozamiento - $Cr = K_r\ p\ v^2\ d^2$

Elevación: $L = p\ d^2\ v^2\ K_l$ sen y'

Momento: $M = p\ d^2\ v^2\ K_m$ sen y cos y

"p" = densidad del aire

"d" = diámetro de la bala

"v" = velocidad del proyectil

"y" = ángulo de desvío (es decir, el ángulo entre el eje longitudinal del proyectil y la dirección de progresión de éste)

"K_r", "K_l" y "K_m" = coeficientes de rozamiento, elevación y monto, respectivamente.

Teniendo en cuenta que el proyectil considerado no tiene desvío, tres factores afectan el rozamiento:

– presión del aire en la nariz del proyectil; es una fuerza que va por detrás;

– fricción superficial del aire sobre los laterales del proyectil; este factor varía con la suavidad de la superficie de la bala;

– rozamiento en la base provocado por la turbulencia creada en el aire.

El primer factor se ve reducido por la forma aerodinámica de la punta.

El segundo factor se reduce eliminando las rugosidades de la superficie del proyectil; una bala encamisada, si es suave, reduce la fricción del aire.

El tercer factor se reduce haciendo más cónica la forma de base del proyectil (cola de bote).

Las consideraciones vertidas indican que, desde el punto de vista de la balística exterior, la mayoría de las balas para arma corta son abominables en cuanto a su forma. Cada factor que incide en el rozamiento parece haber sido colocado en ellas: puntas u ojivas planas, sin forma aerodinámica; superficies laterales acanaladas por cinturas de engrase; bases planas y perforadas en otros casos (o ahuecadas). Está claro que las balas para armas cortas no están diseñadas para disparos de largo alcance; cuando se las emplea dentro de las distancias para las que sí son específicas, acusan remarcada precisión.

Asumamos que un proyectil es disparado desde la boca del cañón en una dirección que es paralela a la superficie de la Tierra.

A partir de allí pueden designarse los variados componentes del patrón de vuelo o trayectoria: "h", altura de la boca del cañón respecto del piso; "y", altura del proyectil respecto del piso en cualquier momento dado; "y", altura del proyectil respecto del suelo en el instante en que abandona el arma (y = h); "Vo", velocidad inicial del proyectil; "v", velocidad en un punto específico de la trayectoria; "x", recorrido horizontal del proyectil; "xi", distancia horizontal de impacto en el piso; "g", aceleración de la gravedad; "m", peso de la bala.

$$x = Vo\ t \qquad\qquad y = h - g\ (t^2/2)$$

La curva de la trayectoria en el vacío es:

$$y = h - (g/2\ Vo^2)\ x^2$$

La forma es una parábola.

El punto de impacto "xi" que es el valor de "x" cuando "y" es cero es:

$$xi = \sqrt{}\ Vo\ 2\ h/g$$

El tiempo de vuelo "ti" es el valor de "t" cuando "y" es cero:

$$ti = \sqrt{2\ h/g}$$

El ángulo de impacto en el piso "i" es:

$$\text{tangente}\ i = \sqrt{2\ gh/vo}$$

Asumamos ahora que el arma está apuntada hacia arriba con respecto al horizonte y que el proyectil toma un curso de similares características. El ángulo de inclinación hacia arriba cuando el proyectil abandona el arma será designado α_0, luego:

$$x = Vo\ t \cos \alpha_0$$
$$y = Vo\ t \operatorname{sen} \alpha_0 - 1/2\ g\ t^2$$

La forma de la trayectoria será:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_0 - g\ x^2/2\ Vo^2 \cos^2 \alpha_0$$

La forma es una parábola. La cima de la trayectoria es xc, yc:

$$xc = (Vo^2/g) \operatorname{sen} \alpha_0 \cos \alpha_0$$
$$yc = (Vo^2/2\ g)\ \operatorname{sen}^2 \alpha_0$$

El tiempo de vuelo a la cima es "tc":

$$tc = (Vo/g) \operatorname{sen} \alpha_0$$

Si hacemos y = cero, entonces la distancia "xi" es:

$$xi = (2\ Vo^2/g) \operatorname{sen} \alpha_0 \cos \alpha_0$$

El tiempo de vuelo "ti" es:

$$ti = (2\ Vo/g) \operatorname{sen} \alpha_0$$

El alcance y el tiempo de caída en la cima duplican lo que se podría esperar de una trayectoria simétrica.

t) Métodos de medición de la velocidad de un proyectil

1. Péndulo balístico

Se trata de la forma más simple y sencilla de medir, lo más acertadamente posible, la velocidad inicial de un proyectil disparado con arma de fuego. Consiste en un sistema mecánico compuesto por un gran bloque de madera de masa "M", que cuelga verticalmente de dos cuerdas.

Un proyectil de masa "m" que avance con una velocidad horizontal "v" chocará contra él y se incrustará en su interior. Si el tiempo de choque (el tiempo requerido para que la bala quede en reposo con respecto al bloque) es muy pequeño en comparación con el de oscilación del péndulo, las cuerdas que lo sostienen quedan aproximadamente verticales durante el choque. Por consiguiente, no obra ninguna fuerza externa horizontal sobre el sistema y se conserva el componente de igual tipo de la cantidad de movimiento.

La velocidad "Vs" del sistema después del choque es mucho menor que la del proyectil antes del mismo. Esta velocidad final se puede determinar fácilmente, de modo que la original del proyectil se puede calcular a partir del principio de la conservación de la cantidad de movimiento.

La cantidad de movimiento inicial del sistema es la del proyectil (masa por velocidad = mv) y la cantidad de movimiento del sistema apenas terminado el choque es (m + M) Vs, de modo que:

$$mv = (m + M)\ Vs$$

Una vez que termina el choque, el péndulo y la bala oscilan hasta una altura máxima "y", en donde la energía cinética que quedó después del impacto se convierte en energía potencial gravitacional.

Entonces, aplicando el principio de la conservación de la energía mecánica para esta parte del movimiento, obtenemos:

$$1/2\ (m + M)\ Vs^2 = (m + M)\ g\ y$$

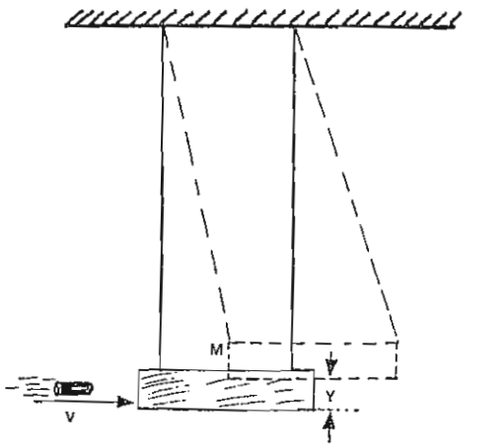
Despejando "v" de esas dos ecuaciones, obtenemos:

$$v = \frac{m + M}{m} \cdot \sqrt{2\ g\ y}$$

Por consiguiente, se puede determinar la velocidad inicial del proyectil si se miden "m", "M" e "y".

2. Cronógrafo balístico

Sin duda el cronógrafo balístico es el instrumento actual de medición, de velocidades iniciales, o no, de proyectiles disparados con armas de fuego, gas comprimido o acción neumática.



Cronógrafo balístico

Los hay de diferentes formas y variada tecnología, pero, por lo general, el conjunto consiste en dos pantallas separadas por una determinada distancia. Cada pantalla está constituida por un marco de cuya parte superior e inferior (o superior solamente) emerge luz, formando una pantalla luminica. Mediante un complicado circuito electrónico cada pantalla detecta el paso del proyectil disparado, transmitiendo tal información a un procesador que automáticamente (o mediante cálculo posterior) arroja un valor numérico que implica el valor de la velocidad del elemento actuante.

IV. Balística de efecto

a) Conceptos generales

El objetivo final de un proyectil es impactar en el punto deseado por el tirador, y el sentido común parece decirnos que cuanta más velocidad y peso lleve éste, más energía será capaz de transportar y ceder. Estamos en lo cierto: cuando estudiamos física aprendimos que la energía cinética o fuerza viva de un cuerpo en movimiento es directamente proporcional a su masa y al cuadrado de su velocidad **($Ec = v^2/2$)**, lo cual, aplicado a un proyectil en movimiento: nos dice que cuanta más velocidad lleve, más energía es capaz de transportar.

Cómo optimizar ese transporte ya sabemos que viene dado por el coeficiente balístico. Cómo poder aprovechar completamente esta energía lo dirá la balística de efecto.

Empieza en el mismo momento del impacto, y las balas se construyen según el propósito perseguido, optimizando o degradando sus coeficientes balísticos, independientemente de que los materiales con que están construidas varíen también en función de su finalidad.

Matizando, tenemos balas con fines militares: son aquellas totalmente blindadas que ofrecen el mejor coeficiente balístico posible. Interesa su poder penetrante en cualquier modo y no se hace nada por potenciar sus efectos letales en el cuerpo humano.

En lo que atañe a los proyectiles de caza, el fin perseguido es muy concreto: cobrar la pieza con la mayor efectividad y el menor sufrimiento para ésta; por lo tanto, junto al mayor coeficiente balístico posible, se diseñan las balas para que tengan la propiedad de que, al momento del impacto, se deformen, aumentando su diámetro para que así pueda aumentarse la transferencia de energía. Ésta es máxima cuando el proyectil queda alojado en la pieza a cobrar.

Por lo tanto, interesa que el impacto y la consiguiente deformación del proyectil sean tales que el efecto conseguido cause traumatismo y *shock* inmediato como para que, aun no interesando ningún órgano vital, la pieza quede abatida para no levantarse más.

La deformación del proyectil, deseablemente en forma de hongo, se consigue generalmente construyendo éste con su punta parcialmente hueca y desprovista del blindaje que necesariamente ha de llevar el resto, para que, al conseguir velocidades por encima de los 400 metros por segundo, no se deteriore la precisión ni se emplome el cañón. Para la deformación del proyectil hace falta un mínimo de velocidad en el momento del impacto, la que no debe ser inferior a los 600 m/s, la cual, junto con la consistencia del tejido impactado (músculos, huesos, vísceras, etc.), conformarán la deformación.

Otro tipo de proyectil, concretamente el de defensa personal, debe estar construido de tal forma que su impacto debe dejar incapacitado para toda acción ofensiva al agresor, sin que para ello haya que elegir necesariamente el lugar del impacto ni matar al agresor. Entendemos la defensa personal llevada a la necesidad de disparo contra otro ser humano cuando existe peligro inmediato real e irreversible –de no hacer nada por evitarlo– de nuestra propia vida y que la acción de disparo sea la única alternativa posible de defensa.

Existe una fórmula que nos dice que el poder de detención de un proyectil viene dado por el producto resultante de la energía remanente por la superficie frontal de éste; Pd (poder de detención) = E (energía en kilográmetros, x S (superficie en cm^2) por lo que a igualdad de velocidad remanente, el proyectil que presente mayor superficie frontal (peor coeficiente balístico) tendrá mejor poder de detención.

Resumiendo: en arma corta, por tener limitada la velocidad el poder de detención se optimiza con proyectiles de grandes diámetros y punta chata. En los fusiles, para cortas distancias, también; y para las largas, los proyectiles dotados de alta velocidad y punta hueca son los más aconsejables. En cualquier caso, si bien la velocidad es un factor muy importante, el peso también debe ser tenido en consideración.

La balística de efecto, también llamada *balística terminal,* concierne en sí misma a efectos de los proyectiles en los blancos, sean éstos hombres, animales o estructuras físicas no vivientes. La ciencia de la balística terminal está mucho menos avanzada que la balística interior o la exterior, dado que el estado del arte de la instrumentación no permite todavía recolectar información extensa y confiable.

Los efectos instantáneos que ocurren cuando un proyectil choca contra un blanco presentan al científico balístico un factor de tiempo en sus observaciones que es muy difícil de manejar.

Los fenómenos que a continuación vamos a tratar están vinculados con los siguientes temas:

a) el impacto, la penetración o perforación de un órgano, tejido, cuerpo o estructura física tal como una pierna, una pared de concreto o la puerta de un automóvil;

b) fragmentos secundarios en movimiento dentro del blanco, por acción del proyectil actuante, tales como trozos de hueso o mampostería.

Un blanco blando es un cuerpo viviente. Un blanco duro sería un ladrillo o una pared de cemento. También son blancos duros las puertas de los vehículos.

PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN EN MADERA DE PINO Y VOLUMEN DEL CANAL QUE FORMA EL PROYECTIL, PARA ARMAS DE PUÑO DISPARADAS A UNA DISTANCIA DE 50 METROS (*)

Arma	Proyectil	Calibre	Profundidad (cm)	Volumen (cm^3)
Pistola o revólver	plomo	.22 LR	12,6	3,10
Revólver	plomo	.380	7,6	4,85
Pistola	encamisado	.380	8,3	5,30
Revólver	plomo	.38 Spl.	13,4	8,40
Pistola	encamisado	9mm Luger	15,3	9,90
Revólver	plomo	.44 Spl.	13,8	13,20
Pistola	encamisado	.45 ACP	13,7	13,70
Revólver	plomo	.357 Magnum	29,0	18,50
Revólver	plomo	.44 Magnum	36,0	34,20

(*) Bock-Weigel, 1968.

Las variaciones en el complejo de reacciones que reúnen una respuesta balística terminal de un proyectil resultan de:

a) diferencias en el blanco;

b) características de la bala;

c) un grupo frustrante de imponderables.

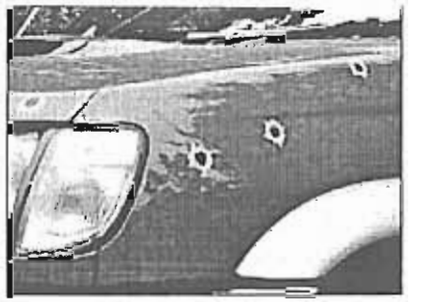
Para una muy cuidadosamente controlada serie de disparos experimentales habrá muchos grados de afectaciones o daños del blanco. Es por ello que en balística terminal la investigación implica mucha evaluación estadística. Un punto importante a tener en cuenta respecto de este tema es que los valores cuantitativos son promedios con distancias y desviaciones estándar que pueden ser grandes.

b) Blancos sin vida

Puertas de coches, ventanas con vidrios o mampostería son blancos que usualmente se ven afectados por el accionar de proyectiles disparados con armas de fuego. Todos ellos están compuestos por materiales

que ofrecen cierta resistencia que previene o inhibe su penetración o perforación. Los materiales tales como el vidrio, el metal o la madera, por ejemplo, pueden resultar atravesados por un proyectil cuando una porción de ellos es arrojada de la estructura y el elemento pasa a través del orificio resultante. El metal de la puerta de un rodado puede resultar desplazado y formar *pétalos* que permitan el pasaje del proyectil.

La penetración sin perforación puede concluir en la formación de protuberancias, hoyos y tacos (efecto de sacabocado o similar) que recién comienzan y no han sido expulsados completamente; en estos casos el proyectil suele permanecer en el interior de la estructura.



Impacto de proyectiles en vehículo

Las siguientes propiedades físicas de un blanco influyen en el efecto del proyectil sobre el mismo:

1) dureza o capacidad del material para prevenir hundimientos, marcas, etcétera;

2) flexibilidad o capacidad del material componente del blanco para absorber energía antes de romperse;

3) ausencia de defectos locales tales como nudos en la madera, zonas delgadas en el metal, o burbujas de aire en el vidrio.

Para un material específico de proyectil y blanco, la penetración promedio se incrementará con la velocidad de impacto del elemento actuante. En el caso de una pared de concreto, puede ocurrir el desgranado, o sea, la eyección de fragmentos de la cara (superficie) de la estructura opuesta al punto de impacto, lo cual es similar al astillamiento en el metal. Si el desgranado o desmembramiento ocurre, el grado de penetración crece rápidamente con el aumento de velocidad.

c) Formación de orificios de bala en láminas de acero

Murr y Foltz (1970), en su descripción de la formación de un orificio en acero producido por proyectiles calibre .22 LR muestran el desprendimiento de una tapa procedente del centro del mismo y el despliegue de *pétalos* de metal alrededor de la periferia, para completar el proceso. En su modelo, por supuesto, se describió la situación ideal.

Se han hecho experiencias de disparos con calibres más grandes, tomando como inicio el modelo indicado, utilizándose para ello acero laminado y una distancia de 27,4 metros (30 yardas). En tal oportunidad se midieron los diámetros de los orificios resultantes, luego de ello se reparó cada perforación del lado por donde saliera el proyectil (superficie opuesta a la de entrada), mediante el aplanamiento del sector afectado, lo cual dio origen a orificios menores en cada zona central dañada. La diferencia entre las medidas originales y las posteriormente registradas de las perforaciones más pequeñas arrojó en cada caso el diámetro de los defectos existentes en la lámina de acero, causados por la acción de sacabocado del proyectil, consistente en un pequeño círculo metálico.

Calibre	Longitud cañón (pulgadas)	Orificio fresco (pulgadas)	Orificio aplanado (pulgadas)
.45 Colt	6	.63	.34
.44 Magnum	6	.47	.28
.357 Magnum, 110 grains	4	.41	.16
.357 Magnum, 158 grains	4	.41	.28
.38 Sp. Super Vel.	4	.41	.25

La siguiente tabla sintetiza los resultados:
Los diámetros de los defectos son:
.45 Colt - .29 pulgadas
.44 Magnum - .19 pulgadas
.357 Magnum, 110 *grains* - .25 pulgadas
.357 Magnum, 158 *grains* - .13 pulgadas
.38 Special Super Vel - .15 pulgadas
(Estos diámetros son coincidentes con los de los discos metálicos expulsados por la acción del proyectil).

Por su parte, un disparo de 9 mm Luger con una pistola semiautomática Browning arrojó un defecto de .16 pulgadas.

¿Posee algún efecto la longitud del cañón sobre la formación de un orificio producido por un proyectil que atraviesa acero laminado? Se dispararon balas calibre .38 Special, de plomo y con punta redondeada, de 150 *grains* de peso, a una distancia de 27,4 metros, sobre acero laminado utilizado en automóviles modernos. En la oportunidad se utilizaron revólveres de 2, 4 y 6 pulgadas, respectivamente.

Los orificios frescos que se formaron estuvieron dentro de los siguientes promedios:
- cañón de 6 pulgadas .53 pulgadas;
- cañón de 4 pulgadas .53 pulgadas;
- cañón de 2 pulgadas .56 pulgadas.

Cuando se acomodó el material para reparar los orificios, no apareció ningún defecto, es decir, no surgió ningún orificio central.

Sin embargo, en cada caso fue claramente visible una tapita abovedada pegada al metal en la zona de impacto; las mismas no se encontraban quebradas y no eran concéntricas con el orificio. El diámetro promedio de dichos elementos era de .24 pulgadas. Consecuentemente puede decirse que, con este tipo de balas de plomo de relativamente baja velocidad, se formó una tapa (en forma de gorra) muy distintiva cuando el elemento atravesó la lámina.

Dicha tapa encajaba sobre el extremo ojival del proyectil. El resto del metal alrededor del orificio se evertió para dar origen a una perforación cuyo diámetro varió entre .53 y .56 pulgadas. Esta eversión del material consistió en desgarros irregulares.

Proyectiles de mayor velocidad y calibre removieron discos metálicos del centro del orificio y los bordes evertidos de este último adoptaron la forma de rulos.

d) Energía de impacto

A pesar del número significante de excelentes reportes técnicos que pueden obtenerse respecto de la biofísica de la herida y de las leyes básicas de la física vinculadas con la balística, hay todavía informes o aseveraciones no entendidas e irresponsables, como la siguiente: "...Las tablas balísticas de fabricación y muchas 'autoridades' que derivan su pericia o habilidad de allí, toman sólo en cuenta la masa y la velocidad que obtienen a través de la fórmula $E = MV^2/2$, para obtener la energía cinética del proyectil en determinadas unidades". "La fórmula de energía reditúa un cálculo muy exacto y satisfactorio que, desafortunadamente, es virtualmente inservible excepto su inclusión en otra fórmula para determinar el retroceso (culatazo o reculada). Ciertamente, nada tiene que ver con la efectividad del proyectil en el blanco" (Josserand y Stevenson, 1972).

El rol crucial de la energía de impacto en la efectividad de un proyectil ha sido repetidamente demostrado, por lo tanto, es un tema de seria disputa.

e) Huella del proyectil

Empíricamente uno está conducido a concluir que el volumen de la cavidad de la herida originada por un proyectil varía directamente con la impresionante o llamativa velocidad de ese elemento, sin importar su forma. Una suposición en esa consideración es que el proyectil penetra pero no perfora el blanco. La ecuación general para expresar la relación es:

$$E = MV^2/2g$$

En ella, "E" es la energía terminal o de choque; "M", el peso de la bala en gramos; "V", la velocidad en metros por segundo o pies por segundo, al momento del impacto, y "g", la constante de gravedad que es igual a 9,8 m/s^2 (o 32 pies/segundo al cuadrado).

Con la suposición de que el proyectil es retenido en el blanco y no lo traspasa, los argumentos algo acalorados a menudo sobre proyectiles de punta perforada contra otras configuraciones para los mismos, tienen sentido limitado. La forma de la bala sólo es importante en cuanto sirva para mantener el elemento dentro del blanco y prevenir su perforación. Un proyectil que finaliza su vuelo dentro del objetivo apuntado expande toda su energía en ese punto (capacidad de realizar trabajo o daño), en el blanco (Corner, 1950; Hunt, 1951; Heigel, 1953).

f) El canal de la herida

El canal o cavidad hecha por un proyectil cuando pasa a través de carne o elemento de consistencia similar da una indicación razonable de la capacidad para herir del mismo. Cuando un proyectil pasa entonces a través de carne, ocurren tres resultados:

1) se forma una cavidad temporaria y tiende a pulsar o vibrar, provocando daño en los tejidos circundantes;

2) una zona de escape o fuga de sangre en los tejidos que rodean la cavidad;

3) una cavidad permanente, que es menor a la temporaria.

La cavidad permanente, así como también la zona de fuga de sangre, se forman después de la cavidad temporaria. La permanente no es idéntica en configuración a la del túnel hecho por un proyectil del diámetro del que pasa a través de la carne. El diámetro de este canal tiende a ser más grande en el comienzo de la cavidad y menor cerca de su final.

La zona de escape o fuga de sangre (a veces llamada zona de extravasación) permanece circundando la cavidad permanente. Esta zona es producida por las energías que forman el canal temporario; allí, los vasos sanguíneos, nervios y otras clases de tejidos son severamente dañados. Los cirujanos encuentran necesario extraer la mayor parte de este tejido en heridas severas, a fin de prevenir que el tejido muerto se transforme en una constante fuente de infección para la víctima.

El volumen de la cavidad permanente varía directamente con la energía transferida del proyectil al tejido. Sellier (1969) ha sugerido la siguiente ecuación para el cálculo de volumen de las varias zonas referidas anteriormente:

$$V = k\ Eab$$

"V" es el volumen de la zona en cuestión; "Eab" es la energía absorbida por los tejidos, y "k", una constante que varía con la zona en cuestión.

El valor de "k" es, para la cavidad permanente, 0,30 cm^3/mcp; para la zona de fuga de sangre 3,5 cm^3/mcp, y para la cavidad temporaria, 7,7 cm^3/mcp; "m" es la masa del proyectil; "c" es el calibre, y "p" la presión. Estos valores están empíricamente determinados para el tejido muscular.

Se ha determinado que el valor de "k" para la cavidad temporaria desarrollada disparando en un tanque de agua, es de 87. La *performance* del proyectil en agua no es idéntica a la de la carne.

En la carne, el volumen de la cavidad temporaria es veintiséis veces más grande que el de la permanente (Sellier, 1969).

El diámetro máximo de la cavidad no es constante a lo largo de la extensión del canal; éste tiene forma de cono o embudo. En los puntos de mayor velocidad del elemento, el diámetro del canal es más grande y viceversa. La relación entre el diámetro ("D") de la cavidad temporaria y los varios factores es la siguiente:

$$D = \sqrt{4/\pi\ .\ k\ .\ 2a\ .\ E}$$

"k" es la constante referida anteriormente; el valor "k" para el tejido muscular es de 7,7 cm^3/mcp; "E" es la energía absorbida del proyectil; "2a" es un factor que cuenta para la energía absorbida por centímetro de pasaje de proyectil.

El diámetro de la cavidad temporaria o de la permanente en cualquier punto dado del canal no depende del total de energía absorbida sino más bien de la cantidad de energía absorbida por centímetro de pasaje del proyectil (2aE). Es obvio que la energía remanente en el proyectil al final de su paso a través del tejido es baja.

El diámetro de las cavidades temporaria y permanente será pequeño, quizá no mayor que el del proyectil (ahora deformado en mayor o menor extensión) que pasa a través del tejido. Dado que bajo estas condiciones no se forma ninguna zona de fuga de sangre, a menudo es difícil encontrar el elemento actuante en lo que parece ser tejido normal.

Asumamos que dos proyectiles que tienen el mismo calibre han sido disparados sobre carne o elemento de consistencia similar, y que tenemos la misma absorción de energía por centímetro de pasaje a través del blanco. Luego asumamos que las energías en la boca del cañón del arma son idénticas, por lo tanto "aE" es la misma para cada proyectil. Veremos entonces que el diámetro de la cavidad temporaria será el mismo para cada disparo.

Ocurre una situación interesante si uno compara dos proyectiles que tienen la misma energía pero diferentes calibres. El de calibre más pequeño tiene un peso menor pero necesariamente una velocidad mayor (para igualar la energía del que posee calibre y peso menores) que el

restante. El proyectil de calibre más pequeño tendrá un valor superior para "a": ésta es proporcional a "S", la cual iguala al peso dividido por la superficie del corte vertical del proyectil ($\pi/4$ x calibre al cuadrado). Este último valor es más pequeño para el proyectil de calibre más chico. El valor "2aE", que expresa la energía absorbida, es mayor para el calibre más pequeño, a pesar de la igualdad de energías en la boca de ambos proyectiles. Este resultado está basado en el valor al que es absorbida la energía de ambos elementos, a medida que se desplazan por el canal de la herida. Si ambos penetran pero no perforan, toda la energía de cada uno irá dentro del blanco.

g) La fórmula de Hatcher sobre el poder de detención relativo

El general Hatcher, renombrado militar experto en armas de puño, desarrolló una fórmula para comparar la efectividad de varios cartuchos para armas cortas, uno con otro en una escala relativa (no absoluta) (Hatcher, 1935). Al factor de efectividad obtenido de su fórmula lo llamó "poder de detención relativo" del proyectil (PDR). La fórmula es simple:

$$PDR = a \cdot m \cdot s$$

"a" es la superficie del corte transversal del proyectil; "m" es la cantidad de movimiento, y "s", la forma del proyectil.

En el trabajo original de Hatcher la cantidad de movimiento se obtenía de la siguiente manera:

$$m=Ek/V$$

O la energía era dividida por la velocidad:

$$(1/2\ m\ v^2)/V.$$

Está claro que por este método uno obtiene solamente la mitad de la cantidad de movimiento, error que aparentemente en forma inconsciente se le deslizó a Hatcher. Por los propósitos de la fórmula, por ejemplo, una escala relativa para comparar cartuchos, el error puede no importar, asumiendo que el mismo error ocurre en los valores de PDR de todos los cartuchos que se comparen.

La superficie del corte transversal del proyectil se obtiene rápidamente así:

$$a= \pi r^2$$

El área o superficie será igual al producto de π (3,1416) por el radio al cuadrado. Para medir el diámetro del proyectil se puede emplear un calibre y la mitad de ese valor dará el radio.

La forma del proyectil está expresada mediante el empleo de un "factor de forma" arbitrario, conforme al siguiente detalle:

Aspecto del proyectil	Factor de forma
Punta redonda, encamisada	0,90
Punta roma encamisada; también punta redonda de plomo	1,00
Proyectil de plomo punta roma (.44-40)	1,10
Punta roma *wadcutter* (sacabocado), de plomo	1,25

Los factores expresados generalmente son multiplicados por 1000 antes de su uso en la fórmula, por lo tanto el PDR será un número entero.

Hatcher no hizo especificaciones respecto de las balas encamisadas expansivas. Miller (1975) sugirió un método para manejar el asunto:

1) si el proyectil encamisado adquiere forma de hongo (por deformación) en forma similar al slug de plomo de igual calibre, masa y forma, el factor de forma debería ser considerado igual que para el proyectil de plomo;

2) si la bala encamisada se expande bien, se le dará el valor 1,25 como factor de forma.

h) El denominado poder de detención ("stopping power")

El tema del poder de detención está rodeado de retórica y misticismo. Es difícil que estos aspectos no racionales del tema alguna vez sean desterrados. Sin embargo, es importante observar los puntos de vista teóricos más aceptables, a fin de tener alguna apreciación de cómo han sido clasificados los cartuchos respecto de la efectividad, por varios expertos. Sellier (1969) ha reseñado el tema con algún detalle. La siguiente discusión seguirá su argumentación.

Weigel (1962) sostiene que el efecto biológico de un proyectil es proporcional al volumen de la cavidad geométrica de la herida. Éste es un argumento razonable, basado en la premisa de que el tejido vivo es un sistema físico-químico que obedece a las leyes básicas de la naturaleza. El volumen de la cavidad de la herida representa la extensión del daño hecho al organismo en cuestión; a mayor daño, uno puede concluir que más efectivo es el proyectil.

En el trabajo de Weigel se emplearon tablas de pino como material de experimentación. Se encontró que la penetración "d" en este material podía ser descripta adecuadamente mediante la siguiente ecuación, donde "G" es el peso del proyectil:

$$d = 0{,}03 \cdot \frac{G.V^{3/2}}{k^2}$$

El valor de "d" debería ser multiplicado por el área frontal de la bala; "F", para obtener el volumen del canal del disparo; "V", en madera:

$$V=d.F \text{ y } F=\pi /4.k2$$

El volumen es independiente del calibre "k"; es proporcional a la acción biológica "w".

$$W=V=d.F$$

Este concepto es llamado por Sellier poder de detención.

La siguiente tabla arroja valores de "V" para diferentes cartuchos:

W≈ poder de detención					
Cartucho	W≈ V (pulgadas^3)	Pie-libras x pulgada^2	d (pulgadas)	Pie-libras (*)	F (pulgadas^2)
.32 LR	.06	1	3.2	54.	.02
.380	.15	6	3.7	156	.04
9mm Luger	.27	13	6.8	315	.04
.38 Spec.	.26	11	5.7	239	.05
.44 Magnum	1.0	79	17.3	1316	.06
.45 ACP	.41	26	5.9	373	.07
(*) Energía en boca.					

En el contexto de la tabla anterior, el poder de detención está definido como:

Poder de detención = E (pie-libras) x F (pulgadas cuadradas).

La unidad de poder de detención está definida en términos métricos como:

1 (poder de detención) = 1 mkp x 1 cm cuadrado.

Esta relación convierte a:

1 (poder de detención) = 7,233 pie-libras x .155 pulgadas cuadradas.

Por ejemplo, el 9 mm Luger tiene una energía en la boca del cañón de alrededor de 315 pie-libras y un área frontal de .04 pulgadas cuadradas. Por lo tanto, el cartucho tiene un poder de detención de: 315 x .099 = 13.

La energía cinética absoluta del proyectil no es el factor crítico en los efectos biológicos del disparo; la energía absorbida por el cuerpo es el factor significante. La energía no absorbida no puede trabajar para dañar tejido.

Cuanto mayor sea el área frontal del proyectil, mayor será el efecto de frenado. Como consecuencia, existe una mayor absorción de energía por parte del cuerpo, transmitida por el elemento actuante. El único efecto que produce la punta perforada es incrementar el frenado; los proyectiles semiencamisados de punta blanda están diseñados en la misma forma, para realzar el efecto mencionado.

Por lo tanto, es importante multiplicar la energía del proyectil por la superficie frontal (corte transversal) para obtener una medida del

efecto biológico. Ése es el poder de detención de acuerdo con el punto de vista de Sellier.

Obsérvese que el 9 mm Luger, el 7,63 mm Mauser y el .45 ACP tienen una energía en la boca de alrededor de 360 pie-libras. Los primeros dos cartuchos tienen balas que virtualmente exhiben la misma penetración y pierden casi la misma energía en el cuerpo, mientras que el .45 ACP, que posee un área frontal casi doble a la de cualquiera de los otros dos, permanece en el cuerpo, dejando en él toda su energía; su poder de detención es de 26.

Cowgill (1975) analizó el concepto del poder de detención relativo (PDR) como vinculado con la energía cinética del proyectil. Comparó el PDR de una determinada variedad de cartuchos para armas de puño, con las respectivas energías cinéticas entregadas a bloques de gelatina, por técnica gráfica. Surgieron en evidencia un número de aspectos cuestionables sobre el concepto de PDR. Por ejemplo, en la comparación gráfica el .44 Special, el quinto índice más grande de PDR, a pesar del hecho de que liberaba la cantidad más pequeña de energía cinética en el blanco. Dos deficiencias se convirtieron en obvias para el análisis de Cowgill:

1) el área frontal de la bala estaba dando demasiado peso en la fórmula PDR de Hatcher;

2) el factor de forma era arbitrario, al extremo de que demandaba una seria revisión.

Es verdaderamente desafortunado que para un número determinado de aficionados a las armas, la fórmula del PDR de Hatcher se haya convertido en un tema de creencia casi religiosa. Hatcher era un científico físico y, como tal, comprendió que sus conclusiones y generalizaciones serían necesariamente modificadas, adaptadas y realmente podían ser descartadas por científicos sobre la base de datos experimentales más nuevos.

El análisis de Cowgill (1975) es útil para forzar una nueva y objetiva mirada al concepto de PDR.

i) El criterio de la baja

La literatura militar da los siguientes valores para la energía necesaria para poner a un hombre fuera de combate, es decir, el mínimo de energía necesaria para producir una baja:

Fuente	*Energía, pie-libra*
Francia	29
Suiza	46
Alemania	58
Estados Unidos	58
Rusia	175

La notablemente alta estimación rusa no es fácilmente comprensible; no hay razón para concluir que las tropas rusas son mucho más resistentes a los efectos biológicos de las heridas provocadas por armas de fuego. El alto valor probablemente resulte de un único método de estimación sobre producción de bajas. Los valores obtenidos por los alemanes y los norteamericanos parecen ser los que más probablemente asumen un promedio de hombre, en términos de edad, contextura y estado psicológico.

j) Pérdida de energía

Luego de un disparo cercano con la pistola Colt .45, con una velocidad en la boca de aproximadamente 181 metros por segundo, en el corazón, se ha observado que el tejido muscular a una distancia de alrededor de 1 centímetro (0,4 pulgadas aproximadamente) de la pared del canal de la herida, no ofrece virtualmente cambios.

La velocidad se pierde tan rápidamente como el proyectil atraviesa las variadas estructuras del cuerpo. Este hecho debe ser tenido en cuenta cuando se evalúa la efectividad de un cartucho para un propósito específico. Por ejemplo, una bala calibre 9 mm Luger disparada en la espalda de un individuo mostraría el siguiente patrón de pérdida de energía a medida que se mueve a través del cuerpo: velocidad en la boca, 280 m/s; en piel de la espalda, 250 m/s; impacto en el hueso vertebral, 190 m/s; perforación del mismo, 170 m/s; cavidad abdominal, 110 m/s; perforación de la piel del estómago y salida, 60 m/s. El último valor es la velocidad residual del proyectil que se mueve más allá del blanco.

Está claro que este cartucho imprime a la bala una velocidad en la salida de 280 m/s; luego de atravesar el cuerpo queda aún una velocidad residual de 60 m/s, la pérdida por pasar a través de este blanco ha sido de 220 m/s, con una bala de 8,10 gramos, lo que implica una pérdida de energía en el cuerpo de 20 kilográmetros y una residual de 12,4 kgm del total original en la boca, que era de 32,4 kilográmetros.

Aparece aquí un punto interesante como resultado de la pérdida eficiente de energía de un proyectil de calibre grande, al pasar a través de un material que oficia de blanco. Si el mismo atraviesa una sustancia tal como el vidrio, lámina de metal, ropa, madera u otro material, antes de hacer impacto en el cuerpo, su pérdida de energía en el blanco preliminar puede resultar tan eficiente y por lo tanto tan grande su cantidad que podría no ser capaz de atravesar el cuerpo.

k) Volumen de la cavidad temporaria

Mediante cálculo es posible mostrar que el volumen de la cavidad temporal "V", en carne (o material de similar consistencia, como la gelatina), es proporcional a la superficie o área transversal "F" del proyectil, multiplicado por el cuadrado de la velocidad "V":

La anomalía de la penetración. En un estudio para comparar la efectividad del fusil 5 mm Magnum con el .22 Magnum de fuego anular, se llevaron a cabo experimentos de penetración en arcilla, con proyectiles disparados a una distancia de 46 metros y 95 metros, respectivamente (Lachuk, 1971).

La penetración del blanco fue mejor a la distancia más larga.

Experimentos llevados a cabo por el ejército con el calibre .30 dieron un patrón de comportamiento similar en arena y otros materiales similares, como arena seca, arena húmeda y tierra margosa o de moldeo (Hatcher, 1966).

Se ha sugerido que la deformación del proyectil cuando choca a la distancia más cercana es mayor. Por consiguiente, hay más resistencia a la distancia más próxima de penetración del blanco, por cuanto el proyectil se encuentra más deformado. También se ha dicho que la estabilidad del proyectil puede ser mayor a mayor distancia (factor que hace a la mejor penetración).

l) Cálculo de la penetración del proyectil (Cranz, 1921).

La penetración de un proyectil en el material de un blanco puede expresarse mediante la fórmula:

$$X = \frac{P}{2\pi R^2 bgi} \log \left(1 + \frac{bVo^2}{a}\right)$$

"X" es la profundidad total de la penetración; "Vo", la velocidad inicial al momento del impacto; "$R^2\varpi$", la superficie de sección transversal del proyectil; "a" y "b", constantes que dependen de la naturaleza del material que compone el blanco; "i", un coeficiente que depende de la forma de la punta del proyectil; "P/g", la masa de dicho elemento.

El tiempo "T" que le lleva al proyectil aludido penetrar totalmente tan lejos como pueda en el blanco está dado por la fórmula:

$$T = P/\pi R^2 \sqrt{giab^{i\pi\cdot 1}} \; (Vo \sqrt{b/a})$$

Los valores de "a" y "b" para materiales seleccionados son:

Material	*"a"*	*10^6 b/a*
Piedra caliza	12.000.000	15
Mezcla de albañilería	4.400.000	15
Enladrillado	3.160.000	15
Arena	435.000	200
Arcilla	1.045.000	35
Tierra	700.000	60
Roble	2.085.000	20

Los cálculos han indicado que en general para la tierra, madera y mezcla de albañilería, el valor de 10^6 b/a puede tomarse convenientemente como 50.

El coeficiente "i" es 1 para los proyectiles esféricos; para los convencionales de punta redonda es de 2/3.

Una fórmula simple pero relacionada con el tema de la penetración ha sido utilizada en Europa:

$$X = \frac{Pkf\ (V_0)}{4R2}$$

"X" es la profundidad de la penetración en metros; "P", el peso de la bala en kilogramos; "2R", el calibre en centímetros; "k", el coeficiente que depende de la naturaleza del material a penetrar.

Los valores seleccionados de "k" son los siguientes:

Piedra de mezcla para albañilería	0,94
Concreto	0,64
Enladrillado	1,63
Tierra arenosa	2,94
Tierra arcillosa	5,87

Hay una fórmula puramente empírica para la penetración, propuesta por Journeé (mencionada por Cranz, 1921). El empleo de esta fórmula permite la estimación de velocidad mediante la medición de la profundidad de la penetración del proyectil.

Journeé sostiene que si un proyectil penetra un abeto, se obtiene lo siguiente:

$$X = 0{,}000093\ d\ Vo2$$

"X" es la profundidad de penetración en centímetros; "d", el diámetro del proyectil en centímetros, y "Vo" es la velocidad en el momento del impacto.

En fórmulas como la del tipo referido anteriormente, uno no debe dejarse llevar por el impulso de atribuirles total precisión; deben ser consideradas como generalizaciones matemáticas, pudiendo brindar estimaciones. Pero aun almacenando información en computadoras, todavía dan aproximaciones. Es importante también que los ítems de cada ecuación vayan surgiendo sobre la base de la experimentación.

La anomalía de la penetración oportunamente referida fue observada por científicos balísticos franceses alrededor del año 1900, quienes notaron que las profundidades mayores de penetración tenían lugar a distancias significantes de la boca del cañón.

La peculiaridad observada está explicada por la compresión del proyectil que se mueve dentro del blanco a diferentes velocidades. Si su velocidad de impacto es grande, la compresión del proyectil incrementará la superficie del corte transversal del mismo. El efecto del cambio, en las fórmulas anteriores, ϖR^2 es más significativo que el rol de "a + b V^2". De tal manera, la resistencia al paso del elemento se ve muy incrementada y la profundidad de la penetración es menor. A bajas velocidades (como uno esperaría a mayores distancias boca cañón - blanco), aparece una compresión menor y el área seccional del proyectil se incrementa menos; ello se traduce en menor resistencia a la penetración.

m) Los cartuchos Magnum

Hay cierta mística que rodea a los denominados cartuchos y armas de puño. La palabra magnum proviene del latín y simplemente significa grande. Los cartuchos de este tipo son más grandes que los convencionales del calibre en cuestión y, por lo tanto, pueden llenarse con más pólvora.

El revólver y el cartucho .357 Magnum fueron desarrollados para satisfacer un requerimiento o demanda de un cartucho del tipo .38 Special que tuviese más energía para su empleo en la caza o a nivel policial. Lo mismo ocurrió con el .44 Magnum, desarrollados (arma y cartucho) a partir del .44 Special. Es importante aquí señalar que, a medida que la velocidad y energía del cartucho calibre .44 crecen, la precisión declina.

No deben confundirse los revólveres y pistolas Magnum con los fusiles Magnum. Estos últimos son armas potentes destinadas a la caza bajo condiciones especiales. Es realmente pasmosa su efectividad.

Por otra parte, las armas de puño Magnum, comparadas con los fusiles, poseen baja velocidad y energía. Por ejemplo, los valores promedio de energía en la boca del cañón de las primeras son los siguientes: .38 Special alta velocidad, 58,70 kgm; .45 Colt 56,70 kgm; .45 Automatic, 50 kgm. Nos hemos referido a las de calibre estándar; en cuanto a las Magnum, tales valores son: .357 Magnum, 96,70 a 117,50 kgm; .41 Magnum, 69,50 a 138,30 kgm; .44 Magnum, 159 kgm.

Los siguientes valores de fusiles Magnum muestran las diferencias dramáticas que existen: .357 H&H Magnum, 622,13 kgm; .378 Weatherby, 829,55 kgm; .460 Weatherby, 1106 kgm.

Aun los calibres ordinarios para fusiles ilustran las pronunciadas diferencias existentes respecto de las armas de puño, en relación con la energía (potencia) desplegada cuando el proyectil abandona el arma; veamos para ello los siguientes ejemplos: 6 mm Remington, 276,54 kgm; 30-30, 248,88 kgm; 30-06, 355,35 a 414,81 kgm; .32 Special, 253 kgm; .303 British, 336,70 kgm. Resulta obvio que el fusil ordinario es un arma mucho más potente que el arma de puño Magnum más efectiva. Por lo tanto, es importante no confundir la efectividad de unos con la de otros, ya que se encuentran en diferentes y claros órdenes de magnitud.

No es cuestionable que las armas de puño Magnum causen más daño (heridas) que las convencionales, siempre y cuando el tirador tenga la habilidad de acertar el disparo. Sin embargo, aun los fusiles ordinarios provocan heridas más serias que las armas convencionales o Magnum de cintura, a excepción de algunos fusiles obsoletos y otros de pequeño calibre.

n) Experiencia médica práctica con heridas producidas por armas de fuego

El tratamiento quirúrgico de heridas de armas de fuego en civiles ha confirmado (en EE.UU.) la clave del rol de la velocidad del proyectil. Los cirujanos que tratan tales heridas están interesados en la velocidad eficaz; es decir, la diferencia entre la velocidad de impacto del elemento y la velocidad que mantiene el mismo luego de atravesar el cuerpo. Obviamente, si el proyectil nunca abandona el cuerpo, no existirá velocidad residual de interés; la velocidad de impacto será, esencialmente, la velocidad eficaz (Amato y cols., 1974).

Con proyectiles de fusil que se mueven a 914 metros por segundo, el diámetro máximo de la cavidad temporaria es treinta veces la medida del proyectil original. La cavidad temporaria atraviesa un período de oscilación o pulsación que dura aproximadamente 5 a 10 milisegundos. En un órgano blando como el hígado, esta cavidad puede resultar más grande que en un músculo.

La velocidad es crítica también para la fractura de huesos; la experiencia quirúrgica sugiere que el umbral de velocidad para la fractura del hueso humano es de 61 metros por segundo (velocidad de impacto).

En un artículo titulado "Modelos de heridas producidas por proyectiles de fusiles militares", publicado en International Defense Review (1/89, pp. 59 a 64), realizado por Martin L. Fackler, se analizan los daños causados en tejidos blandos de organismos vivos por diferentes calibres y tipos de proyectiles de fusiles militares. El autor, un coronel médico del ejército de los EE.UU., es además director del Laboratorio de Balística de las Heridas del Instituto Letterman de Investigaciones del Ejército, que acumuló enorme experiencia durante el conflicto de Vietnam, donde se desempeñó como médico militar. Sus investigaciones y ensayos sobre modelos que ejemplifican tejidos orgánicos, utilizando rayos X y fotografías, constituyen un aporte significativo oportuno de comentar.

Uno de los temas tabú referidos a las armas militares es el del daño que causa un proyectil al hacer impacto y atravesar el tejido humano. Resulta obvio que el tema se haya considerado de tal manera en virtud de que las conferencias internacionales se preocuparon por poner límites al efecto de los proyectiles y armas antipersonales. Fackler, en colaboración con el médico forense Richard T. Mason, partió de dos presunciones:

1) los cirujanos que tratan daños causados por un proyectil, salvo raras excepciones, carecen en general de conocimientos prácticos en cuanto a los efectos causados por el mismo;

2) los intentos para completar esa información con fórmulas, gráficos, experimentos imperfectos, hipótesis inválidas y teorías basadas en verdades a medias (o sin verdades en absoluto), sólo han servido para aumentar la confusión.

En la historia de la medicina les correspondió a los cirujanos militares llegar a un conocimiento muy profundo del organismo humano, ya que sus pacientes eran generalmente hombres sanos heridos.

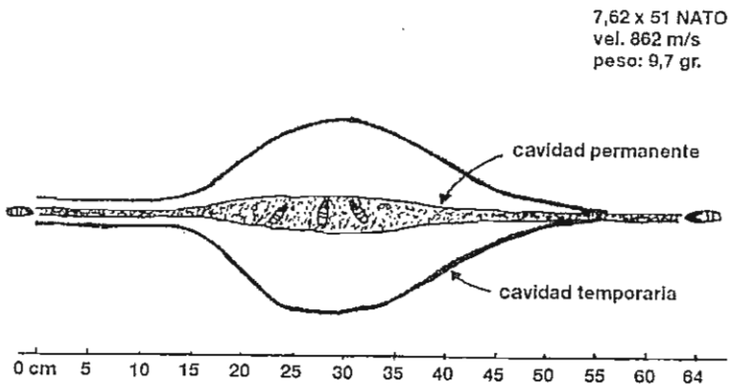
Cuando se analizan los efectos de un proyectil destinado a penetrar blindajes, por ejemplo, los ensayos pueden repetirse tantas veces como sea necesario hasta encontrar los materiales y perfeccionar la balística interior y exterior para que produzca el efecto deseado. Con las municiones antipersonales el diseñador conoce el proyectil hasta el momento en que hace impacto e ignora científicamente qué sucede después.

Para conocer el comportamiento del proyectil desde el momento en que hace impacto, Fackler utiliza un método llamado "perfil o contorno de la herida" (wound profile). A tal fin enuncia que los cortes describen el máximo desgarro que puede esperarse que un determinado proyectil produzca en el tejido elástico de un animal vivo, y agrega que la cavidad permanente indicada en los perfiles de las heridas es el orificio causado por el elemento al destruir el tejido contra el que choca, en tanto que la cavidad temporaria muestra la extensión aproximada del estiramiento de las paredes de este orificio unos pocos milisegundos después del pasaje del elemento actuante (muy parecido a una zambullida en el agua).

El patólogo forense, cuando estudia una herida de bala, debe establecer la dirección o el ángulo del disparo, la profundidad a la que penetró, la posición (desviado o recto) y la forma en que lo hizo (deformado, fragmentado), además de la distancia aproximada a la que se estiraron las paredes del orificio después de que el proyectil pasó (cavidad temporaria). Con esos datos puede comprender la mecánica de la herida.

En el artículo se grafican perfiles de heridas y se describen las características de los proyectiles más comunes empleados en la actualidad en fusiles militares. Esa información debería darle al cirujano militar alguna idea de qué esperar. Si la configuración de las heridas que actualmente trata difieren en forma significativa del perfil esperado, podría ser el primer indicio de un cambio en el arma o en el tipo de proyectil del enemigo. La figura ocasionada por la fragmentación de los proyectiles tal como se ve con los rayos X, o aun la forma del desgarro del tejido, como se observa en el cuerpo, puede compararse con la serie de perfiles de heridas para estimar el tipo de proyectil utilizado cuando el mismo haya atravesado completamente el cuerpo y no sea posible recoger el proyectil o algunos de sus fragmentos.

Fackler analiza las características de los proyectiles de fusil actualmente en servicio y hace una tipología de las heridas más comunes capaces de producir, refiriéndose a diversos cartuchos de origen soviético, yugoslavo, norteamericano, alemán, etc. A manera ejemplificativa se grafica a continuación el corte de herida de proyectil 7,62 x 51 mm versión norteamericana, que casi nunca sufre deformaciones al hacer impacto sobre tejido blando y que conserva su trayectoria a pesar de que pivotea sobre su eje longitudinal a partir de los 16 centímetros.



En el gráfico anterior se observa el recorrido y la cavidad permanente que produce el proyectil, con pequeños orificios de entrada y de salida.

El artículo de mención es categórico al señalar que la distancia que el proyectil de tipo militar recorre en trayectoria rectilínea antes de desviarse es crítica para los efectos del daño, y advierte que es importante reconocer cuánta variación de tiro a tiro, a esta distancia promedio, puede esperarse. Como ejemplo cita que el proyectil 5,56 mm se desvía a partir de los 6/15 cm en cada siete de diez disparos, por lo que la dispersión del 25% es una norma que puede aplicarse a los demás proyectiles, aunque dice que son incongruentes los efectos que se han notado en heridas causadas por el M 16 y otros proyectiles militares modernos, causa por la cual se imponen ensayos para determinar fehacientemente los daños que pueda causar cada tipo de elemento.

La masa del proyectil y la velocidad de choque establecen la potencia del mismo; fijan el límite de desgarro de tejido que puede producir. La forma y construcción del proyectil determinan qué parte de esa potencia realmente se emplea para desgarrar tejido; éstos son los mayores determinantes del efecto del proyectil.

Los proyectiles obsoletos de gran calibre utilizados a finales del siglo XIX y comienzos del XX, con punta redonda, fueron investigados también por Fackler, quien concluyó que recorren 50 cm de tejido antes de comenzar a desviarse, por lo que aun aquellos soldados con heridas en el pecho de lado a lado, en las cuales el proyectil no dio en el corazón (pero atravesó el pulmón), estarían en condiciones de reunirse con sus unidades en unas pocas semanas. Casi un capítulo aparte lo constituyen los nuevos tipos de cartuchos que se han desarrollado para el fusil de combate del ejército norteamericano en el programa ACR (advanced combat rifle - fusil de combate avanzado). En este aspecto el daño que pueden causar en el tejido humano los proyectiles para tales armas es información clasificada. Sin embargo, Fackler realizó sus propias especulaciones basado en sus conocimientos sobre proyectiles similares.

Los desarrollos de la munición del fusil ACR giran alrededor del proyectil de acero tipo flecha, estabilizado por aletas (Steyr-Mannlicher y AAI), los proyectiles dobles (.Colt) y la modalidad de tres disparos simultáneos a elevada cadencia (Heckler & Koch).

Sobre el proyectil tipo flecha expresa que produce una lesión mínima, ya que su estabilidad está dada por las aletas antes que por la rotación, y las aletas estabilizadoras trabajan igualmente en el tejido, manteniendo el proyectil apuntando hacia adelante. Recorriendo en esta posición causa un desgarro mínimo de tejido y casi no provoca cavidad temporaria.

En relación con la ráfaga de tiros simultáneos, que hacen impacto con unos pocos centímetros de distancia una de otra, cada proyectil pegara sucesivamente dentro de los 30 milisegundos en distancias de hasta 50 metros. Fackler predice que la primera pulsación de la cavidad temporaria (expansión y colapso) podrá durar de 10 a 12 milisegundos; varias pulsaciones de similar duración la seguirán. El tejido aún estará en movimiento en la cavidad temporaria, causada por la primera munición, cuando se produzca la segunda cavidad temporaria, y así la tercera.

Los ensayos mencionados por Fackler brindan alguna luz sobre el comportamiento de algunos tipos de proyectiles luego de que los mismos hacen impacto, información ésta para el médico que debe atender esas heridas, así como para el diseñador del cartucho.

No obstante ello, existe una limitación, y es que están circunscriptos a la consideración de un organismo tipo, compuesto únicamente por tejidos. La realidad puede ser muy diferente, ya que un proyectil, al hacer impacto y continuar su recorrido, probablemente encuentre en su camino elementos de diferente consistencia, tales como partes de uniforme, huesos, etc., que alteren no sólo la trayectoria sino que también pueden causar deformaciones y diferentes grados de fragmentación del proyectil, con la consecuente diferenciación en los daños. Cada herida es única, pero una tipología de los daños que causan diferentes proyectiles constituye una información de relevante importancia.

ñ) El rebote

El rebote de un proyectil es el salto, la botadura o el vuelo con un ángulo determinado, luego de haber impactado sobre un objeto o una superficie, pudiendo la misma ser dura como una roca, cemento o mampostería, y también la del agua.

El rebote es el comportamiento peligroso de todos los proyectiles. Los que poseen superficies duras, como los totalmente encamisados o con porciones de camisa agudas o penetrantes, tienden a rebotar fácilmente. Las balas de plomo blando o de mezclas quebradizas de este mismo material tienden a fragmentarse antes que desviarse de una superficie dura.

En general, la tendencia al rebote o desvío es mayor a medida que la velocidad del elemento decrece.0

El rebote puede ocurrir idealmente cuando un proyectil choca contra una superficie dura a un ángulo comprendido entre los 0 y 90 grados, con la horizontal. En una situación ideal (una bala relativamente dura con punta redonda que impacta en una superficie de dura consistencia), el ángulo que forma al desviarse de la superficie dura será igual al del impacto sobre tal superficie: el ángulo de impacto será igual al ángulo de rebote. La textura de la superficie y de la bala, así como también la elasticidad de ambos, actúan para modificar el ejemplo ideal. En experimentos prácticos el ángulo de desvío es menor que el de impacto.

Los proyectiles rebotan en la superficie del agua como si fuera una superficie dura. En un conjunto de pruebas realizadas en EE.UU., utilizando la superficie del océano, se verificó que raramente rebotan, salvo que el ángulo fuera menor de 25 grados respecto de la horizontal.

Pruebas concretadas con esferas metálicas de 5,91 gramos cada una, proyectadas con un arma con cañón de ánima lisa, sobre agua fresca y estanca a velocidades de 623 metros por segundo y a diferentes ángulos de impacto, permitieron verificar que el rebote sólo se producía con ángulos inferiores a los 7 grados. A ángulos superiores el proyectil se sumergía (Cranz y Becker, 1921). En todos los casos el ángulo de rebote era menor que el de impacto.

Algunas experiencias sobre superficies con césped arrojaron valores similares a los mencionados para el agua.

Pruebas llevadas a cabo por la Marina de los Estados Unidos indicaron que hasta una ametralladora calibre .50 disparada sobre la superficie del océano con un ángulo de impacto de 90 grados, es peligrosa para una persona sumergida, sólo hasta una distancia de 1,53 metro (por debajo de la superficie del agua). En otras palabras, si una persona sumerge su cuerpo bajo la superficie, está segura de hasta un disparo directo de fusil pesado. Si el ángulo de impacto está comprendido entre los 45 y 60 grados, el proyectil sólo será letal hasta aproximadamente 1,22 metro debajo de la superficie. Un fusil calibre .30, disparado verticalmente hacia el agua, puede infligir una herida seria a 0,31 metro por debajo de la superficie pero no a 0,62 metro.

Sellier (1969) coincide en que, por lo general, el rebote ocurrirá cuando el ángulo de impacto sea igual o menor a 7 grados respecto de la horizontal. Sin embargo, advierte que si las superficies son ásperas o toscas, irregulares, congeladas o cubiertas de rocas, el rebote puede ocurrir a mayores angulaciones.

Similares resultados fueron observados sobre terrenos cubiertos de hielo. Se dispararon perdigones de 3,5 mm de diámetro hacia una silueta humana, desde una distancia de 30 metros. Luego se concretaron otros disparos frente al blanco, a una distancia de 14,63 metros. Se tomó nota de todos los tiros certeros, comprobándose que la razón o proporción entre rebotes y los que no lo fueron era de 1 a 3.

¿Es posible determinar a través del examen de las huellas de impacto del disparo de un cartucho de escopeta, que aparezcan en la tierra o el suelo, en una pared o en la víctima, si se trató de un disparo directo o si los perdigones previamente rebotaron en su desplazamiento? Tanto con proyectiles únicos como con conjunto de perdigones o postas, tal determinación es posible y se hace a menudo. Las fuerzas que actúan sobre un perdigón incluyen la presión del disparo sobre la pared interna del cañón y la presión de los perdigones entre sí a medida que atraviesan el ánima, todo lo cual hace que tales fuerzas deformen cada elemento (perdigón, posta, etc.) de una manera impredecible. Asimismo, los proyectiles recuperados del cuerpo de la víctima pueden poseer deformaciones causadas por el choque con huesos.

Cuando uno toma en consideración todas estas fuerzas que pueden confundir el resultado, es evidente que el trayecto de cada proyectil sólo puede ser determinado reconstruyendo la situación real de tiro, utilizando testigos oculares o la evidencia física tal como quedara en el lugar del hecho.

o) Disparos indirectos

Suele ocurrir que las fuerzas policiales hagan uso del efecto de rebote mediante el disparo indirecto con escopetas. Tal técnica se emplea cuando debe ser atenuado el impacto completo; en lugar de apuntar al blanco en forma directa, un delincuente, por ejemplo, la carga balística se proyecta hacia la calle u otra superficie dura, frente al blanco. El conjunto de proyectiles rebota entonces hacia el objetivo, pero la velocidad y energía de cada perdigón o posta (de plomo o caucho) ha quedado reducida.

De acuerdo con la "National Rifle Association of America" (NRA), si el guardián del orden se encuentra entre 14 y 37 metros del blanco, debería apuntar su escopeta de manera tal que la carga de proyectiles haga impacto en el pavimento a una distancia de 6,50 metros antes del blanco; de esta

manera, el rebote llevará los elementos a no más de 0,76 cm de altura al hacer impacto (NRA, 1968). Se ha comprobado que las postas cuyo diámetro es de 6,09 y 8,64 mm funcionaron muy bien en este aspecto.

Se han llevado a cabo pruebas específicas de eficiencia respecto de disparos indirectos (Sellier, 1969). Se utilizó para ello tierra cubierta de hielo como superficie reflectora de la carga de proyectiles. Se reconoció que también habría rebote sobre tierra suave, fangosa o cubierta de césped. En una serie de experimentos se emplearon perdigones de 2,5 mm de diámetro, los que fueron disparados sobre tierra dura a una distancia de 10 metros. En la línea de fuego, a 40 metros más allá del punto de impacto, se colocó un gran blanco de 1,82 metro de lado. Este último evidenció 23 impactos, o sea, el 7% del total de perdigones disparados con el cartucho.

Sellier (1971) hizo un detallado análisis de la desviación y deformación. Encontró que la cantidad de movimiento (masa x velocidad) es crítica para determinar la cantidad de desviación. Si las superficies de rebote son metálicas y planas es posible tener una desviación con un ángulo de 65 grados. En tal circunstancia la energía del proyectil desviado será baja.

La deformación de un proyectil que impacta o perfora diversos materiales depende del tipo (plomo, encamisado, semiencamisado, forma redondeada), la velocidad de impacto y la naturaleza del blanco (madera, gelatina, hueso, acero o arena, por ejemplo).

Cuando se encuentran involucrados materiales mezclados tales como músculo, piel, hueso o concreto reforzado, el sistema se convierte en complejo y resultan difíciles las predicciones de lo que pueda ocurrir.

p) La deformación de los proyectiles

La apariencia de un proyectil puede dar al observador información sobre su actividad previa, si es que puede explicar las marcas que presenta. Bajo la expresión deformación utilizada en su sentido más amplio, están todos los cambios que ocurren en la denominada bala virgen, desde su salida del cartucho que la contenía hasta su punto final de impacto.

En esta categoría general no se encuentran incluidas las marcas de estriado que le imprime el ánima del cañón, que son particulares de cada arma. La deformación en una bala disparada puede ser apreciable o mínima; la misma está influenciada por la medida del proyectil y también por el material a través del cual se mueve (arena, hueso u otro), depende de la naturaleza del proyectil en sí mismo; por ejemplo, el ser totalmente blindado en vez de semiblindado modifica la deformación. Su forma también es importante y, por supuesto, si es o no de punta perforada también lo es. La dureza de la aleación de plomo influirá en el grado y la naturaleza de la deformación.

La velocidad de impacto juega un rol importante en el aspecto mencionado. Si el material sobre el cual impacta el elemento es un fluido homogéneo, tal como la gelatina o un músculo, puede fácilmente calcularse la presión de deformación "p" o fuerza de expansión que actúa sobre la superficie frontal del proyectil.

La ecuación es la siguiente:

$$P = d/2 \ Va^2 \ f \ (kP/cm^2)$$

"d" es la densidad; "Va", la velocidad de impacto en metros por segundo; "f" es un factor de forma para la punta del proyectil; "k" es calibre; "p", la presión, y "P", la fuerza de expansión.

Proyectil y ojiva deformada.

Deformaciones frecuentes de ojivas de proyectiles, que adoptan la forma de "hongo".

Se han llevado a cabo experimentos disparando proyectiles calibre .38 Special, semiencamisados y de punta perforada, a través de 20% de gelatina, a diferentes velocidades. El grado de deformación de los mismos, en las condiciones referidas, fue graficado en ejes de coordenadas cartesianas ortogonales. Sobre el eje horizontal se distribuyeron las distancias de penetración, en centímetros; sobre el eje vertical se hizo lo propio colocando las velocidades en metros por segundo. También se ubicó en el gráfico cada proyectil, conforme al punto de intersección de coordenadas

que le correspondía. Examinado el mismo, resultó manifiesto que la velocidad de un impacto de 190 a 195 m/s (620 pies/segundo) es esencial para que el elemento evidencie el grado más ligero de deformación, aun penetrando 15 cm. A velocidades de impacto de 400 m/s (1320 pies/s) o superiores, la deformación se inicia casi al momento del impacto; cuando ya ha recorrido 5 cm en el bloque de gelatina aparece una excelente conformación con diseño de hongo; a los 15 cm de penetración la deformación es completa y adquiere forma de disco.

Los resultados experimentales mencionados (de origen norteamericano) evidencian entonces que una bala semiencamisada, punta perforada (hollow point) y blanda, no se expandirá adquiriendo aspecto de hongo, simplemente por su forma; adicionalmente a ello se necesita una velocidad mínima que la provoque.

Sobre la base de lo expresado no es posible sostener que las balas de punta perforada provoquen heridas inhumanas. Al respecto, en cuanto al calibre .38 Special para revólver, su proyectil alcanza una velocidad de alrededor de 260 m/s (850 pies/s), por lo tanto su efecto sobre la carne sería casi el mismo que el de la bala convencional de plomo con punta redondeada. Obviamente, diferente será el resultado con la bala de punta hueca oportunamente mencionada, si la misma está contenida en un cartucho calibre .357 Magnum, donde podemos encontrar velocidades de 460 m/s (1500 pies/s); su efecto es abrumador.

La interacción del proyectil con el blanco es una función del cuadrado de la velocidad, por ello la deformación es más pronunciada a medida que aquélla se incrementa. Esta generalización es verdadera si el proyectil culmina su recorrido dentro del blanco y no lo perfora.

Con la bala de plomo de punta redonda tal como la que se emplea normalmente en los revólveres calibre .38 Special, con una velocidad de aproximadamente 250 m/s, la deformación máxima puede observarse si tal elemento atraviesa el muslo o la parte superior del brazo y se topa con el hueso allí existente. En dicha situación alcanza a este último elemento con una velocidad remanente de 170 a 220 m/s, suficiente como para producir deformación. Cuando como producto de la deformación contra el hueso se incrementa la superficie transversal del proyectil, éste rápidamente pierde velocidad y no avanza mucho más dentro del cuerpo.

Los proyectiles disparados con fusil a velocidades superiores a los 305 m/s y a distancias relativamente considerables siempre muestran deformación cuando chocan contra piel y especialmente contra hueso.

q) Deformación paradójica

Si el hueso hueco es penetrado por una bala de plomo, el grado de deformación de la misma parece paradójico. Por ejemplo, si las velocidades de

impacto de las primeras son 490, 820 y 1214 pies por segundo (150, 250 y 370 m/s), respectivamente, el grado de deformación del proyectil es menor a medida que la velocidad de impacto se incrementa (Sellier, 1971).

r) Experimentos biomédicos y velocidad del proyectil

Estudios experimentales han confirmado nuevamente los resultados de viejas investigaciones sobre el rol central de la velocidad del proyectil en la efectividad para herir (Clemedson y cols., 1973).

Se disparó en la cabeza de animales anestesiados con distintos tipos de cartuchos para armas cortas y se examinaron luego, en detalle, las heridas resultantes.

Para cada disparo se calculó el cociente entre el área del orificio de salida (As) y el área del orificio de entrada (Ae). Se obtuvo así un gráfico sobre coordenadas cartesianas ortogonales, donde se volcaron tales valores y las correspondientes velocidades de impacto resultó una curva en forma de "S". La misma acusó un valor crítico entre los 850 y 900 metros por segundo. Debajo de esos valores las huellas de heridas eran típicas de las que se observan en altas velocidades, con grandes orificios de salida.

Entre velocidades de aproximadamente 850 m/s a 950 m/s, el cociente de As/Ae ascendió pronunciadamente de 2 a 16, formando luego una meseta que llegaba hasta los 1100 m/s. El tamaño de la herida de salida del elemento era claramente una función de la velocidad de impacto.

También se concretaron disparos con los tres tipos de munición referidos, en cerebros cuyos picos de onda de presión fueron medidos en forma precisa con transductores de presión piezoeléctricos. Los picos de presión captados en los cerebros tomados de modelo variaban directamente con el cuadrado de la velocidad del proyectil. El peso de la bala era insignificante en esta consideración.

Durante el transcurso del estudio quedó revelado un hecho importante: los proyectiles de alta velocidad con una energía de impacto comprendida entre los 150 y 200 kgm provocaban mayor daño en la cabeza que aquellos con velocidades más bajas y mayores masas, que producían energías de 25 a 300 kgm.

Cuando se trata de desarrollo de experimentación cuidadosamente controlada, los valores cuantitativos que se obtengan sobre heridas de bala refuerzan el argumento de que la velocidad es el factor principal, es decir, preeminente en la producción de las mismas.

s) Efectividad de la herida

En términos de efectividad para producir heridas, los cartuchos pueden ser divididos en cuatro grupos, de acuerdo con sus rangos de velocidad:

1) debajo de 400 m/s;

2) de 400 a 600 m/s;
3) de 600 a 1100 m/s;
4) por encima de 1100 m/s.

Los proyectiles con una velocidad de 394 m/s o menos producen heridas no notables o extraordinarias. Si chocan contra hueso, probablemente lo rompan y aquéllas puedan deformarse.

Los proyectiles correspondientes al grupo número 2 indican con su valor de velocidad la probabilidad de un comienzo de expansión o conformación con diseño de hongo. El daño en la piel es mayor que con los del grupo 1. Si perforan el cuerpo, el orificio de salida es mucho mayor en diámetro que el de entrada y, por supuesto, mucho más grande que el diámetro de expansión del proyectil.

Los del grupo 3 pueden producir las denominadas heridas explosivas, usualmente provocadas por fusiles de servicio y deportivos. La velocidad de choque debe estar por encima de los 600 metros por segundo para causar tales heridas (Sharma, 1973).

Las pistolas y los revólveres son armas de baja velocidad. Generalmente, desarrollan velocidades en la boca del cañón de 200 a 396 mm. La lesión en la piel es mínima, la muerte resulta por el daño a órganos vitales o por el resultado de infecciones secundarias.

Los proyectiles del grupo 4 poseen velocidades extremadamente altas, son raros. Es por ello que se posee poca información sobre sus efectos en el hombre.

El poder de penetración de los proyectiles encamisados para armas de puño puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$Sm = 1{,}94\ \sqrt[4]{E^3/k^5}$$

"Sm" es el espesor de una lámina de metal; "E" es la energía de impacto, y "k" es el calibre de la bala utilizada (Bock-Weigel, 1968).

Como ejemplo de estas relaciones calculemos a qué distancia una bala calibre 9 mm Luger de 8 gramos perfora una lámina de acero de 0,5 mm de espesor. La energía requerida será de:

$$0{,}5 = 1{,}94\ \sqrt[4]{E^3/9^5} = 1{,}94\ \sqrt[4]{E^3/59049}$$
$$(0{,}5/1{,}94)^4 = E^3/59049$$
$$0{,}004 = E^3/59049$$
$$E^3 = 0{,}0044 \times 59049 = 260{,}5467414$$
$$E = 6{,}39 \text{ kilográmetros}$$

¿A qué distancia la bala 9 mm Luger posee esa energía?
Las tablas balísticas específicas indican entre 800 y 900 metros.

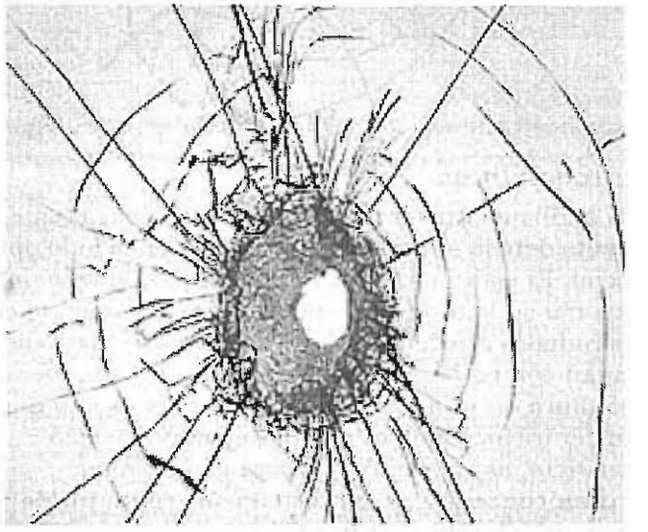
V. IMPACTOS DE PROYECTILES EN VIDRIO

Resulta muy frecuente, especialmente en las grandes ciudades, que como producto de un tiroteo, atentado, homicidio y aun suicidio, resulte dañado o perforado el vidrio de una ventana, puerta u objeto que contenga dicho material. Similar apreciación cabe para los automóviles y medios de transporte en general.

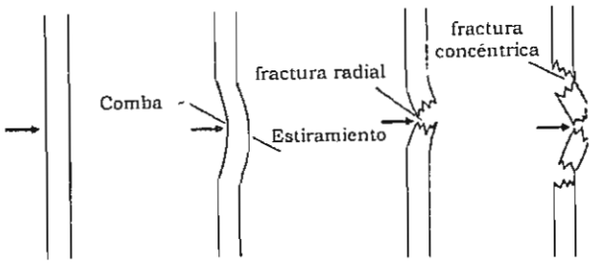
Hay dos diferentes tipos de problemas investigativos comúnmente asociados con vidrios rotos producto de disparos de armas de fuego:

1. La determinación del sentido del impacto.
2. El examen de un orificio de bala en una ventana, puerta, etc., que contenga vidrio, para determinar la dirección y el ángulo del disparo, y, si hubiera varios disparos, cuál fue el primero.

El vidrio se rompe primero del lado opuesto al punto de impacto. Cuando se aplica una fuerza al vidrio, se comba del lado del impacto causando que el lado opuesto se estire; el material resistirá más la comba que el estiramiento. La inflexión (comba) comprime las moléculas del vidrio (uniéndolas) mientras que el estiramiento las separa, creando un estado de tensión. Eventualmente el límite elástico será alcanzado y el vidrio se rajará/astillará. Primeramente se va a quebrar en la zona donde ha ocurrido el estiramiento mayor, en el lado opuesto al impacto. (Ver ilustraciones adjuntas, donde la flecha indica la dirección del impacto).

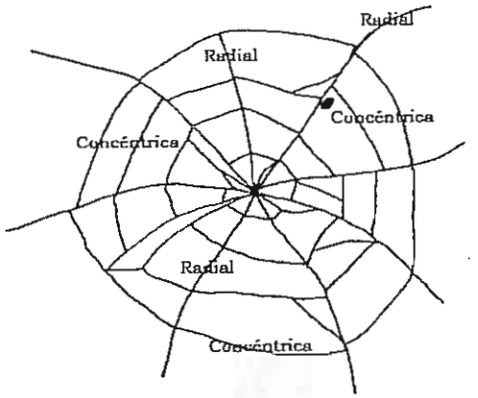


Impacto de proyectil de arma de fuego en vidrio



a) Fracturas radiales

Lo que habitualmente se denomina rajaduras o astilladuras que emanan del vidrio al momento del impacto son fracturas radiales. Cuando el vidrio se estira hasta su límite máximo, estallará primero del lado opuesto al impacto a lo largo de las líneas radiales. En los vidrios de seguridad, donde las piezas tienden a permanecer en su lugar luego de rotas, las líneas radiales pueden observarse prontamente.



b) Fracturas concéntricas

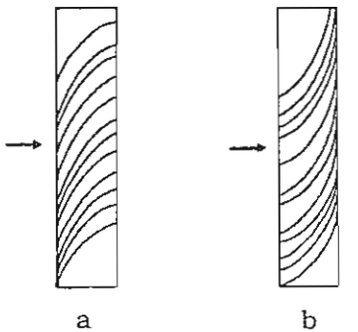
Éstos son astillamientos/rajaduras secundarios/as que se abren del lado del impacto debido a fuerzas que trabajan en el lado opuesto al de la descarga inicial. El estiramiento del vidrio en una dirección provocará la comba del mismo en la dirección opuesta. El estiramiento que producen las fracturas radiales alrededor del punto de rotura hará que otras zonas del vidrio hagan comba hacia el lado del impacto, a manera de reacción. Todo ello resultará en una serie de astillamientos secundarios llamados fracturas concéntricas. Dado que ahora el vidrio se está curvando hacia el lado del impacto, se estirará y romperá de ese lado.

Las fracturas concéntricas conforman un conjunto de patrones circulares alrededor del punto central (la palabra concéntrica significa que tienen un centro común) y se presentan como una serie de líneas circulares que se conectan con las radiales. Una rajadura no va a cruzar otra preexistente; dado que las rajaduras radiales ocurren antes que las concéntricas, todas estas últimas se detienen en ambos finales cuando se encuentran con las radiales. De esta manera, las fracturas concéntricas son una serie de línea interrumpidas, con forma de patrón circular alrededor del punto de impacto.

En algunos libros de texto la fractura concéntrica es llamada "en espiral"; no siempre están presentes en cada ventana rota; este fenómeno se observa o aprecia mucho mejor en vidrios de seguridad, donde los trozos rotos se mantienen en su lugar.

c) Marcas en nervadura o con forma de costilla

Las líneas curvas de tensión que tenuemente se ven en el borde de un trozo de vidrio roto se llaman marcas en nervadura o con forma de costilla. Estas líneas corren casi paralelas a una superficie y luego se curvan para hacerse prácticamente perpendiculares a la superficie opuesta. Estas marcas son siempre perpendiculares a la cara o lado del vidrio que se rompió primero.



Marcas en nervadura o con forma de costilla; (a) en una fractura radial; (b) en una fractura concéntrica. Las flechas indican la dirección del impacto.

d) Reunir los vidrios

De un simple y aislado trozo de vidrio el investigador no puede determinar con certeza la dirección del impacto. Es necesario establecer si el fragmento se encontraba del lado interno o externo y si el borde que se está examinando responde a una fractura radial o concéntrica. Esto puede lograrse si se juntan o reúnen los trozos de vidrio y se reconstruye total o parcialmente la ventana. La primera consideración es tener los trozos de la hoja de vidrio reemplazada, con las superficies externas e internas en su posición original. La suciedad, las marcas de agua y/o de masilla son útiles para distinguir la cara externa. Cuando la ventana está reconstruida suficientemente, el investigador puede identificar las

fracturas radiales y concéntricas; el examen de las marcas en nervadura sobre los bordes de las fracturas mencionadas indicará la dirección del golpe inicial.

e) Determinación de la dirección del impacto

1) Fracturas radiales

Debido a que las fracturas radiales rompen primero en el lado opuesto al de impacto y las marcas en nervadura son perpendiculares al lado que rompe primero, se concluye que las fracturas radiales tienen marcas en nervadura o con forma de costilla que son perpendiculares al lado opuesto al de impacto.

2) Fracturas concéntricas

Dado que las fracturas concéntricas se producen o rompen primero del lado del impacto y las fracturas en nervadura son perpendiculares al lado que rompe primero, se concluye que las fracturas concéntricas tienen marcas en nervadura que son perpendiculares al lado o cara de impacto.

f) Examen de fracturas/roturas de vidrio

1) Resumen del procedimiento:

a) Reconstruir la ventana identificando las superficies internas y externas y las fractuas radiales y concéntricas.

b) Seleccionar una fractura radial.

c) Examinar las marcas en nervadura. Serán perpendiculares al lado opuesto de la cara de impacto.

2) Excepciones a este procedimiento:

Ciertos tipos de vidrio no se prestan a este tipo de examen:

a) El vidrio que, luego de roto, cae en una superficie dura y se rompe nuevamente tendrá un conjunto de fracturas adicionales que complicarán el examen.

b) El vidrio que no se comba porque la ventana es pequeña o el vidrio está demasiado suelto en el marco.

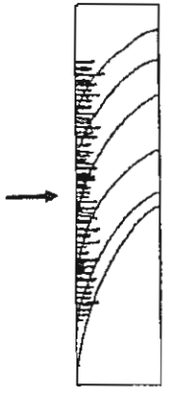
c) Vidrio templado que al momento del impacto se transformará en fracciones tipo grano de sal antes que formar fracturas concéntricas o radiales.

d) Las ventanas rotas por el calor, el viento o una explosión que no tiene un punto de impacto. El vidrio de una ventana expuesto al calor intenso de un fuego se fragmentará con las características líneas largas y ondeadas. El borde de un fragmento de vidrio será suave y sin las marcas en nervadura que indican el punto de impacto. Los trozos de vidrio tienden a caer hacia el interior del fuego, creando la engañosa apariencia de que la ventana está siendo empujada hacia adentro y desde afuera, por un intruso. La teoría es que el fuego consume el oxígeno creando un vacío que absorbe el vidrio hacia adentro.

e) El vidrio de seguridad que no es golpeado con suficiente fuerza como para completar la fractura. En este caso las fracturas radiales y concéntricas no se extenderán todo el camino hacia el otro lado del vidrio. Pasando el lomo de la uña a lo largo de la superficie del vidrio, el investigador puede determinar: 1) el lado del impacto, es decir, el lado donde sólo las fracturas concéntricas pueden sentirse, y 2) el lado opuesto al impacto, es decir, el lado donde sólo las fracturas radiales pueden sentirse. Un test o examen adicional para determinar la dirección de la fuerza depende de la tendencia del vidrio de seguridad en combarse y permanecer así cuando hay un golpe. El investigador coloca una regla larga a través de la superficie del vidrio y observa el espacio entre aquélla y la superficie. El lado cóncavo, o sea, la superficie del vidrio que se comba hacia adentro, es el lado del impacto.

g) Marcas en rastrillo

Éstas son las líneas irregulares y diminutas que se encuentran en el borde de un trozo de vidrio roto. Se forman cuando dos piezas de vidrio se raspan una con otra en el impacto, causando particulas pequeñas en forma de escamas que vuelan hacia atrás. La presencia de estas marcas indica que el vidrio fue roto por una fuerza súbita y poderosa. Se las ve mejor con bajo aumento, donde aparecen como líneas cortas de variada longitud. Están localizadas en el borde más cercano a la superficie de impacto y corren en la dirección de la fuerza. En un borde radial, están en los ángulos verticales a las líneas en nervadura. De esta manera las marcas en rastrillo proveen una indicación adicional de la dirección del impacto.

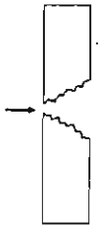


Marcas en rastrillo en un borde radial

h) Análisis de orificios de bala en vidrio

a. ¿Es un orificio de bala?

Es dificultoso a menudo determinar si el vidrio de una ventana fue roto por un proyectil disparado con arma de fuego o por algún otro elemento, tal como una piedra pequeña o un guijarro. Cuando un proyectil de arma de fuego penetra un vidrio, deja un orificio de entrada pequeño y de corte limpio, mientras que el orificio de salida es mucho más grande y posee la forma de una fuente o cráter, a medida que empuja las partículas de vidrio que se encuentran adelante.



Un guijarro arrojado por la cubierta de un vehículo que pasa puede causar un orificio similar en un parabrisas; encontrar el proyectil puede resolver el problema. Si se descubre un proyectil y se sospecha de él, a veces se pueden encontrar partículas de vidrio diminutas encajadas en la nariz del proyectil. También, el proyectil de arma de fuego, en contraste con el guijarro, dejará generalmente un sistema de fracturas radiales y concéntricas más simétrico, en el área que rodea al orificio.

Cuando se dispara un tiro desde muy corta distancia, la fuerza de la explosión de los gases en la boca del cañón astillará una ventana; una piedra la romperá de similar manera. Si no puede encontrarse el proyectil, los residuos de partículas del disparo hallados en los trozos de vidrio son una indicación confiable de que la ventana fue rota por disparo de arma de fuego.

Cuando se dispara desde una distancia larga, el proyectil perderá su velocidad antes de que alcance la ventana y la forma de impacto podrá variar haciendo que se pueda confundir con una piedra. Nuevamente, ubicar al proyectil es de suma importancia.

b. Determinación de la dirección del disparo

Un proyectil penetra el vidrio dejando un orificio de entrada suave y otro de salida con forma de cráter. La dirección del elemento puede determinarse mediante una inspección visual del vidrio. El hacer correr el dedo a través de la superficie afectada brinda un examen adicional de la dirección; el orificio de entrada se sentirá suave hasta que el dedo toque el orificio. Sobre el lado de salida, la depresión en el vidrio se hará sentir como escamas.

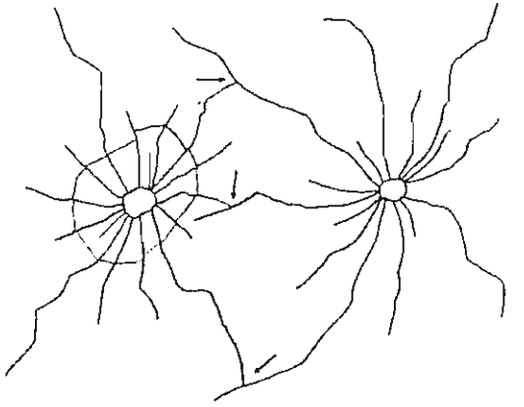
c. Determinación del ángulo del disparo

Cuando el proyectil penetra un vidrio de ventana, empuja partículas de vidrio que se encuentran por delante, creando las formas de las que ya se dejara constancia. Cuando el impacto se produce en forma vertical al soporte, las escamas se distribuirán uniformemente; si lo hiciera en forma oblicua, por ejemplo desde el lado derecho, se creará un orificio elíptico con pocas escamas en el lado derecho del orificio de salida y considerable cantidad en el lado izquierdo. Cuanto más agudo es el ángulo de disparo, mayor es la cantidad de escamas en el lado opuesto.

De la observación aludida el investigador puede aproximarse al ángulo de fuego; los disparos testigo o de prueba, desde un ángulo conocido y en un vidrio similar, empleando el mismo tipo de arma y munición, pueden brindar una determinación más precisa.

d. ¿Cuál fue el proyectil que impactó primero?

En los casos en que se han producido intercambios de disparos y donde una ventana ha recibido tanto desde afuera como desde adentro varios de ellos, suele resultar importante saber cuál de ellos fue disparado primero. Una fractura radial causada por un proyectil se desplazará a través del vidrio salvo que sea interrumpida por una fractura previamente formada. El primer orificio de proyectil tendrá fracturas radiales que estarán completas e ininterrumpidas; el segundo proyectil provocará fracturas radiales que culminarán en las fracturas radiales y concéntricas formadas por el primer proyectil. Si hubiera un tercer proyectil, sus líneas radiales serán interrumpidas por aquellas que emanen del primero y segundo impacto. (Ver ilustración adjunta).



Reproducción de dos disparos sucesivos. El orificio de la izquierda fue realizado en segundo lugar. Las flechas señalan el lugar donde las líneas de fractura del segundo impacto terminan en las líneas causadas por el primero.

e. Determinación del tipo de arma y munición

Las variadas armas y municiones existentes producen orificios característicos en vidrios. Concretar disparos experimentales con armas diferentes en vidrios similares, bajo similares condiciones, puede indicar el tipo de arma o calibre de la munición empleada. Ello puede ser muy útil en los casos donde los proyectiles disparados, los cartuchos y el arma no han sido localizados y se sospecha el empleo de un tipo particular de arma o calibre de munición.

VI. CRISTALES ASTILLADOS O REVENTADOS

Si un vidrio resulta reventado o astillado por la acción del calor, muestra una larga fractura ondulada característica. Los trozos caídos se encuentran generalmente en la misma dirección que la fuente de calor.

Si una sección limitada de un cristal ha sido expuesta a una llama directa, se suele romper un trozo de cristal correspondiente a aquella sección.

Las vidrieras, sin embargo, se rompen a veces sin haber sido expuestas a ninguna acción externa. La causa de ello es que pueden quedar tensiones internas en el vidrio durante su elaboración, capaces de causar una ruptura repentina, aun sin un estímulo externo. El mismo resultado produce una vibración, un arañazo en la superficie del cristal, un ruido violento, etc. En este caso, se astilla con un dibujo de forma regular, o puede romperse total o parcialmente en pequeños trozos de dicha forma. Algunas veces, estos trozos son lanzados a una distancia apreciable.

Los vasos de cristal y otros objetos pueden romperse de la misma manera.

Los llamados cristales inastillables, ahora usados en gran proporción en los vehículos, también se rompen total o parcialmente en trozos o pequeñas varillas de forma regular cuando son sometidos a un golpe o choque lo suficientemente violento, o cuando un proyectil los alcanza de lleno o sesgado.

Esto también es debido a las tensiones interiores del cristal, producidas de un modo intencionado durante su manufactura con el objeto de impedir (si el parabrisas es roto debido a una colisión u otro accidente) la producción de astillas puntiagudas que puedan herir al conductor o a los pasajeros.

Un cristal de esta clase, aunque reciba una bala u otro proyectil, seguirá conservando su posición sobre el vehículo, a menos que el mismo sea movido violentamente (para su traslado) o en lugares próximos al impacto ocurran otros que arrastren material.

En un típico dibujo, agrietado, la formación se extiende sobre el total de la luneta, pero alrededor del punto de fractura se sueltan y caen un

número de trozos pequeños de cristal de modo que un estudio de la formación del cráter es solamente posible en casos excepcionales.

Si los trozos caídos aparecen, se podría, en casos favorables, colocarlos en sus lugares cerca del punto del impacto, y reconstruir el aspecto de la fractura.

VII. DETERMINACIÓN DE TRAYECTORIAS DE PROYECTILES DISPARADOS CON ARMAS DE FUEGO EN ZONAS URBANAS

Quizá sea éste el tema menos desarrollado en la literatura relativa a aspectos periciales balísticos. Obviamente su desarrollo no es sencillo por cuanto presenta innumerables facetas, variantes y variables, imposibles de plasmar sucintamente; no obstante ello, trataremos de hacerlo en un idioma técnico sencillo y con la practicidad necesaria como para que pueda ser comprendido fácilmente.

Nadie puede ignorar, y la experiencia así lo indica, que en las grandes ciudades las posibilidades de que se produzcan hechos violentos de diferentes manifestaciones son mayores que en zonas habitadas donde la densidad poblacional es muchísimo menor. En una gran proporción de estos acontecimientos suelen emplearse armas de fuego convencionales (largas o cortas) cuyos efectos varían acorde al tipo de arma, calibre y munición empleados.

Pretender llevar a cabo una disquisición en el sentido al que apunta el presente tema, tomando ordenada e individualmente cada elemento de los mencionados, si bien no es imposible, requeriría la elaboración de un tratado donde se vuelquen observaciones y experimentaciones rigurosas, con una extensión inimaginable.

Convengamos entonces en brindar pautas y métodos de carácter general, para lo cual, dadas las características edilicias de una ciudad, consideraremos siempre que los disparos se han producido dentro de una distancia que no supera los 70 metros, aproximadamente. La elección de este valor nos asegura que, de no mediar desviaciones del recorrido del proyectil proveniente de un cartucho apto para sus fines específicos, su desplazamiento será rectilíneo y no parabólico, con prescindencia del calibre. Cuando se exceda esta distancia impuesta, la precaución a tomar será simplemente la de promover consulta con tablas balísticas apropiadas para cálculo de caída del elemento en función de la distancia.

Por otro lado, haremos también abstracción de temas médico-legales, especialmente en lo referido a disparos efectuados a quemarropa, abocados o a corta distancia, debido a que la bibliografía al respecto ha sido abordada por médicos idóneos en el tema. Ello no implica que en hechos reales y concretos corresponda la intervención conjunta de aquellos especialistas y del perito balístico.

Comencemos entonces el desarrollo de las variantes que pueden presentarse en cualquier hecho donde se hayan disparado una o más armas, pero antes de ello enunciemos las siguientes:

a) Definiciones

1. Trayectoria

Línea descripta en el espacio por el proyectil.

2. Ángulo de tiro

Es aquel cuyo vértice se encuentra en el centro de la boca de fuego del arma y está delimitado por la recta paralela al suelo (tierra), llamada horizontal, y el eje longitudinal del cañón.

3. Ángulo de incidencia

Es el ángulo formado por la horizontal entre el orificio de entrada –teniendo en cuenta la posición del cuerpo (persona o animal) o, de lo contrario, el emplazamiento del objeto afectado– y la trayectoria del proyectil.

4. Ángulo de penetración

Es el ángulo formado por la horizontal entre el orificio de entrada (cuando se trata de una persona o animal, se considerará siempre la posición erguida y perpendicular al piso, y cuando se trate de un objeto, se prescindirá de su posición espacial en el momento del impacto) y la trayectoria del proyectil.

b) La utilización del láser y otros métodos convencionales

Es muy frecuente tener que determinar el origen de un disparo dentro de habitaciones, locales privados, industriales, administrativos, etc. En tales casos, la posibilidad de determinación precisa de una trayectoria de tiro dentro de un determinado espacio, y por ende su origen, implica la presencia de, como mínimo, dos puntos afectados por el elemento actuante. En tal sentido, siempre y cuando no se constate una desviación en el primer punto de impacto (orificio producido por el proyectil) a través del cual se introdujo en la habitación, la línea imaginaria que une a éste con el impacto consecuente (posterior al de penetración) nos dará referencias angulatorias; su prolongación nos brindará el lugar desde donde fue disparado.

Normalmente, para reconstruir tal línea imaginaria se recurre a la unión de ambos puntos por su centro geométrico, con un hilo, cuerda o

soga de pequeño diámetro, tensada de manera tal que no forme una curva o panza que desvirtúe la información que se pretende alcanzar. Una vez logrado ello, se alinea la vista (uno de los dos ojos) con la cuerda, y mirando en sentido contrario al de su recorrido original puede establecerse de dónde provino.

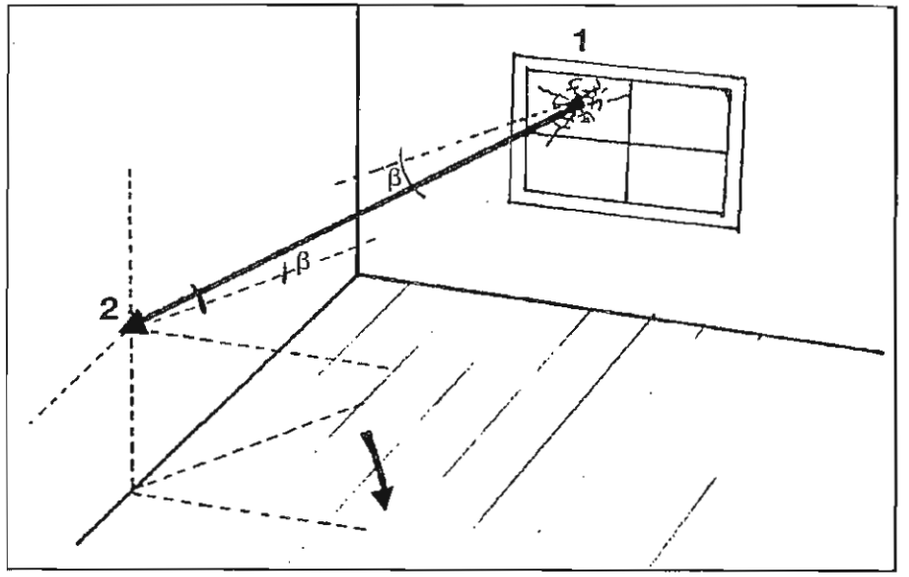
Un método más preciso que el citado consiste en colocar (sostenida por un trípode) una mira telescópica con su eje paralelo o alineado con la cuerda de mención y observar a través de ella.

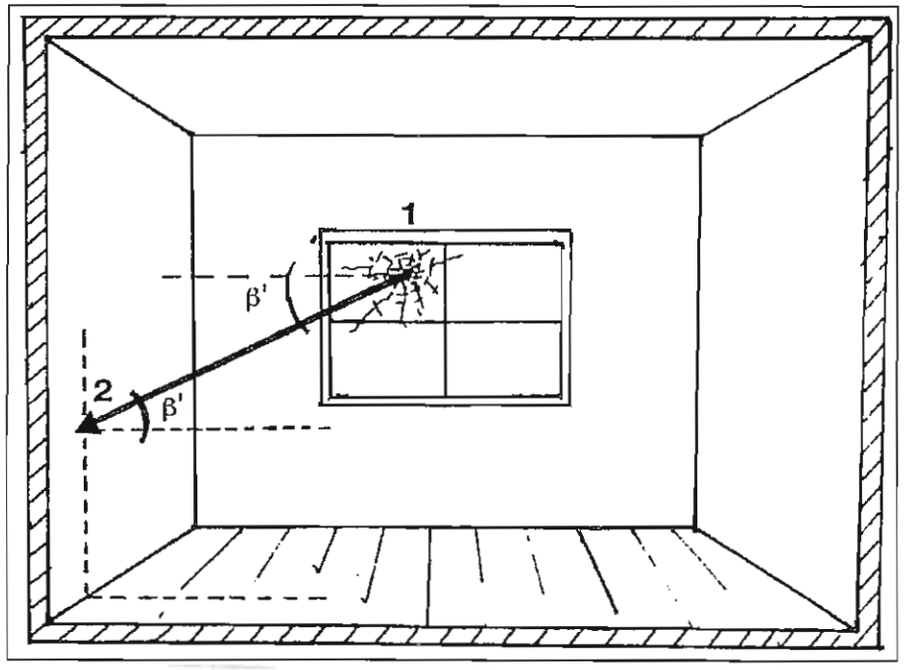
Dado que este tipo de estudio no puede permanecer ajeno a los avances tecnológicos, la existencia de un sistema láser adaptado a estas necesidades debe estar presente, dentro de las posibilidades, en ocasiones como la planteada. Dicho sistema necesariamente deberá poder emitir dos rayos contenidos en una misma recta pero dirigidos en sentidos opuestos; el extremo de uno coincidirá con el centro del orificio de entrada, y el extremo del otro con el centro del impacto o daño consecuente (mueble, pared, etc.). El primero permitirá entonces visualizar a la distancia el lugar exacto desde el que provino el disparo, mediante una mancha o punto luminoso, cuya intensidad estará de acuerdo con las características técnicas del equipo.

En cuanto a la medición de angulaciones se sugiere que siempre se adopte el mismo método para no incurrir en errores. Ejemplificando el tema sobre las pautas ya mencionadas, supongamos que un proyectil ha atravesado el cristal de una ventana (sin desviarse), finalizando su recorrido en una pared de la habitación, para luego caer sin energía alguna sobre el piso (ver vistas en perspectiva, en corte vertical y en planta de figuras 1, 2, 3 y 4, en las páginas siguientes).

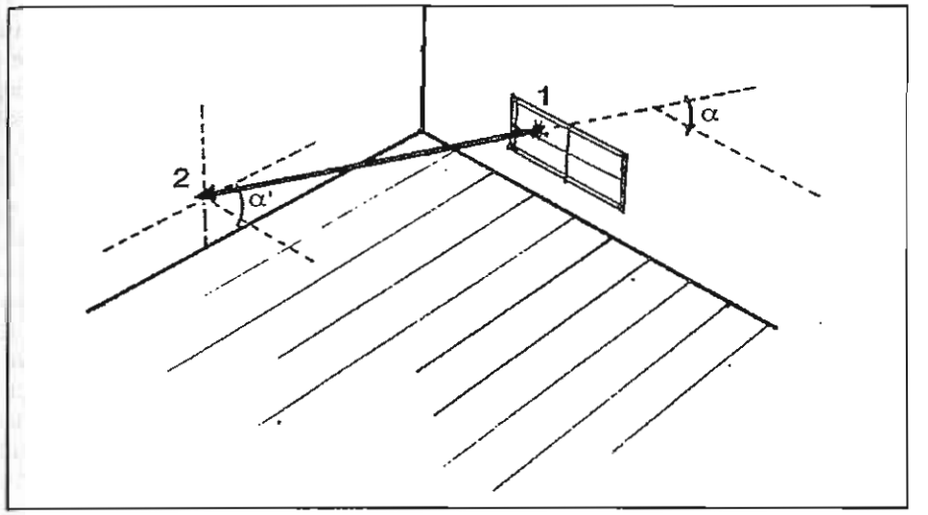
Aquí, los ángulos de tiro, incidencia y penetración son congruentes; consecuentemente, el primero va a estar representado por el señalado con la letra griega "β" en la figura 1 (vista en perspectiva). Su abatimiento sobre el plano perpendicular (y vertical) a la pared dañada, en el punto de impacto, nos permitirá medir en el plano dicho ángulo ("β"), amén de la medición que pueda realizarse in situ (ver vista en corte de figura 2). El ángulo así abatido estará conformado por la trayectoria en sí y el plano horizontal que pase por el punto de impacto (tanto el "1" como el "2").

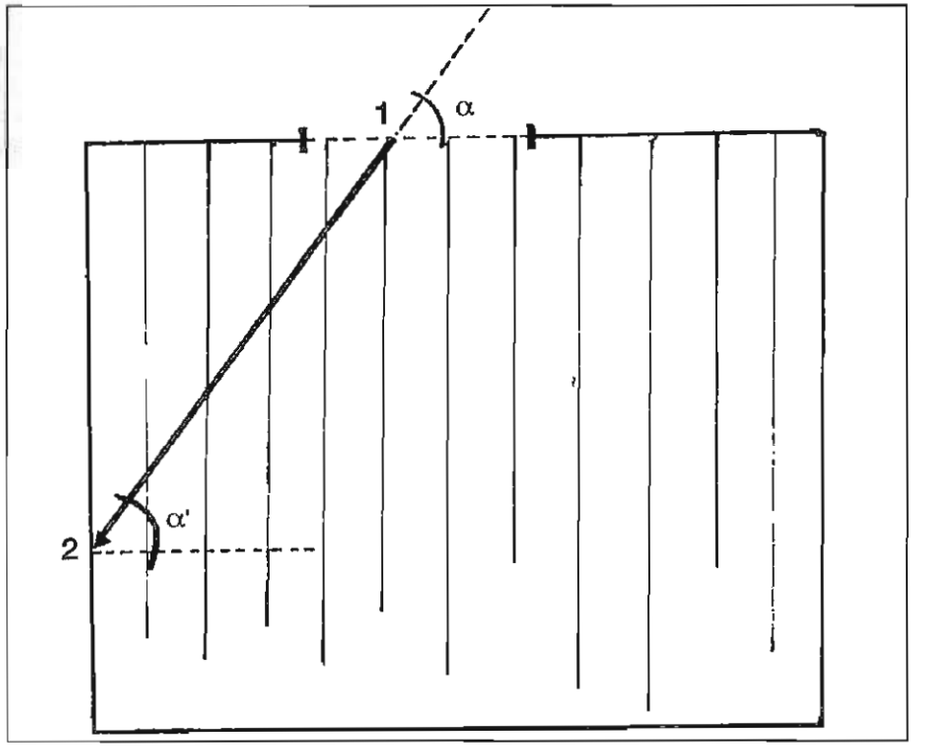
Una vez establecido el ángulo de incidencia o tiro (conforme al caso que estamos tomando como ejemplo), habrá que determinar la angulación que el mismo forma en el sentido horizontal. Para ello se abatirá la trayectoria hacia el plano horizontal y la lectura se concretará con respecto al plano vertical, perpendicular a la superficie afectada (ver croquis en perspectiva y vista en planta de figuras 3 y 4).





Vistas en perspectiva (superior) (1) y en corte (inferior) (2), del ángulo de tiro.





Vistas en pespectiva (arriba) (3) y en planta (abajo) (4), del ángulo horizontal.

Logrados los parámetros señalados, así como también las referencias métricas del lugar y los puntos de impacto (que no figuran en los planos presentados como modelo), se deberá seguidamente establecer si la trayectoria es de afuera hacia adentro (o de adentro hacia afuera, según cada caso), si es ascendente o descendente, y si va de derecha a izquierda o de izquierda a derecha. Cuando se trata de disparos efectuados en viviendas, surgen discrepancias respecto del último aspecto referido. En efecto, decir que el impacto en la ventana es de izquierda a derecha o de derecha a izquierda puede tener sentido si se aclara en qué forma se lo está mirando (de adentro o de afuera), pero ¿qué ocurre con el daño en la pared?; obviamente, también puede decirse que es de derecha a izquierda o viceversa, aclarando con respecto a qué, pero como la pared que contiene la ventana y la pared dañada son perpendiculares, el tema se hace algo confuso para quien es lego en la materia o no está acostumbrado a observar y analizar planos. Interpreto que en todos estos casos lo más coherente es señalar que la trayectoria se orienta de sur a norte, de noroeste a sudeste, de sudoeste a noreste, etc., vale decir, tomando en consideración los puntos cardinales.

c) Impactos de bala en vehículos

Los conceptos que aquí se manejan son idénticos a los expresados al desarrollar el punto anterior, siempre y cuando el vehículo sea peritado en el mismo lugar donde sufriera los daños. Las mediciones de ángulos se materializan de la misma manera, siendo mucho más sencillas las explicaciones concernientes al sentido y dirección de las trayectorias, puesto que para ello debemos entender que todo vehículo tiene una parte delantera, una parte trasera, un sector derecho y otro izquierdo.

Veámoslo con algunos ejemplos: en las figuras 1 y 2 puede apreciarse la vista en planta y en corte de un vehículo afectado por tres impactos de bala en su lateral derecho.

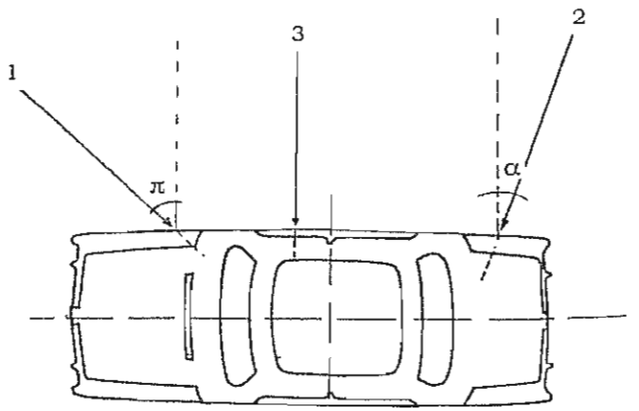


Figura 1 (vista en planta)

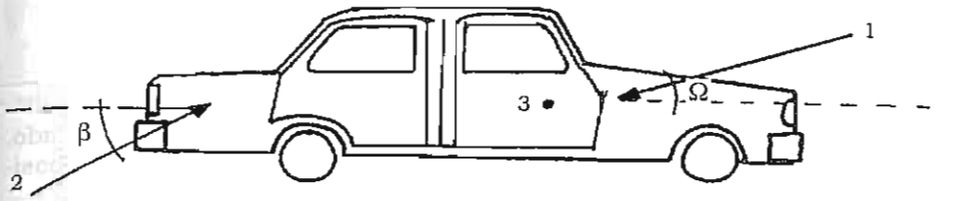


Figura 2 (vista en corte)

Impacto n° 1: ϖ y Ω son los ángulos de proyección horizontal y vertical, respectivamente. La trayectoria del proyectil ha sido: de adelante hacia atrás, de derecha a izquierda y descendente.

Impacto n° 2: α y β son los ángulos de proyección horizontal y vertical respectivamente. La trayectoria del proyectil ha sido de atrás hacia adelante, de derecha a izquierda y ascendente.

Impacto n° 3: Se trata de un disparo totalmente perpendicular a la superficie afectada, por lo tanto el ángulo de tiro es de cero grado, coincidentemente con el de penetración.

Cuando un vehículo fuera peritado en un lugar distinto al del hecho, deben tenerse en cuenta para el cálculo del probable lugar de procedencia del disparo los desniveles que pudiera haber habido en el piso, ya que ello puede alterar todos los resultados (ver figura 3). De igual manera, cuando existiese algún neumático desinflado, deberá determinarse si tal circunstancia fue anterior o posterior al impacto.

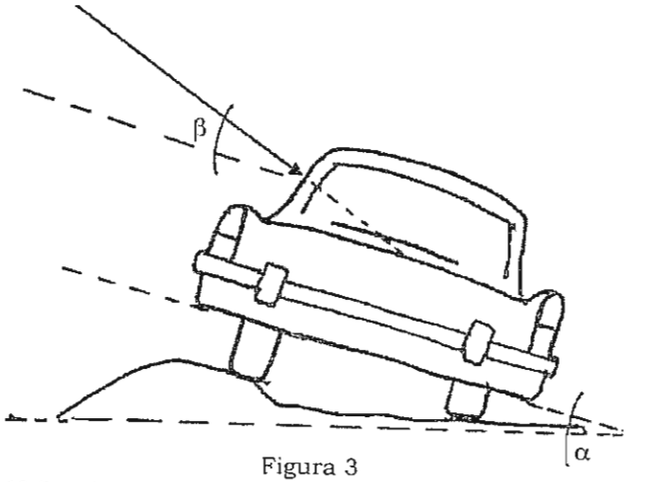


Figura 3

Ángulo "Alfa" = desnivel del piso

Ángulo "Beta" = de incidencia (coincidente en este caso con el de penetración).

Ver imagen 35 en Anexo fotográfico

d) Impactos de bala sobre las personas

Los estudios de esta naturaleza pueden comenzar para el perito balístico en el momento de recibir las prendas del occiso o del damnificado. Entendemos que hablar de trayectorias precisas en este caso es imposible, debido a los siguientes factores:

1) Las prendas colocadas en un maniquí sólo son indicativas de la ubicación de los orificios sobre la prenda y permiten establecer (cuando ello resulta viable) si se está en presencia de un orificio de entrada o de salida.

Ver imagen 36 en Anexo fotográfico

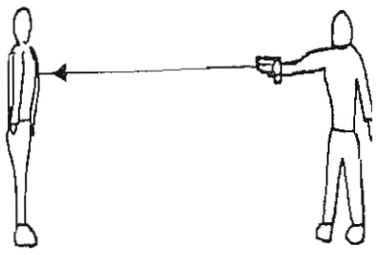
2) Los orificios en las prendas no necesariamente deben coincidir con la misma zona del cuerpo afectada. El maniquí no posee la misma estructura corpórea que la víctima o damnificado; las prendas sufren desplazamientos en un cuerpo humano y pueden haber estado muy ajustadas o muy sueltas o flojas, lo cual desvirtúa todo cálculo.

3) El hacer coincidir el orificio de entrada en una prenda con el de salida no siempre es indicativo de la trayectoria médico-legal, dado que existen posibles desvíos dentro del cuerpo que pueden transformarla en quebrada recta o circungirante, en vez de ser limpia (totalmente rectilínea y sin desviaciones). En aquellos casos, la unión del orificio de entrada con el de salida no va a arrojar un ángulo coincidente con el de penetración.

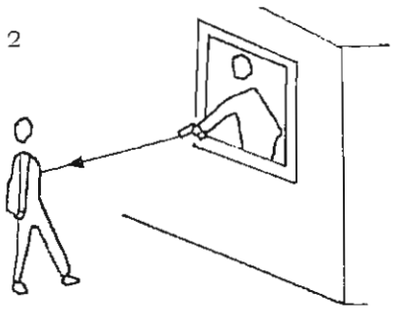
Para optimizar este estudio debe poseerse el informe médico-legal surgido de la autopsia del occiso o de la historia clínica del damnificado, la que preferentemente deberá contener radiografías.

Cuando una víctima o damnificado posea únicamente orificio/s de entrada, para determinar el origen del o de los disparos será necesario contar con otras referencias métricas lo suficientemente abundantes como para expedirse con cierta precisión. Como se habrá observado, hemos empleado la palabra cierta, dado que para un mismo ángulo de incidencia y penetración las variantes pueden ser infinitas, tal como se grafica con algunos ejemplos en las siguientes figuras.

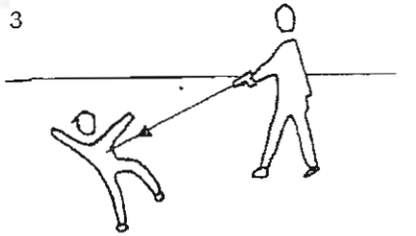
1



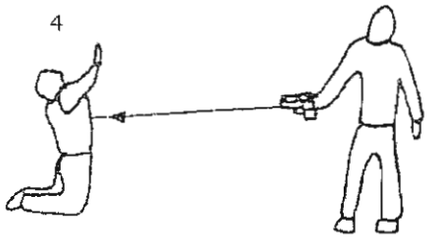
2



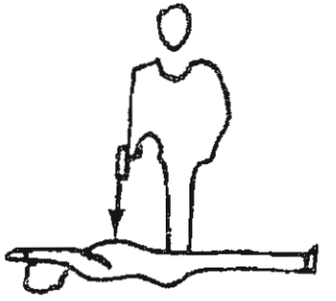
3



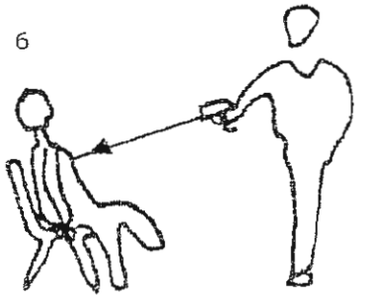
4



5



6



Cuando se posee orificio de entrada, un orificio de salida y una o más marcas o huellas del accionar del proyectil actuante, sobre elementos o cosas, es viable establecer la relación victimario-arma-víctima o bien descartar posibilidades, mediante cálculos trigonométricos y matemáticos, basados en parámetros susceptibles de medición, existentes tanto en los cuerpos que han intervenido como en las cosas que forman parte de la escena del suceso.

e) Impactos de bala que no producen perforaciones

Bajo este título reuniremos todos aquellos impactos de bala que, por las características del material afectado, la notoria distancia desde la cual fueron efectuados o por defectos en la carga balística del cartucho, no han llegado a perforar o canalizar el material que ha servido de blanco.

En efecto, existen ciertos materiales de extrema dureza (granito, mármol, concreto, chapas de acero, maderas, etc.) que impiden tanto la perforación como la formación de un canal de penetración que, debidamente estudiado, puede arrojar parámetros que posteriormente conduzcan a establecer el lugar de procedencia del disparo.

La carencia de energía suficiente en el proyectil, motivada ya sea por defectos en la carga balística del cartucho o la considerable distancia desde la que fue efectuado el disparo, también produce este tipo de fenómeno.

No siempre la causa está dentro de algunas de las mencionadas, suele ocurrir también que el ángulo formado por la trayectoria del proyectil y la

superficie que oficia de blanco sea tal que, pese a la existencia de suficiente energía, impida la penetración (disparos muy oblicuos o sesgados).

En todos estos casos sólo podrán darse referencias aproximadas de cómo ha estado orientado el disparo (izquierda a derecha, abajo hacia arriba, etc.), conforme a las características morfológicas de las improntas y los descascaramientos (cuando los hubiere).

CAPÍTULO XI

ARMAS

I. DEFINICIÓN

El diccionario de la lengua castellana define *arma* como "máquina, medio o instrumento cuyo fin es ofender o defenderse". Esta acepción de la palabra permite considerar como tal cualquier objeto que en determinadas circunstancias potencie la fuerza humana o, según el empleo que de él se haga, pueda adquirir tal carácter (palo, hueso, piedra, martillo, etcétera).

No obstante ello, en forma genérica, cuando se hace referencia a un arma se hace mención de aquellos elementos que expresamente fueron concebidos como tales, tanto para defenderse como para atacar (revólver, cuchillo, puñal, ballesta, etcétera).

Partiendo de este concepto puede arribarse a la siguiente clasificación:

II. ARMAS BLANCAS

Desde el punto de vista médico-legal, arma blanca es todo aquel elemento lesivo o potencialmente lesivo, de variado material y hechura, que, teniendo al menos un filo y/o una punta aguzada, es idóneo para lesionar el cuerpo humano aisladamente con cada uno de ellos o combinando ambos a la vez. Este tipo de armas son las que, una vez empuñadas, actúan por la fuerza y destreza (o no) de quien las esgrime; por ejemplo: cuchillo, daga, espada, sable, puñal, etcétera.

Cuando se menciona en la definición a "todo aquel elemento lesivo o potencialmente lesivo", se engloba genéricamente numerosas cosas que se complementa por el concepto de "variado material" (metal, vidrio, procelana, etc.) y de variada hechura (producto industrial, creación improvisada, artesanía, etcétera).

Dentro de los conceptos vertidos encontramos una subclasificación que podríamos sintetizar de la siguiente manera:

a) Según su hechura

Típicas (de producción industrial o artesanal, cuyo propósito es el combate (florete, lanza, cuchillo de combate, etc.); *atípicas* (si bien están

fabricadas en serie, no están confeccionadas con propósito de combate, no obstante en determinadas circunstancias se emplean con fines lesivos –cuchillo de cocina, hacha, cortaplumas, etc.–); *ocasionales* (cuando objetos y utensilios se manufacturan o modifican en objetos lesivos –botella rota, mango de cuchara, etc.–).

b) Según su morfología

Cilíndrica con punta (punzón, clavo, agujas, etc.); *laminar con punta* (flecha, algunos cortaplumas, etc.); *laminar con filo* (borde de vidrio, de cerámica, bisturí, navaja de afeitar, etc.) y *laminar con punta y filo* (espada, bisturí, rama de tijera, punta de lanza, etc.).

c) Según la existencia o no de hoja metálica

Clásicas de hoja (cuchillos de combate o no, espada, puñal, etc.) y *no clásicas o sin hoja* (agujas, chapa, vidrio, etc.) .

Las armas blancas con punta actúan por penetración, es decir, perforan: florete, lanza, etcétera.

Las que poseen punta y filo, además de penetrar, también actúan simultáneamente por corte: cuchillo, machete, etcétera.

III. ARMAS DE PROYECCIÓN

Se denominan armas de proyección aquellas que, mediante una fuerza mecánica proporcionada por la elasticidad de materiales o bien por efecto de una reacción química, permiten arrojar un proyectil quedando siempre el mecanismo de proyección en manos del cazador o tirador. Se pueden subdividir en:

Armas de propulsión mecánica: como la cerbatana, que aprovecha el impulso del aire acumulado por el cazador en sus pulmones; el arco y la ballesta con sus flechas, que aprovecha la elasticidad de ciertos materiales y la carabina de aire comprimido.

Armas de propulsión química: como son todas las armas de fuego donde el proyectil, sean balas o perdigones, son proyectados merced a los gases generados en la reacción de una sustancia química.

Estas armas tienen la propiedad de arrojar hacia el blanco elementos capaces de causar daño.

IV. ARMAS ARROJADIZAS

Producen el efecto deseado cuando quien las utiliza las arroja: lanza, boleadoras, jabalina, bumerán, etcétera.

V. ARMAS DE FUEGO

Son las que utilizan la energía de los gases producidos por la deflagración de pólvoras para lanzar un elemento sólido, generalmente metálico, denominado proyectil, a distancia. Un arma de fuego también puede ser definida como todo instrumento mecánico que, utilizando la fuerza expansiva de los gases producidos por la deflagración de la pólvora, resulta apto para el lanzamiento de proyectiles a distancia.

a) Clasificación

En forma general, las armas de fuego se pueden clasificar utilizando diferentes criterios, por ejemplo:

1. Por su longitud: 1) cortas o de puño; 2) largas o de hombro; 3) medianas.
2. Por su peso o potencia: 1) livianas; 2) pesadas.
3. Por su sistema de disparo: 1) acerrojadas; 2) sin cerrojo.
4. Por su mecanismo de funcionamiento: 1) tiro a tiro; 2) repetición; 3) semiautomática; 4) automática.
5. Por el ánima del cañón: 1) lisa; 2) estriada.
6. Por el tipo de proyectil: 1) único; 2) cartucho; 3) señales; 4) de lanzamiento; 5) lanzaclavos/clava pernos.
7. Por el uso o fin de diseño: 1) caza; 2) deportiva; 3) defensa y seguridad; 4) militares.

Otra forma sería:

1) *Armas de lanzamiento.* Son aquellas que disparan proyectiles autopropulsados, granadas, munición química o munición explosiva. Se incluyen en esta definición los lanzallamas cuyo alcance sea superior a tres metros.

2) *Arma portátil.* Es el arma de fuego o de lanzamiento que puede normalmente ser transportada y empleada por un hombre sin la ayuda animal, mecánica o de otra persona.

3) *Arma no portátil.* Es el arma de fuego o de lanzamiento que no puede normalmente ser transportada y empleada por un hombre sin la ayuda animal, mecánica o de otra persona.

4) *Arma de puño o corta.* Es el arma de fuego portátil diseñada para ser empleada normalmente utilizando una sola mano, sin ser apoyada en otra parte del cuerpo.

5) *Arma de hombro o larga.* Es el arma de fuego portátil que para su empleo normal requiere estar apoyada en el hombro del tirador y el uso de ambas manos.

6) *Arma de cargo tiro a tiro.* Es el arma de fuego que, no teniendo almacén cargador, obliga al tirador a repetir manualmente la acción completa de carga del arma en cada disparo.

7) *Arma de repetición.* Es el arma de fuego en la que el ciclo de carga y descarga de la recámara se efectúa mecánicamente por acción del tirador, estando acumulados los cartuchos en un almacén cargador.

8) *Arma semiautomática.* Es el arma de fuego en la que es necesario oprimir el disparador por cada disparo y en la que el ciclo de carga y descarga se efectúa sin la intervención del tirador.

9) *Arma automática.* Es el arma de fuego en la que, manteniendo oprimido el disparador, se produce más de un disparo en forma continua.

Efectuadas las clasificaciones hasta aquí consignadas, teniendo en consideración lo que al respecto enuncia la ley nacional de armas y explosivos 20.429, en su dec.-reg. 395/75, pasemos ahora a definir las siguientes armas de fuego:

10) *Fusil.* Es el arma de hombro, de cañón estriado, que posee una recámara formando parte alineada permanentemente con el ánima del cañón. Los fusiles pueden ser de carga tiro a tiro, de repetición, semiautomáticos y automáticos (pueden presentar estas dos últimas características combinadas, para uso opcional, mediante un dispositivo selector de fuego).

11) *Carabina.* Arma de hombro de características similares a las del fusil, cuyo cañón no sobrepasa los 560 milímetros de longitud.

12) *Escopeta.* Es el arma de hombro de uno a dos cañones de ánima lisa que se carga normalmente con cartuchos que contienen perdigones.

13) *Fusil de caza.* Es el arma de hombro de dos o más cañones, uno de los cuales, por lo menos, es estriado.

14) *Pistolón de caza.* Es el arma de puño de uno o dos cañones de ánima lisa, que se carga normalmente con cartuchos que contienen perdigones.

15) *Pistola.* Es el arma de puño de uno o dos cañones de ánima rayada, con su recámara alineada permanentemente con el cañón. La pistola puede ser de carga tiro a tiro, de repetición o semiautomática.

16) *Pistola ametralladora.* Es el arma de fuego automática diseñada para ser empleada con ambas manos, apoyada o no en el cuerpo, que posee una recámara alineada permanentemente con el cañón. Puede poseer selector de fuego para efectuar tiro simple (semiautomática). Utiliza para su alimentación un almacén cargador removible.

17) *Revólver.* Es el arma de puño que posee una serie de recámaras en un cilindro o tambor giratorio montado coaxialmente con el cañón. Un mecanismo hace girar el tambor de modo tal que las recámaras son sucesivamente alineadas con el ánima del cañón. Según el sistema de accionamiento del disparador, el revólver puede ser de acción simple o de acción doble.

VI. CONSIDERACIONES TÉCNICAS SOBRE LAS ARMAS MÁS USUALES

Desde el punto de vista de la investigación criminal, la experiencia nos indica que las armas de fuego más frecuentemente utilizadas para cometer hechos de violencia tanto contra las personas como contra inmuebles, vehículos, etc., son: el revólver, la pistola, la escopeta, el pistolón, la pistola ametralladora y las pistolas o rifles de acción neumática o de gas comprimido.

a) El revólver

Se trata de un arma corta, sumamente apta para el combate a corta distancia, muy difundida en todo el mundo. Actualmente existen numerosos modelos, marcas, calibres y largos de cañón, no obstante lo cual su funcionamiento es básicamente común a todos.

Por su mecanismo de disparo puede ser de *simple acción,* vale decir que para concretar un disparo es necesario previamente montar el martillo (desplazarlo totalmente hacia atrás en forma manual) o de *doble acción.* En este último caso el disparo se logra oprimiendo directamente la cola del disparador.

El martillo puede encontrarse *oculto* (dentro de la armadura) o *a la vista* (fuera de la armadura). En el primer caso la extracción del arma de entre las ropas reduce notablemente la posibilidad de enganche.

El percutor (pieza que provoca el estallido de la cápsula fulminante del cartucho por el golpe del martillo) puede ser fijo o *solidario* al martillo; *móvil* (formando parte del martillo pero con posibilidades de movimiento limitado, ascendente y descendente) y, finalmente, *flotante,* es decir, independiente del martillo y dentro de un resorte que le permite el retroceso luego de cada percusión.

Dentro de un mismo calibre, de acuerdo con el tipo de cartucho para el cual ha sido diseñado, puede ser: corto, largo, largo especial, Magnum, etcétera.

También dentro de un mismo calibre existen diferencias en la longitud del cañón (2 pulgadas, 4 pulgadas, etc.). A mayor longitud, habrá mayor precisión en la trayectoria del proyectil.

El cañón puede ser articulable junto con el tambor (cierre en "T" o *lechucero,* como comúnmente se lo denomina); roscado, fundido o a presión respecto de la armadura.

El tambor generalmente es volcable hacia la izquierda o derecha (excepto los que poseen cierre en "T") y giratorio hacia uno u otro lado. Su capacidad de carga o cantidad de alvéolos varía de acuerdo con el calibre, la marca y el modelo.

Existen y han existido otros modelos, con características tales como las de tener que extraer el cilindro para su carga. Tratar de describir todas las variantes y sistemas anteriores y actuales implicaría llevar a cabo una obra de similares dimensiones a la presente, solamente dedicada a ello. El propósito fundamental es simplemente ofrecer una idea general que sirva para distinguir un tipo de arma respecto de otra. Recurrir a

catálogos y folletos de fabricación suele ser el método más acertado para detallar técnicamente un determinado tipo de arma de fuego, especialmente en lo atinente a la ubicación de piezas y sistemas que la integran.

Es necesario acotar que el revólver se distingue, al igual que otras armas, por su *sistema de percusión*: de fuego central y periférico o anular.

Revólver de doble acción, calibre .357 Magnum

Componentes principales del revólver

La mayor parte de los revólveres modernos son de doble acción, es decir que al ejercer presión sobre la cola del disparador se monta el martillo y luego cae para percutir el cartucho que en ese momento enfrenta el cañón del arma (el mismo se encuentra alojado en uno de los alvéolos del cilindro). En estos revólveres también es posible montar el martillo manualmente, para disparar en simple acción y por ende obtener mayor precisión de tiro. Algunos funcionan únicamente en simple acción, es decir que para efectuar cada disparo hay que montar el martillo en forma manual.

Otros son de doble acción solamente, pues tienen el martillo oculto.

b) La pistola

Sin entrar en el campo de sus orígenes, clases y evolución que ha experimentado conforme a los avances tecnológicos, se trata de un arma generalmente semiautomática, que no precisa de más acción mecánica por parte del tirador que desplazar debidamente la corredera, y las sucesivas presiones del dedo índice sobre la cola del disparador harán posibles los correspondientes disparos. A su vez, en ascendente *carrera,* los cartuchos almacenados en el estuche correspondiente se irán desplazando hacia la recámara del cañón aprovechando la presión de los gases producidos por la deflagración de la pólvora, lo que a su vez dará lugar a la expulsión o eyección de vainas vacías o servidas por la ventana existente para tal fin.

Por su mecanismo de disparo pueden ser de *simple acción* (montaje manual del martillo o por accionamiento de la corredera el montaje manual del martillo no permite el disparo sin haberse colocado previamente un cartucho en la recámara), o de *doble acción* (siempre y cuando exista un cartucho en la recámara, el disparo se produce accionando directamente la cola del disparador).

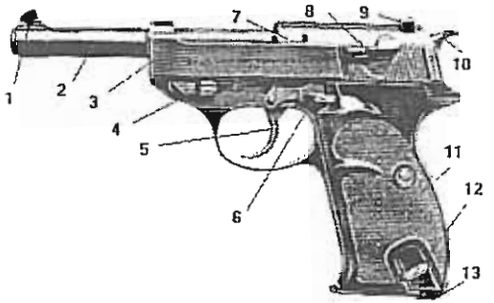
El martillo puede encontrarse *a la vista* o poseer un sistema de disparo que impida su visualización.

El percutor es generalmente del tipo *flotante.* Cuando el elemento en cuyo interior se alojan los cartuchos de bala puede ser extraído del arma, se lo denomina estuche cargador; en caso contrario (cuando es solidario con aquélla), almacén cargador.

En términos generales, este tipo de arma está conformada por las siguientes piezas: la *armadura,* que contiene o sostiene las diversas piezas que integran su mecanismo; la *corredera,* que contiene los aparatos de puntería (guión y alza), con posibilidades de desplazamiento hacia atrás y hacia adelante sobre guías ubicadas en la armadura; el *retén de corredera,* que permite mantenerla abierta cuando el estuche cargador ha quedado vacío; el *cañón,* generalmente desmontable previo desplazamiento y separación de la corredera; el *extractor,* que por medio de su *uña extractora* tiene por misión sacar de la recámara los cartuchos o vainas servidos, arrastrándolos hasta que son expulsados por el *botador,* ubicándose el primero en la corredera y el segundo en la parte posterosuperior de la armadura; el *estuche o almacén cargador,* cuya finalidad es contener los cartuchos que luego han de trasladarse a la recámara del arma, accionando manualmente la corredera o automáticamente por los retrocesos que ésta sufre por la acción de los gases que se producen a raiz del disparo.

Con respecto a su mecanismo de disparo, se indica que, una vez accionada la cola del disparador, el martillo cae sobre el percutor, éste pica o golpea la cápsula fulminante del cartucho y el disparo se produce.

Componentes de una pistola semiautomática



1. Punto de mira; 2. Cañón; 3. Corredera; 4. Palanca de desarme; 5. Cola del disparador; 6. Retén de la corredera; 7.Uña extractora; 8. Aleta del seguro; 9. Alza; 10. Martillo; 11. Cacha; 12. Porta correa; 13. Retén del cargador.

c) La escopeta

La escopeta, que desde su advenimiento fue utilizada como arma de caza, se ha constituido en los últimos años en un poderoso auxiliar de las fuerzas policiales y en un aliado eficiente de las tropas del ejército que luchan en zonas selváticas.

También es cierto que hoy día, más y más gente adquiere este tipo de arma para la protección de hogares, tanto en el campo como en la ciudad.

Se trata de un arma larga o de hombro, de uno o dos cañones de ánima lisa, en la que normalmente se emplean cartuchos de perdigones. La evolución en sus variados diseños, así como la producción de cartuchos especiales, la han hecho apta para ciertos tipos de operaciones, esencialmente policiales (cartuchos con postas de gran calibre, de goma, etc.).

Por su sistema de disparo podemos clasificarla en:

1. *De cargo, manual (tiro a tiro).* Tanto en las escopetas de uno como de dos cañones, el tirador debe concretar la operación de apertura, carga, cierre y montaje del martillo en forma manual.

Ocurre lo mismo en cuanto a la descarga una vez producidos el o los disparos. Existen diseños modernos que permiten a los percutores armarse cuando el arma está abierta, no siendo necesario, por ende, montar el o los martillos.

2. *De repetición.* Es aquella que debajo del cañón posee un tubo o cilindro que oficia de almacén cargador, en el que deben introducirse de a uno por vez los cartuchos (la alimentación puede ser a palanca o a trombón). Efectuada la operación de carga del almacén, el operador produce la operación de apertura del arma y, al cerrarla, coloca el cartucho en la recámara, montándose simultáneamente el percutor. Por cada disparo debe realizarse la misma operación.

3. *Semiautomática.* Colocados los cartuchos en el tubo o estuche cargador, según el caso, la primera operación de carga debe concretarse manualmente. Ocurrido el disparo y empleando parte de los gases de la pólvora combustionada, se produce en forma automática la recarga de los restantes cartuchos.

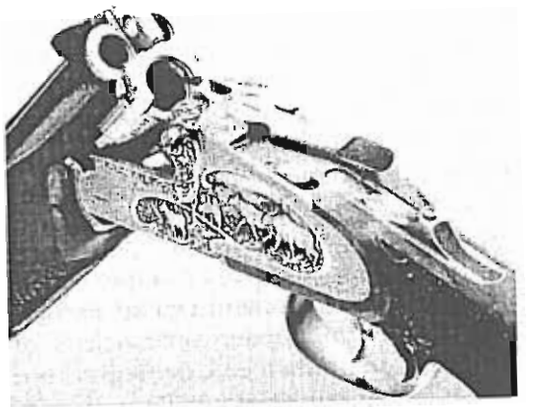
Cuando se trata de escopetas de dos cañones, los mismos pueden estar yuxtapuestos (uno al lado del otro) o superpuestos (uno encima del otro). También encontramos escopetas de tres cañones combinados (estriados y lisos), denominadas *drilling,* que tienen como principal ventaja la versatilidad y adaptabilidad a las condiciones de caza que imperan en un determinado territorio, en el que se pueda encontrar indistintamente caza mayor y menor. Debe aclararse que también se fabrican escopetas superpuestas de dos cañones, uno liso y el otro estriado, con la finalidad antes aludida, las que en realidad se denominan *fusiles de caza.*

1. *El dispositivo de "polichoke" y su utilización*: El dispositivo de *pluri-choke o polichoke,* según sea la denominación de raíz latina o griega que se emplee, se usa para dar versatilidad a la escopeta, pudiendo, gracias a él, concentrar más o menos el plomeo al cerrar o abrir la boca del cañón. El mismo consiste en unos sectores cilíndricos sobre los que se actúa mediante una rosca cónica, y ubica en el extremo anterior del caño.

Como son de origen norteamericano, su graduación viene marcada por la denominación de los distintos *chokes* en inglés, correspondiendo éstos a:

- *CL* (cilíndrico, también llamado *Slug*: para bala): 0; 0,2 mm.
- *Improved CL* (cilíndrico mejorado, 1/4 de *choke*) 0,3; 0,4 mm.
- *Modified* (modificado, 1/2 *choke*): 0,5; 0,6 mm.
- *Improved modified* (modificado mejorado, 3/4 *choke*): 0,7; 0,9 mm.
- *Full choke*: 1,0; 1,1 mm.

Cabe acotar que también existen *chokes* intercambiables que van roscados a uno de los cañones de las escopetas (superpuestos) y que existen escopetas con un cañón cilíndrico y otro agolletado en la boca.



Escopeta de cañones combinados –*drilling*– (fusiles de caza)

2. *Los disparadores*: Disparador, cola de disparador, o vulgarmente gatillo, se llama lo que provoca la salida del tiro, haciendo caer el martillo, al ejercer presión sobre él con el dedo. En las escopetas, su forma y posición, tanto en relación con la garganta de la culata como dentro del arco de guardamonte, tiene mucho que ver con el buen o mal resultado del arma en manos del tirador. En las escopetas de dos disparadores (bigatillo), el delantero, que generalmente corresponde al caño derecho en las yuxtapuestas, y al inferior en las superpuestas, tiene forma ligeramente curvada, parecido a una medialuna muy abierta, mientras que el trasero es mucho más largo y curvo. La punta de este último se hace más ancha que el cuerpo y es conveniente que esté colocada a la derecha de la punta del disparador delantero. En esta forma el dedo índice, al deslizarse después del primer disparo para tomar contacto con el disparador trasero, se limitará a hacerlo directamente hacia atrás.

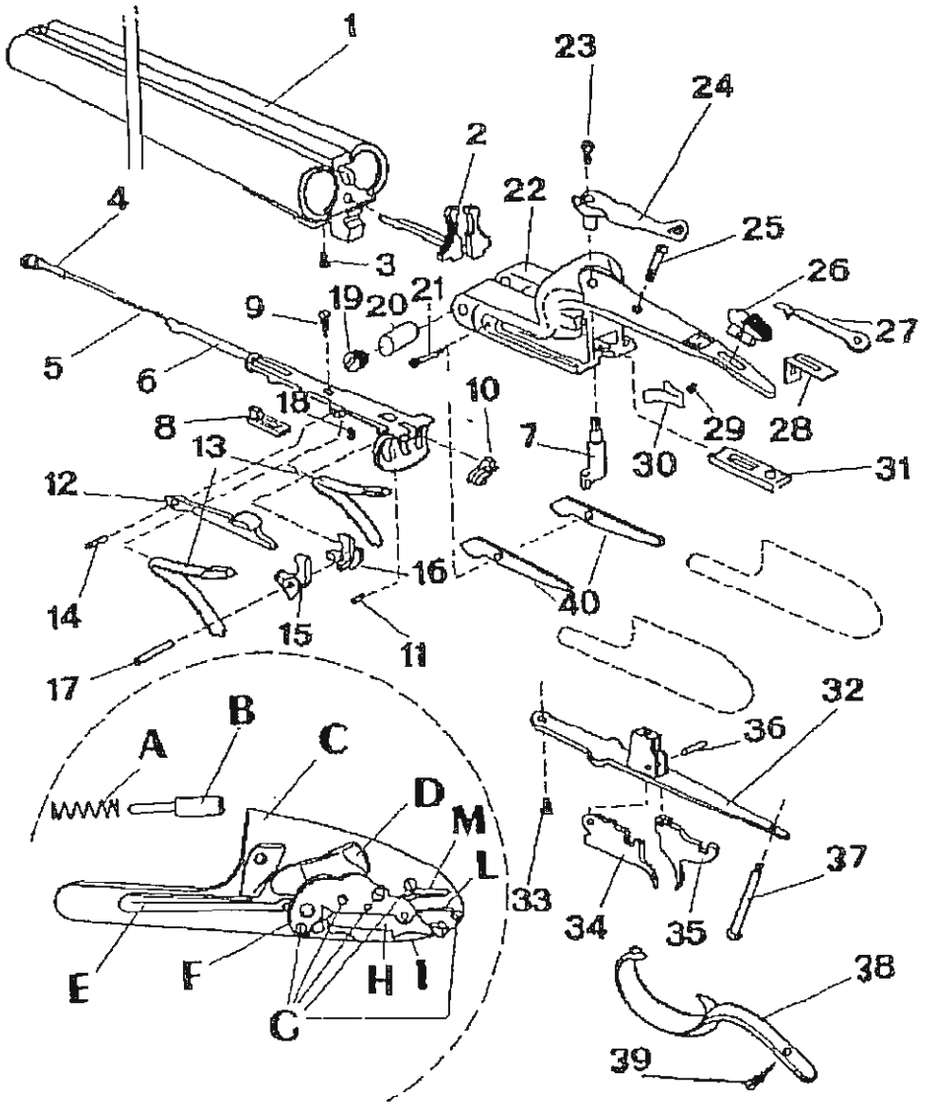
En algunos sistemas, el orden en el que se pueden disparar los caños es fijo: primer disparo, caño derecho o inferior; segundo disparo, caño izquierdo o superior. En otros puede elegirse el orden mediante un selector que, por lo general, está ubicado en el mismo seguro y a veces en la cola del disparador.

3. *Extractores y expulsores*: Ubicados en la boca de la recámara, abarcan un cuarto de la circunferencia total de éstas y se accionan por diversos sistemas. Los más simples son los extractores, que sólo extraen del cartucho aproximadamente 1 cm, debiendo completarse la extracción con los dedos. Al abrir la escopeta, un resalte o apoyo metálico de la chimaza empuja hacia afuera el vástago en cuyo extremo se encuentra el mencionado cuarto de circunferencia, o extractor. Más complejos son los expulsores, que extraen totalmente al cartucho, arrojándolo a cierta distancia del arma. Funcionan en forma selectiva, ya que si el cartucho no ha sido disparado, sólo lo extraen en forma parcial.

4. *La banda y el guión*: En el caso de las escopetas yuxtapuestas, se llama banda superior a la pieza colocada entre ambos cañones, la cual puede ser cóncava o plana. En algunas escopetas la superficie de la banda cerca de la boca de los caños es más baja que éstos, lo cual se hace para levantar el tiro, con el inconveniente de que los caños sobresalientes obstruyen el campo visual.

En el caso de las escopetas superpuestas, podríamos decir que existen dos bandas. La que une ambos caños y la que se ubica sobre el caño superior; esta última, no siempre presente en las escopetas de caza o del tipo económico. En ambos casos pueden ser macizas, es decir, soldadas al caño en toda su longitud, o unida a éste de trecho en trecho, las cuales se llaman *ventiladas*, y tienen por objeto facilitar el enfriado de los tubos y evitar reflejos por el calentamiento de la banda superior.

Componentes de una escopeta de dos caños yuxtapuestos



1	Caño	21	Tornillo de levante	A	Muelle espiral de percutores
2	Extractor expulsor	22	Báscula	B	Aguja percutora
3	Tornillo de detenida del extractor	23	Tornillo de palanca cimera	C	Chapa de llave
4	Tornillo a resorte de la delantera	24	Palanca cimera	D	Martillo
5	Muelle espiral de delantera	25	Tornillo pequeño de Rabera	E	Muelle real
6	Delantera	26	Botón de seguro	F	Garabato
7	Llave	27	Muelle de seguro	G	Tornillo de llave
8	Enganche de la delantera	28	Escuadra de seguro	H	Doble seguro
9	Tornillo sujeción delantera al guardamano	29	Tornillo de muelle de seguro	I	Fiador
10	Diente de extractor	30	Muelle de palanca	L	Muelle de doble seguro
11	Tornillo de diente	31	Pasador central	M	Muelle de fiador
12	Elevador de expulsor	32	Guardabaja		
13	Muelle de expulsor	33	Tornillo de guardabaja		
14	Pasador de elevador	34	Disparador izquierdo		
15	Martillo izquierdo de expulsor	35	Disparador derecho		
16	Martillo derecho de expulsor	36	Pasador para disparadores		
17	Pasador martillos expulsor	37	Tornillo de Rabera		
18	Muelle espiral de elevador expulsor	38	Guardamonte		
19	Tapón de eje	39	Tornillo de guardamonte		
20	Eje	40	Levantes		

El guión o punto de mira puede ser de metal blanco, latón, plástico, marfil o acrílico translúcido (además existen fosforescentes). Las escopetas finas y las de competición suelen llevar un segundo guión, más pequeño, ubicado en la mitad de la longitud de la banda, el cual sirve para posicionar el arma, ya que cuando ésta se encuentra correctamente alineada, éste no se ve contra el primero.

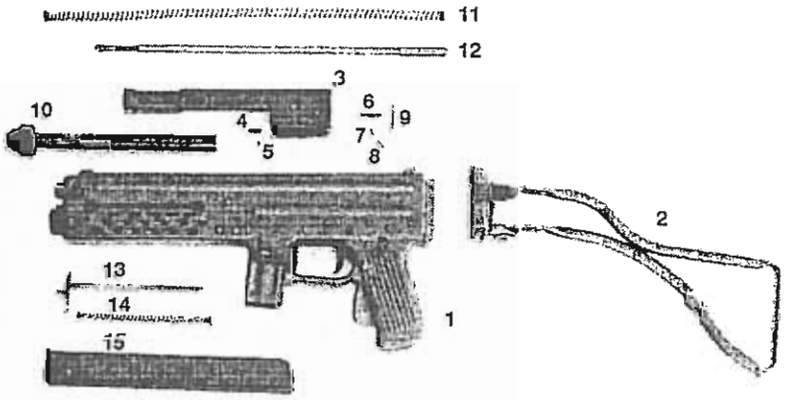
d) El pistolón

Es un arma muy difundida para la caza de especies menores y para la defensa personal, especialmente en el interior de inmuebles y vehículos.

Es de muy corto alcance, emplea cartuchos de escopeta y puede encontrarse provisto de uno o dos caños. Presenta la facilidad de una mayor precisión en el tiro al bulto, aun por tiradores no experimentados. No produce retroceso considerable y es de fácil operación. La ventaja relativa respecto de la facilidad para el tiro al bulto (por la dispersión de perdigones) se transforma en una dificultad en caso de requerirse precisión.

e) La pistola ametralladora

Se trata de un arma diseñada para el combate a cortas distancias y para su empleo con ambas manos. Puede tener o no un selector de disparo que le permite operar tiro a tiro o en ráfaga. En algunos modelos, por no contar con ese selector, la cadencia de fuego la marca el propio tirador mediante el accionar de la cola del disparador. La alimentación se efectúa por estuches cargadores y los diseños más modernos tienden al empleo del arma con una sola mano.



Detalle de las piezas principales de una pistola ametralladora de origen europeo (LF 57, calibre 9x19 mm, marca Franchi, Italia)

1. Cuerpo
2. Grupo clata plegable
3. Bloque de cierre
4. Aguja de percusión
5. Pasador de la aguja de percusión
6. Extractor
7. Guía del resorte del extractor
8. Resorte del extractor
9. Pasador del extractor
10. Cañón completo
11. Resorte del retroceso
12. Guía del resorte de retroceso
13. Maneta de armamento
14. Resorte de la maneta de armamento
15 Cargador

VII. ARMAS DE ACCIÓN NEUMÁTICA O DE GAS CARBÓNICO

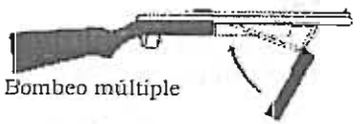
Son aquellas que utilizan la energía producida por un violento desplazamiento de aire, provocado por un pistón alojado en su interior cuando es liberado (acción neumática). Dicha energía también puede encontrarse comprimida en un envase o garrafa que contiene dióxido de carbono. En ambos casos dichas armas (de puño o de hombro, tales como pistolas, rifles, etc.) arrojan balines de plomo, acero, etc., de reducidas dimensiones y variadas formas.

Las armas de acción neumática o de gas comprimido vienen de muchas formas y aspectos, podemos así hablar de tres tipos básicos:

a) armas de aire neumáticas;
b) armas de aire de resorte y pistón;
c) armas de CO_2.

a) Armas de aire neumáticas

Las armas de aire neumáticas usan aire comprimido como poder de impulsión. La forma de obtener el aire comprimido depende del tipo de sistema neumático que sea. El arma neumática más común es la de soplidos múltiples u ocasionalmente llamadas armas neumáticas de bombeo. Para obtener la minúscula porción de aire comprimido en un arma de soplidos múltiples, toma, tal como su nombre lo indica, entre dos y diez soplidos de la palanca de bombeo de la empuñadura delantera, que consiguen la presión interna necesaria para impulsar el balín fuera del cañón en un avance adecuado. La mayoría de estas armas son compactas, sin retroceso y de peso liviano; son en general bajas en potencia. Su gran inconveniente es todo el tiempo y esfuerzo requerido para hacer el disparo, y un segundo disparo es casi imposible antes que la presa corra o vuele. A medida que se bombea el arma progresivamente, se requiere un mayor esfuerzo; hay demasiada variabilidad en el procedimiento de bombeo como para asignarles un rendimiento magnífico, aparte del error humano.



Bombeo múltiple

Una forma preferible de esta categoría es el arma de aire neumática de soplido único. Como su nombre lo expresa, un solo movimiento de la palanca de amartillado es todo lo que se necesita para comprimir el aire para la propulsión. El formato de soplido único es usado en el extremo alto de muchas de las armas de aire de competencia a 10 metros. La consistencia, precisión y carencia de retroceso son las razones por las

que los mejores tiradores se inclinan por este tipo. El aspecto pobre es la inferior potencia, pero con el incremento en precisión a corto alcance hace que los tiradores a 10 metros las prefieran.

El tercer tipo de armas de aire neumáticas son las precargadas. Se puede obtener potencia variable desde baja a alta si se lo desea. La precisión es muy buena, de fácil amartillado, ausencia de retroceso y gran cantidad de disparos de una carga de aire. La carga requiere poco esfuerzo de parte del tirador. Las armas neumáticas precargadas vienen como armas de competición para la serie tiro al blanco de campo y como armas de caza livianas para adultos mayores. Algunas son de repetición, de manera que el cazador con mala puntería puede tener una segunda oportunidad sin volver a bombear.

Precargado

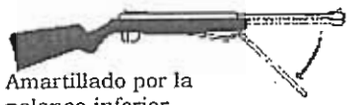
b) Armas de aire de resorte y pistón

Cuando se habla de armas de aire en estos tiempos, probablemente se haga referencia a armas de resorte y pistón. Estas armas son las más fáciles de disparar, mantener y poseer. El arma de aire de resorte y pistón preferida por la mayoría de los tiradores es la de cañón abatible. Es amartillada sosteniendo la caja del arma en una mano y dividiendo el arma en la mitad, donde se encuentra la recámara, tomando el cañón con la otra.

Amartillado por el cañón

La acción de "quebrar" el arma mueve un pistón hacia atrás dentro del recipiente de la bomba neumática y a la vez comprime un poderoso resorte detrás de el. El fiador del disparador suena y engancha en una muesca del pistón y sostiene la totalidad del trabajo en tensión. En un arma de aire de cañón abatible el balín se coloca directamente en la recámara y el cañón se levanta nuevamente a su posición quedando listo para disparar. Luego de oprimir la cola del disparador y cuando el fiador libera el pistón, se mueve hacia adelante enérgicamente con el poder del gran resorte detrás de él. Todo este mecanismo empuja una columna de aire hacia adelante dentro del extremo trasero del balín colocado en la recámara. El efecto de todo esto causa el vigoroso movimiento del proyectil fuera del cañón. Las armas de aire de resorte y pistón se amartillan por

quiebre del cañón, palanca inferior, palanca lateral o palanca superior. Son armas de aire confiables y duraderas.



Amartillado por la palanca inferior

Cuando se dispara en seco, es decir, en ausencia de balín, la cabeza del pistón choca violentamente en el frente del tubo de compresión, debido a que el balín omitido no puede ofrecer la necesaria resistencia a la columna de aire. Esta resistencia amortigua el pistón, que viene con una tremenda energía que libera el resorte comprimido para mover la columna de aire. Las armas de aire de resorte y pistón duran por largo tiempo, pero el resorte se desgasta después de un período.

Amartillado por la palanca lateral

c) Armas de CO_2

Tal como su nombre lo dice, estas armas son potenciadas por CO_2. Como planta de poder para un arma es curiosa, porque es usada tanto en algunas de las armas más baratas y menos precisas como en las de más alta tecnología que se emplean en competencias a 10 metros. Guardado a la temperatura de una habitación, el CO_2 está entre 900 y 1000 psi y muy uniforme, pero subir o bajar la temperatura hará que cambie el punto de impacto de un arma de CO_2. La duda real acerca del CO_2 como planta de poder es para el cazador o tirador informal. El cazador con arma de CO_2 que ajusta sus miras en un día caluroso y sale a cazar en uno frío o viceversa no sabrá dónde hará impacto. Un cambio de temperatura durante el día también será un problema.

CO_2

Las armas de CO_2 son generalmente fáciles de amartillar y no tienen retroceso al disparar. Las armas de CO_2 para competencia son muy uniformes e increíblemente precisas a 10 metros.

Pistola de aire comprimido

Pistola de gas comprimido (CO_2)

Dependiendo de la actividad que se quiera llevar a cabo, se necesitará un calibre y una munición específicos. Los elementos para disparar a los que nos estamos refiriendo son nombrados de muchas maneras: perdigones, balines etc. El balín es un instrumento de precisión, un conjunto de variables bien calculadas que tiende a desafiar las fuerzas naturales como la resistencia del aire en su vuelo para alcanzar de forma perfecta su objetivo sin pararse ante nada y sin dilación. Para conseguir esto y que el vuelo sea ideal, aun en su aparente simpleza, la munición es el producto de muchos cálculos, estudios y pruebas orientadas a dar los máximos resultados en diferentes situaciones, por esta razón existen tantos y tan diferentes tipos de balines al igual que de calibres.

Observándolo, se distinguen dos partes claras: la cabeza y la falda o la cola. La cabeza es lo que identifica a la munición dándole diversos nombres, y la cola casi siempre sólo se diferencia en la mayoría en si está rayada o no. Existen balines/perdigones que no tienen cola sino una vaina de plástico recubriendo una cabeza de metal poderosa, como son los conocidos Prometheus, o algunos otros.

La cabeza es lo que da su identidad al proyectil y en mucha proporción el carácter aerodinámico que tiene el balín. El valor que rige su vuelo es el coeficiente balístico que determina las propiedades del proyectil al volar y atravesar el aire. Las características del balín dependen de varios factores, el peso la forma, entre otros.

Cabeza: tiene su importancia, pues es la que dará más o menos efectividad al vuelo según su forma, evitando y desplazando la columna de aire para dar una mayor velocidad al proyectil. Al respecto, lo mejor para la velocidad son las cabezas de tipo puntiaguda o los domed. De la cabeza depende también el impacto del balín, para balines utilizados para la caza se juega mucho con cabezas muy perforantes, como las *predator* o con balines que buscan una gran dispersión como los *Hollow point*. Aquí se llega a un factor importante y hay que decir que los balines más rápidos pierden muchísima energía más en vuelo que un proyectil lento, ya que a una velocidad mayor la resistencia del aire también aumenta en mayor proporción.

En definitiva, la cabeza o corona del perdigón es responsable respecto de la velocidad, la potencia, la dispersión y la perforación del balín; dependiendo de la superficie que tenga, cuanto más grande, será más lento, cuanto más pequeña, más rápido; por supuesto en esto interviene también su forma, ya que le da un carácter más aerodinámico que corta mucho mejor el aire y reduce la resistencia.

Sección (calibre): los dos más comunes son el 4,5 mm (.177) y el 5,5 mm (.22). Dependiendo de la sección se tendrá mayor o menor resistencia a la fuerza de parada que el aire ejerce. El calibre 4,5 es el más pequeño, el más conocido y el utilizado en las competiciones olímpicas de manera exclusiva; normalmente es un calibre empleado con las miras puestas en la precisión pura y por lo general en distancias cortas y en interiores, aunque en las competiciones de Field Target también se usa. Esta sección y el bajo peso de los balines, que raramente pasan de los 0,53 gramos, es ideal para obtener una velocidad extraordinaria, al igual que una precisión óptima, su trayectoria es muy tensa y uniforme. Algunos de sus problemas son los siguientes: su precisión es buena, pero su peso escaso, con dificultades climáticas, es un calibre complicado, el viento lo arrastra primero y más que a cualquier otro, por lo que la astucia del tirador a distancias largas debe ser mucho mayor controlando las variaciones. El otro problema es la energía que desprende al llegar al blanco, que es mínima. Los proyectiles rápidos pierden una energía mayor que los que van más despacio, así el 4,5 pierde mucha energía respecto a calibres mayores.

El calibre 5,5 mm es el preferido de otros muchos por su efectividad en largos rangos de distancia. Su mayor diámetro y mayor peso hacen que la energía cinética que desprende sea notable y llegue al blanco con

una fiereza importante. Su coeficiente balístico es bajo (los coeficientes balísticos numéricamente hablando son inversamente proporcionales al dígito que los señala), por lo que irá más despacio que el 4,5 mm pero conservará en mayor parte su energía llegando al blanco, como ya se ha dicho, con mucha más potencia, haciendo que el impacto sea más fuerte y en largas distancias mucho más seguro que con el .177. El vuelo es lento pero más certero además de que el viento perjudica este calibre en menor medida.

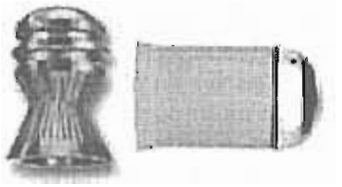
Hay muchísimos más calibres, uno intermedio es el 5 mm (.20) y otros mayores como el 6,35 mm (.25), incluso calibres gruesos como el 9 mm e inclusive calibres como el .57.

Cabeza Wadcutter:

Son balines normalmente no muy pesados, entre los 0,48 y los 0,53 gramos aproximadamente, preparados para distancias de 10 metros, para distancias a más de 20 m no son aconsejables, su coeficiente balístico es muy bajo (numéricamente hablando, alto) y para distancias largas no son buenos.

Domed:

Poseen la cabeza redondeada y son también llamados *round nouse*. Son excelentes para distancias largas, en 4,5 existen de pesos variables: 7,9 grains, 8,3 grains, etc. Hay diferentes "mutaciones" de este balín como, por ejemplo, las que siguen:



Tanto las pistolas como los rifles y las carabinas, conforme a las marcas, modelos y diseños, pueden estar concebidos para disparar uno o más proyectiles que van insertos en cargadores rectilíneos, tubulares, cilíndricos, etcétera.

Los balines diseñados para tales armas varían en diseño, conforme a la función que van a cumplimentar (precisión, penetración, alimentación rápida, etcétera).

VIII. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y APTITUD PARA EL TIRO DE UN ARMA DE FUEGO. SU DETERMINACIÓN

Una de las tantas labores periciales con las que debe enfrentarse el perito balístico, cuando así se requiere el magistrado o autoridad que interviene en una causa judicial, es la de determinar si la o las armas secuestradas son aptas para el tiro o, dicho de otra manera, si son aptas para sus fines específicos.

Éste es uno de los interrogantes más frecuentemente formulados. Esa aptitud a la que hemos hecho referencia radica, especialmente, en el buen y normal funcionamiento del mecanismo de percusión del arma, y ello deriva de la existencia, integridad y ajuste adecuado de todas las piezas que lo integran.

Para establecer si el mecanismo de percusión funciona bien y normalmente, se comienza por observar y accionar las piezas visibles del mismo en vacío, luego de lo cual se llevan a cabo disparos de experiencia y, conforme al resultado, se precede al desarme de la misma para observar y valorar el estado de las piezas interiores u ocultas.

De la manera aludida se estará en condiciones de establecer lo siguiente: si al accionar la cola del disparador se produce el movimiento de traslación del martillo que concluye con el golpe del extremo anterior del percutor en la cápsula fulminante, concepto éste que se aporta en forma generalizada, ya que existen numerosas variantes de acuerdo con el tipo de arma, marca y modelo de que se trate; si los resortes, muelles, sistemas de seguro de martillo o de cola de disparador no presentan debilitamientos, desgastes, roturas o fisuras, y si la púa o aguja percutora se encuentra intacta en cuanto a roturas, fisuras o aplastamientos que pueden incidir sobre el picado eficiente.

Obviamente resulta de suma importancia verificar previamente a todo lo expuesto la existencia o no de algún proyectil que pudiera haber quedado alojado en el interior del cañón, ya que un descuido al respecto podría acarrear peligro para el perito en el momento de probar el arma.

Con igual criterio también es importante verificar previamente la presencia de rupturas, rajaduras o fisuras de piezas tan importantes como el cañón, la recámara o los alvéolos, según el caso.

Si bien un arma puede resultar apta para el tiro, no es de descartar que acuse alguna anormalidad que no influya en lo primero, por ejemplo, desajustes en el sistema de fijación del tambor (revólver), deficiencias en el seguro del cargador (pistola), etc. En tales casos se tratará de un arma *apta para el tiro y de anormal funcionamiento*. De la misma manera, el hecho de que por algún impedimento originado en deficiencias mecánicas, un arma automática o semiautomática no pueda concretar disparos sucesivos sin la alimentación manual del operador, no implica que no sea apta para el tiro.

IX. APTITUD PARA EL TIRO DE CARTUCHOS. SU DETERMINACIÓN

Cuando así se lo requiera, no sólo se hace necesario verificar la aptitud para el tiro del arma incautada sino también la de los cartuchos que la acompañaban. Las pruebas al respecto se concentrarán sobre la cantidad de material que el juez interventor autorice.

Sobre el tema, la manera lógica de operar es la de proceder a dispararlos con un arma adecuada al calibre del que se trate, comprobando primeramente si el disparo se produce a la primera percusión; en segundo término, y si el cartucho ha sido diseñado para su empleo en armas automáticas o semiautomáticas, si luego del estallido de la pólvora la cápsula servida surge eyectada normalmente (lo contrario indica una deficiencia en la carga de proyección, considerando que el arma funciona normalmente); finalmente, es conveniente también medir la velocidad del proyectil para determinar si se ajusta a los valores de fábrica.

Cuando uno o varios de los cartuchos sometidos a peritaje ya se encuentran percutidos por así haber sido secuestrados, será necesario determinar si tal anomalía se debió a fallas en el sistema de percusión del arma ofrecida (percusiones débiles, excéntricas, etc.), al mal estado de conservación del elemento, pese a ser de reciente fabricación (pólvora humedecida, desajustes entre vaina y bala, fisuras en la cápsula, etc.), o por tratarse de un cartucho de antigua data.

X. CELOSIDAD. FUERZA DE TRACCIÓN NECESARIA PARA PRODUCIR EL DISPARO

Cuando hablamos de *celosidad o grado de celosidad* de un arma de fuego, no hacemos otra cosa que referirnos al valor de la fuerza de tracción que es necesario ejercer sobre la cola del disparador (también denominada "medida del *pull* del disparador") para posibilitar la producción del disparo.

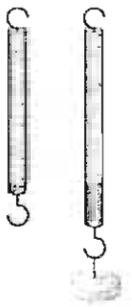
En tal sentido, se deberá tener en cuenta que en muchos casos (revólveres y pistolas de doble acción, por ejemplo) habrán de resultar dos valores: el correspondiente al accionamiento del arma en *acción simple* (martillo previamente montado) y el que surja de su manejo en *acción doble* (sin montar previamente el martillo).

Ambos valores pueden calcularse mediante el sencillo procedimiento (rudimentario y relativamente impreciso) de colocar un alambre cuya curvatura superior se apoya sobre la cola del disparador del arma, sujeta por una morsa, para luego ir colocando pesas de graduación conocida en su extremo inferior. El resultado depende del correcto apoyo.

Otra forma de lograr buenos resultados es mediante el empleo de dinamómetros adecuados o bien de algún otro instrumento con avanzada tecnología electrónica que permita minimizar errores de medición. No obstante ello, en todos los casos es recomendable efectuar operaciones repetidas de medición para, a través de promedios, obtener resultados satisfactorios.

Los datos así obtenidos deberán ser cotejados con los originales de fábrica o, en su defecto, con el promedio de valores obtenidos con numerosas armas de igual tipo, marca, modelo y calibre.

1.

2. 

1. Dinamómetro digital - 2. Dinamómetro mecánico

TABLA CON VALORES TÍPICOS DE MEDIDA DE PRESIÓN O FUERZA SOBRE LA COLA DEL DISPARADOR	
Tipo de arma	Medida o valor en kilogramos
Carabinas calibre .22	1,8 a 2,,7 (excepto modelos para tiro al blanco)
Fusiles y carabinas militares	1,8 a 3,2
Revólveres en simple acción	1,6 a 2,5 (excepto modelos para tiro al blanco)
Revólveres en doble acción	2,3 a 6,9
Pistolas semiautomáticas	2,0 a 2,9 (excepto modelos para tiro al blanco)
Escopetas	1,8 a 2,7

Practicadas tales experiencias, se estará en condiciones de inferir si la o las magnitudes resultantes (simple acción únicamente o no) se encuentran por encima o por debajo de las especificadas por el fabricante o por tabulaciones previas llevadas a cabo por el perito con armas similares a la sometida a estudio. En el primer caso (valor inferior) y siempre que la magnitud sea sensiblemente disímil, diremos que se trata de un arma *celosa*.

XI. DISPAROS NORMALES, ACCIDENTALES O INVOLUNTARIOS

Para no abundar en detalles innecesarios, diremos que un disparo normal, desde el punto de vista técnico, es aquel que se concreta mediando la voluntad previa del tirador y sin importar las deficiencias o anormalidades que pudiera presentar el arma.

De igual manera, convengamos en decir que será accidental un disparo no deseado originado en desperfectos mecánicos u otros fenómenos físicos, independientes del tirador.

Finalmente, y en lo que atañe a los disparos involuntarios, vamos a suponer que efectivamente y como la palabra lo indica, no intervino la voluntad del tirador, no obstante lo cual el fenómeno no fue independiente de su accionar.

Sin lugar a dudas una de las inquietudes procesales más frecuentes es la de encasillar la producción de un disparo en alguna de las tres posibilidades antes vertidas.

Como normalmente sucede con casi todos los elementos mecánicos potencialmente peligrosos creados por el hombre, se los dota de sistemas de seguridad que, con el correr del tiempo, van evolucionando, aunque infortunadamente y sólo por razones de costo, excepcionalmente se los perfecciona de manera inmediata cuando la tecnología lo hace posible.

La cantidad de accidentes ocurridos con armas largas suele ser menor a los que ocurren con las de puño, seguramente debido a que la forma y las dimensiones de las primeras hacen más notorio a quien la sostiene saber si está dirigida hacia sí mismo o hacia otras personas. Estas últimas, por su parte, generalmente, al verse encañonadas o próximas a encañonar, se apresuran a llamar la atención para evitar accidentes.

Por otra parte, las armas largas resultan más fáciles de sostener con las manos alejadas de la cola del disparador, resultando además menor el manoseo al que son sometidas.

Las armas de puño, en cambio, suelen ser portadas con asiduidad por elevado número de personas, normalmente cargadas y en todas partes. Las operaciones de carga y descarga, revisión de éstas, introducción y extracción de cartuchos en la recámara o alvéolos, se hacen cotidianas, al igual que ponerlas sujetas a la cintura con o sin cartuchera y desenfundarlas a cada momento, para dejarlas sobre muebles, guanteras de automóviles, etcétera.

Partiendo de la base de que todos los mecanismos de seguridad existentes en las armas modernas han experimentado mejoras, y limitando el tema dentro de un marco técnico pericial estricto, diremos que en relación con los disparos accidentales o involuntarios el accionar del experto en balística estará circunscripto al arma y la munición que le sean aportadas; al contenido del expediente de la causa de que se trate (decla-

raciones, fotografías, croquis, etc.), únicamente, o a todos los elementos mencionados, simultáneamente, incluyendo en el segundo y tercer caso la posibilidad de una reconstrucción del hecho.

En el primer caso, el interrogante generalmente reside en la posibilidad de establecer si el arma secuestrada posee alguna deficiencia mecánica (de fábrica o adquirida), que, ya sea por caída, golpe o choque con o contra determinada superficie, le hayan permitido la concreción de un disparo sin que medie la opresión de la cola del disparador. Dentro de este aspecto también puede requerirse que se establezca el grado de celosidad de la misma.

Para dar respuesta a todas las preguntas que pueden vincularse con la temática que se está tratando, que ya de por sí pueden ser numerosas y variadas, considerando en este caso, tal como se expresara anteriormente, que el perito cuenta únicamente con el arma y la munición, la respuesta técnica se fundamentará en la observación minuciosa y la experimentación.

En tal sentido, la revisión, manipuleo, disparos de experiencia, reproducción de caídas, golpes o choques (cuidadosamente realizados), estudio de la sensibilidad de los fulminantes de los cartuchos, etc., permitirán dar una acabada respuesta a lo peticionado. Para el estudio de disparos por caída libre, golpe o choque, pueden utilizarse vainas con fulminante intacto (obtenidos previo desarmado del cartucho con un martillo de inercia), las que evitarán riesgos físicos innecesarios.

Cuando el perito cuente con el expediente de la causa, la o las armas y su munición, y eventualmente sea concretada una reconstrucción del hecho, su labor será más amplia e intensa, ya que generalmente se lo interrogará sobre la factibilidad de que el disparo se haya producido en la forma indicada por la o las partes, testigos, etc., teniendo en consideración además los valores métricos, obstáculos o impedimentos físicos que pudieran surgir en el lugar del suceso, sus fotografías, croquis o planos. Las variantes de posibles preguntas son múltiples y su canalización amplia y multifacética, como para resumirlas o condensarlas en unas pocas frases. Resulta fundamental la objetividad, la experiencia, el profundo conocimiento de las distintas ciencias y técnicas afines con la especialidad.

Resulta inverosímil que un disparo se produzca sólo –con un arma estática y apoyada– sin que haya mediado alguna fuerza o energía de origen humano, mecánico o natural. Las evaluaciones resultarán particulares para cada caso o incluirán, lógicamente, las posiciones o situaciones previas de los mecanismos de disparo (especialmente el martillo) y seguros; posición de víctima o damnificado y victimario; si hubo o no forcejeos o lucha; trayectoria del disparo, etcétera.

CÁPSULAS FULMINANTES

(elemento que contiene una mezcla sensible a la percusión y cuya llama inflama la carga propulsora del cartucho)

Dimensiones (mm)	Diámetro 5,5 x 2,5	Diámetro 5,5 2,6
Sensibilidad (g.cm)	111,7 g a 40,62cm	125 g a 35 cm
Seguridad (g.cm)	111,7 g a 7,62 cm	125 g a 3,5 cm
Empleo	Cal. 7,62 x 51 mm NATO para cartuchos de fusil de percusión central en general, tanto de uso militar como de caza mayor.	Cal. 11,25 x 23 mm. Apta para cartuchos de revólver y pistola de gran calibre

Dimensiones (mm)	Diámetro 4,52 x 2,7	Diámetro 4,54 x 2,2
Sensibilidad (g.cm)	55 g a 30,5 cm	55 g a 30,5 cm
Seguridad (g.cm)	55 g a 7,6 cm	55 g a 7,6 cm
Empleo	Cal. 9 x 19 mm NATO Cal. 9 x 17 mm (.380)	Cal. .32 Largo Cal. .32 Corto Cal. .38 Special Cal. .38 Corto

(Información obtenida de la Dirección General de Fabricaciones Militares).

Capítulo XII
SISTEMAS DE PUNTERÍA

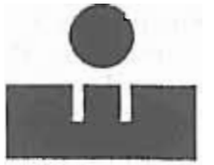
I. Tipos de miras

Son los elementos por los cuales los tiradores pueden enfocar el arma hacia el blanco, logrando mayor precisión en el disparo. Este aparato está compuesto por dos elementos: el alza o mira y el guión o punto de mira. El concepto de "Mira" puede considerarse como el conjunto de elementos de puntería en un arma, es decir, aquella combinación que permite enfocar hacia el blanco para lograr la mayor precisión en el disparo.

Estas "miras" pueden clasificarse de varias formas, pero dentro de las más conocidas se encuentran las siguientes:

Abiertas

Se componen de dos piezas independientes: un alza y un punto de mira delantero. El alza o elemento posterior es básicamente una lámina de metal montada transversalmente que contiene una muesca en forma de "V" o "U". Se asegura generalmente mediante una entalladura o se atornilla sobre el cañón del arma hacia la parte de la recámara, de modo que la muesca, al encarar la carabina, por ejemplo, se alinee con el ojo del tirador. El punto de mira delantero toma la forma de lámina vertical o poste ensamblado, atornillado, o soldado muy cerca de la salida del proyectil o boca del cañón, a menudo sobre algún tipo de rampa. Está protegido a veces por un cilindro o túnel desprendible del metal. La idea es centrar el poste delantero en la muesca posterior, ocultando casi todo el punto de mira, excepto el extremo superior, con el alza o tapa de la vista posterior (según lo ve el ojo del tirador). Cuando está calibrado correctamente, el proyectil debe golpear ligeramente por encima de donde indica el punto de mira delantero.



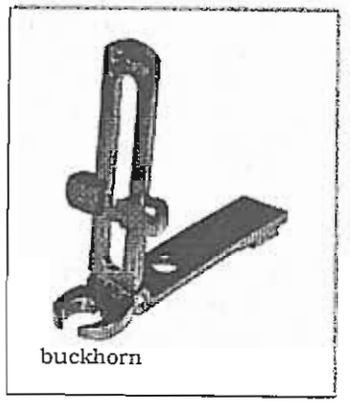
Simbolización de una mira abierta

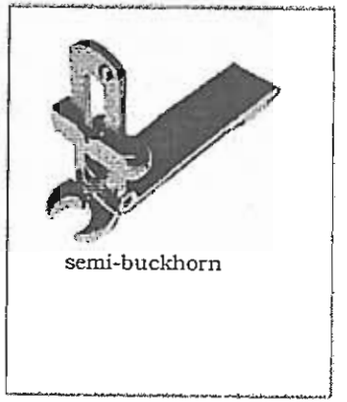
A menudo se pone un punto dorado, de marfil, o coloreado en rojo en la parte superior del punto de mira, para realzar la visibilidad con luz débil.

El tipo más común de alza en mira abierta, que normalmente poseen los rifles montados de fábrica, consiste en una simple lámina, que vista desde la parte posterior muestra una muesca en forma de "U", ensamblada sobre el cañón. Estas vistas, generalmente, ajustan la elevación por medio de un resorte móvil y marcado, sujetado lateralmente en su muesca de montaje.

Otros tipos bastante comunes de alzas en miras abiertas son el *buckhorn*, y el *semi-buckhorn*.

El tipo *buckhorn* parece un alza estándar con una muesca pequeña en "V" y alas grandes que suben a cada lado y que obligan a la vista a dirigirse casi directamente al centro. La presentación es algo así como una media luna bastante cerrada con los cuernos hacia arriba.


buckhorn


semi-buckhorn

En la forma de alza *semi-buckhorn* los cuernos o alas laterales son más cortos y no se cierran tanto. La muesca en forma de "U" suele ser más pequeña y por tanto proporciona más precisión; la forma de apuntar es hacia el centro de donde se pretende impactar.

Hay muchas variaciones y algún alza dispone de un tornillo ajustable para sujetar el desvío lateral y la elevación.

Como cualquier otro tipo de miras, las abiertas tienen ventajas y desventajas. Entre las ventajas están las siguientes:

Simplicidad. No hay muchos puntos conflictivos (mecánicamente hablando) y esta simplicidad que traen los rifles de fábrica los hace prácticamente inmunes al desajuste por los efectos del retroceso.

Ligereza. Las miras abiertas son probablemente las más ligeras de todas las miras y tienen menos impacto en el equilibrio y el ajuste del arma que otros tipos.

Longevidad. Son generalmente bajas de perfil, el alza es más difícil que sea golpeada que en otros tipos de miras; sin embargo, los puntos de mira son más frágiles de lo que se piensa y se puede golpear con bastante facilidad perdiendo la alineación. Ésa es también la razón de por qué los fusiles militares tienen generalmente alas fuertes a los lados del punto de mira para su protección.

Muy insensible al tiempo. Ni la lluvia, ni el aguanieve, ni la nieve afectan generalmente las miras abiertas.

Pero poseen las siguientes desventajas.

Es imprecisa. La mira abierta ordinaria es la menos exacta de los tres tipos de miras. La muesca cuadrada en el alza combinada con una lámina delantera en el punto de mira, con perfil también cuadrado, es el tipo más exacto de mira abierta.

Muy difícil de ajustar con exactitud. Hay miras abiertas microajustables, pero por el costo de éstas el tirador podría comprar probablemente un visor óptico. El tipo de alza que proveen la mayoría de la fábricas para sus armas tiene ajustes difíciles; ello significa que requiere un gasto en munición para afinarla.

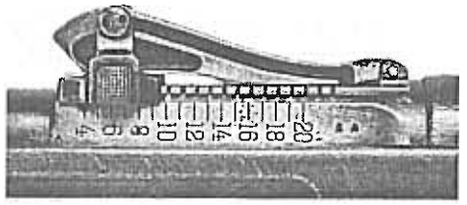
Lento. Al contrario de lo que se piensa, el tipo estándar de miras abiertas es el más lento de todos para apuntar. La mira abierta con un alza baja que tenga la muesca amplia en forma de "V" y un punto delantero grande es la más rápida de todas. El alza con la muesca en "U" o "V" profundo o muesca cuadrada es lento, y el alza del *buckhorn*, con sus alas altas en cada lado de una muesca pequeña, que sirven solamente para centrar el entorno de donde se quiere poner el impacto, es la más lenta de todas.

Campo visual limitado. El ojo tiene un enorme campo visual, pero el alza obstruye la parte inferior quitando posibilidades al campo de visión de quien dispara. En el estilo *buckhorn* la vista se bloquea cerca de dos terceras partes del blanco y los alrededores.

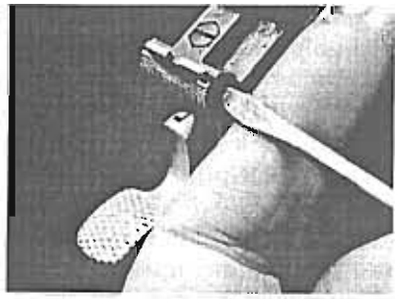
Ópticamente inferior. Las miras abiertas son, para el ojo humano, el modo más difícil de apuntar. Requieren que el ojo enfoque simultáneamente tres objetos a diversas distancias: el alza, el punto de mira y el blanco. El ojo humano tiene mucha profundidad de campo, pero no tanta; esto es, literalmente, una tarea imposible. Los tiradores jóvenes con mucha capacidad de acomodación visual pueden hacer un acercamiento, pero los tiradores de más edad simplemente no pueden.

Por todas estas razones, las miras abiertas simples del tipo provisto en la mayoría de las armas de fábrica son las menos versátiles y menos exactas de las miras existentes.

Cualquier tipo de aparato de puntería tiene dos movimientos de regulación principales: la deriva, o desviación lateral, y el alza o la desviación en altura.



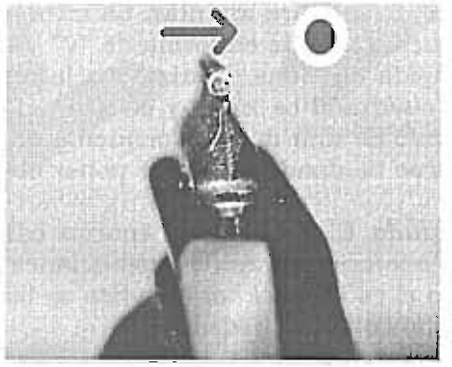
Alza regulable



Corrección del alza en sentido lateral

El alza generalmente es una regla con una determinada graduación, que puede ser fija o rebatible y que se sitúa en la parte posterior del arma. En las pistolas, por ejemplo, se adhiere a la corredera, y en las armas largas lo hace sobre el cajón de mecanismo.

Cuando el guión es el que corrige la deriva, el mismo se debe de mover hacia el lado en que se desvía el disparo.



El punto dentro del círculo de la fotografía representa el punto de impacto del arma, mientras que la flecha nos muestra la dirección hacia la cual será necesario desplazar el guión para corregirla.

En las armas en las que el guión además puede regular la altura del impacto, como ocurre con los rifles Mauser militares, cuanto más alto sea el guión más abajo será el punto de impacto. Por eso es que esos rifles solían ser provistos con diferentes juegos de guiones, ya que el alza en ocasiones presentaba una distancia mínima de graduación de 300 metros, lo cual en ciertos tipos de campos de batalla, donde las distancias de disparo no superaban los 100 metros, representaba una limitación. El problema se solucionaba intercambiando el guión por uno más alto.

En algunas armas la deriva puede ser corregida desde el alza, desplazando la misma lateralmente. En este caso, el alza debe de ser movida en la dirección opuesta al punto de impacto.

Lamentablemente, los aparatos para desplazar los guiones en forma lateral (Mauser los dotaba de fábrica y eran muy simples de utilizar) y la información de la altura que corregía cada guión para cada tipo de munición y largo del cañón, se perdieron en el tiempo, y ahora, para regular estos sistemas de puntería, hay que aplicar el viejo sistema de prueba y error, lento y costoso. Cuanto más se levante el alza, más arriba será el impacto.

Cerradas

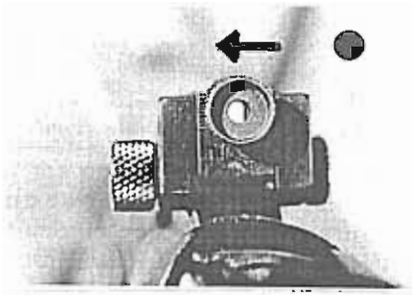
Como las miras abiertas, las cerradas suelen ser metálicas; también se las denomina miras con diopter. Pueden utilizar un punto de mira similar o idéntico al de las miras abiertas, pero el alza es simplemente un anillo montado cerca del ojo del tirador, llamado diopter. Este anillo se monta sobre el metal del rifle muy cerca del ojo del tirador o incluso sobre la madera de la culata, dependiendo del tipo de arma.

El tirador mira a través del diopter o anillo, procurando centrar la mirada en el punto de mira, al que llevará sobre el blanco. El ajuste visual sigue siendo imposible, ya que no se puede enfocar a la vez el punto de mira y el blanco, pero es menor que enfocar los tres puntos requeridos en las miras abiertas. El ojo se centra de forma automática en la abertura posterior, que se ve solamente como un anillo. Cuanto más cercano está el diopter al ojo, más rápida es su utilización.

Son ópticamente superiores a las miras abiertas, lo cual implica que son más exactas. Tapan mucho menos el blanco y los alrededores y son más rápidas para apuntar. La mayoría de los diseños de las miras cerradas permiten ajustes exactos, de lateralidad y elevación. Probablemente las miras cerradas usadas en los fusiles militares son las mejores y más prácticas para el cazador. Muchos, hace años, antes del uso generalizado de los visores telescópicos, utilizaron estas miras para la caza.

Estas miras que en su generalidad se las denomina ortópticas, normalmente utilizadas en armas largas y en competencias de tiro y muy difundidas en armas militares, son de precisión para francotiradores. El diopter se localiza en la parte anterior del arma, es regulable micrométricamente en altura, y en su interior lleva un orificio de mayor o menor tamaño (intercambiable). En lugar del guión se utiliza un túnel protector dentro del cual va un anillo (de distintos calibres) o un bastón vertical. El diopter es un tipo de mira que se conoce como de "mira de agujero" o "peep sight". Su origen es antiguo, lo usaban los arqueros y ballesteros en la edad media. Se basa en que el ojo del tirador busca espontánea y naturalmente el centro del orificio por el que mira –punto en el que hay más luz– y, en consecuencia, si a este agujero se le opone otro lejano al ojo y situado sobre el extremo del cañón del arma, la tendencia natural del tirador será colocar ambos en línea, con lo cual el arma se sitúa en posición de puntería. Así,

el blanco se presenta visualmente como un círculo que se puede colocar concéntricamente; el orificio del diopter puede ser fijo o móvil en cuanto a su tamaño; en el segundo caso, el iris se puede graduar en su apertura en razón de la luminosidad del ambiente y, a las necesidades de visión del tirador según su edad y otros factores personales.



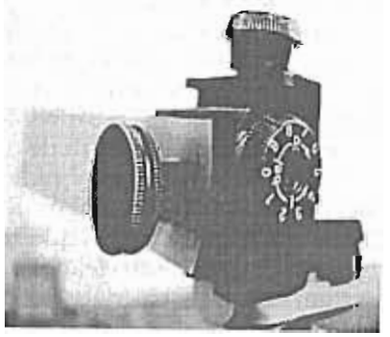
Las miras ortópticas y las abiertas que regulan la deriva desde el alza lo hacen desplazando la misma en sentido opuesto al punto de impacto tal cual lo indica la fotografía.

Como elementos auxiliares del diopter se emplean filtros de diferentes colores y parasoles para protección de los ojos respecto del sol.

El túnel consiste en un cilindro paralelo al cañón, situado sobre la boca de fuego, en cuyo interior pueden colocarse una serie de anillas o postes para mejorar la puntería. Las anillas son piezas que se adaptan al túnel y que se sitúan en su interior, consisten en una circunferencia metálica que permite rodear con la vista, el círculo central del blanco.

Hay anillas de tipo poste, en las cuales la circunferencia se sustituye por una barra vertical o bastón de diferentes anchos, cuya forma es similar a la que se conoce como "punto de mira" en las miras abiertas.

En las armas de competición, estos anillos metálicos han sido sustituidos por piezas de plástico transparente, cuya forma, ancho y excavación de un ahuecado central semejan óptimamente a las metálicas.



Diopter

II. MIRAS ÓPTICAS

Las miras ópticas se utilizan para armas tanto cortas como largas, para caza y tiro al blanco. Consiste en aparatos cilíndricos, similares a telescopios, con distintos aumentos, regulables en altura y deriva, algunos con zoom de variacion de aumentos. Este sistema óptico puede estar formado por varios lentes, y del diámetro y la cantidad de los mismos dependerá su calidad luminosidad y precio. Este conjunto va montado sobre el arma en la parte superior del cajón de mecanismos o del cierre, que posee tornillos micrométricos de ajuste. Normalmente sacrifica luminosidad en favor del acercamiento.

Las miras ópticas o telescópicas son las más simples de regular si se siguen las indicaciones en forma precisa.

Entre todos los sistemas de puntería, las miras ópticas son las más precisas de las tres, debido a la gran magnificación del blanco que ofrecen, y en condiciones de baja iluminación hasta mejoran la transmisión de la luz. Además, sus mecanismos de regulación son sumamente exactos, aun en las de bajo costo.

En teoría y a los fines didácticos, diremos que cuando se regula una mira óptica lo que se hace es desplazar el punto de impacto hacia el centro de la misma. Supongamos que un arma hace impacto 3 pulgadas abajo y 3 a la derecha del centro en un blanco ubicado a 100 metros de distancia. Lo único que hay que hacer es mover el dial 12 clicks en la dirección que dice "Up" (hacia arriba) para levantar el impacto, y correrlo otros 12 hacia la izquierda, lo cual se indica con una "L" de *left* (izquierda). Algunas miras pueden venir marcadas con la letra R (*right*) de derecha. En ese caso deberá moverse el dial 12 clicks en sentido contrario a la flecha que marca R.

Los 12 clicks tienen una explicación matemática; todas las miras americanas y las buenas miras europeas son capaces de desplazar el guión o el alza a razón de exactamente una pulgada cada 4 clicks a 100 metros, lo que es igual a un desplazamiento de 6,35 milímetros por cada clic (1/4 de pulgada).

Ésa es una fórmula internacional y estandarizada, salvo en algunas miras europeas que trabajan con otros sistemas de medición. Estas miras americanas presentan el doble de capacidad de corrección fina que sus contrapartes europeas no estandarizadas (Carl Zeiss, Carl Zeiss Jena, etcétera).

Por otro lado, muchas de ellas no presentan torreta para regulación de la deriva y para modificar el punto de impacto hacia los lados es necesario aflojar y apretar dos tornillos opuestos entre sí ubicados en la base posterior de la mira. Lógicamente éste es un sistema de prueba y error poco eficiente, que en manos inexpertas puede llevar a la desesperación a su dueño, ya que los fabricantes no se molestaron en determinar cuán-

tas vueltas de tornillo corresponden a un movimiento de tantos centímetros a 100 metros.

En estas miras que carecen de regulación de deriva, la forma de regularlas es moviendo el guión (poste vertical) hacia el disparo, de manera que funcionan al revés de la forma en que lo hace la corrección de la deriva cuando ésta se realiza por medio del alza y no del guión del arma.

Cuando se regula un arma a 50 metros, que es la distancia aconsejable para hacerlo, la relación es de 8 clics por pulgada a 50 metros y si se lleva la distancia de regulación a doscientos metros, será de dos clics por pulgada.

La ventaja de las miras ópticas es que los movimientos de regulación son exactos y mensurables, lo cual no ocurre con las miras más primitivas, como la mira ortóptica.

Los visores telescópicos son los más precisos de todos los sistemas de puntería; permiten ajustar el foco para cada persona y una visión clara en blancos a distancias largas; son fáciles de graduar; al tener un único punto para situar sobre el blanco, brindan rapidez para apuntar; son más rápidos para apuntar que cualquier mira abierta. La luminosidad y la amplificación de las miras telescópicas en bajas condiciones de luz hace que las miras abiertas sean un elemento casi inútil.

Pero los visores telescópicos tienen también desventajas: son más costosos; poseen gran tamaño y más peso que las miras abiertas y así inciden negativamente en el equilibrio del rifle y su manipulación (ésa es la razón por la que son tan apreciados los visores de poco peso y compactos); se suelen degradar más rápidamente que las miras abiertas o cerradas; los de buena calidad duran para toda la vida, pero algunos de calidad inferior pueden desalinearse o dañarse por el retroceso de fusiles o carabinas poderosos.

III. Miras de visión nocturna

Adoptan tres formas: aparatos amplificadores de luz (luz estelar) infrarrojos (IR) y térmicos. El equipo de luz estelar amplifica la luz visible disponible hasta un nivel que se aproxima al diurno; no funciona en la oscuridad total. El equipo IR convierte la luz infrarroja invisible en una imagen visible en blanco y negro. El equipo de visión térmica es más sofisticado que los dos anteriores, y literalmente muestra el calor como una imagen electrónica; la lluvia reduce la efectividad del material. Estos últimos elementos son material básicamente militar.

Para utilizar correctamente las miras telescópicas resulta fundamental conocer a fondo todos sus componentes. Sólo de esta forma el tirador podrá extraer un óptimo rendimiento al conjunto arma más visor. Éstos son algunos de los conceptos clave de las numerosas ópticas empleadas en la actualidad en las distintas modalidades de tiro:

Abertura: El grado de abertura indica el diámetro de la lente frontal de un visor. La abertura se expresa en milímetros y siempre aparece junto a los aumentos. Por ejemplo, un visor 8x 56 presenta una abertura de su lente frontal de 56 mm. Éste es un dato fundamental en los visores, ya que cuanto más grandes sean sus aumentos, más grande será su abertura, ello es debido a que los visores más potentes precisan de más luz para poder ofrecer una buena imagen al tirador.

Ajuste de paralaje: El término paralaje hace referencia al momento en el que el objetivo no se encuentra enfocado con nitidez dentro de la retícula. Esto ocurre cuando se produce un movimiento brusco por parte del tirador o cuando cambia la distancia del disparo. Los visores de hasta 11 aumentos salen ajustados de fábrica sin paralaje para distancias inferiores a unos 110 metros en armas de fuego central. Los que superan estos aumentos poseen un anillo, normalmente ubicado en la lente frontal, que permite al tirador ajustar el paralaje y evitar así las retículas borrosas.

Aumentos: Representan la potencia que tiene un determinado visor para acercar visualmente el objetivo al tirador. Se expresan mediante una cifra acompañada de una "x", por ejemplo 6x. Esto quiere decir que el tirador que apunte con un visor 6x estará viendo al objetivo 6 veces más cerca que cuando lo mire a simple vista. A los aumentos también se los denomina potencia.

Campo de visión: Representa el ancho y alto de una imagen divisada a través del visor a una distancia general de unos 100 metros. Cuando el campo de visión aumenta, al tirador le resulta más fácil la localización de sus objetivos. El problema puede venir cuando se utiliza un aumento demasiado grande para disparos a corta distancia, ya que el campo de visión se reduce notablemente y el tirador no controla totalmente lo que está sucediendo a su alrededor.

Distancia al ojo: Indica a qué distancia exacta del ocular (lente trasera) el tirador puede ver una imagen completa en el visor. Los visores equipados en armas potentes deben presentar una distancia al ojo mayor, para así evitar que el tirador pueda herirse con el visor por el fuerte retroceso provocado tras un disparo.

Ópticas tratadas: Algunos visores incorporan un revestimiento especial sobre sus superficies que evita la aparición de brillos y reflejos indeseados. Estas ópticas tratadas con fluorato de magnesio o capas de rubí también mejoran la imagen del visor en condiciones de escasa luminosidad.

Pupila de salida: Indica el diámetro de la columna de luz que sale desde el visor hacia el ojo del tirador. Se emplea para conocer y valorar el grado de luminosidad de la imagen contemplada en la óptica. Cuanto

mayor sea el valor de la pupila de salida, más sencillo le resultará al tirador mantener alineado su ojo con la imagen. Del mismo modo, cuanto más grande sea este índice, mejor rendimiento ofrecerá el visor en condiciones de escasa luminosidad.

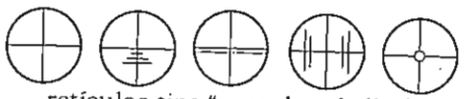
Retículas de miras telescópicas

Según la modalidad de tiro que el tirador decide adoptar, se van a encontrar miras de caza, miras de uso deportivo y miras tácticas. Las torretas o torres de regulaciones altas y con escalas de referencias que las mismas poseen permiten adquirir distancias superiores a los 300 m, para disparar con precisión.

Una retícula, con líneas taquimétricas, contribuye en esa adquisición y faculta para dispararle a un blanco aun cuando éste se mantenga en movimiento, se aparezca inesperadamente o se encuentre en distancias inclinadas, como por ejemplo cuando se trata de disparar desde un cerro, donde se aplica otra metodología de tiro, la cual no es precisamente disparar más arriba o más abajo del punto apuntado, sino que para esta situación de tiro la perspectiva visual que se tiene al observar el blanco, al igual que la regulación, es distinta que observar y disparar a objetivos que se ubiquen sobre un mismo plano. Ante tal situación se requiere el desarrollo y la aplicación de tablas que derivan de cálculos matemáticos para obtener el resultado pretendido.

Cada empresa posee su propio sistema para nomenclar o identificar un determinado modelo de retícula.

Una retícula es una grilla de dirección colocada en el visor de un instrumento óptico para establecer una escala o una posición, si hablamos de una mira telescópica nos permitirá obtener la dirección indicada.



retículas tipo "cruz de cabellos"

retículas tipo "barras y palotes"

retículas tipo "mixto"

IV. SISTEMAS ELECTRÓNICOS

Denominaremos de tal manera a los señaladores láser, miras tipo propoint, visores nocturnos, magnificadores de luz residual, visores infrarrojos, etcétera.

Miras láser

Las modernas miras láser son de peso despreciable. Se acoplan a cualquier arma, pero normalmente se emplean en pistolas o subfusiles. Este equipo proyecta un haz luminoso muy delgado y de muy baja potencia, normalmente rojo, que aparece como un puntito en el objetivo al que se apunta.

Miras de punto rojo

Son miras de diodo que proporcionan un amplio campo de visión, lo que las hace muy adecuadas para el disparo rápido o blancos en movimiento.

Generalmente, las más destacadas poseen las siguientes características:

- La retícula presenta un *punto* rojo de gran brillo y con intensidad ajustable.
- La distancia a la que se puede poner el ojo de la mira (*eye relief*) es ilimitada. Esto aumenta la comodidad de disparo así como la rápidez en situaciones imprevistas.
- De acuerdo a las monturas, pueden ser instaladas sobre la inmensa mayoría de:
  - pistolas,
  - revólveres,
  - rifles,
  - escopetas de caza,
  - armas de aire comprimido, etc.
- Están alimentadas por una batería de litio.

Ver imagen 37 en el Anexo fotográfico

V. OPTRÓNICOS: RAYOS INFRARROJOS E INTENSIFICADORES DE IMAGEN

Estos dos sistemas son ópticamente distintos, pero su desarrollo y fundamento científico son los mismos para ambos. En los dos casos el rayo de luz reflejado por el blanco y su entorno es recogido por un aparato que, mediante un ingenio electrónico, excita y eleva el nivel energético de los fotones, haciéndolos visibles en el caso de los infrarrojos, o los convierte en más perceptibles en los intensificadores de imagen.

Los dos sistemas mencionados tienen origen y aplicación netamente militar. Dentro de los sistemas de rayos infrarrojos hay dos clases básicamente diferentes: activos y pasivos. Los primeros emplean una fuente luminosa infrarroja (un foco normal con un filtro que sólo deja salir la

radiación infrarroja) solidaria con el visor o independiente de él, que no se percibe a ojo desnudo. Esta radiación infrarroja es reflejada por toda clase de objetos, pero resulta también invisible. Al ser recogida por el visor y pasar a su través, es potenciada y elevada su longitud de onda, saliendo por el ocular ya en forma visible por el observador.

Los sistemas pasivos se diferencian de los anteriores en que no utilizan ninguna fuente luminosa de radiación, por lo que sólo recogen la infrarroja que emiten los objetos calientes (seres vivos, motores en funcionamiento o que lo hayan estado recientemente, armas de fuego que hayan sido disparadas, etcétera).

Es fácil comprender que el peor inconveniente que tiene el sistema de infrarrojos activo es que puede ser detectado por uno pasivo (o uno activo sin foco o con éste apagado). También los operadores de estos aparatos pasivos pueden ser detectados por el calor de sus cuerpos, pero ya existen telas especiales para uniformes de campaña que disipan el calor corporal, atenuando o eliminando el rastro infrarrojo que producen estos sistemas.

No obstante la validez y utilidad de los aparatos de luz infrarroja, hoy en día, en el armamento ligero portátil, han sido sustituidos en gran medida por los intensificadores de imagen, que usan una tecnología similar a la de los anteriores, pero orientada en otro sentido.

Estos aparatos captan la tenue luz que, proveniente de las estrellas y la luna, se refleja en los objetos del entorno. La escasísima luz reflejada en el interior del aparato es ampliada o intensificada por medio de un dispositivo electrónico que la potencia en cierta manera para que pueda ser vista por quien se coloque detrás del ocular del aparato.

Las imágenes que se perciben resultan un tanto espectrales e irreales, pues parecen fosforecer con un color amarillo verdoso (u otros colores igualmente indefinidos), aunque actualmente se está trabajando para su perfeccionamiento.

Los elementos de puntería para todos estos aparatos suelen ser un *poste* o trazo vertical formado por un diodo de color, o por lo menos de tono distinto al que tienen las imágenes que se perciben a través de éstos, para que exista contraste entre ellas y poder hacer puntería.

VI. EMISORES LÁSER

La tecnología L.A.S.E.R. (*light amplifier by stimulated emission radiation*) se basa en las propiedades de la luz emitida por un cristal de rubí sintético, excitada o amplificada electrónicamente. Este tipo de luz es altamente coherente y además de otras propiedades útiles para otros fines, posee la de ser muy concentrada y sufrir muy poca dispersión, de ahí que pueda ser utilizada para hacer puntería.

Instalado uno de estos aparatos en un arma ligera (lo que ha sido posible gracias a la miniaturización de sus componentes) y regulado convenientemente (haciendo coincidir el punto de impacto de los proyectiles del arma con el rayo de luz láser a una distancia determinada), basta hacer emitir luz al aparato, buscar el blanco y accionar el disparador, para impactar donde se desea.

Hoy en día estos aparatos están entrando de lleno en el mundo de las armas y existe una variada gama de ellos.

El primer paso que se dio en la tecnología láser fue sustituir el cristal de rubí sintético (que no significa que fuera de plástico, sino fabricado artificialmente en el laboratorio), por un tubo relleno de diferentes gases. Esto permitió su total aplicación a la industria y la ciencia en sus diferentes versiones. Poco después vino la miniaturización de circuitos al sustituirse los antiguos componentes electrónicos por otros más reducidos (microchips, semiconductores de silicio, etc.), hasta tal punto que lo más voluminoso del conjunto de estos aparatos aplicados a las armas es la fuente de energía (baterías), campo en el que no se ha avanzado lo suficiente (a pesar de que se crea lo contrario), o al menos no todo lo que correspondería a nuestro tiempo. Finalmente, el gran salto cualitativo en ese terreno se dio con la sustitución del tubo relleno de gases (que era frágil y voluminoso) por diodos que realizan el mismo cometido.

Hoy se están haciendo ensayos para conseguir diferentes colores de rayos (verde, azul, etc.) y así poder emplear estos aparatos más convenientemente, según el entorno en el que se encuentre el blanco, y para que la muestra del rayo pueda distinguirse mejor.

Al haberse reducido sustancialmente el tamaño y peso de estos aparatos, se pueden colocar en el arma de diferentes formas y en distintos lugares, así como combinarlos o complementarlos con otro sistemas de puntería. El campo de aplicación es amplísimo y prácticamente todas las armas pueden montarlos, tales como fusiles, escopetas, armas cortas, ballestas, etcétera.

Los punteros laser emplean una luz láser intermitente que permite una localización visual sobre el blanco mucho más rápida.

Pistola con puntero láser

Ver imágenes 38 en el Anexo fotográfico

Capítulo XIII
EL CALIBRE

I. El calibre de las armas de fuego con ánima rayada y ánima lisa

Sin lugar a dudas, el calibre es la caracteristica más relevante y distintiva de las armas de fuego que emplean un tubo cañón para proyectar la munición.

Conforme a la *Enciclopedia Ilustrada de la Lengua Castellana* (Sopena, Buenos Aires, 1969, t. I), la acepción de esta palabra es la siguiente: "Diámetro interior de las armas de fuego. Por extensión, diámetro de los proyectiles o de los alambres. Diámetro interior de diversos objetos huecos, como tubos, cañerías, conductos, etcétera".

Introduciéndonos ahora en el campo puramente balístico, diremos que se denomina calibre de un arma de fuego a la medida del diámetro interior de su cañón, es decir, el limitado por las paredes constitutivas de la propia superficie interna; en otras palabras, la medida del diámetro de su *ánima,* denominándose así el hueco del cañón o tubo metálico característico de toda arma de fuego, comprendido entre el extremo cerrado y la abertura que da al exterior, denominada *boca de fuego,* la cual conforma el calibre propiamente dicho, dado que el ánima se compone o divide en dos partes: la recámara y el ánima rayada, siendo la primera de ellas la que sirve de alojamiento a la vaina del cartucho.

También, y por extensión, se denomina calibre la medida del diámetro de la bala proporcionada a las aberturas de las armas, y decimos proporcionada porque la medida de la *boca de fuego* determina directamente su calibre, en cambio la bala es de dimensión superior a esa abertura para recibir, con la deflagración de la pólvora, el forzamiento requerido con el fin de adquirir, aumentado, el impulso que la arroja a gran distancia, y esa mayor medida no puede ser arbitraria, sino que debe responder a condiciones definidas que deben cumplirse rigurosamente, lo cual determina la necesidad de ser proporcionada a la abertura del arma a ser utilizada.

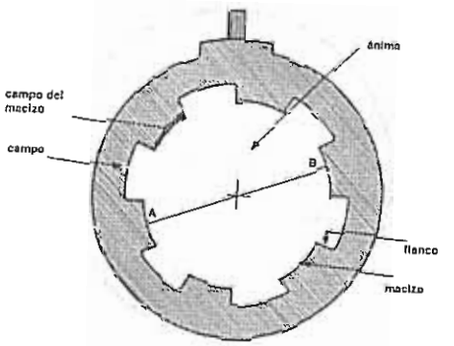
Cabe aclarar que el inapropiado uso de las palabras hace emplear la expresión o término *bala* por *proyectil* y viceversa, debiendo denominar-

se bala cuando integra o forma parte del cartucho, y proyectil cuando ese mismo cuerpo ya fue arrojado por el arma. Por su acepción, la palabra proyectil significa "todo cuerpo al que se comunica, por un medio cualquiera, una velocidad bastante grande para que, en la dirección conveniente, haga impacto con otro cuerpo".) Digamos también que el proyectil, y no la bala, tiene o adquiere el calibre del arma, es decir, tiene la magnitud (en física se denomina magnitud a todo tamaño que es susceptible de aumento o disminución) del calibre del arma.

Las primitivas armas de fuego (piezas de artillería) presentaban una variedad muy grande de calibres, podríamos decir infinitas tanto de dimensiones como de formas, al no obedecer a otras reglas que el capricho de sus constructores, por ser de fabricación libre. Esta falta de homogeneidad obligaba a elaborar balas para cada una de las armas individualmente, dado que eran muy diferentes entre sí. Sin embargo, dicha particularidad no experimentó mayores inconvenientes, ya que las primitivas bombardas no podían efectuar más que unos pocos disparos al día, pero al aumentarse la rapidez del tiro y la facilidad de transporte de los elementos, se decidió unificar el heterogéneo material entonces en uso y tomar, como carácter definitorio de las diferentes clases de armas, la igualdad del diámetro en la boca del cañón, lo cual permitiría a todas las de un mismo género disparar el mismo proyectil; en otras palabras, emplear la misma bala.

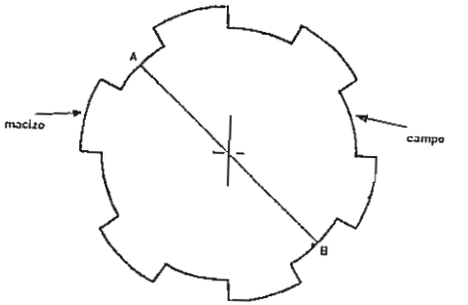
Estas características determinaron la aparición de la idea de *calibre* o representación del diámetro de la boca de fuego de un arma, tal como lo entendemos hoy; pero la nomenclatura variaba, fundamentalmente, por basarse en otros pormenores pertenecientes a las balas que eran introducidas en el cañón por su boca (armas de avancarga); durante mucho tiempo las balas fueron esféricas y macizas, resultando así de igual peso todas aquellas que tenían el mismo diámetro. El peso del proyectil expresado en libras fue, desde luego y por períodos prolongados, el número elegido para designar al calibre.

En las primitivas armas de avancarga, el diámetro de la bala era siempre inferior al del ánima, con el objeto de permitir su introducción en ésta. Cuando se adoptó el rayado, y a fin de evitar la pérdida de gases, las balas esféricas fueron cubiertas por un parche de lienzo lubricado, o cuero crudo. En cambio, a las cilindro-cónicas se las dotaba de una amplia base hueca que, al ensancharse por acción de los gases, permitía la toma del rayado sin escapes o fugas. En consecuencia, en todos estos casos el diámetro de las balas era un poco inferior o igual al tomado a nivel de los macizos, con tolerancias muy variables de acuerdo con el arma y la fabricación de sus municiones.



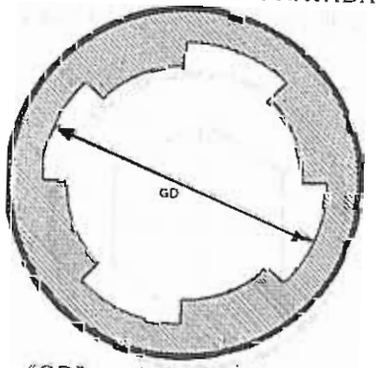
A-B = Calibre de un arma de fuego con cañón rayado.

CALIBRE

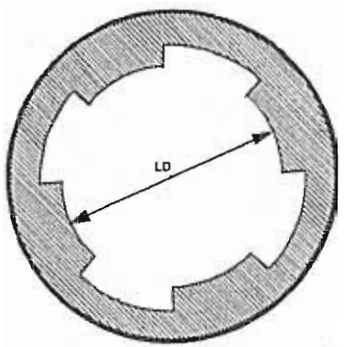


A-B = Calibre de dicha arma de fuego, medido sobre el proyectil disparado.

CAÑONES DE ÁNIMA RAYADA

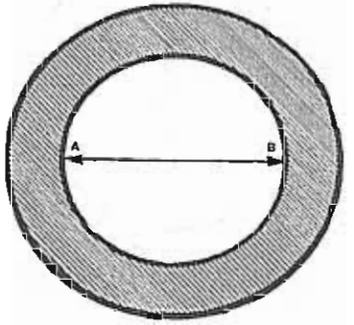


"GD" es el *groove diameter*
(diámetro o calibre tomado entre dos rayas o estrías opuestas).
En el proyectil disparado, estas rayas o acanaladuras
aparecen como bandas salientes o macizos.

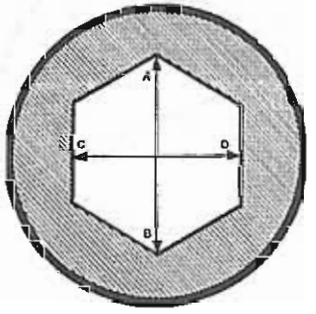


"LD" es el *land diameter* (diámetro o calibre tomado entre dos superficies de macizos opuestos). En el proyectil disparado, dan origen a acanaladuras o bandas entrantes que denominamos "campos".

CAÑONES DE ÁNIMA LISA Y DE ÁNIMA POLIGONAL

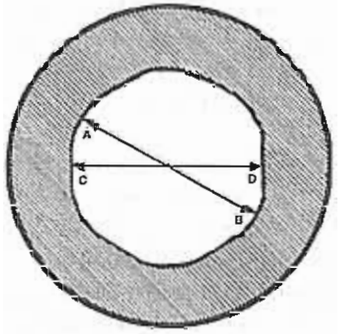


Ánima lisa. A-B indica el calibre (diámetro) tomado fuera de todo posible agolletamiento.

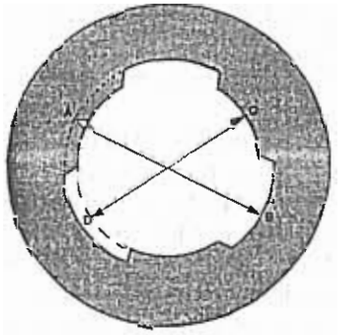


Ánima poligonal.
A-B indica el diámetro entre rayas tomado a nivel de los ángulos.
C-D indica el diámetro (calibre) tomado a nivel de los lados del hexágono.

ÁNIMAS RAYADAS (RAYAS IMPARES Y POLIGONALES)



Ánima poligonal. Diámetro o calibre medido a nivel de los campos (AB) y diámetro medido a nivel de los macizos (CD).



Ánima con rayas impares. Puede verse cómo se procede para tomar los diámetros a nivel de campos (AB) y macizos (CD).

En las armas de ánima lisa corresponde tener en cuenta el diámetro fuera de las zonas agolletadas, ya que en éstas puede ser variable según el tipo de *choke* adoptado y la procedencia del arma, debido a que el *choke* no es una reducción diametral estándar sino un porcentaje de rendimiento, una relación y no una medida estricta. Un mismo grado de *choke* corresponde a diferentes diámetros en la zona estrechada, según el fabricante.

En las de ánima rayada, el calibre puede expresar valores de diversa magnitud.

1. Ánima cilíndrica

Si el ánima es cilíndrica (lo cual constituye la norma general), el diámetro puede ser medido a nivel de los macizos (*land diameter*) o de las rayas (*groove diameter*). En el primer caso corresponde al del ánima virgen antes de ser rayada. En el segundo se toma entre el fondo de dos rayas opuestas (campos). Esto rige tanto para los casos de rayado par como impar. Lógicamente, en cada caso serán valores idénticos tanto a la salida de la recámara como en la boca del arma.

2. Ánima cónica

En estas armas, el calibre corresponde al diámetro tomado en la boca (diámetro final o calibre verdadero, idéntico al de la bala a su salida).

En las armas de ánima poligonal helicoidal, el calibre se designa por el diámetro del círculo inscripto en la figura de sección o del que inscribe a ésta, lo que correspondería si consideramos los ángulos como rayas o campos y los lados como macizos, a los diámetros *groove* y *land* respectivamente.

En cuanto a la designación del calibre, existe una gran confusión, ya que el término puede expresar:

1) el peso absoluto de la bala correspondiente a un arma dada (por lo general expresado en libras);

2) el peso relativo de la misma con respecto a la libra (453,592 gramos o 7001,19 *grains*);

3) el diámetro del ánima medido entre las rayas, es decir, a nivel de los macizos (*land diameter*, que corresponde al ánima virgen);

4) el diámetro del ánima medido a nivel de los campos o rayas, uniendo el fondo de dos rayas opuestas (*groove diameter*);

5) el diámetro de la bala en la zona de forzamiento;

6) el diámetro interno del cuello de la vaina;

7) puede ser un término convencional sin referencia a ninguna de las magnitudes antedichas.

No obstante lo expresado, la nomenclatura es aún mucho más compleja: las diferencias de fabricación sujetas a tolerancias dimensionales bastante amplias en algunos casos; la gran diversidad de tipos de munición para cada calibre; el criterio del fabricante al decidirse por un apelativo determinado, distinto muchas veces en cada caso (lo cual genera abundante sinonimia); los distintos sistemas usuales y la mezcla de los mismos en la actualidad y, finalmente, las numerosas mejoras y variantes introducidas en los cartuchos, lo cual ha dado lugar al uso de designaciones compuestas, en las que el guarismo que define la dimensión diametral es incapaz, por sí solo, de identificar un calibre determinado.

Veamos en detalle las diferentes posibilidades mencionadas, a fin de ordenar conceptos y evitar errores. Los estudios pormenorizados sobre este tema no son abundantes, causa por la cual muchas veces se cometen

errores de interpretación o se desconocen sinonimias. Por ejemplo: cuando se hace referencia al calibre ".22" suele decirse 22 mm, cuando su equivalencia milimétrica es de 5,56 mm. De igual manera, existen en el mercado gran cantidad de cartuchos que, siendo iguales, tienen distinto nombre y lleva a muchos a confundirse, tal es el caso del 9 mm Luger (EE.UU.), que es el mismo cartucho que el 9 mm Parabellum (Europa), o el 9 x 19 mm (OTAN), de acuerdo con la zona o el país donde se comercialice.

3. Peso absoluto de la bala

Este sistema se utilizó inicialmente sobre todo para las piezas de artillería y, según algunos historiadores, también para las armas portátiles. Ejemplo: cañones de 4, 18, 60 libras, etcétera.

En general, para las armas portátiles, en el siglo XVI y en los albores de su aparición no existían calibres de medida estándar. Todas las destinadas a un mismo regimiento eran construidas de modo que pudieran disparar aceptablemente balas del mismo diámetro, no existía equivalencia con los de otras armas militares.

4. Peso relativo de la bala

Cuando las armas portátiles de ánima lisa y avancarga cobraron importancia, el calibre fue designado análogamente al de las piezas de artillería, por su sistema ponderal. Pero siendo las municiones de pequeña dimensión, se emplea un término capaz de indicar la relación existente entre el peso de la bala esférica y el de una libra tomado como unidad comparativa. Una libra equivale a aproximadamente 7000 *grains*, 16 onzas o 453,59 gramos.

El número que indica el calibre nada tiene que ver con el diámetro del ánima o de la bala. El mismo expresa el número de esferas de diámetro igual al interno del ánima, que se pueden hacer con una libra de plomo.

El número indicativo es siempre un entero, de modo que no va precedido de ningún otro signo. En cambio, va seguido del término *libra* (o sus equivalentes: *bore* británico o *gauge* americano), separado por un guión. Sin embargo, corrientemente puede prescindirse de él, en el entendido de que, si no va agregada otra referencia, se asumirá como calibre en libra.

Debe observarse que en esta terminología el calibre y el guarismo que lo define guardan una relación inversa, lo que no ocurre en ninguno de los otros sistemas empleados. A mayor número, menor diámetro y viceversa, como es lógico.

Por supuesto, existen equivalencias de esos diámetros en medidas lineales, aunque no se las emplea: para el calibre 12, el diámetro es de 0,729" = 18,51 mm. Se acostumbra a completar la caracterización del arma con el largo total del cartucho que emplea, en milímetros, separando ambas cifras con una barra y sin utilizar unidad alguna (12/70).

Cabe señalar una excepción: las escopetas cuyo calibre es .410 tienen un diámetro interno de 0,41" (12 mm).

Antiguamente la escala de calibres estaba comprendida entre el 1 (esfera de plomo que pesaba una libra), y el 120 (esfera que pesaba 1/120 respecto de una libra). En la práctica sólo se usaban algunos guarismos.

En la actualidad este tipo de nomenclatura se aplica únicamente a las armas de ánima lisa, especialmente escopetas de caza, carabinas lanzagases o lanzacabos, pistolas de señales o lanzacabos, cañoncitos de salvas.

En la tabla que se incluye a continuación pueden verse los calibres de las escopetas de caza referidos al ánima libre de todo agolletamiento (ánima cilíndrica), con las dimensiones en milímetros y pulgadas decimales y con el peso de las balas esféricas correspondientes. Estas armas por lo general disparan perdigones y, cuando lo hacen con balas sólidas, corrientemente se trata de diseños cilíndricos cuyo peso no coincide entonces con el del esférico de plomo que sirve de base para la designación del calibre.

Calibre en libras	Diámetro		Peso de la bala	
	Milímetros	Pulgadas	Gramos	"Grains"
4	23,35-23,75	1"	113,4	1750
8	20,80-21,80	.835-.848	56,7	875
10	19,30-19,70	.775-.791	45,3	700
12	18,10-18,50	.729-.752	37,79	583,5
14	17,20-17,60	.693-.718	32,39	500
16	16,80-17,20	.662-.666	28,34	435,5
20	15,60-16,00	.615-.635	22,67	350
24	14,70-15,10	.579-.582	18,89	291,66
28	14,00-14,40	.550-.562	16,19	250
32	12,75-13,05	.529	14,17	218,75

A manera ejemplificativa: *calibre .16* significa un diámetro comprendido entre 16,8 y 17,2 milímetros, o sea, el de una bala esférica de plomo cuyo peso es de 1/16 de libra.

Sin embargo, en las ánimas agolletadas debe cuidarse que el diámetro de la bala (en caso de disparar proyectiles únicos) no sea superior al de dicho agolletamiento, lo que comercialmente se ha resuelto adoptando diseños especiales cilíndricos, provistos de amplias bases huecas o de anillos de forzamiento que permiten el paso por las zonas estrechas sin mayores obstáculos.

Como se dijera anteriormente, al número que indica el calibre se acostumbra agregar un segundo guarismo separado del anterior por una barra, el cual indica la longitud de la recámara del arma, o sea, la longitud de la vaina del cartucho *vacío*. Por ejemplo, calibre 12/65 y 12/70 significan recámaras de 65 y 70 milímetros respectivamente, y lo mismo ocurre en otros calibres, existiendo en las mayores longitudes hasta de 75 milímetros que se adaptan a cargas Magnum. Los americanos emplean a veces la magnitud expresada en pulgadas, por ejemplo 2 y 1/2", 2 y 3/4", 3".

Por lo expresado, no deben dispararse cartuchos cuya longitud de vaina exceda a la de la recámara del arma, es decir, un cartucho 12/70 no debe dispararse en una escopeta con recámara de 65 mm; la inversa sí es posible.

También pueden agregarse otros términos que indican cargas especiales (Express y Magnum, Trazadora, etc.). En cuanto al tipo de perdigones, sólo se especifica cuando se trata de postas (*buckshot,* etc.) o de proyectiles únicos (*rifled slugs*).

El tipo de ignición del cartucho también se indica con un apelativo cuando no se trata de fuego central (*Lefaucheux*), y fuego anular (*rim fire*), que indican ignición radial y anular o periférica, respectivamente.

La nomenclatura se complica para las escopetas de pequeños calibres, inferiores al 28 en libra.

El calibre 32 (por ser un calibre en libra no va precedido de punto) se designa también 14 mm, término impropio, ya que corresponde al calibre 28, cuya equivalencia milimétrica es de 13,8, mientras que la real para el 32 es de 12,7 a 13,2 mm.

Le sigue en orden decreciente el calibre 36 en libra británico, que dejó de fabricarse. Sin embargo, se aplica tal designación a un cartucho que en realidad corresponde al 40 en libra y que en pulgadas decimales tiene un diámetro de 410" (apelativo con el que se designa en EE.UU.). Este cartucho, uno de los más corrientes, recibe también una denominación impropia, cual es la de *12 milímetros,* ya que su medida real en este sistema es de 10,4 mm. Esta nomenclatura es corriente en nuestro país, designándose comúnmente *12 chico* para diferenciarlo del calibre 12 en libra.

Para calibres aún menores de fuego anular, se emplea la terminología milimétrica, aunque debe hacerse notar que tampoco es exacta. Así, en el 9 mm Flaubert el diámetro verdadero es de 8,1 mm, mientras que el 6 mm Flaubert tiene una medida real de 5,5 a 5,6 mm.

Todas estas circunstancias tornan engorrosa la comprensión de los términos que indican el calibre y continúan por una razón de costumbre.

5. Dimensión diametral del ánima

A los antiguos sistemas ponderales (relativos al peso) les siguió el sistema dimensional, excepto, como ya hemos visto, para las armas de ánima lisa. En el presente caso el calibre es designado por un valor numérico que indica el diámetro del ánima, ya sea tomado a nivel de la

superficie de los macizos (*land diameter*) o de las rayas (estriado propiamente dicho o *groove diameter*).

Con respecto a las balas, cuyo diámetro era inferior al del ánima o lo igualaba con los sistemas de avancarga, puede decirse que la adopción del rayado o estriado y la retrocarga obligó a que el mismo fuera algo superior, a fin de que la toma del rayado se efectuara sin pérdida de gases. Generalmente se admite que este excedente está comprendido entre .005" y .010", pero no puede sentarse ninguna regla ya que varía mucho con las diferentes fabricaciones, tipo de rayado del arma, constitución y diseño de la bala, etcétera.

En las de plomo sólido existen tolerancias más amplias que en las encamisadas, cuyo diámetro es intermedio entre el campo y el macizo del cañón del arma, o coincide con éste.

Esta dimensión diametral puede no ser rigurosamente exacta. En las diferentes fabricaciones de un mismo cartucho se observan variaciones que, aparentemente distintas, constituyen sinónimos, dependiendo del criterio con que se establece la denominación (diámetro bruto o exacto, referido a los macizos, a las rayas, a la bala), o constituyendo un término en cierto modo convencional, variado, de forma de permitir la diferenciación entre muchos cartuchos del mismo calibre, pero con caracteres distintos.

Por ejemplo, calibres como .22"; .221"; .222"; .223", corresponden a ánimas de diámetro básico .22" (5,56 o 5,6 mm) y otro tanto ocurre con los 10,2 mm; 10,5 mm; 10,75 mm; 10,8 mm, correspondientes al .44-40 W.C.F. Los ejemplos pueden multiplicarse, de lo que surge una abundante sinonimia muy confusa en algunos casos.

Las unidades mayores se estilan en las piezas de artillería (por ejemplo, cañones de 6 y 12 pulgadas, morteros de 4,2 pulgadas, cañones de 37, 57 y 75 mm, obuses de 105 mm, etcétera).

En las armas portátiles las dimensiones mayores corresponden a 1,5 y 1 pulgada, siendo generalmente inferiores a esta magnitud.

Existen dos grandes modalidades. Por un lado, los europeos continentales prefirieron la designación métrica decimal (milímetros y fracciones), en tanto Gran Bretaña y Estados Unidos lo hacían en pulgadas centesimales (décimas o, lo que es más frecuente, centésimas y milésimas de pulgada).

Sin embargo, estas normas nunca fueron absolutas. Gran Bretaña fue la más apegada a su sistema. En Europa continental, especialmente en Alemania, era costumbre a veces agregar a la designación milimétrica de un cartucho, la correspondiente en pulgadas cuando el mismo no era de origen germano.

Por su parte, Estados Unidos conserva la designación original para muchos cartuchos de origen extranjero fabricados en el país. A su vez, en Sudamérica ambas designaciones se utilizan según la procedencia de los cartuchos y en las naciones productoras también se emplean los dos sistemas.

Actualmente, sin embargo, existe una tendencia a adoptar el milimétrico decimal incluso por Gran Bretaña y Estados Unidos. A partir de 1950, fecha en que se unificaron los calibres entre los integrantes de la OTAN, se implantaron los cartuchos 7,62 mm NATO para arma larga y 9 mm Parabellum para cortas, identificándose con estos guarismos en todas ellas. Por otra parte, EE.UU. oficializó el cartucho .223" Remington como 5,56 mm, aunque los comerciales continúan designándose por el sistema de pulgada decimal. En los últimos años, empero, varios creados en dicho país con fines deportivos se nombran en la misma forma (6 mm Remington; 5 mm Remington; 7 mm Remington Magnum), mientras que otros son en pulgadas (.17 Remington; .225 Winchester; .22-250; .25-06, etcétera).

Examinemos ahora estos distintos modos de designación y las numerosas variantes que presentan.

a) Designación milimétrica

Es empleada esencialmente en Europa continental y, aunque no de manera exclusiva, en otras naciones.

Estados Unidos ya la había utilizado a finales del siglo pasado cuando creó el calibre 6 mm (.236") para el fusil Lee, y también la siguió empleando para los cartuchos extranjeros fabricados allí; si bien en la actualidad algunas fábricas tienden a adoptarla, otras persisten con el sistema en pulgadas. Militarmente existen ambas, puesto que al lado de los términos 7,62 mm; 5,56 mm persisten otros como el .30"; .45"; .50", etcétera.

Las productoras sudamericanas utilizan ambos sistemas sin cambiar su denominación original excepto en algunos casos; por ejemplo, Argentina llama al .45 ACP, 11,25 mm; al 50 Browning, 12,7 mm, etc., mientras que los calibres .32", .38" y .44-40 conservan su apelativo original. Brasil, en cambio, mantiene el de origen para casi todas las municiones producidas.

El término se compone de un número entero seguido por uno o dos decimales, con una separación concretada mediante un punto (en realidad, debería ser una coma, matemáticamente hablando).

La escala es muy amplia, extendiéndose desde un mínimo (2,7 mm) hasta máximos de 15 a 20 mm, y existe una abundante sinonimia según el número exprese el diámetro entre campos o macizos, el de la bala, o términos convencionales aproximados; que exprese fielmente la medida, apareciendo entonces diferencias debidas a las tolerancias de fabricación. De esta forma, no siempre el número es fiel en su significado.

Así, por ejemplo, el calibre 7,65 Browning tiene una bala que mide 7,85 mm, por lo que el número indica seguramente el diámetro en los macizos del arma. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el diámetro de las balas puede variar para un mismo calibre dentro de ciertos límites. Así, para el 7,65 mm Browning oscila entre 7,67 y 7,89 mm, con un máximo de 7,95 mm. Estas diferencias son aún más considerables en las balas de plomo, lo que explica que un mismo calibre pueda ser denominado por números apreciablemente diferentes.

b) Designación en pulgadas decimales

Era utilizada exclusivamente en Gran Bretaña y de manera similar en EE.UU., si bien en la primera unos pocos calibres conservaban la original (por ejemplo: 7 mm Mauser).

Tratándose en general de dimensiones inferiores a una pulgada, se expresan por un guarismo de una, dos o tres cifras precedido por un punto que indica que se trata de fracciones decimales de aquella medida. Por ejemplo: calibre .5"; .50" y .500" son sinónimos (expresados en décimas, centésimas y milésimas, respectivamente).

Gran Bretaña acostumbraba usar sobre todo la designación en décimas y milésimas, mientras EE.UU. empleaba sobre todo centésimas. Al multiplicarse los tipos distintos de cartuchos en un mismo calibre, fue necesario valerse de todas las modalidades posibles a fin de diferenciarlas, y es así que este último país empleó también las milésimas, reservadas primero para cartuchos de origen británico, como por ejemplo .275 Holland & Holland.

Técnicamente debe preceder un punto al guarismo. Sin embargo, esta costumbre se estila sobre todo en terminología militar, aunque en la comercial también debe emplearse a fin de evitar confusiones. En efecto, puede diferenciarse fácilmente el calibre 32 en libra (que no va precedido de punto), del .32 de revólver o de carabina que sí lo llevan, Antes de adoptarse esta modalidad era común ver en los catálogos tales calibres en pulgadas expresados de distintas maneras. Por ejemplo, el calibre .44 podía escribirse 0.44; 44/100; nº 44.

A su vez, si se trataba de un .500 se usaban: 0.500; 500/1000.

Obsérvese que los denominadores son solamente dos, es decir, 100 y 1000, lo que impide su confusión con otras designaciones bidimensionales en las que el segundo guarismo tiene otros significados, como luego veremos.

Otras naciones usaron medidas diferentes a la pulgada. Rusia, por ejemplo, empleaba la línea, equivalente a .10" de pulgada, o sea, 2,54 mm. El fusil Moisin-Nagant M 1891 era de calibre 3 *líneas,* designándose *fusil de 3 líneas*. Posteriormente se sustituyó este sistema por la denominación milimétrica, correspondiendo entonces 7,62 mm, que en pulgadas equivale a calibre .30" (3 líneas = .30" = 2,54 x 3 = 7,62 mm).

Como en el caso de la designación milimétrica, el guarismo puede expresar la medida del ánima en los macizos o en las rayas, así como el de la bala, y muchas veces no tienen nada que ver con ellos. Se recurre a figuras distintas para diferenciar tipos diferentes de cartuchos en un mismo calibre. Consecuentemente, la sinonimia dimensional no indica intercambiabilidad de los cartuchos.

A manera de ejemplo diremos que los calibres .221", .222" y .223" son análogos en diámetro, pero sus cartuchos son totalmente diferentes y de ningún modo intercambiables.

Otras veces, en cambio, los cartuchos pueden dispararse indistintamente en una misma arma, caso del .38" y del .380" o del .32" y del .320".

En contraposición a ello, muchas designaciones no son exactas. Así, el .38 Special tiene un diámetro en el ánima de .357", pero esto no indica que los cartuchos .38" y .357 Magnum sean intercambiables. Si bien los primeros pueden dispararse en armas para el segundo, la inversa no es posible, pues el .357 tiene mayor longitud de vaina y desarrolla presiones no soportadas por un revólver .38 estándar.

Las circunstancias posibles son muy numerosas, sólo se pretende brindar una guía para comprender el problema, aclarándose que en más de una oportunidad se deberán consultar manuales adecuados.

c) Designaciones multidimensionales

Obligadas para diferenciar distintos tipos de cartuchos a medida que éstos se fueron multiplicando, imponen casos muy numerosos:

a) El calibre es designado por dos guarismos separados por un guión, una raya oblicua, o una coma o apóstrofo.

1) El primer guarismo indica el diámetro de la vaina (o de la recámara) en su base, en tanto el segundo expresa el mismo a nivel del cuello (o de la parte anterior de ésta). En tales casos se trata de cartuchos que han sido agolletados conservando, en lo posible, la capacidad de la vaina primitiva, tanto se trate de tipos de fuego anular como de ignición central.

En estas circunstancias el calibre es indicado por el segundo número. Ambos van separados por un guión o una barra oblicua.

Es el caso del .577/450 Martini Henry reglamentario en Inglaterra hacia 1870, y constituido en realidad por una reducción de la vaina del predecesor .577 Snider. Del mismo modo, el .297/230 Morris Corto es una reducción de la vaina del .297 para disparar en tubos reductores adaptados a fusiles militares.

Algunos cartuchos de fuego anular o periférico con vaina de cobre, extensamente usados en la Guerra Civil norteamericana, se nombraban con el mismo sistema; por ejemplo, los .56-56, .56-52, 56-50 y .56-46 Spencer tenían una vaina que media .56" en la cabeza mientras que en el cuello las dimensiones podían ser análogas (vaina cilíndrica), o progresivamente menores (agolletamientos crecientes).

También se emplea el mismo sistema para muchos cartuchos experimentales en donde el segundo guarismo indica el calibre al que se ha reducido la vaina primitiva. Por ejemplo, Nieder .32- 40/22, Meredith .250/22, etc. El nombre que precede (o sigue) a los números se refiere al creador del modelo. Sin embargo, existen excepciones, ya que muchas veces el calibre es indicado por el primer guarismo, mientras que el segundo indica la vaina original, como, por ejemplo, .22/30'06 Henlein; .220/30 Baby Swift, etcétera.

2) En las armas de ánima cónica también se emplea una figura binumérica, pero aquí el primer guarismo indica el diámetro del ánima a la salida de la recámara, mientras que el segundo se refiere al de la boca del arma, correspondiendo por lo tanto al calibre. Ejemplo: .30/24; .656/50; .14/9, etcétera.

En los cañones de ánima cónica ensayados en Alemania, la proporción entre los diámetros inicial (D) y final (d) era de: D/d=1.30 a 1.50.

3) Otras veces la designación binumérica posee distinto significado. El primer guarismo indica el calibre, mientras que el segundo (separado comúnmente por un guión) expresa la carga de *grains* de pólvora negra que llevaba el cartucho original.

En esa época, para aumentar la efectividad del proyectil en un calibre dado, era necesario elevar la carga aumentando la capacidad de la vaina sobre la base de un aumento en su longitud o en el diámetro de su mitad posterior. La nomenclatura señalada permitía identificar cada uno de estos cartuchos, como por ejemplo: .44- 40; .32-30, etc. Cuando se adoptó para muchos de ellos la pólvora sin humo, se mantuvo la denominación, aunque entonces el segundo número no se refiere a la carga real sino a la primitiva.

La confusión es mayor todavía, ya que se han diseñado y fabricado cartuchos que, aunque nunca fueron cargados con pólvora negra, se designan como si ésta fuera la propulsora del proyectil. Ejemplo: los cartuchos .32-20 y .30-30 Winchester. En estos casos el segundo número indica una carga teórica que nunca fue llevada a la práctica.

4) El segundo número puede indicar una modificación del ángulo del hombro de la vaina. Este sistema se utiliza en algunos cartuchos experimentales. Así, .222-45 significa un cartucho .222 Remington, cuyo hombro de 23 grados ha sido remodelado a 45 grados. En rigor, en este caso conviene indicar en forma adecuada el cambio (.222-45°).

5) El segundo número puede referirse al tipo de arma que dispara un cartucho de poder superior al estándar en el calibre. Por ejemplo, el .38-44 es un cartucho especial calibre .38" de alta velocidad para ser usado en revólveres de ese calibre, aunque de modelo, dimensiones y peso similares al .44 Smith & Wesson n° 3 de simple acción.

6) Otras veces el segundo guarismo se refiere a la velocidad inicial del proyectil, lo que se reconoce fácilmente porque siempre se compone de cuatro cifras. Debe tenerse en cuenta que la velocidad indicada (habitualmente expresada en pies por segundo) se refiere a un determinado peso de proyectil, ya que al variar éste también lo hace la velocidad. Sin embargo, en cartuchos comerciales se conserva el apelativo que indica la performance máxima.

Por ejemplo, el cartucho .250 introducido por Savage en 1915 era designado .250/3000 debido a que desarrollaba tal velocidad inicial con una bala de 87 *grains*. Posteriormente se lo dotó de otras más pesadas, con lo que la velocidad oscilaba entre 2900 y 2650, aunque se mantuvo

la designación original. Recién cuando la bala de 87 *grains* fue abandonada, el cartucho se denominó .250 Savage, aunque algunas productoras conservan el nombre primitivo.

En muchos *wildcats* se emplea el mismo sistema, aunque en tales casos la velocidad indicada es la que verdaderamente corresponde a la carga o modificación ideada. Ejemplos: .22/4000 Krag-Davis; .22/3000 Lovell, etcétera.

7) El segundo número separado por un guión puede indicar el peso de la bala cuando ésta corresponde a un cartucho de diseño y uso especial. Por ejemplo, .38-200 corresponde a un cartucho adaptado para ser disparado en revólveres del calibre .38 *S & W,* que en lugar de llevar la bala estándar de 146 *grains* lleva otra de 200 *grains*. Fuera de casos especiales no es costumbre incluir la mención aislada del peso de la bala en la denominación del calibre.

Es obvio señalar que en este caso la figura nominativa se refiere exclusivamente al cartucho y no al arma, en la que igualmente se pueden disparar balas de otros pesos.

8) El segundo número puede indicar la longitud de la vaina del cartucho expresada en pulgadas inglesas o milímetros.

El primer sistema fue utilizado en Gran Bretaña y Estados Unidos, mencionándose dicha longitud a continuación del número que indica el calibre, separándola de éste por un guión o poniéndola entre paréntesis. Ejemplo: .450 Rev. 55/64"; .577 Nitro Express 2 y 3/4", etc. Las diferencias de carga en la época de la pólvora negra obligaron a emplear variadas longitudes de vaina e impusieron su mención en la nomenclatura a fin de identificar correctamente los cartuchos.

La mención en pulgadas centesimales fue menos empleada, pero encontramos ejemplos en algunos cartuchos de fuego anular. Por ejemplo: .46 R.F. 1". 110; .46 R.F. 1". 125. Como se ve, en estos casos el número que indica la longitud sigue al que denomina el calibre. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para utilizar esta denominación es preciso que las diferentes longitudes de vaina hayan respondido a un fin específico que confiera individualidad al cartucho. Variaciones de longitud en las vainas debidas a tolerancias amplias y a diferentes producciones carecen de valor, y su mención, lejos de facilitar la identificación, la complica.

En condiciones excepcionales la longitud de la vaina se expresa en calibres, y este sistema se emplea para algunas municiones de artillería. El sistema europeo continental, en cambio, expresa dicha longitud en milímetros y fracciones, separándola del número que indica el calibre por el signo de multiplicación (x). Ejemplos: 7 x 57 mm; 7 x 72 mm, etc. En la actualidad este sistema tiende a introducirse en todas las naciones, inclusive en la terminología militar, como puede verse en los ejemplos que siguen: 5,56 x 45 mm es el nombre correcto del .223 Remington; 7,62 x 39 mm es el que corresponde al cartucho *rimless* soviético; 7,62 x 51 mm es el del cartucho NATO; 9 x 19 mm corresponde al 9 mm Parabellum, etcétera.

Este sistema tiene la ventaja de permitir un reconocimiento muy exacto de los cartuchos, lo que es importante dada la gran variedad que existe en cada calibre, sin que sea posible intercambiarlos entre sí. Pero como en los casos anteriores, pequeñas variantes de longitud pueden encuadrar en las diferencias de fabricación, criterio de los fabricantes o tolerancias admitidas, lo que da origen a una confusa sinonimia. Por ejemplo, son análogos el 11 mm Revólver M 1873 y el 12 mm Revólver M 1873; lo mismo que el 11,2 x 35,9 mm Montenegrino y el 11,4 x 36 mm Montenegrino, etcétera.

La palabra agregada tiene entonces mucha importancia, puesto que una diferencia de 1 mm, que en algunos cartuchos no tiene transcendencia, la *cobra* en otros, tal es el caso de las series Mauser y Mannlicher-Schoenauer, cuyos componentes no son intercambiables, diferenciándose por las vainas de diferente longitud (más largas en los primeros y más cortas en los segundos), aparte de sus diferencias balísticas.

9) El segundo número puede indicar el año en que fue creado el cartucho o el arma que lo dispara. Generalmente esta fecha se expresa, sea en forma completa precedida o no de un término abreviado que indica *modelo*, o en forma parcial, citando los dos últimos dígitos y separándolos, sea por la misma abreviatura o por un apóstrofo. Por ejemplo: 7,92 mm Mauser M 1888 (que puede también expresarse 7,92 mm Mauser M 88).

Cuando un arma o cartucho ha sufrido modificaciones menores, puede designarse el calibre anotando las dos últimas cifras del año de su creación y las dos del año de modificación, separadas ambas por una barra. Ejemplo: 10,4 mm Revólver de Ordenanza Suizo M 1872/78 o M 72/78.

b) El calibre se designa por tres guarismos separados entre sí por guiones o barras.

1) El primer número indica el calibre (por lo general en pulgadas decimales, ya que el sistema se empleó principalmente en EE.UU.), el segundo la carga de *grains* de pólvora negra y el tercero el peso de la bala en *grains*.

De esta forma se hace posible diferenciar con gran exactitud diversos cartuchos de un mismo calibre, equipados con distintas cargas de pólvora negra y balas de diferente peso. A medida que se fue estandarizando la producción, desaparecieron muchos cartuchos y la nomenclatura se simplificó eliminando el tercer guarismo.

Ejemplos: .50-110-300; .40-60-200, etc. El nombre completo del conocido .44 Winchester C.F. o .44-40, sería .44-40-200.

La adopción de las pólvoras sin humo hizo desaparecer este tipo de designaciones, aunque, como vimos, se conservan muchas bidimensionales, siendo excepcional que hoy se utilicen, fuera de cartuchos *wildcats* donde todavía se recurre a este sistema.

2) Otras veces el primer término se refiere al diámetro de la vaina en la base, el segundo al calibre (o sea, al diámetro en el cuello), ambos separados por una barra, y el tercero (separado por una coma), a la longitud de la vaina, por lo general en pulgadas inglesas.

Este sistema fue utilizado en Gran Bretaña y EE.UU., por ejemplo: .500/465 Nitro Express, 3 y 1/4"; .500/450 Express, 2 y 23/32", etcétera.

3) En Europa continental solía emplearse una denominación tridimensional en la que el primer número se refería al calibre en milímetros, el segundo (separado por el signo x) al largo de la vaina, y el tercero, separado por un guión o incluido entre paréntesis, a la denominación adoptada en el país de origen del cartucho.

Ejemplos:

10,85 x 18,80 mm - *Kal* .442 *Rev.*
8 x 58,5 R - .360 *British* = .360

d) Designaciones mixtas y complejas

Aun con todos estos procedimientos, la enorme variedad de tipos de cartuchos de cada calibre obliga a recurrir a agregados que permitan su exacta identificación. De este modo nacen sistemas y modalidades distintos, muchas veces subordinados a las normas del país, al destino de la munición, al modo en que debe ser empleada, armas a las que puede adaptarse, nombre del creador o fabricante, etc. Inclusive se emplean figuras convencionales que sólo indirectamente informan respecto del diámetro de la bala o del ánima. Todo esto crea eventualidades muy numerosas que no es posible detallar exhaustivamente; sin embargo, se proporcionarán distintos ejemplos que permitan desempeñarse en los casos más corrientes.

a) Apelativos agregados pueden indicar el tipo de arma a la que se halla destinado el cartucho (por ejemplo: .320 Revólver; .38 Automate Pistol; .30 Carbine), el sistema de la misma (por ejemplo: .32 *Self-loading* rifle), el uso al que se halla destinado un cartucho (por ejemplo: 10,8 mm *Montenegrin Gasser Rev.*; .30 *U.S. Ball Army & Navy o AN,* etcétera).

En algunos casos se emplean términos especiales, por ejemplo: 450 *target* (para tiro al blanco); 6 mm *scaciacane* (significa ahuyenta perros); .310 *kattle killer* (indica un cartucho para abatir reses vacunas u ovinos), etcétera.

b) Un apelativo indica a veces el tipo de ignición del cartucho, aunque hoy esto sólo se aplica a aquellos casos en que dicha ignición no es central, o cuando, siéndolo, se emplean fulminantes de sistemas especiales (por ejemplo: *rim fire* indica fuego anular; *Lefaucheux,* nombre del creador, señala la ignición a espiga o radial, etc.). Los términos *inside primer, martin primer* y otros se refieren a cebos especiales.

c) El tipo de lubricación de la bala se indicaba antes empleando los términos *outside lubricated* e *inside lubricated,* para la externa e interna respectivamente. Tal costumbre ha caído en desuso.

d) En cambio, ciertos caracteres de las vainas pueden ser especificados, sobre todo cuando existe más de un tipo de las mismas para un cartucho dado. Si no es así, tal carácter se omite. Por ejemplo: cuando un cartucho puede ser provisto con vainas con reborde o con otras sin re-

borde, pero con surco de extracción, se agrega *rimmed* o "R", en el primer caso, y *rimless* o nada en el segundo. Los británicos emplean el término *flanged* para las vainas con reborde.

En algunos casos, como todavía acontece con ciertos cartuchos japoneses, se usa una vaina que posee, a la vez, reborde y surco de extracción, indicándola los americanos como *semirimmed,* mientras que si la vaina normal de un cartucho es de este tipo (por ejemplo: 7,65 mm Browning; .38 ACP), no se hace mención alguna. Los cartuchos de fuego anular llevan normalmente vainas con reborde, lo mismo que muchos de fuego central, en cuyo caso nada se menciona. El término *belted,* que indica vaina con cinturón, también se usa a veces, sobre todo cuando el cartucho existe con vainas de otro tipo, o cuando se quiere destacar esta cualidad que le confiere un sólido apoyo en la recámara. Lo mismo acontece con *reduced rim* (reborde reducido).

En la serie de *Sharp* y en otros casos en que un mismo calibre podía fabricarse con vainas cilíndricas y agolletadas, se usaban los términos *straight* para las primeras y *necked* para las segundas.

e) Antiguamente se mencionaba la especial constitución de la vaina, sobre todo en la era de los cartuchos primitivos, por ejemplo .69 *paper musket* (envoltura de papel que contenía la bala y la carga propulsora); .44 *Colt Combustible* (con vaina combustible de papel nitrado o de otros materiales); .44 *Colt Skin* (con vaina combustible de piel delgada); .50 *Smith Paper & Foil,* etcétera.

Las vainas hechas con láminas metálicas enrolladas en espiral se denominaban *coiled. Double culot* (culote doble) especificaba vainas con cabeza reforzada por una sobreenvoltura metálica, etcétera.

f) La adaptación de la bala a la vaina mediante una cofia de papel lubricado se especificaba como *paper patched.*

g) La naturaleza de la carga se indica por apelativos especiales en el idioma de la nación productora, por lo que son muy variables e imposibles de reproducir en su totalidad. Siendo el inglés idioma universal, nos referiremos a este caso como ejemplo.

Así, los cartuchos para fogueo (desprovistos de balas, se designan como *blank*) (blancos o ciegos); *pour salves, a salve, festim,* son los términos usados en Francia, Italia y Brasil, respectivamente.

Shot indica cartuchos cargados con perdigones. Habitualmente no se usa en los de caza para escopeta, ya que constituye su carga habitual, especificándose en este caso cuando ella es diferente de la usual. Así *buckshot* indica carga de postas o balines y *rifled slug,* proyectil único.

Ball indica que el cartucho lleva una bala normal sólida. *Back & Ball,* que contiene una bala sólida y postas de menor diámetro (usado en cartuchos de papel primitivos); *CN* y *CS* se refieren a cargas químicas de agresivos lacrimógenos o irritantes. Los cartuchos *scheintod* germanos

para pistolas de defensa de ánima lisa contemplan mezclas químicas capaces de causar lipotimias.

Dummy se aplica a falsos cartuchos totalmente inertes empleados para ejercicio en el funcionamiento y manejo mecánico del arma.

High pressure test, proof y *tormento* son términos usados para indicar cartuchos con cargas de presiones superiores a los normales empleados en los tests de resistencia de las armas. Estos cartuchos poseen, en la mayoría de los casos, identificaciones especiales (colores, marcas de culote, etc.), pero en otros no ocurre así y sólo pueden reconocerse por las indicaciones de los envases.

h) Ciertos apelativos se emplean para indicar diferentes velocidades iniciales y constituye ejemplo el calibre .22" de fuego anular, donde existen tipos *standard velocity, high velocity* o *low velocity,* según ella sea normal, alta o baja. En una época se produjeron tipos de .22 corto de velocidad superelevada para el calibre, que se identificaron, según las fábricas, con nombres especiales: *rocket* por *Remington*; *thunderboldt* por *Peters,* etc. El apelativo *super vel* designa municiones de fuego central en alta velocidad, usualmente destinadas a revólveres y pistolas.

i) Una terminología confusa consiste en emplear los términos "n° 1", "n° 2", "n° 3", etc., ya que su acepción varía en muchos casos según la época y la procedencia. Estos términos no deben confundirse con la indicación del calibre en épocas pasadas, ya analizados (por ejemplo: n° 44 por calibre .44) y que consta de 2 o 3 cifras por haber sido norma americana o inglesa.

Por ejemplo, los británicos indicaban así los pequeños cartuchos de fuego anular, designando "n° 1" al de 6 mm; "n° 2" al de 7 mm y "n° 3" al de 9 mm, especificando además con los términos *shot* y *BB Cap* la naturaleza de la carga.

En cartuchos de fuego central "n° 1" y "n° 2" indicaban diferentes cargas en un mismo calibre o incluso cartuchos diferentes. Por ejemplo, el "n° 1 *Express*" era en realidad un .577/450 con vaina 2.78", en tanto que el "n° 2 *Express*" era un .500 con vaina de 2.87".

En otra acepción, dichos números podían indicar diferentes diámetros del proyectil en un calibre dado. De tal manera Gevelot fabricó tres tipos de cartuchos calibre .22 *Long Rifle* (Largo Rifle) designados como "n° 6", "n° 9" y "n° 12". El primero llevaba un proyectil de 5,64-5,66 milímetros de diámetro, especialmente adaptados a carabinas *Match* germanas, americanas, danesas, francesas y suizas. El "n° 9" tenía una bala de diámetro 5,67-5,69 milímetros y se destinaba a carabinas semiautomáticas de campo, o para otras de repetición y para ciertas pistolas. El "n° 12", con diámetro de 5,1-5,72 milímetros se adaptaba a carabinas centroeuropeas.

También los términos "n° 1" y "n° 2" se emplearon en *wildcats* para indicar modelos sucesivos confeccionados por un creador, generalmente en un calibre dado.

j) La longitud de la vaina se expresa por términos significativos como *short, long, extra long,* e indica indirectamente diferencia de carga, lo que era usual en la época de la pólvora negra, aunque persistió para algunos cartuchos al adoptarse la pólvora sin humo.

k) La naturaleza de la carga propulsora se indicó en una época de transición, cuando un mismo cartucho podía alojar cargas de pólvoras negras o sin humo. Así, *black powder, smokeless* y *nitro* fueron empleadas sobre todo por los ingleses, que incluso se valían de una identificación especial en el culote para distinguirlas.

l) Apelativos especiales fueron y son usados para indicar cargas de poder superior al considerado normal, pudiendo referirse al mismo cartucho o a cartuchos del mismo calibre pero distintos del estándar.

De tal manera se emplean *high power, express* y *magnum* tanto en Gran Bretaña como en EE.UU., abundando actualmente estos tipos tanto para cartuchos de armas cortas como largas. Un hecho a tener en cuenta es que tales cartuchos requieren armas especialmente diseñadas para dispararlos. (Ejemplo: .357 Magnum; .44 Magnum y .41 Magnum, para revólveres).

m) El nombre del creador o el del fabricante del cartucho agregado para facilitar la identificación. (Ejemplo: .22 *Savage*; .22 *S.L. Maynard*; .222 *Remington*; .300 *Savage*; .375 *Holland & Holland,* etc.). Algunos diseñadores han creado verdaderas series de cartuchos en los que prima un rasgo esencial para cada una (por ejemplo: series de *Weatherby, Mauser, Mannlicher, Halger,* etcétera).

n) Una creación comercial o experimental dada puede recibir un nombre especial que muchas veces sugiere algún rasgo que la señala, aunque otras no. Por ejemplo, Winchester introdujo en 1938 el cartucho .218 *bee* (abeja), y otros ejemplos los constituyen el .221 *Remington fireball* (bala de fuego), .22 *jet* (cohete), etc. En la serie de *wildcats* esta costumbre es muy corriente y pueden verse los apelativos más pintorescos y sugestivos.

ñ) La figura agregada puede indicar el modelo del cartucho, para lo que se emplean diferentes formas, según el país causa.

En Estados Unidos y algunos países europeos el modelo se indica por el término *model* o "M", seguido de la fecha correspondiente al año o sus dos últimos guarismos separados por una barra o un apóstrofo, como ya hemos visto. A veces se especifican dos fechas, correspondiendo la primera al modelo original y la segunda a la modificación introducida.

Mientras un cartucho se encuentra en etapa experimental se acostumbra a designarlo con la letra "T" seguida de un número separado por un guión.

Otras veces el modelo se identifica con números de orden separados por un guión. Por ejemplo .30'-06- M1 y M2, correspondiendo el primero a un cartucho con bala cola de bote y el segundo a uno de base plana, el primero de 172 *grains* y el otro de 150.

Los británicos emplean *mark* o MK, y lo mismo ocurre en otros países como Japón. Cuando la variante que caracteriza al modelo es notoria, se numera con guarismos romanos, por ejemplo MK II, mientras que si se trata a su vez de una ligera modificación de éste, se le agrega un asterisco (MK II*).

o) Diversos términos se refieren a cualidades inherentes a la bala. El diámetro, ya lo hemos visto, puede merecer distingos especiales. En el 7,92 x 57 mm germano el diámetro del ánima puede ser de .318" en el modelo 1888 o de .323" en el M 1905. Los cartuchos que llevan balas correspondientes al primero se identifican con la letra "J" agregada al calibre, en tanto que los segundos con la letra "S". Éstos no pueden dispararse en armas con el ánima de menor diámetro, pero la inversa es factible.

La forma puede merecer apelativos especiales, expresados casi siempre con abreviaturas que corresponden al idioma original, por ejemplo: *flat nose, spitzer, round nose, sharp point, wad cutter, blunt nose,* etc., indican formas especiales de la punta. A veces se recurre a términos indirectos para definirla, sobre todo cuando una variante de forma condiciona una acción o uso especial del cartucho, por ejemplo: .38 *Colt New Police* indica un cartucho con proyectil de extremidad truncada a fin de elevar su *stopping power* (poder de detención). Lo mismo ocurre con el .38 *S & W Super Police,* que posee una extremidad semiesférica y un peso superior al estándar. En otro orden, pueden mencionarse caracteres de la base, como *boat-gacteres tail* (cola de bote), *flat tail* (base chata o roma), *hollow tail,* (base hueca), *minie ball* (sistema *minie*), etcétera.

La constitución de la bala se expresa por numerosísimos términos. Por lo general los sólidos se denominan *solid,* agregando si son de plomo desnudo (*lead*) o encamisados (*jacket*). Según se disponga, la camisa se distingue *full jacket* (totalmente encamisada, excepto en la base), *semi jacket* (media camisa), etcétera.

En muchas balas deportivas se define la constitución simultánea con la acción y la forma, por ejemplo *spitzer soft point* (punta blanda ojival aguda), *round nose hollow point* (punta hueca ojival), etc. O se emplean designaciones patentadas para diversos sistemas de proyectiles expansivos (*Siluertip, H-Mantel, Kore Lokt, Power Lokt,* etcétera).

Los términos *spaterless* y *frangible* se refieren a balas que se desintegran en el impacto. Del mismo modo, otros, capaces de dividirse en varios fragmentos, o impulsados con cargas moderadas, se designan *guard* (proyectil para guardias), o *riot* (antimotines).

La acción especial de los proyectiles puede indicarse por variados términos o signos así como identificaciones coloreadas, envolturas especiales o formas propias; de este modo se distinguen cartuchos militares trazadores, perforantes, incendiarios, de acción mixta, etcétera.

p) Algunos fabricantes europeos han identificado cada cartucho con números y letras propios, cuya mención permite denominarlos aun omitiendo su calibre y sus características. Tal lo que ocurre especialmente con D.W.M. y G. Roth. No pueden incluirse aquí las listas respectivas, pero a título de ejemplo digamos que en la serie D.W.M. el n° 471 corresponde al cartucho 7,65 mm *Luger Auto Pistol.* Las variantes en un mismo cartucho son indicadas por letras agregadas (por ejemplo: 480C corresponde al 9 mm Parabellum y 480D al mismo con carga especial para ametralladora).

Si las variantes son menores se emplean números-asteriscos agregados.

q) Existe aun una serie de apelativos convencionales muchas veces simbólicos, que se utilizan para identificar algunos cartuchos. Ya vimos que este sistema se emplea en cartuchos comerciales, pero especialmente se prodiga en *wildcats,* donde a veces los términos son ciertamente pintorescos, por ejemplo: .14 *Jones scorpion,* .22 *varminter,* .240 *cobra,* .25-35 ICL *coyote,* .219 ICL *wolverine,* etc.

Muchas veces la mención aislada del apelativo identifica al cartucho, con o sin agregado del nombre de su creador, por ejemplo: R-2 *Lovell, Mc Crea Bumblebee,* etcétera.

r) Finalmente, la designación puede ser muy compleja empleando términos referentes al tipo de cartucho o vaina, cualidades especiales del cartucho, efecto de sus proyectiles, etcétera.

Estos hechos se complican aun por la gran cantidad de sinónimos debido a los hechos que ya mencionamos en párrafos anteriores, y a la diferente designación en diversos países (por ejemplo: .404 *Jeffery* es sinónimo de 10,75 x 73 mm, siendo el primero británico y el segundo germano).

II. Determinación del calibre y marca del arma empleada sobre la base del proyectil objeto de estudio

Normalmente, el proyectil disparado con arma de fuego que guarda vinculación con un hecho delictuoso es entregado al perito para que determine la identidad del mismo con el arma utilizada, siempre y cuando no se plantee la necesidad previa de estudiar mediante análisis químico las sustancias adheridas a su superficie.

Obviamente, tal proyectil debió provenir del cuerpo del occiso (extraído al momento de la obducción), del cuerpo de una persona herida (extraído mediante intervención quirúrgica), del objeto en el cual se encontraba incrustado, o bien de la superficie donde quedara depositado (piso, acera, mueble, etcétera).

Cubierta esta etapa, puede ocurrir que el experto cuente o no con la o las armas secuestradas. En ambos casos, lo primero que debe llevar a cabo es la determinación del calibre y la marca del arma empleada por medio del examen del proyectil que se le aportara. En el primer caso (armas secuestradas), para eliminar de la experiencia posterior las armas que no respondan al calibre y marca determinados; en el segundo caso (ausencia de armas), para que se disponga el secuestro de las que respondan a tal calibre y marca, en poder o dominio de autores sospechados.

1. Determinación del calibre del arma empleada

Para ello habrán de contemplarse tres posibilidades: 1) que el proyectil secuestrado se encuentre íntegro; 2) que el mismo presente deformaciones o aplastamientos, parciales o totales, y 3) que esté incompleto, por separación o perdida de sustancia.

a) En este caso, el calibre se determina midiendo dos estrías opuestas por medio de un micrómetro (instrumento que sirve para medir objetos o longitudes sumamente pequeños).

b) Si el proyectil presenta deformaciones o aplastamientos parciales, que generalmente se producen en la punta u ojiva, no van surgir inconvenientes para realizar la operación mencionada en el inciso anterior. Si la deformación o el aplastamiento afecta la zona útil (tatuaje de campos y macizos transmitidos por el ánima del cañón) en el sentido longitudinal, o si el aplastamiento es total por haber impactado perpendicularmente (formando un ángulo de 90 grados con la superficie afectada) sobre una chapa de acero o elemento de muy dura consistencia, entonces la medida debe ser tomada sobre el culote del proyectil, ya que sólo en casos excepcionales éste se deforma o desintegra. En caso de duda, puede recurrirse al pesaje del elemento para su posterior cotejo con otros previamente promediados y tabulados que respondan al calibre determinado.

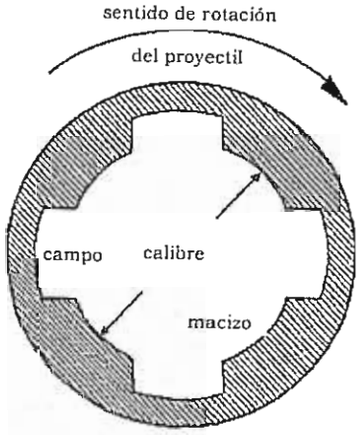
Si se sospecha que no responden a la misma aleación de materiales, puede llevarse a cabo el cotejo a través de su peso específico empleando para ello la balanza hidrostática, basada en el principio de Arquímedes de que "todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del líquido que desaloja".

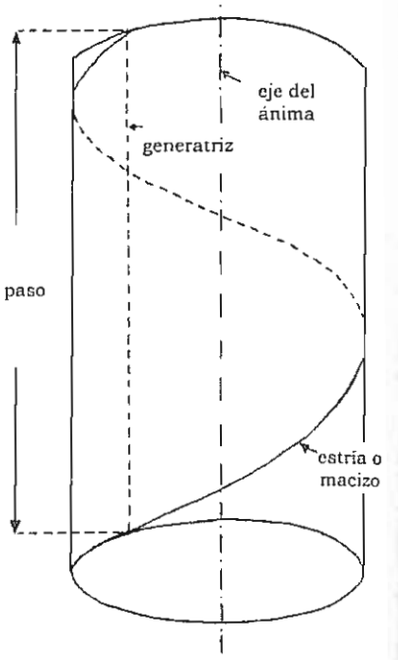
El peso de una bala disparada puede ser útil en la determinación del calibre (o calibre probable) en aquellos casos donde, debido a la deformación, no puede practicarse la medición del diámetro. Es aplicable sólo en aquellos casos donde se aprecie claramente que no se ha perdido ningún fragmento del material que la constituye.

Para llevar a cabo una determinación como la expresada en el último párrafo, se hace necesario contar con una extensa compilación de pesos, calibres y tipos de proyectiles de cartuchos.

Del conocimiento del peso de una bala disparada y su tipo, por ejemplo: plomo sólido o encamisada (incluyendo el tipo de camisa metálica), puede determinarse a menudo el tipo de cartucho de donde provino, así

como su calibre. Sin embargo, en algunos casos surgen varias posibilidades, por ejemplo, una bala de plomo sólido que pese de 80 a 81 *grains* podría provenir de cinco cartuchos diferentes, en cuanto al peso se refiere. Pese a tales limitaciones, la información que pueda contener una tabla como la sugerida es muy útil.





Espira: Arco de hélice (estria o campo) que corresponde a un paso.

c) Frente a esta circunstancia, si no se tuvo la precaución de recoger las porciones dispersas o resultara infructuosa su búsqueda, se procurará establecer su calibre por medio de alguna de las medidas indicadas si restara material que permitiera realizar tal operación; de lo contrario, habrá que cotejar su peso con el de otro proyectil del calibre posible. En este caso, si coincidieren en el peso o si el del elemento secuestrado estuviere por debajo del otro, existiría la posibilidad de que respondan a un mismo calibre.

En muchos casos el proyectil está tan deformado y fragmentado que no es posible medir su diámetro de manera alguna. Sin embargo, existe un método con el que puede llegarse a establecer el probable calibre original y determinarse el número de rayas o estrías del cañón. Para ello es necesario que por lo menos sean visibles un campo y un macizo del proyectil mutilado (sin distorsión); la medida combinada de sus anchos puede dar una aproximación del calibre original y del número de rayas del cañón utilizado.

Ante todo debe poseerse una tabla construida sobre la base de especificaciones brindadas por las fábricas que desarrollan armas de fuego. La misma contendrá una columna con la sumatoria de los anchos de campo y macizo, el calibre indicado y el número de rayas o estrías.

La aplicación de la fórmula utilizada para conocer la longitud de la circunferencia (ϖ x diámetro = longitud circunferencia) nos permitirá, según cuál fuera nuestro interrogante, despejar y calcular la incógnita deseada.

2. Determinación de la marca del arma empleada

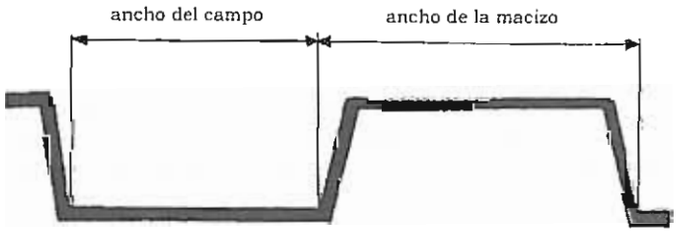
Para poder determinar la marca del arma empleada, cuando no se encontró en el lugar del hecho o no fue posible secuestrarla, el experto debe estudiar a fondo el rayado que presenta el proyectil secuestrado en su superficie de forzamiento, a fin de obtener la siguiente información:

- la cantidad de estrías que conforman el rayado (cantidad de macizos);
- el ancho de campos y macizos;
- su dirección o inclinación (de izquierda a derecha o viceversa);
- el *paso de la espira,* obtenido a través de una vuelta completa ideal. (Se llama espira el arco de hélice que corresponde a un paso).

Todos estos valores pueden obtenerse microscópicamente mediante la aplicación de modernas técnicas de medición. En el caso del paso de la espira, su valor surge de multiplicar el valor ϖ (3,1416) por el calibre del arma en milímetros, por la tangente del ángulo de inclinación de rayado.

En Estados Unidos de Norteamérica, más específicamente en el Departamento Federal de Investigación (FBI), situado en la ciudad de Washington D.C., se ha llevado a cabo el desarrollo de un archivo manual y computado con las características generales del rayado de las armas de fuego, cuyo propósito es determinar el posible fabricante y modelo de un arma de fuego, a través de las impresiones de rayado presentes en un proyectil disparado.

En tal sentido, y para aprovechar su utilización, dicho Departamento consideró imperativo que todos los expertos abocados al tema procedieran a medir los anchos de las impresiones de campos y macizos de la misma manera (conforme al siguiente gráfico), como para que la información pudiera ser tomada con precisión del archivo.



El propósito de este fichero ha sido el de normalizar códigos y procedimientos que permitan tener acceso a la información computada, la que a su vez facilitará la relación entre su espécimen y el tipo de arma que pudo haberlo disparado.

El mismo se encuentra organizado por calibre, tipo de cartucho, inclinación del rayado, número de campos y macizos, medida del ancho mínimo del campo e ídem del macizo.

Más específicamente, su diagramación responde a las siguientes pautas:

Calibre: Implica el tipo de cartucho, por ejemplo: .22 LR; .25 AUTO; .38 *Special,* etcétera.

Tipo de arma: Se utilizan códigos de letras que indican a qué arma nos estamos refiriendo, por ejemplo: revólver (R); pistola semiautomática (PS); fusil (F), etc. Dicho código puede poseer una o dos letras.

Fabricante/país: Es el nombre del fabricante del arma en particular, aunque también puede responder al del distribuidor. Se le agrega un código de dos letras a la derecha de la columna, referido al país de origen. Ejemplo: Ruger-US; Llama (SP), donde US significa *United States* y SP España (*Spain* en inglés).

Modelo: Es el modelo del arma, cuando se lo conoce, por ejemplo: Trapper; Pioneer 26; RG 23; Derringer, etcétera.

Inclinación del rayado o dirección de la hélice: Se trata de un código de una letra (D) para derecha e (I) para izquierda.

Cantidad de campos y macizos (rayas): Por ejemplo, 3, 4, 6, 8, etc. Obviamente se trata de un valor numérico.

Medida de ancho de campo (mínima y máxima): El ancho de campo es la medida tomada en la base, desde el extremo derecho al izquierdo, conforme el gráfico anteriormente dibujado, medido con una aproximación de 0,001 pulgada, o sea, 0,0254 mm. En ambos casos, los máximos y mínimos se indican con cifras de tres dígitos posteriores a la coma. Estas dos cifras se separan con un guión, por ejemplo 1,175 mm - 1,251 mm (se trata pues de una columna subdividida en dos partes).

Medida de ancho de macizos (rayas o estrías; mínima y máxima): El procedimiento es similar al anterior y las mediciones se concretan conforme al dibujo precedentemente efectuado.

3. Determinación del calibre y de la marca del arma empleada sobre la base de la vaina objeto de estudio

Por lo general, las vainas servidas que con frecuencia son halladas en el lugar donde se ha producido un hecho delictuoso, son las que proceden de armas automáticas o semiautomáticas, ya que después de cada disparo son desalojadas por la acción del botador o, en ausencia de éste, por los labios del almacén cargador, etcétera.

En caso de que se haya empleado un revólver, sólo se encontrarán vainas servidas cuando el delincuente, luego de agotar la carga del arma, las desaloja manualmente para su recarga.

a) Determinación del calibre del arma utilizada

Para poder concretar tal determinación, resulta imprescindible contar con material bibliográfico específico, útil para comparación de medidas y fundamentalmente con una colección de vainas (o cartuchos) representativos de todos los calibres en uso en el país y en el extranjero, adecuadamente ubicados y fijados en bandejas, luego de clasificarlos y agruparlos no sólo por calibre sino también por marca.

No obstante ello, normalmente no escapa al ojo del experto la inmediata determinación del calibre, auxiliándose, de ser necesario, con instrumental de medición apropiado (calibre o *vernier,* por ejemplo).

b) Determinación de la marca del arma empleada

Para el caso –muy difícil por cierto– de que se encontraran en el lugar del hecho vainas percutidas por revólveres, no existirá ninguna duda respecto de que se trata de tales armas, debido a que solamente aparecerán sobre las mismas huellas dejadas por la acción del percutor (fijo o móvil) o la aguja percutora flotante y, además, las transmitidas por el espaldón. En tales casos estarán ausentes otras huellas que se observan en cápsulas accionadas por armas automáticas o semiautomáticas: del extractor, del botador, de la fricción con la recámara, de los labios del cargador.

Resulta muy complicado establecer la marca del arma a través de las vainas servidas de revólveres, puesto que los únicos datos obtenibles son: la ubicación de la huella de percusión, su forma y profundidad, y la huella por fricción con el espaldón.

Por el contrario, en el caso de vainas servidas no sólo de armas automáticas o semiautomáticas sino también de repetición y tiro a tiro, aparece en éstas una serie tal de huellas que es posible determinar la marca del arma empleada, sobre la base de todas ellas, con las reservas del caso para los dos tipos mencionados en último término.

En las pistolas semiautomáticas, por ejemplo, además de las huellas dejadas por los labios del cargador, existen las de la recámara, las del extractor y botador, amén de las procedentes del percutor y su alojamiento en el espaldón. Algunas pistolas carecen de botador, entonces la expulsión se produce por la acción de los labios del cargador o del extractor.

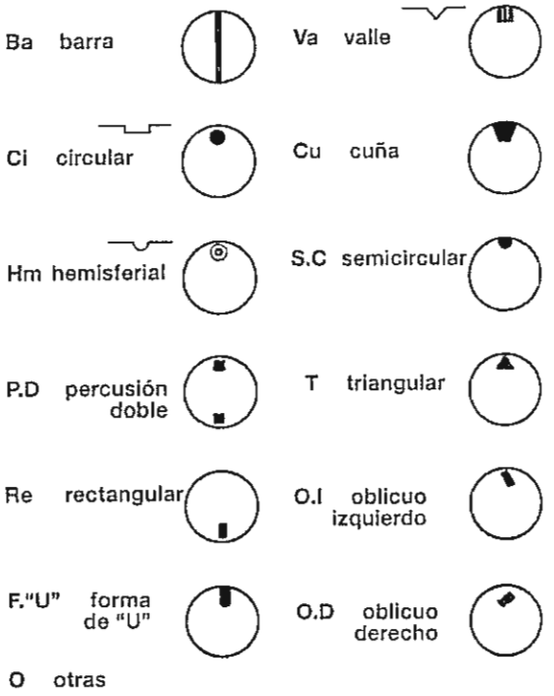
Las huellas de los labios del cargador y la recámara son como surcos o complejos lineales paralelos entre sí y aparecen en la superficie cilíndrica de la vaina. El extractor, el botador, el percutor y espaldón dejan sus diversas huellas en el culote de la vaina, sea en su borde o en su porción central.

Es importante verificar el sistema de expulsión, ya que esta circunstancia permite al experto descartar armas de un conjunto determinado.

Actualmente, y volviendo al sistema de archivo de características generales desarrollado por el FBI, resulta conveniente señalar que, en vinculación con el tema que se está tratando, dicho fichero computado contiene además códigos que describen la forma (y en algunos casos la medida) de las huellas de percusión dejadas en vainas; posición basada en las agujas del reloj de la huella de extractor y botador, y tipo de impresión originada por el espaldón.

En efecto, de acuerdo con su forma, las percusiones han sido clasificadas de la siguiente manera:

Codificación de la percusión de acuerdo a su forma



Ba: Barra
Ci: Circular
Hm: Hemisferial
PD: percusión doble
Re: Rectangular
F"U": Forma de "U"
Va: Valle
Cu: Cuña
SC: Semicircular
T: Triangular
OI: Oblicuo izquierdo
OD: Oblicuo derecho
O: Otras

Para las formas rectangulares y circulares, cuyos códigos respectivos son (R) y (C), el número posterior a dicho código representa el ancho de la huella expresado en centésimas de pulgada. Por ejemplo, C 13 indica una percusión de forma circular de .13" de ancho.

Los códigos referidos a la posición del extractor y botador están basados en las agujas del reloj, conforme a los números 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, y letra D.

Lo expresado debe interpretarse de la siguiente manera:

12 en punto: el código es 1.
2 en punto: el código es 2.
3 en punto: el código es 3.
4 en punto: el código es 4.
6 en punto: el código es 6.
7 en punto: el código es 7.
9 en punto: el código es 9.
10 en punto: el código es D.

Si la huella de percusión es doble por existir dos extractores, se emplearán dos números para ubicarlas. Por ejemplo, si una huella se encuentra a las 3 y otra a las 9, el código será 39.

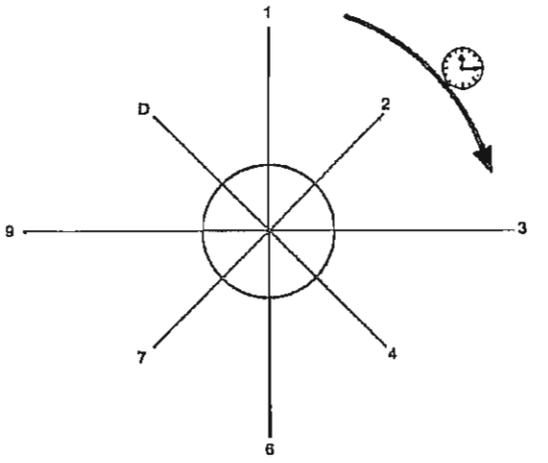
Las huellas que aparezcan entre dos números serán consideradas de acuerdo con el número más cercano, vale decir que prevalece este último.

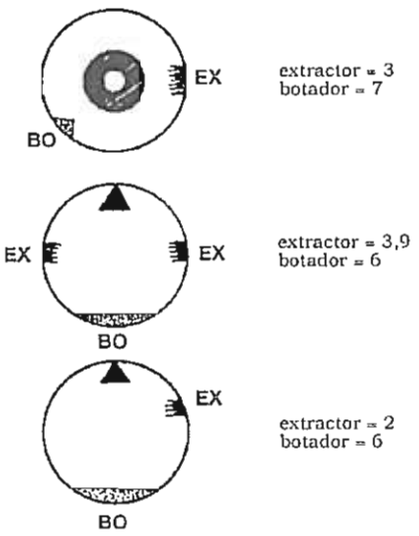
Finalmente, también se ha tenido en cuenta la huella dejada por el espaldón del arma (superficie del arma que rodea al orificio por donde asoma el percutor), mencionándose un código que hace referencia al tipo de impresión que aquél deja en el culote de la vaina.

Paralela: P - Circular: C - Suave: S

El primero se refiere a la existencia de complejos lineales paralelos transmitidos por tatuaje; el segundo, a complejos lineales curvos o circulares, y el tercero a una superficie lisa.

Codificación para la ubicación de extractor y botador





CAPÍTULO XIV
MUNICIÓN Y CARTUCHO

I. MUNICIÓN

Conforme a su acepción, esta palabra deriva del latín *munitio* y significa: "Pertrechos y bastimentos de un ejército o de una plaza fuerte. Carga de las armas de guerra. Plomos, carga para la escopeta de caza".

De acuerdo con las definiciones que brinda la ley nacional de armas y explosivos 20.429, en su dec.-reg. 395/75, Cap. I, "Disposiciones generales", sec. II, art. 3, podemos enunciar, conforme lo especifica el inc. 22, que *munición* es la designación genérica de un conjunto de cartuchos o tiros.

Sintéticamente podríamos entonces expresar que munición es el conjunto de cartuchos o tiros con que se carga un arma de fuego.

II. CARTUCHO

En función de su acepción, la expresión cartucho deriva del italiano *cartoccio*, y éste, a su vez, del latín *charta* (papel) y significa: "Carga de pólvora y municiones, o sólo de pólvora, que corresponde a cada uno de los tiros de alguna arma de fuego, envuelta en lienzo o papel o encerrada en un tubo metálico, para cargar de una vez".

Genéricamente podemos decir que recibe el nombre de cartucho la unidad de carga de un arma de fuego o, también, la cápsula que contiene la carga suficiente para un tiro de arma de fuego.

El cartucho de papel, que fue la forma más simple y temprana de diseño para empleo en armas portátiles, comenzó a utilizarse en Europa durante el último cuarto del siglo XVI. Estaban realizados con una o más balas y una carga de pólvora, dentro de un rollo de papel cuyo extremo se ataba con una cuerdecilla, hilo o hebra fuerte, o bien se sellaba con engrudo, para mantener unido al cartucho. El diámetro externo del cartucho terminado era aproximadamente similar a la medida del ánima del cañón del arma en el cual iba a ser utilizado.

Estos elementos eran engrasados en su mayoría, con el doble propósito de lubricar el ánima y prevenir que la humedad penetrara el papel y afectara la carga de pólvora.

Desde el siglo XVI hasta el primer tercio del siglo XIX, los cartuchos para armas militares portátiles eran cargados frecuentemente con una o más balas redondas, una carga de nueve o más postas, o una combinación de una esfera de diámetro levemente menor al del ánima del cañón y cierto número de postas.

La bala o esfera utilizada en el fusil era razonablemente precisa en su operación, pero aun así su alcance era relativamente corto, ya que esta forma es balísticamente la más pobre para un peso determinado de plomo que atraviesa el aire.

Alrededor de 1825 se comenzó a experimentar con balas elongadas (alargadas) en fusiles con ánima rayada. El problema principal a resolver en el empleo de cartuchos cargados con balas cónicas o *cilindro-cónicas,* en armas de avancarga, era el de evitar la fricción excesiva al cargar y más aún el dar suficiente superficie de apoyo a las balas en el interior del cañón, para obtener el giro que producía el rayado.

Se desarrollaron varios sistemas, formas y tipos de carga, antes del arribo de la retrocarga. La mayoría de las balas alargadas de este período eran relativamente cortas y las que satisfacían eran normalmente más pequeñas que el diámetro del ánima, pero estaban provistas de un orificio en la base que se expandía con la presión de la descarga, para forzar a la sección posterior del elemento a *agarrarse* al estriado a medida que se desplazaba en el arma. Uno de los ejemplos más conocidos al respecto fue el de la bala *minié,* inventada por el capitán de igual nombre. Muchas otras formas fueron copiadas de aquélla en mayor o menor grado.

Otro sistema que no obtuvo un éxito generalizado aunque era común, fue el de fabricar la bala de una forma definida, coincidente con el diseño interior del ánima. Ejemplos de este tipo incluyen la bala con cintura Brunswick y la bala Jacobs, con cuatro macizos o estrías.

A medida que las balas cónicas comenzaron a utilizarse en los fusiles estriados con cápsula fulminante de mediados del siglo XIX, el tipo general de cartuchos de papel permaneció sin cambios, excepto que sus balas, en vez de ser redondas o esféricas, adoptaron la típica forma cilindro-cónica de cada país que la empleaba.

Continuaba todavía la costumbre de engrasar el papel de la munición para evitar que la humedad alcanzara la pólvora o bien se rasgara la superficie.

Durante el período de transición comprendido entre los años 1840 y 1865 se desarrollaron, experimentaron y emplearon diferentes tipos de cartuchos de papel. Uno de ellos fue el comúnmente llamado *cartucho de envoltura combustible.* El mismo estaba construido con papel o en lino, y lo que sería su vaina, impregnada con componentes que la hacían quemar o explotar con la llama de la descarga. Los mismos, luego de ser insertados completamente, eran detonados por cápsulas fulminantes separadas o bien por otros sistemas ignición.

Otro cartucho de este tipo era el que, además de ser combustible, poseía autoignición. Ejemplo de ello fueron el cartucho alemán *zundnadelgewehr* o *needle gun* y el francés *chassepot.*

La experimentación posterior abarcó diferentes tipos de sistemas de ignición que eran, ya sea más rápidos de disparar o más adaptables a la recámara. Comienza así su aparición, a mediados del siglo XIX, el cartucho metálico. Al comienzo se los disparaba con cápsulas fulminantes independientes, tal como ocurría con los dos tipos más conocidos: el *maynard* y el *burnside.*

El primero, que se colocaba en la recámara del arma, estaba conformado por una cápsula metálica que contenía la carga de pólvora y una bala cónica. Se caracterizaba por poseer una base o culote muy grande, perforado en el centro; este culote servía para la tracción de la vaina después del disparo, dada la ausencia de extractor en el arma. La ignición se efectuaba a través del pequeño orificio del centro.

El cartucho *burnside* funcionaba de similar manera al anterior pero su estructura era diferente, especialmente su base o culote y el encastre de la bala en la cápsula.

A este sistema de percusión le sucedió el de *espiga,* atribuido a Lefaucheux, de París, alrededor del año 1836.

1. Cartuchos de fuego anular

Los cartuchos de fuego anular, en su forma sustancialmente actual, fueron desarrollados durante el período comprendido entre 1800 y 1850. A medida que fueron avanzando en calibre, estos cartuchos se emplearon gradualmente en armas militares, fusiles, pistolas y revólveres para tiro al blanco y caza.

Sus características generales incluían balas cortas, cónicas de plomo macizo, cargas de pólvora muy similares a las de los cartuchos de papel y velocidades en la boca del cañón no muy superiores a los 305 metros por segundo. Las balas estaban usualmente lubricadas externamente, con dos o tres cinturas, y su base se hallaba ligeramente ahuecada.

2. Cartuchos de fuego central

Los primeros intentos de producción de este tipo de cartucho se concretaron durante la década de 1850-1860, pero recién después de la Guerra Civil norteamericana (al menos en Estados Unidos) comienza su progreso y amplia fabricación.

Sintéticamente diremos que en esta etapa del desarrollo de cartuchería surgen los sistemas *boxer* y *berdan* como iniciadores o cápsulas fulminantes aplicables a los cartuchos de este tipo.

3. Cartuchos de fuego anular para armas cortas

Son aquellos que tienen la materia fulminante (iniciadora de la carga de pólvora) repartida en toda la periferia interna de su reborde o pestaña formando un anillo, por ello se los llama *de fuego anular.*

Éstos fueron los primeros cartuchos metálicos en la historia las armas, es decir, los primeros que incorporaron todos los componentes del cartucho, a saber: vaina metálica, bala, pólvora y materia fulminante, integrados en un conjunto.

Los cartuchos que los precedieron carecían de alguno de los componentes: los *Flaubert,* de pólvora; los *Maynard,* de fulminante, etc. Los cartuchos de fuego central y pistón exterior son claramente distinguibles por llevar el pistón, con la materia fulminante, insertado en la parte externa central del culote. El primero de ellos fue el 10.75 x 58 R. Ruso de 1868.

Entre estos dos tipos de cartuchos, los de fuego anular y los de central exterior, hubo otros de transición que tenían una cápsula fulminante central, separada de la vaina del cartucho pero situada en la parte interna y fijada por un alambre doblado que encajaba en el doblez de la pestaña del mismo. Su apariencia es idéntica a la de los de fuego anular, por lo que es difícil su diferenciación. No obstante ello, en general los de fuego anular suelen llevar los estampados y las marcas del fabricante en la parte central del culote, mientras que los de fuego central, de pistón interior, la llevan en la periferia, dejando el centro libre de incisiones y marcas.

El primer cartucho de fuego anular fue el .22 *Short* o Corto, desarrollado por Horacio Smith y Daniel Wesson en 1857. Tres aspectos lo diferenciaban de los posteriores cartuchos que lo siguieron en el desarrollo de la cartuchería metálica. Uno era el de carecer de cápsula contenedora de la materia fulminante, ésta iba repartida por el repliegue de la vaina que formaba la pestaña o reborde. El segundo era la constitución de la propia vaina, muy delgada para permitir que en la percusión se comprimiera la materia fulminante entre las paredes del reborde y se produjera su iniciación. En último lugar estaba la bala, su lubricación y forma de ir engarzada, que difiere por completo de las actuales, ya que una se hacía por un recubrimiento externo de su totalidad, por inmersión, y la otra por un pequeño escalón o rebaje en la parte trasera, inferior al calibre del elemento, por lo cual éste quedaba casi en su totalidad fuera de la vaina, la que tenía un diámetro exterior sensiblemente igual al de la bala. Esta última característica tendría una importancia capital para la nomenclatura de algunos cartuchos de arma corta.

La denominación de estos cartuchos de fuego anular no presenta ninguna peculiaridad especial y se atiene a la sistemática del área geográfica de origen, es decir que se definen expresando su calibre en centésimas de pulgada seguido del nombre del fabricante del arma que se utilizó. En ciertos casos lleva un calificativo o significación técnica. Ejemplo de lo

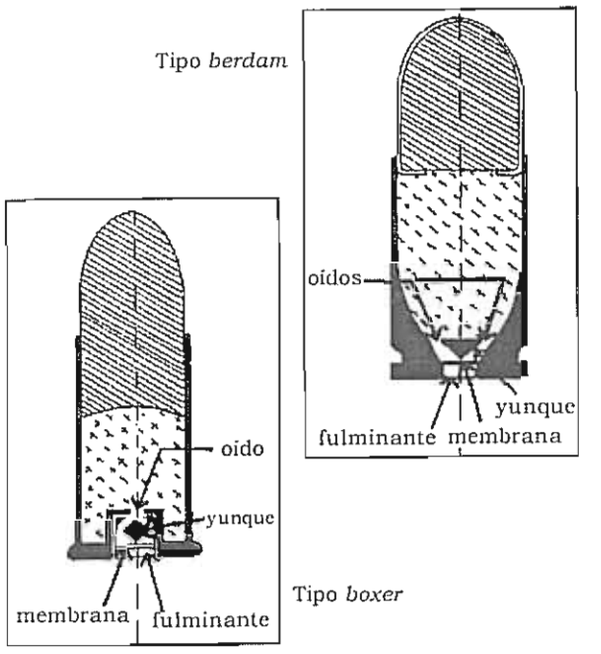
primero puede ser el .56 Spencer, y de lo segundo el .22 *Long Rifle* (largo para rifle).

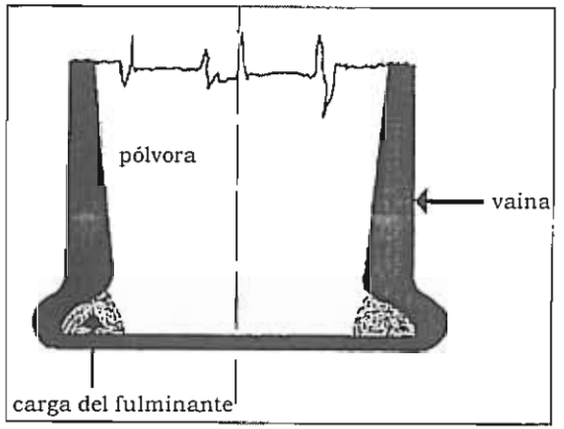
El cartucho calibre .22 *Short* originariamente era para revólver, pero pronto se aplicó a las armas largas. Poseía un proyectil de 29 *grains.* Como consecuencia lógica, a fin de incrementar sus prestaciones, en 1871 se alargó la vaina para que contuviera mayor cantidad de pólvora e impulsase el mismo proyectil a más velocidad, surgiendo así el .22 *Long.* Posteriormente, en 1877, se dio otro paso importante, al montar en la vaina del .22 L un proyectil de 40 *grains,* dando lugar al archipopular y conocido .22 L.R. (largo rifle), pues fue concebido con la idea de su utilización en arma larga.

Hace pocos años han aparecido nuevas modificaciones sobre este tipo de cartuchos y calibres que han consistido en alargar aún más la vaina, pero reduciendo el peso del proyectil con un incremento notable de la velocidad, tales como los *stinger* de C.C.I., y el *expediter* de Winchester.

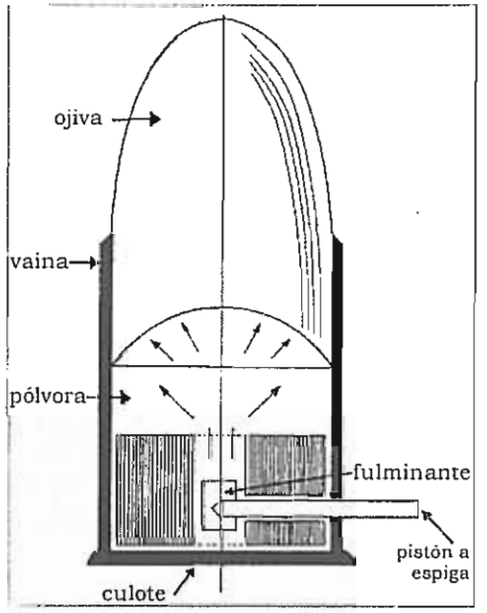
Otro importante paso se dio en este tipo de cartuchos, en 1890, al introducir el proyectil dentro del cuerpo de la vaina, por lo que ésta tuvo que aumentar de diámetro, naciendo el .22 *Winchester Rimfire* (W.R.F.) que bastantes años más tarde, en 1959, por un nuevo alargamiento de la vaina, dio lugar al .22 *Winchester Magnum Rimfire.*

SISTEMAS DE PERCUSIÓN FUEGO CENTRAL

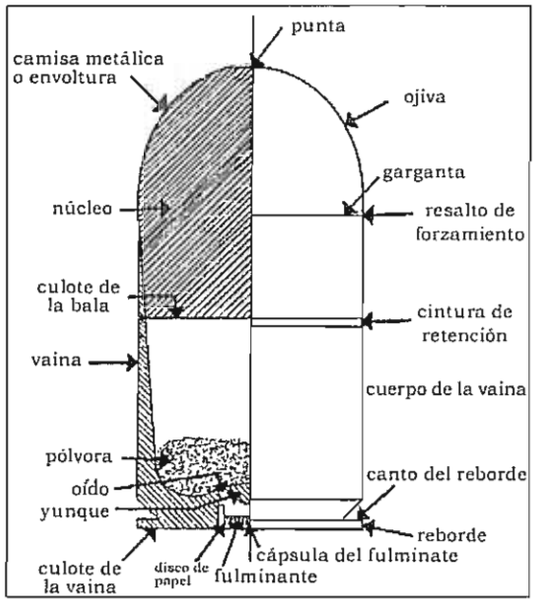




Sistema de percusión periférico o anular
(corte cartucho calibre .22)



Sistema de percusión pistón a espiga
(cartucho *Lefaucheux*)



Nomenclatura de un cartucho de bala (calibre .45 A.C.P.)

En un contexto histórico no puede hablarse de cartuchos de fuego anular sin hacerse mención de dos clásicos en su género, precursores de la moderna cartuchería. Uno fue el .45 Spencer, que apareció en 1862, también conocido como .56-56 Spencer, utilizado por la Unión en la Guerra de Secesión norteamericana. Posteriores desarrollos de este cartucho fueron los .56-52 y .56-50. Éstos fueron exclusivamente de arma larga y su denominación se aparta de los cánones, que aún no estaban vigentes, de los cartuchos norteamericanos. En el primero de ellos, el .56-56, constituye redundancia, ya que viene a indicar que su calibre es 0.56 de pulgada y que no ha sido modificado. Esa denominación sirve para diferenciarlo de los otros en los que la vaina del .56 Spencer se agolletó o redujo a un calibre inferior, 0,52, 0,50 o 0,46 de pulgada. Es de señalar que el .56-50 Spencer del año 1864 es considerado como el primer cartucho de la historia con vaina en forma de botella.

El otro cartucho clásico es el .44 *Flat Henry* para la carabina y rifle de repetición manual de palanca del mismo nombre, que fue el primero de los famosos rifles Winchester. Fue desarrollado en 1861 por B. Tyller Henry, de la entonces New Haven Arms, más tarde Winchester Repeating Arms. Posteriormente, dicho cartucho también fue empleado en revólveres. La palabra *flat* indica que la punta del proyectil estaba truncada, lo cual facilitaba su almacenamiento en el depósito del arma, que era tubular.

4. Cartuchos de fuego central para armas cortas

Para comenzar diremos que muchos de estos cartuchos también se utilizan en otros tipos de armas, como son las pistolas ametralladoras (subfusiles). La nomenclatura de los cartuchos de arma corta, al igual que los de larga, tiene una sistemática según el área geográfica donde se haya generado, aunque de forma un tanto más heterogénea.

Los anglosajones la expresan en milésimas o centésimas de pulgada, según sean británicos o norteamericanos respectivamente, aunque estos últimos rompan su tradición con facilidad, por ejemplo, en el .357 Mg., al expresarlo en milésimas. En ambos casos se suelen diferenciar los cartuchos de pistola automática de los de revólver, añadiendo la palabra *auto* los ingleses, y *auto colt pistol* (A.C.P.) los norteamericanos.

Los europeos continentales suelen expresar los cartuchos de sus armas cortas por el calibre expresado en milímetros, seguido del nombre de su inventor, primer fabricante o el del arma que lo dispara.

Últimamente se está denominando a los cartuchos de arma corta en sistema métrico decimal, igual que los de arma larga, es decir, calibre por longitud de vaina; así, el 9 mm Parabellum se denominaría 9x19 mm, también llamado NATO, al ser el cartucho oficial de esta alianza o pacto de defensa militar.

Poco o nada hay que añadir a lo dicho cuando nos referimos a los fusiles, siguiendo en casi todo la misma sistemática.

5. Cartuchos semimetálicos para escopeta

Dentro del amplio capítulo que concierne a la cartuchería, el primordial apartado lo constituye la nomenclatura y denominación correcta de los cartuchos, ya que sin su dominio es imposible identificar o designar uno concreto. Aparentemente la nomenclatura presenta una barrera de confusionismo que lleva al convencimiento falso de que la cuestión resulta más difícil de lo que en realidad es.

Los inconvenientes que presenta la nomenclatura de los cartuchos provienen de dos aspectos distintos: primero, el grado de desconocimiento y de dificultad para salir de él al carecer en nuestro idioma de literatura técnica cualificada y comprensible, y la profusión de cartuchería de origen anglosajón, cuyo sistema métrico es distinto al decimal empleado en Europa.

La cartuchería semimetálica, llamada así por entrar en su constitución sólo de manera parcial el metal, pues tiene el cuerpo de la vaina de cartón o plástico, es la que corrientemente se emplea en las escopetas o armas de ánima lisa. Hemos dicho "corrientemente", porque existen para estas armas cartuchos totalmente metálicos con la vaina de latón o aluminio, aunque desde luego no son frecuentes.

La nomenclatura empleada para denominar la cartuchería de escopeta es muy antigua y data de los primeros tiempos de la avancarga. Se basa en un método indirecto de medición del calibre, el cual se designa por el número de balas esféricas que para una determinada medida de cañón se obtienen de una libra inglesa de plomo (453,59 gramos). Así, el calibre 12 es al que le corresponde una bala de plomo que pesa la duodécima (1/12) parte de una libra. Con este dato y el peso específico del plomo se puede calcular el calibre teórico del ánima del arma.

Posteriormente se estandarizaron y normalizaron los diversos calibres para la producción industrial de la cartuchería que a ellos les corresponde.

A esta regla general escapan los pequeños calibres que se denominan de manera directa por su medida teórica en el sistema métrico decimal o en el anglosajón. Así tenemos, por ejemplo, el 9 mm en el primer caso y el .410 en el segundo. De todos los calibres de escopeta que han existido sólo están en plena vigencia unos cuantos, por haberse concentrado en ellos la predilección de consumidores y fabricantes. En la actualidad, entre los calibres más difundidos encontramos el 12, el 20 y el .410.

1. *Calibre 12.* Últimamente, para el calibre 12 han aparecido escopetas y cartuchos denominados 12 Magnum o 12-76 mm. Los norteamericanos la llaman 12-3" (calibre 12 y vaina de tres pulgadas de longitud) que viene a equivaler casi al antiguo calibre 10, muy utilizado en la caza de aves acuáticas. También para este último calibre en Estados Unidos de Norteamérica se producen armas y cartuchos del 10 Magnum, que es un auténtico monstruo de impracticable manejo para la mayoría de los cazadores.

Un peldaño inferior ocupa el 12-70 mm o 12-32 3/4 pulgada, que es el más usado y universalmente admitido en la actualidad tanto en el mundo de la caza como en el de la competición. La variedad de cargas para este tipo de cartucho es extraordinaria, pudiendo ir desde 28 gramos de perdigón hasta 42.

Intermedio entre el anterior y el 12-65 mm o 12-2 1/2", está el 12-67 mm, concebido para ser disparado en las escopetas modernas de buenos materiales pero con recámara para vaina de 65 mm. En último e inferior lugar tenemos los cartuchos 12-65 mm o 12-2 1/2", que generalmente suelen ser de potencia moderada por el menor peso de pólvora y perdigón.

Existe también un tipo de cartucho 12-70 mm, cercano al de 76 mm o Magnum, que se diferencia del primero sólo por tener una mayor carga. Uno es el alemán de la casa Rottweil, denominado *semimagnum,* y dispara una carga de 40 gramos de plomo. El otro es el *minimagnum* anteriormente mencionado.

2. *Calibre 20.* En este calibre se encuentra una variada gama que va desde el 20 Magnum de 3 pulgadas de longitud de vaina (76 mm), hasta el 20 de 70 mm.

3. *Calibre .410.* De los pequeños calibres únicamente tienen importancia el .410 y el 12 mm, aunque no conviene confundirlos: el primero se refiere a un cartucho importante, y el segundo a una versión disminuida

que tuvo cierta aceptación en épocas pasadas para cazar aves posadas en los árboles. Desde luego ambos tienen idéntico calibre pero diferente longitud de vaina.

El .410 es un cartucho que cada vez cobra más interés, pues las mejoras que en él se están realizando casi permiten, en la versión Magnum de 3 pulgadas, compararlo al 20 estándar o normal.

De este cartucho existen las versiones de 2 pulgadas y 1/2 y la de 3 o Magnum con media onza de plomo para la primera (14,18 gramos) y tres cuartos para la segunda (21,26 gramos), cargando la casa Remington en la segunda versión 19,49 gramos, o sea, 11/16 de onza.

4. *Referencias de interés.* Establecida claramente la nomenclatura básica de los cartuchos semimetálicos en lo concerniente a calibre, longitud de vaina y peso de plomo, definiremos otras determinaciones que también revisten importancia.

En muchos casos la carga de pólvora que tiene un tipo de cartucho suele ser un enigma para el usuario, pues no viene explicitada en forma alguna. En cierta medida existe una pequeña justificación, pues no todas las pólvoras son iguales, ya que al variar su relación de quemado las más vivas necesitan menos cantidad y las más lentas una mayor porción a igualdad de presiones y con pequeña variación de velocidades de proyección.

Los norteamericanos tienen un sistema bastante aceptable que orienta en cuanto a la potencia y velocidad estimadas que pueden alcanzar los perdigones de un cartucho. Basándose en la identidad de la pólvora negra, igual en todos los casos para un determinado tipo de armas, escopeta, fusil o pistola, refieren a ella la carga de pólvora sin humo mediante un coeficiente que llaman *dracma,* equivalente de pólvora negra, que sería la cantidad de este tipo de pólvora para conseguir los mismos resultados que con la de pólvora sin humo (1 dracma = 1,772 gramo). Es decir, entonces, que, si un cartucho moderno del calibre 12 tiene 31/2 dracmas equivalentes frente a otro de 4, el segundo será más potente si la carga de plomo es igual en ambos casos. Muchos fabricantes norteamericanos reseñan esto en los envases de sus cartuchos y la totalidad lo hace en las tablas que facilita y reproduce la prensa especializada, así como los vendedores.

En relación con la longitud de la parte metálica que compone este tipo de cartuchos, diremos que es el fabricante quien debe determinar el mayor o menor refuerzo de la vaina, pues no es otra la misión que cumple. Las medidas más frecuentes son: 8, 10, 12, 14, 16 y 20 milímetros de longitud.

Con respecto a los diversos tipos de proyectiles que disparan los cartuchos de escopeta, nos remitiremos a las tablas que seguidamente se detallan, en las que se expresan medidas, pesos, nombres y números de los perdigones y postas.

Conviene aclarar, en cuanto a las balas de escopeta, que cada fabricante tiene su propio proyectil, y así una misma bala *Brenneke* del mismo calibre pesa distinto según sea su procedencia francesa, alemana o belga, por poner un ejemplo. Igual ocurre con la tipo *slug* americana.

MEDIDAS DE LOS DISTINTOS PLOMOS DE LOS CARTUCHOS DE ESCOPETA (U.S.A.)

Nombre o número	*Medida en milímetros*
000	9,14
00	8,64
0	8,13
1 Buck	7,62
2 Buck	6,86
3 Buck	6,86
4 Buck	6,09
FF	5,84
F	5,59
TT	5,33
T	5,08
BBB	4,83
BB	4,57
B	4,45
Air Rifle	4,44
N° 1	4,06
N° 2	3,78
N° 3	3,53
N° 4	3,30
N° 5	3,02
N° 6	2,79
N° 7	2,54
N° 7 1/2	2,41
N° 8	2,28
N° 9	2,03
N° 10	1,78
N° 11	1,52
N° 12	1,27
Dust	1,02

MEDIDAS Y PESOS TEÓRICOS DE LOS DISTINTOS CALIBRES

Calibre (Bore)	*Diámetro ánima (mm)*	*Peso bala esférica (gramos)*
4	26,72	113,4
6	23,34	75,55
8	21,21	56,70
10	19,68	45,36
12	18,51	37,78
16	16,81	28,35
20	15,62	22,68
24	14,63	18,92
28	13,97	16,20

DIÁMETRO DE LOS PERDIGONES DE ACUERDO AL NÚMERO, EN ARGENTINA

Nº	*Diámetro en mm.*
1	4
2	3,75
3	3,50
4	3,25
5	3
6	2,75
7	2,50
8	2,25
9	2
10	1,75
11	1,50

PESO Y CANTIDAD DE PERDIGONES UTILIZADOS EN LA ARGENTINA, PARA CARTUCHOS DE ESCOPETA DESTINADOS A LA CAZA MENOR

Calibre	*Cargo en gramos*	*Nº 1*	*Nº 2*	*Nº 3*	*Nº 4*	*Nº 5*	*Nº 6*	*Nº 7*	*Nº 8*	*Nº 9*
36	9	-	-	40	-	68	86	100	136	-
14	14,5	-	-	64	-	109	137	161	220	-
28	17	-	-	76	-	128	163	189	258	-
24	20	52	-	89	-	150	192	222	303	-
20	24	62	-	106	-	180	230	266	364	-
16	27	70	-	120	-	202	259	300	410	-
12	32	83	-	141	-	240	307	355	485	-
20/72	28	-	-	128	-	210	269	311	-	-
16/65	28	73	-	128	-	210	269	311	425	-
16/70	29	76	-	133	-	217	278	322	440	-
12/65	32	83	-	141	-	240	307	355	485	-
12/70	35	-	-	155	-	262	340	389	531	660

6. Importancia de los perdigones

Los perdigones o municiones que se usan en los cartuchos deben ser bien redondos, uniformes en sus dimensiones y tener un determinado grado de dureza. La fabricación de municiones más generalizada se efectúa por medio de una torre con una altura aproximada de 60 metros. De la parte más alta de la misma se deja caer el plomo fundido a través de un recipiente con pequeños orificios, cada uno de los cuales desprende gotas de plomo líquido en forma ininterrumpida.

Estas gotas, por un fenómeno físico conocido, toman forma esférica durante su recorrido, para caer en una cuba con agua existente al pie de la torre, que las enfría instantáneamente. Este procedimiento tiene mucha similitud con el fenómeno natural de las gotas de agua que, cayendo de gran altura y pasando por una zona fría, se transforman en bolillas redondas de hielo, fenómeno conocido con el nombre de granizo.

Obtenida así la munición, se pasa ésta por dispositivos clasificadores, colocados en serie, que la agrupan por diámetro que se identifican del nº 1 al nº 10 y del nº 1 B al nº 12 B. En los diferentes países se han adoptado distintos sistemas de clasificación, lo que provocó confusión. En nuestro país se adoptó el sistema métrico decimal.

Para la fabricación de perdigones se usa plomo, por ser entre los metales baratos el de mayor densidad (peso específico 11,36). Se necesita una gran densidad porque la penetración y el poder mortífero dependen esencialmente de la energía en el momento del impacto. La energía es, a su vez, el producto de la masa del perdigón por un valor proporcional a la velocidad en el momento de llegar al blanco. Siendo finalmente la masa proporcional al peso, cuanto mayor sea entonces este último, tanto mayor será la penetración y el poder mortífero.

Los perdigones se agrupan en tres clases, a saber: blandos comunes; endurecidos o templados, y cobreados o plateados.

1. *Perdigones comunes.* Esta munición se fabrica con plomo puro y tiene a veces un pequeño porcentaje de arsénico para facilitar la formación de las bolitas redondas en su caída de la torre. Al ser blandos, como implícitamente lo indica su denominación, se deforman muy fácilmente en el cañón de la escopeta, aumentando con ello la resistencia por fricción entre la munición y el ánima del arma. Además, emploman mucho más el cañón que la clase endurecida o la cobreada.

Por efecto de la deformación las municiones tienden a dispersarse, dando un pésimo plomeo. Este efecto es más pronunciado en los cañones con *choke* que en los cilíndricos. Existe la creencia de que la munición blanda tiene un mayor poder mortífero que la endurecida (nos referimos a situaciones de caza), por su tendencia a deformarse en el momento del impacto. A este respecto, podemos hacer notar que un perdigón deformado disminuye, al perder la esfericidad, su poder mortífero, porque la fuerza de penetración es menor como consecuencia de un coeficiente balístico deficiente, debido a que posee, también, una menor velocidad remanente en el momento del impacto, en relación con un perdigón bien redondo.

2. *Perdigones endurecidos.* Esta munición difiere de la blanda por tener una aleación de plomo y antimonio que aumenta la dureza, contando por ello con muchas ventajas sobre la primera, a saber:

i) se deforma menos y mantiene su esfericidad, resultando por lo tanto una mayor velocidad remanente que en el caso de los perdigones comunes;

ii) es más sólida que la blanda y por ello mantiene su agrupamiento al pasar por el *choke* del cañón, lo que se refleja en un mejor plomeo;

iii) no emploma tanto los cañones como la munición blanda, y

iv) debido a su mayor velocidad remanente tiene una mayor fuerza de penetración.

3. *Perdigones cobreados.* El método usual para preparar perdigones plateados consiste en cobrearlos galvanotécnicamente. Esta capa de cobre depositada sobre los perdigones les da una mayor solidez y elasticidad, logrando una mayor rigidez, debida a la esfera hueca del metal depositado y la mayor elasticidad, a la propiedad elástica adicional del cobre sobre el plomo. Las ventajas de la munición cobreada son:

i) la mayor resistencia a la deformación;

ii) una mejor dispersión, y

iii) una mayor fuerza de penetración.

Se debe destacar que la capa de cobre tiene una densidad más baja que el núcleo de plomo. Por eso las municiones de plomo endurecido pesan más que la misma cantidad de perdigones cobreados del mismo diámetro.

4. *Tamaño de los perdigones.* Dentro de las características o determinaciones de un cartucho de escopeta, juega un papel especialmente importante el tamaño de los perdigones. De ello, en cierta medida, va a depender la eficacia del disparo. El tamaño del perdigón está condicionado, desde un punto de vista balístico, por el espacio que va a ocupar en el cartucho y por el peso de su conjunto, el que nos dará una presión determinada. Cinegéticamente tiene importancia según el tamaño de la pieza que se desea abatir y la distancia desde la que se dispara.

Con estos datos es fácil concluir diciendo que cuanto mayor sea tamaño del perdigón, menor número de ellos tendremos en el cartucho. Asimismo, cuanto mayor sea, más alcance eficaz obtendremos y mayor penetración lograremos. Desde muy antiguo existían diversos diámetros de perdigones que se denominan de forma indirecta, como los calibres, siendo los de número menor los que tienen mayor tamaño; así, el perdigón n° 6 es mayor que el del n° 8.

5. *¿Por qué se deforma el perdigón?* Por lo general, se considera que la causa principal de la deformación de los perdigones, de su dispersión en el curso de su recorrido, es el hecho de que se entrechocan al desplazarse por el cañón del arma, tan pronto la presión de los gases vence la resistencia ofrecida por ellos y por el bordeado de la vaina.

Sin embargo, estudios del tiro de escopeta realizados con filmadoras de velocidad adecuada revelaron con precisión que hasta 30 o 40 centímetros aproximadamente de la boca del arma, los perdigones se proyectan en forma de masa compacta como para no permitir suponer que chocan entre sí. Una vez desaparecido el taco, el aire comprimido por el movimiento de la masa de perdigones se filtra progresivamente entre ellos. A la vez, debido a su presión, detiene a los que se adelantan, fuerza a esa masa a tomar la forma de un hongo y los aleja a unos de los otros. De esta manera se provoca una paulatina dispersión.

Es sólo entonces cuando los perdigones empiezan a chocar entre sí, ya que los que han avanzado ven reducida su velocidad por la presión del aire o porque algunos son más livianos que los que vienen atrás, siendo alcanzados, en todos los casos, por éstos. Es aquí donde se produce el choque y la correspondiente dispersión.

Hay otras causas que dispersan los perdigones. La primera es la compresión de los mismos cuando la carga de pólvora se convierte en gases. La presión puede adquirir tal fuerza que los perdigones se aplastan entre sí y toman la forma de poliedros, más o menos irregulares, un hecho que se advierte con mayor claridad en los perdigones inmediatos al taco. Los endurecidos, por su parte, resisten la deformación como no lo logran los blandos. Por ello no es posible elevar la fuerza de la carga de pólvora.

El general Journée, famoso balístico e investigador francés, notó que un aumento de velocidad inicial superior a los 400 metros por segundo deforma tanto los perdigones y les hace perder velocidad de tal forma que, cuando llegan a un blanco a 35 metros de distancia, ni siquiera poseen la fuerza necesaria para causar una hendidura.

La segunda causa que concurre a determinar la dispersión de los perdigones es el roce de los que están en las partes laterales contra las paredes del cañón, lo cual no sólo los deforma sino que también les quita peso. En esta situación –se puede decir, como mutilados– los perdigones pierden la velocidad mucho más rápidamente que los que están en el centro de la carga y se desvían de su trayectoria original.

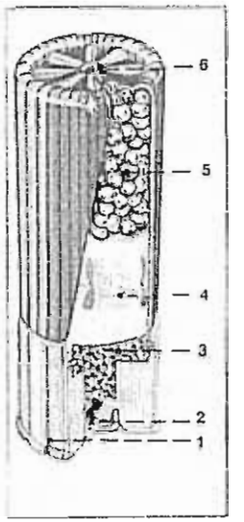
7. Las balas de escopeta

Los proyectiles que se utilizaron al principio eran esféricos, debido a la carencia de estrías en el cañón de las escopetas y al desconocimiento de la forma de estabilizar proyectiles ojivales disparados en cañones lisos. Si bien la energía de las balas esféricas era igual a la de las utilizadas actualmente, su precisión dejaba mucho que desear. Los cartuchos se cargaban al retirar los perdigones y al introducir en su lugar una esfera de plomo del tamaño correcto.

Otra forma de preparar una bala rudimentaria fue la de fundir la carga de perdigones e introducir el plomo derretido en el interior de la vaina. Al enfriarse el metal quedaba formado un cilindro cuya altura era igual a su diámetro. Su precisión se aproxima a la de las balas esféricas y puede resultar útil como una solución de emergencia al carecer de proyectiles apropiados.

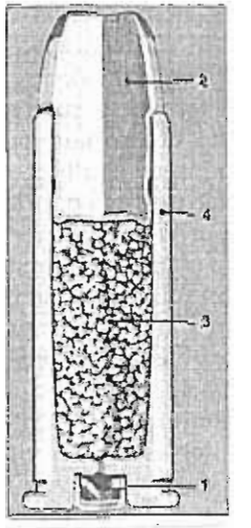
Como las escopetas tienen el ánima lisa y no pueden estabilizar los proyectiles por efecto giroscópico, los proyectiles para ser disparados en este tipo de armas, con excepción de los esféricos, están construidos con una distribución de peso para que en su trayectoria se comporten, en cierto modo, como flechas, es decir, con el peso en la parte delantera y la parte trasera hueca, o con un taco ligero que haga la parte de las plumas de las flechas.

En Francia surgió la idea de atornillar un taco de fieltro a los proyectiles esféricos. Con esta simple reforma, su precisión aumentó de modo considerable. En esa época hicieron su aparición en el mercado europeo una gran variedad de proyectiles para escopetas de los más diversos diseños.



CARTUCHO DE MUNICIÓN MÚLTIPLE

1. Taza de latón.
2. Detonador.
3. Pólvora.
4. Columna plástica con amortiguador y recipiente para munición integrado.
5. Munición dura.
6. Boca y cierre.



CARTUCHO DE BATA FUEGO CENTRAL

1. Detonador.
2. Bala encamisada.
3. Carga de pólvora.
4. Cuerpo de latón.

De tal manera, buscando cierta rotación estabilizadora, se colocaron unas pequeñas aletas o estrías en el proyectil para que, con el roce del aire, a su encuentro con estas estrías inclinadas termine girando aunque sea a baja velocidad.

8. Cartucho de munición múltiple

Por las limitaciones que imponen las escopetas, o más bien su construcción ligera, las balas que disparan tienen una velocidad en boca impuesta por las presiones de tipo estándar para éstas, es decir, de 400 a 500 kg por centímetro cuadrado, las que según el peso dan una velocidad de alrededor de los 400 metros por segundo (a menor peso con la misma presión, mayor velocidad), para obtener el compromiso de lograr suficiente penetración y energía de impacto.

Por estas causas, y haciendo referencia al calibre 12 solamente, es de destacar que se fabrican cartuchos de bala para escopeta con proyectiles que varían en peso de 28 a 36 gramos, aunque a través de la experiencia y los años prácticamente sólo se usen tres tipos: la bala *Brenneke,* diseñada por el alemán W. Brenneke, establecido en Leipzig desde 1895; el *slug* americano (proyectil chato), que pesa relativamente poco por estar hueco en su base en dos tercios de su tamaño, y que es el más usado en Estados Unidos, y, finalmente, el diseñado por el alemán Stendebach, que es prácticamente un cilindro hueco con algo más de peso en la parte delantera, para que al ser disparado no vaya dando tumbos y desviándose demasiado; este último elemento, por su punta hueca, es tremendamente expansivo a distancias cortas, pero peor para disparos largos que los tipo *Brenneke.* Por último, el ingenio humano ha hecho que salgan a relucir una serie de balas mixtas de metal y plástico inyectado que, son verdaderos y pequeños dardos y que, por lo menos en teoría, deberían dar resultados satisfactorios.

Es de hacer notar que si se dispara alguna de estas balas en cartuchos que contengan delante alguna clase de taco, el resultado más probable y menor es una escopeta reventada y posibles lesiones serias en el tirador. La razón, aunque muy sencilla, es exclusivamente matemática: las balas, aunque menores que el ánima del arma, lo son en medida pequeñísima, de una a dos décimas de milímetro, por lo que si el taco que está delante de la bala se tuerce hacia un lado dentro del cañón, no caben ambos, con el resultado inmediato de una obstrucción y el consiguiente aumento de presiones que revientan el arma.

En 1960 aparecieron en el mercado argentino las balas *bremen* y posteriormente las *super bremen.* A estas últimas, para adelantar el centro de gravedad y evitar los problemas que generan los tacos de fieltro animal (desprendimiento en vuelo, cambio de forma por variación de presión del tornillo de montaje), además del perfecto sellado de gases, se les incorporó un taco neumático especial. Esa reforma permitió obtener idéntica altura y absoluta estanqueidad, la cual se tradujo en un aumento en la precisión de los impactos y en el total aprovechamiento de los gases de combustión de la pólvora. En aquella oportunidad se experimentaron prototipos con taco integral de plástico adherido por compresión a la bala para eliminar el tornillo.

9. Los cartuchos de postas

Para dar una idea de la efectividad de las postas vamos a reproducir aquí una tabla de valores de energía de las mismas a diferentes distancias, para poder obtener un valor de por lo menos 90 kilogramos, que es la energía de impacto a 45 metros de un rifle calibre .44 W.C.F. (.44-40), considerado como de mínima potencia para animales de caza mayor, del tipo de los ciervos o jabalíes.

Número de postas por cartucho	φ de cada posta	Cada posta metros por segundo y kilográmetros -- En boca	Número de postas necesarias para 90 kilográmetros de energía en un círculo de 25 cm de diámetro	Cada posta metros por segundo y kilográmetros -- A 18 metros	Número de postas necesarias para 90 kilográmetros de energía en un círculo de 25 cm de diámetro	Cada posta metros x segundo y kilográmetros -- A 27 metros	Número de postas necesarias para 90 kilográmetros de energía en un círculo de 25 cm de diámetro	Cada posta metros x segundo y kilográmetros -- A 38 metros	Número de postas necesarias para 90 kilográmetros de energía en un círculo de 25 cm de diámetro
27	6,1 mm	400 Ec*= 11,2	8	329 Ec*= 7,3	12	300 Ec*= 6,2	14,5/15	269 Ec*= 5,7	16
12	8,13 mm	390 Ec*= 24,1	4	332 Ec*= 17,7	5,0	310 Ec*= 16,4	6,0	291 Ec*= 13,6	7
9	8,38 mm	400 Ec*= 29,0	3	346 Ec*= 21,4	4,2/5	323 Ec*= 18,5	5	303 Ec*= 16,3	6
8	9,14 mm	400 Ec*= 37,8	2,5/3	350 Ec*= 28,5	3,2/4	329 Ec*= 25,0	3,6/4	308 Ec*= 22,3	4

Si el promedio de impactos en un círculo de 25 cm de diámetro es inferior a las cifras indicadas a cada distancia, la combinación escopeta/cartucho no es apta para la distancia.
* Ec = Energía cinética cada posta.

CARTUCHOS PARA ESCOPETA 12/70 PRODUCIDOS POR "D.G.F.M."
CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS

Calibre	12/70	12/70
Tipo	"PG" (Propósitos Generales)	"AT" (Anti-Tumulto)
Peso carucho (gr)	51	18
Longitud carucho (mm)	62	
Identificación	Vaina con la inscripción Propósito General en color negro	Vaina con la inscripción Anti Tumulto
Tamaño postas	8,7 mm de diám. (9 postas)	8 mm de diám. (24 postas)
Peso posta (gr)	4,0 c/u	0,25 c/u
Material posta	Plomo	Goma
Peso vaina (gr)	6,9	
Material vaina	Plástico	
Pólvora	Monobásica	
Taco	De plástico	
Cápsula	No corrosiva- No oxidante	
Precisión	A 30 m todas las postas impactan en un blanco de 1,9 m de diám.	A 50 m el 30% de las postas impactan en un blanco de 1,9 m de diám.
Energía	A 30 m más del 50% perfora una chapa de hierro de 0,8 mm de espesor	A 50 m ninguna posta perfora un blanco de cartón de 1 mm de espesor

REFERENCIAS:

12/70 "AT": Ha sido diseñado especialmente para provocar dispersión de multitudes, tanto por efecto del ruido y del fogonazo (acción psicológica) como por el castigo de sus postas de goma, que golpean sin penetrar aun en impacto directo sobre piel (con las reservas del caso para distancias cortas).

12/70 "PG": Cartucho apto para uso en misiones contra delincuentes y terrorismo, especialmente en zonas boscosas o localidades, siendo utilizable en escopetas *Ithaca, High Standard, Bataan, Browning 2000* y otras. Puede emplearse también para caza de jabalí y puma.

10. Accesorios para cartuchos de escopeta

1. *Tacos.* Las unidades de carga pueden poseer, además de los elementos ya vistos, otros tales como cilindros o *tacos,* hechos con materiales diversos y de un alto y una estructura variados, que se encuentran en todos los cartuchos de escopeta.

Los hay de dos clases: unos gruesos, livianos, blandos y elásticos, que se colocan entre la pólvora y la bala, las postas o los perdigones, según el caso, y otros delgados y rígidos, que van encima y debajo de los anteriores y cerrando la boca de la vaina, circunstancia en que reciben el nombre de *tapa.*

Los tacos elásticos tienen por función específica sellar los gases para que no se filtren a través de la carga de plomo, con lo que se aprovecha al máximo la fuerza del propulsor y se evita que las altas temperaturas que engendra ablanden los perdigones, facilitando su deterioro, o que se suelden entre sí. Esto se logra porque, al iniciarse el quemado de la pólvora, se aplastan y ensanchan, ajustándose contra las paredes del ánima, lo que trae como consecuencia que amortigüen su impulso, el que, cuando es demasiado brusco, deforma los proyectiles con los consiguientes perjuicios sobre sus resultados balísticos.

Este tipo de taco debe ser elástico para que actúe en la forma prevista, resistente para que no se rompa con las presiones que debe soportar, y liviano para que el aire lo frene y quede detrás de la masa de plomo.

Todos los materiales que hasta ahora se emplean en su construcción (lana, corcho, espuma de goma, una combinación de dos tapas de corcho y un disco de fieltro parafinado, papel lana, corcho molido o aserrín unido con un aglutinante, etc.) ofrecen ventajas e inconvenientes, siendo los de fieltro de buena calidad los que dan mejores resultados. Además es importante que la pieza esté uniformemente calibrada y que sea de diámetro un poco mayor que el hueco de la vaina, para que entre ajustado en ella.

Aunque se hacen de distinto alto (de modo que se puedan colocar uno o más juntos), lo ideal es que su medida sea de medio a un calibre o, mejor aún, de los dos tercios a los tres cuartos, con lo que queda asegurada su elasticidad y posición correcta durante su recorrido a lo largo del cañón. Con el mismo fin, ambas caras deben ser planas y perpendiculares a su eje.

Se usan secos y engrasados en su superficie lateral. Los últimos tienen la ventaja de deslizarse con mayor facilidad y sellar mejor los gases. Pueden llevar, además, pegado a su cara anterior y posterior, un disco de papel o de cartón común o impermeabilizado.

Actualmente, los tacos de plástico reemplazan a los de fieltro y a veces se emplean principalmente combinados con ellos o formando una sola pieza con una cápsula destinada a contener y proteger la carga de plomo.

Los tacos rígidos se hacen generalmente de cartón y pueden estar impermeabilizados con alquitrán. Los comunes, es decir, sin impermeabilizar, se usan encima de los elásticos. Igualmente se los emplea para separar las diferentes capas de postas y cerrar la boca del cartucho. Con el mismo fin se utilizan otros de celuloide, que ofrecen la ventaja de quemar con el disparo.

2. *Elementos que aumentan o disminuyen la concentración de los perdigones.* En los cartuchos de escopeta suelen colocarse algunos artificios que aumentan la concentración de los perdigones, para que el tiro sea efectivo a una distancia mayor que la normal, así como otros que provocan su dispersión, para que no destrocen la presa que está demasiado cerca.

Estos dispositivos van desde un simple tubo de cartón de diámetro menor que el hueco de la vaina, hasta otros más complejos (del mismo material), entre los que tenemos:

I) Una taza cilíndrica con cuatro cortes longitudinales en su cuerpo, la que, fuera del arma, se abre dejando en libertad los perdigones.

II) Otro, consistente en un tubo cerrado en su parte delantera por un taco de fieltro y en su extremo opuesto por un disco de cartulina provisto de cuatro aletas, que se doblan hacia adelante. El conjunto que alberga la carga de plomo se comportaría como un proyectil único, el que, por la resistencia del aire, muy pronto se separa de la tapa de atrás, mientras que el resto continúa su trayectoria. Como el extremo superior es el más liviano, al cabo de algunos metros se invierte en su posición, después de lo cual pierde velocidad en relación con su contenido, que sigue solo.

III) También se ideó un recipiente con el fondo compuesto por dos tapas unidas por un hilo de unos 4 cm de largo. Por su constitución, se desplaza llevando a remolque a la segunda base que le hacía perder velocidad y liberar su carga.

IV) Para que la dispersión de los perdigones se produjera recién sobre el impacto, se recurrió a una envoltura de tela metálica, que a su vez se alojaba en otra de papel, obturada en sus dos extremos por sendos tacos de cartón, que la mantenían armada.

De todos estos ingenios podemos considerar que sólo los indicados en primer término son efectivos, razón por la cual han subsistido con mayores o menores modificaciones. Su bondad reside en que al quedar los proyectiles encerrados dentro de un receptáculo de cartón o de otro material, salen del arma formando una masa compacta y sin sufrir deformación alguna.

La versión moderna de estos concentradores la tenemos en los tubos u otras piezas de plástico, que se emplean actualmente.

Para aumentar la dispersión se utiliza un artificio muy simple compuesto de dos cartones rectangulares encastrados entre sí, que dividen el espacio que ocupan los perdigones, en cuatro sectores longitudinales.

Además del sello de gas que forma parte de la estructura de algunas vainas, existen otros que se agregan al cartucho para reforzar la acción de los tacos elásticos, por lo que van siempre entre ellos y la carga de pólvora. Como ejemplo, podemos citar el que llevan ciertos ejemplares producidos por la firma Remington Peters, consistente en un tubo de polietileno, dividido horizontalmente en dos compartimentos de muy poca altura, o bien la cápsula de cartón que usan otros, fabricados por la firma Winchester Western.

III. La vaina

Resulta muy frecuente oprimir la cola del disparador de nuestra pistola en forma sucesiva, prestando poca atención al elemento metálico que resulta despedido luego de cada movimiento de la corredera. Ese elemento, llamado *vaina, cápsula* o *casquillo,* encierra una perfeccionada técnica para lograr el correcto funcionamiento de la munición y, fundamentalmente, es la razón de ser de los sistemas actuales de retrocarga.

En la avancarga, paso anterior a la retrocarga, se conformaba el tiro colocando por separado cada uno de los elementos a través de la boca del arma. Las pruebas para cargar las armas por el extremo posterior de las mismas tropezaban con la dificultad de los escapes de gases imposibles de detener en forma práctica y que daban directamente en el rostro del tirador.

1. Mecánica del funcionamiento de un disparo

Considerando que un tiro completo está compuesto de una bala, una vaina, la carga de pólvora y el fulminante, diremos que el mismo es introducido de alguna manera en la recámara del arma. Allí ubicado es iniciado por la percusión de su base, transmitiendo un chorro de fuego y partículas incandescentes a la carga de pólvora que se inflama originando un gran volumen de gases a elevada temperatura y presión. Dado que el lugar más débil del conjunto es la unión de la vaina con la bala, esta última comienza a moverse empujada por la expansión de los gases hacia el cañón, tomando las estrías e iniciando su recorrido hacia la boca del arma.

La vaina se encuentra apoyada en su culote por el cierre y sus paredes adaptadas a la forma de la recámara. Con la presión generada por la combustión de la carga proyectiva, la vaina se dilata, apretándose fuertemente contra las paredes de la recámara y obturando totalmente el pasaje de gases. Cuando el proyectil sale, baja la presión interior, la vaina se contrae, permitiendo la fácil extracción de la misma, ya sea en forma manual o mecánica.

2. Métodos de fabricación

La forma de fabricar la vaina de un cartucho metálico es uno de los procesos más fascinantes y curiosos que existen.

Se parte de un disco metálico, el que, por sucesivas embuticiones profundas, efectuadas con prensas, alcanza, al final, su configuración y perfil definitivos. A ello hay que añadir las operaciones de torno correspondientes al refrentado, ranurado y taladrado para el alojamiento del pistón o cápsula fulminante. Todo ello realizado a una velocidad de vértigo en etapas sucesivas por una máquina que puede llegar a producir hasta 300.000 unidades por hora en una planta moderna de cartuchería.

El tratamiento térmico al que se somete una vaina durante su fabricación y acabado hace que todas sus partes no tengan la misma estructura, existiendo zonas elásticas y relativamente blandas, otras duras y resistentes a la deformación. Por ejemplo, la parte del cuello y del hombro deben poseer la primera característica para, en el momento del disparo, ceñirse a la recámara, haciendo la obturación, y luego recuperarse rápidamente para permitir la extracción. En cambio, la parte trasera debe ser dura y tenaz para soportar la presión que van a ejercer contra ella los gases. La involución de estas partes en cuanto a características daría rotura de cuello o fisuras en el hombro y acuñación de la vaina en la recámara e, incluso, peores y más infelices consecuencias.

La calidad de una vaina, al final, viene determinada por las sucesivas embuticiones y revenidos, por calor, del material; aunque en teoría puede preverse su comportamiento, es la resultante final la que cuenta. Son muchos los estudios de material, útiles y procesos que hay que realizar cuando se diseña una nueva vaina de un cartucho.

El material que tradicionalmente se ha venido empleando en la fabricación de vainas ha sido el latón, que es una aleación del 68 al 71% de cobre y del 29 al 32% de zinc. Este material reúne una serie de cualidades excepcionales para este fin, entre las que podemos destacar: resistencia a la corrosión, facilidad para trabajarlo y elasticidad y dureza suficientes. Como desventajas, tiene su alto costo y la escasez en tiempos de crisis bélica, factores que hacen de él un material estratégico.

Se han buscado y se siguen buscando sustitutos del latón, pero todavía no se han encontrado de manera realmente satisfactoria. Dos han sido los más ensayados: el acero y el aluminio.

El acero de bajo contenido en carbono (0,17 al 0,25%) ha sido empleado en la fabricación de vainas de munición de guerra, principalmente por los alemanes y los norteamericanos. Recordemos de los primeros la munición del 9 mm. Para la del 8 x 57 y la del 7,92 mm *kurz,* y de los segundos la del .45 ACP, todas ellas producidas ante la Segunda Guerra Mundial.

El acero presenta ciertos inconvenientes para su aplicación a la fabricación de vainas de cartuchos metálicos. El más importante es su fácil corrosión, que hace que la munición con él fabricada se utilice rápidamente, sobre todo en climas cálidos y húmedos. Se puede paliar esto mediante tratamientos de tipo superficial, como puede ser el laqueado que hacían los alemanes o el latonado o zincado mediante una capa de estos materiales.

Otro inconveniente es su dificultad para trabajarlo, pues exige maquinarias y útiles diferentes a los empleados para el latón. También se han buscado soluciones a este respecto: los norteamericanos descubrieron que recubriendo el acero con estaño, en la etapa inicial, podían emplear los útiles del latón y más tarde, para mejorar el proceso, usaron éstos de tungsteno. Finalmente, el acero presenta, frente al latón, un diferente comportamiento elástico que, en ciertos casos, dificulta la extracción de la vaina del cartucho disparado.

Otro metal ensayado es el aluminio y sus aleaciones, por lo ventajoso que sería tener un 30% menos de peso y que no se tratase de un material estratégico. Aquí los resultados han sido menos halagüeños. Por un lado, existe el peligro de la combustión espontánea de polvo o partículas de aluminio, lo cual se ha paliado recubriendo el interior de la vaina con material plástico resistente al calor. Por otro está, igual que en el acero, la elasticidad y recuperación de la forma de la vaina después del disparo, que no es igual a la del latón.

A pesar de ello, los norteamericanos ya cuentan con vainas de aluminio para los cañones de avión de 30 y 40 mm y recientemente se ha anunciado munición de arma corta con vaina de aluminio pero que no puede ser recargada.

No se esperan en el futuro grandes cambios en lo que a la vaina del cartucho metálico se refiere, ni en formas ni en material, habida cuenta de que, como se dijo, este tipo de munición está en sus últimas etapas de desarrollo y aplicación; otras clases de armas se avecinan de cara al futuro.

Finalmente, nos queda por comentar el tema de las vainas niqueladas, que se fabricaban de esta manera para que pudieran ser portadas sin que sufrieran deterioros por corrosión al estar en contacto con el cuero.

3. Recordatorio histórico

La búsqueda constante de poder realizar en forma práctica disparos sucesivos en el menor tiempo posible inspiró a los diseñadores a construir armas con varios cañones o recámaras, y a los tiradores el uso de los cartuchos de papel. Sin embargo, la solución era la retrocarga. El camino fue prolongado: los primeros pasos los dio un armero llamado Pauly, quien, a principios del siglo XIX, desarrolló un cartucho que era mitad cartón y mitad latón. Si bien no tuvo gran suceso, fue el primer paso para que Casimir Lefaucheux, en 1836, presentara un cartucho de características similares con fulminante incorporado, accionado por una espiga que sobresalía radialmente y que era la encargada de transmitir el golpe del martillo percutor.

Houiller, en 1847, mejoró el sistema al construir la vaina totalmente en latón. Los cartuchos de espiga presentaban serios problemas de ignición involuntaria durante su manipulación y estiba, siendo peligrosos en las caídas accidentales. Además, su forma limitaba su almacenaje.

Por aquella época, aparece en escena otro francés, de apellido Flaubert, quien produjo un cartucho en el que sólo utilizaba el fulminante como propelente y lo distribuía perimetralmente dentro del reborde de la vaina. Además, ello permitía el asentamiento en las recámaras de las pistolas para tiro de salón, muy difundidas en esa época.

Éste fue el inicio del cartucho de fuego anular, el que rápidamente alcanzó considerable auge. Aumentando gradualmente su potencia, las fábricas pudieron producir armas eficientes con los variados mecanismos de repetición. El gran exponente de la munición de fuego anular, que mantiene su consumo y popularidad a nivel mundial, es el .22 L.R.

El aumento de potencia que imponía el mercado llevó a que las cabezas de las vainas tuvieran que ser más duras, cosa que dificultaba la ignición del fulminante por percusión, hasta hacerlo poco confiable. Surgió entonces la necesidad de cambiar el sistema de ignición de los cartuchos de mayor potencia, por uno que pudiera soportar elevadas presiones pero que, a su vez, tuviera un método práctico y seguro de encendido. Nace así el cartucho de fuego central o percusión central, donde la cápsula fulminante o iniciadora se encuentra en el centro del culote de la cabeza de la vaina y el fuego se comunica a través de uno o varios orificios, permitiendo que en el interior de la vaina se generaran altas presiones sin deformarla estructuralmente, haciendo un conjunto capaz de soportar las más fuertes cargas propulsoras.

4. Características de construcción

Por su construcción las vainas pueden ser de tres tipos: de cabeza plegada, de cabeza globo y de cabeza sólida. Ello apunta a la fortaleza de la cabeza de la vaina, lo que posibilita cargas más potentes y, por ende, cartuchos de mayores prestaciones.

Los diferentes tipos de vainas se encuentran íntimamente ligados a los asentamientos en recámara. Iniciemos ahora las descripciones de las vainas.

Las vainas con reborde o pestaña son descendientes directas de los cartuchos de fuego anular, pero las pestañas actuales son macizas, permitiendo el asentamiento en la recámara a través de borde que hace tope en el borde de la misma, obligando a que los cartuchos adopten siempre la misma posición. Además, la pestaña permite una correcta extracción. Este tipo lo utilizan los revólveres (por ello los problemas de extracción cuando disparan cartuchos de pistola), los rifles *express,* etcétera.

Mientras las armas se mantuvieron con sistemas de carga como el tambor del revólver o el tubular de los rifles, no presentaron problemas, pero cuando se los comenzó a almacenar en hilera los bordes chocaban unos con otros e impedían el correcto posicionamiento de las cabezas de las vainas. Asimismo, fueron notorias las fallas en las armas automáticas que utilizaron este tipo de cartucho.

La búsqueda de mayor eficacia y aumento del tiempo entre fallas de las distintas armas, especialmente las colectivas, llevó a los alemanes a crear un cartucho sin reborde, el 8 x 57 mm (7,92 Mauser). Es la base del desarrollo de la actual cartuchería, más práctica y segura.

Este tipo de reborde facilita la alimentación por cargadores de las armas, dado que se pueden almacenar uno arriba del otro sin problemas. Sin embargo, al ver los actuales fusiles de asalto de Oriente y Occidente, se aprecia una notable diferencia en la curvatura de los estuches cargadores; esto se debe a dos tendencias diferentes sobre la conicidad de las vainas: en el diseño de Oriente este detalle es muy pronunciado para facilitar la extracción y el despegue de la vaina de las paredes de la recámara, ahorrando energía para el resto de los movimientos mecánicos nutridos de la fuerza de retroceso del arma.

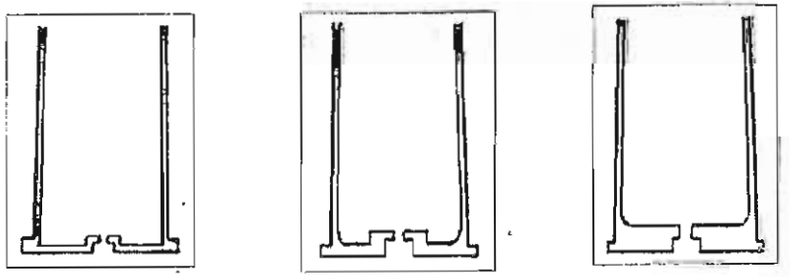
En contrapartida a ello, el almacenaje en cargadores obliga a que tengan más formatura curva que los occidentales y, como sabemos, cuanto más curvo es el cargador tanto más difícil es ajustar un buen diseño, y más aún lograr que funcione correctamente.

A fin de reemplazar la facilidad que presentan los rebordes para la extracción de vainas sin reborde, tienen una ranura especialmente colocada para que la uña extractora se aloje en ella y permita una eficiente evacuación en el ciclo de expulsión del arma.

Las vainas con semirreborde a semipestaña (*semi-rimmed*) fueron otro paso intermedio, a principios de siglo, para solucionar el problema que presentaban los rebordes en los cargadores, pero usando esos mismos rebordes para el asentamiento en recámara.

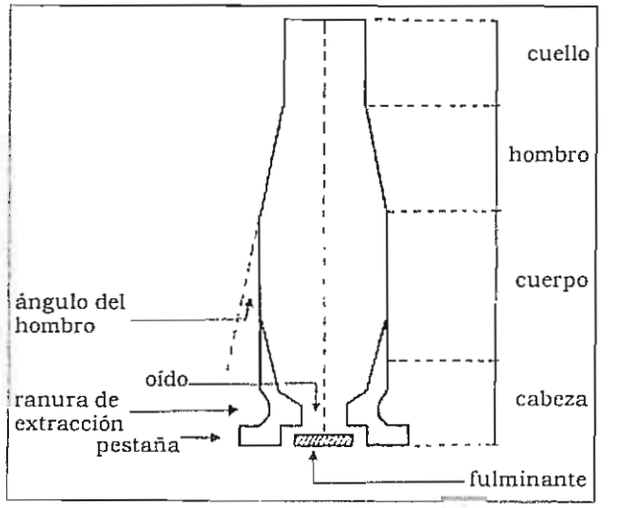
Vainas de este tipo tienen el 6,35 Browning, el 7,65 Browning (.25 ACP y .32 ACP, respectivamente), etc., que si bien siguen en vigencia no representaron un gran impacto en el diseño de las vainas, dejando paso a las sin reborde de mucha mayor difusión como el .45 ACP, 9 mm Parabellum, .380 ACP.

VAINAS



Cabeza plegada | cabeza globo | Cabeza sólida

VAINAS



Las vainas de culote rebatido o rebajado (*rebated*) se caracterizan por tener el diámetro del culote menor al cuerpo de la misma; con ello se consigue una aceptable solución mecánica cuando se desea tener armas con capacidad para convertirlas a otros calibres con sólo cambiar el cargador y el cañón, puesto que la cabeza del cierre se adapta al otro cartucho de menor diámetro.

Las vainas cinturonadas o cinchadas (*belted*) nacen de la mano de Henry Holland, en 1904, por la necesidad de reforzar las cabezas de los cartuchos que él diseñaba. Los llevan prácticamente todos los cartuchos Magnum actuales, como el .458 Winchester Magnum; .375 Holland-Holland Magnum, etcétera.

Los cuerpos de las vainas pueden ser cilíndricos, cónicos o abotellados. Los primeros son los más comunes en arma corta, donde el diámetro de la cabeza es igual al de la boca. Los cónicos tienen una diferencia marcada entre el cuello y la cabeza; es poco común en las armas cortas. En armas largas es frecuente este diseño para facilitar la extracción.

Al comienzo de la cartuchería metálica cargada con pólvora negra, la velocidad de los proyectiles estaba sumamente limitada, por ende, para alcanzar mayor energía se debía incrementar el peso del proyectil. Con el advenimiento de la pólvora comprimida y luego de la pólvora sin humo, se alcanzaban grandes energías cinéticas sobre la base de mayores velocidades del proyectil, pudiendo disminuir notablemente su peso. Para lograr esto se le practicó un gollete a las vainas, origen de la nueva cartuchería, de manera tal de engarzar proyectiles de menor calibre y peso. Ello genera un hombro y una vaina con forma de botella.

Si bien este diseño es característico de la munición de arma larga, a finales del siglo XIX se realizó una cantidad reducida de cartuchos de pistola con esta forma, tal como el 7,63 Mauser, el 7,6 Tokarev, etcétera.

Como habrá podido verse, los diseños son de lo más variados, adaptándose en uno u otro caso el cartucho a un arma específica, y viceversa.

5. *"Headspace"*

Es una palabra de origen inglés que podría traducirse como holgura de culote y es, en definitiva, la luz que queda entre la cara anterior del cierre una vez cerrado y el cartucho ya alojado en la recámara. Ese espacio debe tener valores de mínima y de máxima; por fuera de ellos, casi con seguridad se producirían problemas en el funcionamiento del arma. Cuando el valor es muy ajustado, no permite efectuar correctamente el cierre; por el contrario, si por el prolongado uso, el excesivo juego en los mecanismos de cierre o una deficiencia en las medidas estándar de los cartuchos, la holgura resulta superior a la recomendada, el cartucho tendrá un movimiento longitudinal en la recámara.

El propio golpe del percutor producirá el desplazamiento hacia el interior de la recámara, generando la presión de la pólvora, que las paredes de la vaina se peguen a las de la recámara, pero la cabeza no estará apoyada en la cara anterior del cierre. Así distribuidas las presiones, es posible que la cabeza de la vaina no se resista y se produzca la rotura o rajadura de la misma, con el consiguiente escape de gases peligrosos para el tirador, y los problemas mecánicos y balísticos del caso.

Asociando el tipo de vaina podemos determinar de qué forma se apoya el cartucho en la recámara para asegurar el correcto e idéntico posicionamiento de un tiro a otro a efectos de asegurar la precisión necesaria en el centraje del cartucho con el cañón y, además, estar dentro de los valores admisibles de las holguras de culote dispuestas para cada arma y tipo de munición. Este posicionamiento en la recámara se hace en las siguientes partes de la vaina: pestaña y semipestaña; boca; hombro y cinturón (en los cartuchos Magnum).

6. *El fulminante*

La carga propulsora del cartucho es bastante estable y necesita de algún elemento iniciador capaz de transferirle la energía necesaria para provocar el encendido uniforme de pólvora. Ese elemento iniciador llamado fulminante o pistón es un compuesto detonante que sobre la base de una reacción química producto del golpe provocado por el percutor, desprende partículas incandescentes a presión y temperatura que son las encargadas de iniciar a su vez la carga propelente.

La mezcla inicial aparentemente fue descubierta por John Forsyth y patentada en 1807: era el fulminato de mercurio; pero el primero que la

puso en una copa metálica deformable fue Joshua Shaw, en 1817, dando el paso crucial para la constitución de los cartuchos metálicos pioneros, sin olvidarnos de que el primer impacto fueron las armas de percusión con fulminante en la chimenea.

Como dijéramos anteriormente, en 1836 Lefaucheux produce el cartucho de espiga con la cápsula fulminante en el interior de la vaina, sucediéndose luego los de fuego anular y central.

Los primeros problemas se presentaron cuando el mercurio del fulminante se amalgamaba con el latón de las vainas, provocando que éstas perdieran sus propiedades, debilitándolas y haciéndolas quebradizas. Se probó entonces con mezclas a base de clorato de potasio, pero eran muy corrosivas y deterioraban el tubo de las armas, principalmente.

Los fulminantes actuales no acusan ninguno de estos problemas, son derivados del plomo. Podemos encontrar tres tipos de encendido, de los cuales ya hemos hablado. Con respecto a los de fuego central, existen cartuchos que tienen la cápsula fulminante interna y que a simple vista parecen de fuego anular, pero funcionan de manera idéntica a los que lo tienen en forma externa; se pueden identificar, ya que en su mayoría tienen un círculo punteado en el culote de la vaina, que rodea el lugar donde se encuentra internamente el fulminante.

Los cartuchos de fuego central pueden ser tipo *boxer* o *berdan*. El primero fue desarrollado por Edward Boxer (inglés) y el segundo por Hiram Berdan (EE.UU.), ambos militares, y pese a tener diferencias importantes entre ellos, se ha demostrado que balísticamente su uso es indistinto.

La vaina que lleva fulminante *berdan* posee un yunque incorporado en su estructura, permitiendo que el fuego generado por el pistón se conduzca a través de ambos canales de encendido, proporcionalmente. Las vainas *boxer* tienen un orificio de mayor tamaño y el pistón posee un yunque interno, comportándose el conjunto de manera similar. La ventaja de este último sistema es la facilidad que poseen los recargadores para extraer de las vainas servidas los fulminantes y proceder a la recarga. Sin embargo, también existen formas prácticas de extraer los pistones *berdan*, aunque siempre resulta más complicado que la extracción de los *boxer*.

Los pistones para fusil son más duros que los de arma, dado que la percusión en las armas largas es más potente, así como la energía generada es mayor, pues deben encender más cantidad de pólvora. Los pistones Magnum tienen la particularidad de iniciar pólvora de quemado lento, esto los hace liberar más energía que todos los anteriores.

IV. BALAS O PROYECTILES

Conforme expresáramos anteriormente, a las balas esféricas siguieron las cilíndricas terminadas en punta. Sólo circunstancialmente se hicieron en diferentes formas (ovoides, con sección triangular o cuadrada, y también algunas de base hexagonal).

La razón de lo expuesto tiene su fundamento en que las líneas no pueden ser arbitrarias ni deben escapar a ciertos principios, para que rindan el máximo en relación con el fin al que están destinadas.

Los factores principales que determinan la forma y las condiciones generales son la resistencia que ofrecen el aire y el efecto que se quiere lograr. El primero es tal vez el más importante y, en tal sentido, diremos que el alcance que tendrían dos proyectiles semejantes que reciban igual impulso inicial y partan de la misma, arma sería muy distinto si uno se desplazara en la atmósfera y el otro en el vacío. La razón de ello es que la energía que pierden durante la trayectoria la transfieren al medio que los rodea. Esta cantidad de energía está condicionada por distintas circunstancias, de las cuales podemos someramente señalar las siguientes:

– La pérdida de energía disminuye a medida que crece la carga por sección transversal, la que se obtiene dividiendo el peso del elemento, tomado en kilogramos, por la superficie de su corte o sección considerada en centímetros cuadrados. Este principio es sólo aproximado, ya que se ha podido establecer que, a igualdad de velocidad, forma y carga, la resistencia del medio se acrecienta sobre los que tienen menos calibre.

– El gasto de energía aumenta con la velocidad y la presión atmosférica. En efecto, en su movimiento el proyectil empuja las partículas de aire que encuentra delante de él, éstas a otras y así sucesivamente, formando ondas de condensación, seguidas de otras de depresión, que avanzan con la celeridad del sonido. En tanto el desplazamiento del proyectil no llega a ese límite; no experimenta mayor oposición, pero si lo iguala o sobrepasa, como las ondas no se pueden alejar de él, quedan contra su punta, los bordes del culote y toda otra saliente que tuviera, como capas más densas que ofrecen una resistencia notable.

A este fenómeno debe agregársele el de la formación de una estela de remolinos y de aire enrarecido que aumenta con la velocidad, hasta alcanzar el punto límite determinado por el vacío y que actúa como una fuerza que obra en sentido contrario a la dirección que lleva. Asimismo, cuanto más denso es el aire, mayor el gasto de energía.

– La forma del cuerpo que se mueve está en estrecha relación con la resistencia que opone la atmósfera.

Como expresáramos anteriormente, del resultado que se desee obtener dependerá la forma que se dará a la bala. Si lo que se pretende es que al tocar el blanco desarrolle rápidamente toda su energía, la cabeza deberá ser plana o aplastada, o bien con la punta blanda o débil, en relación con el resto, para que se deforme fácilmente.

Cuando lo que se persigue es que no exista mucha oposición en el aire y que a una cierta distancia produzca un fuerte impacto, se da a la cabeza una línea más redondeada. Si el propósito es gran alcance, trayectoria y velocidad remanente elevada, se lo hace con el culote cónico o tronco cónico y el otro extremo terminado en una ojiva muy aguda, a la que se puede dar la estructura adecuada para que, al penetrar en el blanco, se aplaste, aumentando su poder de detención.

1. Cabeza, punta u ojiva

Las partes en que se divide una bala o proyectil alargado son: la cabeza, la punta u ojiva, el cuerpo y la base o culote. El calibre o diámetro del proyectil se utiliza como unidad de medida de su largo y del de cada una de las zonas en que está dividido, lo mismo que de los radios con que se han trazado la curvas que entran en el diseño de su extremo delantero.

La cabeza nace a partir del cuerpo por un cambio gradual de dirección de las líneas que lo delimitan o por una brusca disminución del calibre; con lo que queda, en este último caso y en el límite de ambas partes, un resalto más o menos pronunciado.

Inversamente, también encontramos balas con el cuerpo de menor diámetro que la base de la punta o con una banda saliente en ella, para impedir que se hunda en la vaina más allá de lo previsto. En muy pocas oportunidades se diseña el perfil con una sola clase de líneas, siendo lo frecuente que se recurra a una combinación de distintas curvas o a curvas y rectas.

Como ejemplo podemos citar el proyectil normal "S", que tiene la cabeza delimitada por curvas de dos calibres de radio y su extremo, que es levemente aplastado, por una de 0,36 de calibre. Por su parte, en el "SS" la zona inferior ha sido trazada con un radio de dos calibres y la superior con otro de cinco.

Todas las formas que presentan las puntas pueden reunirse en cuatro grupos: ojivales, córneas, redondeadas y planas, los que a su vez están integrados por una multitud de variedades.

2. Cuerpo

En su aspecto general el cuerpo es cilíndrico, de superficie lisa o con irregularidades que, por ser de poca magnitud no hacen perder sus líneas al conjunto. Entre ellas están las aletas que presentaban algunos proyectiles de armas de avancarga; las nervaduras que exhiben muchos de los destinados a cartucho de escopeta; los anillos que llevan aquellos con los que se busca obtener altas velocidades, etcétera.

Los accidentes más comunes e importantes son las acanaladuras circulares que, cuando son varias y bien marcadas, dan al cuerpo la apariencia de estar surcado por una serie de bandas paralelas constituidas por los campos que quedan entre ellas. Su finalidad es múltiple, por ejemplo, proporcionar espacio al material desplazado al pasar el proyectil forzadamente por la pared interna del cañón; que los lubricantes ayuden a sellar los gases, y que el proyectil se deslice por el cañón o caño, según el caso, sin emplomarlo.

Cuando están provistos de coraza o camisa metálica, suelen carecer de estas rayas o sólo tener una que marca el límite de la parte que queda fuera de la vaina, la que sirve, principalmente, para facilitar el ajuste del elemento, hacer más firme la unión del blindaje y el núcleo, y, si la punta es expansiva, para delimitar la zona que se deformará con el impacto.

Estas acanaladuras tienen medidas variadas y el fondo puede ser liso o dentado. Su perfil puede aparecer prácticamente rectangular, semicircular o semejante a las muescas que separan los dientes de un serrucho. En las armas de avancarga eran anchas y profundas y en los cartuchos metálicos llegaron a ser extraordinariamente delgadas.

3. Base o culote

Si bien se han usado otros perfiles, generalmente a los culotes se les da forma cilíndrica, cónica o tronco-cónica. Estos dos últimos son los que producen menos perturbaciones en la atmósfera, originando consecuentemente una pérdida menor de energía. El grado de conicidad no puede ser arbitrario y debe estar calculado de modo que facilite el deslizamiento del aire a su alrededor, sin que deje a su paso muchos remolinos ni cree el vacío.

El borde de la base puede ser de arista viva o redondeada, y el culote hueco o macizo, sin que pierdan esta condición los que tienen en su centro un orificio de diámetro reducido o una ligera depresión de fondo cóncavo, plano o convexo, que deja en su periferia una saliente de perfil rectangular, redondeado o de ángulo agudo. En las balas blindadas, el reborde en que termina la coraza forma ese relieve, y la parte posterior del núcleo, que generalmente queda descubierta, la depresión central.

4. Estructura

Los primeros proyectiles cilíndricos eran macizos, más tarde aparecieron los huecos, algunos de los cuales llevaban una cuña que facilitaba su dilatación en el momento del disparo. Entre los que se hicieron después encontramos todas las graduaciones posibles.

Aparte de la cavidad que nace en el culote, pueden tener en la cabeza una perforación de dimensiones variadas, abierta o cerrada al exterior.

Los macizos, como son todos los que en general se emplean en la actualidad, por lo general muestran una cavidad ligera en la base, determinada muy probablemente por la técnica que se emplea en algunas de las etapas de su fabricación. A veces es de diámetro reducido, pero profunda, por lo que toma parte del cuerpo, sin que por ello resulte menos compacto. Lo mismo podemos decir de la perforación de la cabeza, exceptuando los casos en que queda vaciada por completo. En cuanto a la forma que presenta el hueco posterior, ella resulta muy dispar y semejante a las indicadas para el exterior de la punta.

5. Materiales utilizados y blindaje

El plomo (puro o endurecido), por tener la ventaja de su gran peso específico (11,40), ser maleable y poseer bajo costo, ha sido y sigue siendo el material preferido.

A veces se lo sustituye, total o parcialmente, con hierro o acero; ello puede obedecer a razones de economía, de escasez de materiales en una situación determinada o a los resultados que se desean obtener con el impacto. Por su parte, los destinados a algunos cartuchos de carácter especial, como los de fogueo y para el tiro a distancias reducidas, son de madera, papel, plástico o cera.

En muchos casos, el plomo, hierro, acero y hasta el cobre, constituyen su único componente, mientras que en otros forman el núcleo, el que aparece cubierto en todo o en parte, por una o dos envolturas de otro metal, lo que da lugar a los proyectiles blindados.

En éstos, cuando la coraza es completa, termina en la base del culote, doblándose en un ángulo agudo o creando un reborde de perfil redondeado o cuadrado, que tiene por objeto asegurar su unión con el núcleo e impide que ambas partes se separen, ya sea como consecuencia del forzamiento en el momento del disparo o del choque al dar contra el blanco.

Si el blindaje es incompleto, puede extenderse desde casi todo el proyectil hasta nada más que el culote. En unos pocos se limita a la cabeza y hasta se ha llegado a hacer que tape sólo la parte inferior de ella. En estos ejemplares el borde de la cubierta puede terminar sin ninguna modificación o doblándose hacia adentro para incrustarse en el material que la llena.

En términos generales, si el núcleo queda libre en la cabeza, permanece tapado en el culote, y si aquélla está protegida, no ocurre lo mismo con la base de éste. En casos aislados no se cumple lo expuesto. En otros, con la misma característica, la envoltura es maciza o semimaciza en parte del cuerpo, lo que hace que su cavidad aparezca dividida en dos compartimentos. La situación inversa en que el blindaje cubre tanto la cabeza como el culote se presenta en los que están hechos con dos piezas que se complementan, o con una sola que se cierra por completo en los dos extremos. Entre los que reúnen las condiciones citadas en primer término se encuentra el *silver tip*.

El espesor de la coraza o encamisado depende del calibre y de la estructura de la bala. Puede ser o no uniforme, y en las semiblindadas puede disminuir gradualmente en el sector de la ojiva. En el denominado *inner belted* (con cinturón interno) aumenta por dentro en la parte media y pierde espesor en su extremo delantero. Las corazas de este tipo facilitan la expansión de la punta y la limitan a una zona determinada, al tiempo que refuerzan su unión con el núcleo.

A su vez, este último puede ser totalmente homogéneo o estar compuesto por partes diferentes, hechas con materiales diversos o con distintas aleaciones de plomo, y hasta contener receptáculos con productos químicos u otros elementos.

6. Calibre

No obstante pecar de reiterativos en este tema, diremos nuevamente que el calibre de las balas esféricas indicaba la cantidad que se podía fundir con una libra de plomo, porque, al ser macizas, bastaba que pesaran lo mismo para que fueran iguales. Con la aparición de los proyectiles alargados desapareció esta relación; no obstante ello, y como era lógico que ocurriera, en un principio se los identificó con el número que distinguía a las balas de igual diámetro. Más tarde se tomó como elemento determinante la medida del calibre del arma, dada en milímetros –con o sin fracción–, centésimas o milésimas de pulgadas, de acuerdo con la unidad de medida de longitud de cada país.

Hay que considerar que la dimensión del proyectil no siempre corresponde a la cifra con que se designa el cartucho, ya sea porque ella no concuerda con la del arma, como por el hecho de que hay que hacerlo algo mayor que el orificio del cañón, para que tome las estrías. Por ejemplo, los de la pistola de calibre .45 ACP (11,25 mm), cuyo calibre es efectivamente ése, tienen aproximadamente 11,40 mm de diámetro.

La diferencia que existe entre las dos cifras marca el índice de forzamiento, el que no es igual para todos los proyectiles de un mismo cartucho, ya que varía de acuerdo con la estructura de ellos, el material del que están hechos, etc., lo que da lugar a otras diferencias.

La tendencia a reducir el calibre que se indicó en la época de los proyectiles esféricos tomó impulso en la de los cilíndricos, siendo una de sus causas determinantes el que los últimos tengan, a igualdad de diámetro, un peso mayor. A ello se sumó la búsqueda de altas velocidades para obtener trayectorias tendidas, penetración y potencia de impacto y, en los de uso militar, no estuvo tampoco ajena al cambio la necesidad de hacer unidades de carga más livianas, que permitieran aumentar la dotación de cada hombre.

Pese a las ventajas que reporta este proceso, no se lo puede continuar en forma indefinida porque, como el proyectil debe llegar a destino en condiciones de cumplir con su objetivo, se requiere que lo haga con una dosis de energía mínima para cada caso particular, que no es posible conservar si se reducen en forma exagerada sus medidas.

Por otra parte, si el móvil que hace impacto sobre un ser vivo es muy delgado y en especial si tiene la punta muy aguda, salvo que toque un órgano vital, atraviesa los tejidos cediendo poca energía sin causar heridas que permitan cobrar la pieza o dejar fuera de acción al adversario.

Lo primero se evita haciéndolos de punta expansiva, y lo segundo, dándoles un diámetro superior a los 6,5 mm, que es lo que considera el mínimo aceptable para los destinados a las armas largas de uso militar. En los que se emplean en armas de puño, se requieren medidas mayores que compensen la menor velocidad inicial con que se los dispara.

7. Inscripciones

Los proyectiles no suelen tener inscripciones, las pocas que se encuentran van insertadas en la ojiva, en el cuerpo o en la base del culote y están determinadas por números y letras que indican la marca de fábrica, arsenal que lo hizo, fecha, arma a la que corresponde el cartucho, año en que se lo recargó, forma del proyectil, etc. Además de ello, puede poseer otros elementos distintivos tales como rayas circulares o la punta barnizada de diferentes colores para establecer su clase o el tipo de cartucho al que pertenece.

Con este objeto también se utilizan marcas compuestas por sucesión de finas rayas paralelas, acanaladuras o pliegues longitudinales, de mayor o menor extensión, distribuidos en todo su perímetro.

8. Fabricación

Los adelantos de la técnica han hecho que el proceso de fabricación de proyectiles cilíndricos haya evolucionado. Inicialmente se los fundía en moldes de bronce; en la actualidad, como primera etapa se prepara la mezcla de ese metal con estaño (es decir, el plomo) o antimonio, en la proporción que corresponda de acuerdo con el grado de dureza requerido. Luego de ello, la aleación en estado líquido pasa a prensas especiales para salir transformada en un hilo que, una vez calibrado, se corta en pequeños cilindros a los que por compresión se les da la forma buscada.

El proceso para la fabricación de munición blindada es más complejo. Primero se prepara el núcleo en la forma indicada para los proyectiles de plomo, luego se elabora la coraza y finalmente se unen ambas partes y se calibra el producto obtenido.

La fabricación del blindaje sigue el mismo método que el de las vainas, partiendo de un disco de latón, cobre, etc., cuya medida depende de la que tendrá el producto final. Con una serie de estampados se le dan forma.

En primer lugar se moldea la copa, es decir, se transforma el disco en un dedal bajo, de paredes gruesas que, en operaciones sucesivas, con nuevas matrices y punzones, se afina y alarga. Luego de ello se corta para eliminar el exceso de material y con otros estampados se crea la punta. Posteriormente se lo somete a tratamientos térmicos y, para quitar el óxido, se efectúan lavados químicos apropiados.

Terminada la coraza se le coloca el núcleo y se hace el reborde en la base. Después se comprime nuevamente el plomo y se marcan las estrías circulares. Por último se calibra y se controlan el peso y las dimensiones, que no deben exceder de los límites de tolerancia previstos.

Cuando se trata de balas semiblindadas, este proceso se altera en parte, ya que antes de moldear la punta se coloca el núcleo dentro de la coraza y luego, por compresión, se forma aquélla con la parte que queda abierta. Se aclara que se han expuesto solamente talles generales del

proceso de fabricación, los que varían cuando las unidades a fabricar presentan cambios en su estructura.

i) *Tipos de balas.* 1. *Comunes.* Son aquellas que no poseen ninguna particularidad que las condicione para que durante la trayectoria o en el momento del impacto tengan un comportamiento fuera de lo previsto.

2. *Especiales.* Son aquellas que han sido construidas de modo tal que, mientras se desplazan en la atmósfera o cuando chocan contra el blanco, producen un efecto determinado o acrecientan el que se obtiene con las comunes.

Las balas especiales se encuentran agrupadas en:

I. *Para armas con cañón de ánima rayada:* i) *De punta expansiva*: Los diversos tipos de proyectiles o balas que generalmente llamamos de punta expansiva tienen en común que, al penetrar en el blanco, su cabeza se deforma o aplasta y dilata, aumentando con ello su capacidad para detener y derribar la pieza contra la cual han sido disparados.

El principio físico que explica su mayor efectividad es el siguiente: la energía cinética del proyectil es igual a $PV^2/2$ g, es decir, el peso multiplicado por la velocidad al cuadrado, sobre el valor de la gravedad por dos, o lo que es lo mismo, al producto de 1/2 de la masa por la velocidad al cuadrado.

Con ese poder, al llegar a destino atravesará el obstáculo que encuentre o se hundirá en él hasta una profundidad cualquiera que llamamos "S", cuya medida depende de la fuerza que conserve la resistencia que ofrezca el cuerpo en que penetre, y que la representamos con "R". Con el objeto de simplificar el planteo no se considera el ángulo de impacto, que suponemos de 90 grados.

De acuerdo con lo expuesto resulta que: $PV^2/2$ g es igual a R por S. Por lo tanto, si la resistencia R es débil, el recorrido S es largo, y a la inversa, cuando la oposición aumenta, la penetración disminuye. También debemos tener en cuenta que el proyectil cede al cuerpo con el que choca toda o parte de su energía según que se tenga en él o que lo atraviese, y que la potencia del impacto está, además, en relación inversa con el tiempo que demora su acción. Como al dilatarse la cabeza la superficie con que presiona es mayor, también es superior la resistencia que encuentra y, por ende, menor la penetración, más rápido el traslado de energía, más potente el impacto y, consecuentemente, mayor su efecto de detención.

La deformación de la punta se favorece transformándola en la parte más débil. De acuerdo con el recurso que se emplea para conseguirlo, podemos dividir estos proyectiles en: de blindaje perforado; punta perforada; punta hueca; punta blanda; punta blindada explosiva y de punta perforada ocupada por una cuña.

ii) *De blindaje perforado*: Se caracterizan por faltarles en el extremo de la cabeza un pequeño círculo a través del cual se ve el núcleo de plomo. No se los puede considerar entre los semiblindados ya que la coraza es completa, ni entre los perforados porque el núcleo permanece intacto.

iii) *Punta perforada*: Existe una variedad extensa. Esta particularidad aparece por igual entre los de plomo, los blindados y semiblindados, y se usan, al igual que los del grupo anterior, tanto en los cartuchos destinados a las armas de puño como en los otros.

La perforación, de profundidad variable y forma cilíndrica, cónica o ahusada, es casi siempre de diámetro reducido en relación el calibre, pero a veces llega a ser muy grande, por lo que la cabeza (que en estos casos es cilíndrica como el cuerpo) queda vaciada por completo.

iv) *Punta hueca*: A este tipo pertenecen los que tienen en la punta una cavidad cerrada. Dentro de la misma categoría los hay provistos de un blindaje al que el núcleo no llena por completo.

v) *Punta blanda*: Se aplica a los proyectiles en los que el blindaje deja descubierta una zona que varía desde el extremo de la ojiva hasta parte del cuerpo. El núcleo puede consistir en una pieza única y homogénea o en una combinación de varias, hechas con metales diferentes o con aleaciones de plomo de distintos grados de dureza.

Para favorecer la dilatación de la punta no sólo se le quita la sección de la coraza, sino que también se suele practicar, en el reborde de ella, una serie de muescas o de cortes, los que pueden estar en el lugar indicado o algo más abajo. Además, para regular su deformación fijándole un límite, se construye el blindaje macizo, semimacizo o más grueso en parte del cuerpo. Con el mismo objeto le marcan estrías o depresiones anulares que sobresalen de su cara interna, o se diseña el proyectil de modo que en el límite de la cabeza o en sus inmediaciones, aumente bruscamente de diámetro formando un resalto.

vi) *Punta blindada expansiva*: Dentro de este concepto se encuentra el que bajo la denominación de *silver tip* fabrican dos firmas norteamericanas. Se trata de un proyectil provisto de un semiblindaje similar a todos los de su tipo, que deja libre, aproximadamente, las dos quintas partes de la cabeza. Otro, independiente del anterior, protege la zona que no cubre el primero y se prolonga debajo de éste, hasta el comienzo del cuerpo. Cuando el proyectil choca contra un obstáculo, el blindaje de la ojiva inicia la penetración, al tiempo que, por el golpe que soporta y a medida que cede el plomo de la punta, se desliza hacia atrás, actuando como una cuña entre el núcleo y la otra cubierta, a la que abre facilitando la deformación de aquél.

Entran también en esta categoría los que presentan el blindaje completo pero con cortes longitudinales (en su extremo o parte del cuerpo) para favorecer su ruptura de deformación.

vii) *Punta perforada ocupada por una cuña*: Estos proyectiles poseen el orificio ocupado, en todo o en parte, con una pieza independiente, de material, consistencia y forma variados que, por presión del impacto, se hunde en ella provocando su expansión.

Todos los de este tipo están basados en el mismo principio aunque cambie el elemento que hace de cuña, que puede consistir en un tubo cerrado en el extremo visible, en un trozo de madera, en un perdigón o en un cuerpo metálico de forma más complicada.

viii) *Perforantes*: Con el objeto de batir blindajes livianos con el tiro de fusil, se crearon a principios de siglo XX los proyectiles perforantes que, en términos generales, se componen de:

– un núcleo alargado y macizo, con el culote cilíndrico o tronco-cónico y punta aguda, que a veces presenta, aunque no es lo común, un leve aplastamiento;

– una coraza simple o doble. En este último caso la más profunda es siempre de plomo y cubre todo o parte del núcleo. La externa, para la que se usa cualquiera de los metales que normalmente se destinan a ese fin, suele tener un espesor uniforme o ser mayor en el cuerpo, en el vértice de la cabeza o en la base del culote.

Cada elemento indicado cumple una función específica: la coraza externa proporciona una superficie dúctil y resistente para que el proyectil tome las estrías; la de plomo, cuando se extiende sobre el cuerpo, contribuye al mismo fin, mientras que si tapa la cabeza sirve lo mismo que la otra, de protección a la punta del núcleo que, de ser de acero, puede romperse por efecto del choque contra un cuerpo de igual o mayor dureza.

Con destino a los cartuchos de las armas de puño, hay pocos ejemplares de este tipo, porque no se consigue la velocidad necesaria para que sean realmente perforantes. Entre los que se encuentran podemos indicar el del calibre 9 mm Luger, producido durante la Segunda Guerra Mundial por Alemania y designado oficialmente como *pistole patronen* 08 S.E., que es sólido, de acero duro y con la misma apariencia que los comunes.

Por otra parte, hay proyectiles que, sin que se puedan calificar de perforantes, tienen mayor penetración que los estándar, por lo que resultan apropiados para el uso de fuerzas policiales.

ix) *Trazadores*: Se los designa de tal manera porque poseen la cualidad de mostrar su trayectoria por medio de una estela de humo o de luz, producto de la combustión de elementos que se encuentran en su interior y que se encienden con el disparo.

Están compuestos por una coraza común, dentro de la cual se encuentra el núcleo seguido de los productos inflamables que, en algunos casos, suelen estar alojados en una cápsula de cobre. A fin de no delatar el punto de partida, se les agrega una sustancia iniciadora que quema primero, evitándose de esa manera que la señal que los hace visibles aparezca cuando el proyectil inicia su trayectoria.

Por supuesto, existen variantes como las que acusan los de origen francés, cuya estructura suele diferir de la descripta, porque el blindaje, en general, está directa e íntegramente ocupado por los productos químicos.

Con respecto a los cartuchos de las armas de puño, se los encuentra en diferentes calibres. Junto a estos proyectiles podemos incluir, como una variedad, los que, en las mismas armas, se utilizan para señales y que por ello se cargan con sustancias productoras de luz roja, verde o blanca, que son las más usadas.

x) *Incendiarios*: En general son de estructura muy simple, están conformados por un blindaje normal y un núcleo que deja libre la región de la ojiva, donde se aloja la carga de fósforo que se inflama cuando (al destrozarse aquél con el impacto) entra en contacto con el aire. A veces, con el objeto de regular la ruptura de la cubierta, se los refuerza con un tubo metálico o se los diseña de modo que formen un resalto a partir de la base de la punta.

Algunos, de origen norteamericano, son completamente distintos y consisten en una pieza de cobre (o cualquier otro metal empleado para blindaje) de cabeza maciza y cuerpo con un hueco cilíndrico para la carga incendiaria. Esta cavidad, con su boca clausurada por un fuerte tapón de bronce, tiene a un costado de su parte inferior o en el centro de la tapa que cierra su abertura, un conducto (obstruido con plomo u otro material) que lo comunica con el exterior. Al fundirse el metal que ocupa ese orificio –como consecuencia del calor producido por la combustión de la pólvora y del roce del proyectil a lo largo del cañón– el fósforo queda en contacto con el aire y se inflama.

xi) *Explosivos*: En la estructura de los proyectiles militares de este tipo, que se destinan principalmente para los cartuchos de ametralladoras de aviones, se encuentran dos tendencias bien marcadas.

En unos, los más simples, el explosivo va en la ojiva y detona sobre el impacto, sin que ningún mecanismo actúe como espoleta. Otros poseen una estructura más compleja, es decir, una carga explosiva que ocupa su parte anterior o posterior y una espoleta conformada por una dosis de fulminato y una pieza que hace de percutor. En realidad, este mecanismo que se ubica dentro de la cabeza o del culote no es tan simple y suele estar compuesto por muchos elementos que son necesarios para que el conjunto funcione con precisión y sin que exista peligro de que detone por un golpe accidental.

xii) *Perforantes trazadores*: Como su nombre lo indica constituyen en su estructura y efectos una combinación de los perforantes y de los trazadores. Su organización se asemeja a la de los últimos, con la diferencia de que, en lugar de un núcleo de plomo, va otro de acero. La parte interior queda, por ende, conformada por la punta perforante y los productos químicos que, en general, se alojan dentro de un recipiente de cobre, aunque no es indispensable que así sea. Dentro del esquema trazado existen variantes numerosas.

xiii) *Perforantes incendiarios*: Para su descripción tomaremos dos proyectiles diferentes que representan otras tantas tendencias en el modo de construirlos.

En el primero, que pertenece a un cartucho de la pistola *Tokarev* calibre 7,62 mm, encontramos un blindaje con la punta ocupada por una carga de fósforo amarillo y el resto con un núcleo de acero. Los que siguen este diseño pueden tener también otra cubierta interior de plomo que abarca el cuerpo de la pieza perforante o a él y al espacio que queda libre de la ojiva. Como una variedad dentro del grupo podemos citar uno de origen americano, de calibre .30, que es semiblindado y con el fósforo distribuido en dos cavidades ubicadas, respectivamente, en la cabeza y en el culote.

El segundo corresponde a un cartucho del fusil Mauser, en el que la coraza encierra, entre sus dos extremos llenos de plomo, el lento perforante que, por tener el cuerpo de menor diámetro que la ojiva, deja a su alrededor un espacio libre donde va la sustancia inflamable.

xiv) *Trazadores, perforantes e incendiarios*: La organización de estos proyectiles de triple función es semejante a la del perforante incendiario descripto en primer término en el punto anterior, al que se agrega a continuación del núcleo de acero una cápsula con las sustancias trazantes.

xv) *De fragmentación*: Se trata de proyectiles para el tiro al blanco a realizarse en condiciones especiales, se los construye de modo que se pulvericen o fragmenten con el impacto, para que carezcan de penetración y no produzcan esquirlas ni rebotes que pueden ser peligrosos.

Por ejemplo, los destinados a cartuchos del calibre .22, de fuego anular, para la práctica de tiro en interiores, se fabrican con polvo de plomo comprimido que se disgrega al chocar contra cualquier obstáculo.

xvi) *De reglaje*: Su función es la de producir una pequeña nube de humo o de fuego que permita determinar el lugar donde se ha hecho blanco y corregir la puntería.

Pueden estar organizados de distinto modo y comportarse como explosivo fumígeno, explosivo incendiario o simplemente incendiario, lo cual no implica que deba confundírselos con unos u otros, ya que difieren en estructura y función.

Los que podemos calificar de explosivos incendiarios o de explosivos fumígenos son prácticamente iguales y se componen del blindaje común dentro del cual van, en la parte correspondiente a la cabeza, las materias incendiarias o fumígenas. A continuación sigue una cápsula con el cebo o carga detonante y otra que contiene una barrita cilíndrica terminada en punta, que hace de percutor. Este dispositivo suele estar recubierto con una capa de plomo que se continúa en el núcleo del mismo metal.

Existen otros más sencillos que tienen solamente, dentro de su mitad delantera, una dosis de fósforo que se inflama cuando la cubierta se rompe al golpear contra un obstáculo, produciendo una llamarada fácilmente visible.

xvii) *Múltiples*: Están compuestos por varias piezas que pueden o no ensamblarse entre sí o ir dentro de una cubierta que las mantiene unidas. La diferencia que hay entre los proyectiles múltiples y los de fragmentación radica en que los primeros constan de diferentes elementos que se separan con el impacto o durante la trayectoria, y los segundos, de uno solo que se fractura o pulveriza al dar contra el blanco.

Como ejemplo podemos citar el cartucho calibre 7,62 NATO M.198, producto de experimentaciones hechas por el ejército norteamericano. El mismo consta de dos elementos blindados, de los cuales el de adelante tiene un orificio en el culote donde calza la punta del otro, mientras que el de éste, que es macizo, termina en un corte oblicuo en relación con su eje. Al ser disparados, el primero recorre una trayectoria normal, mientras que el segundo, como consecuencia del ángulo que forma el plano de su base (cuatro grados medio), describe una espiral muy alargada, cuyo diámetro se puede regular modificando el valor de aquél.

xviii) *Para desarrollar altas velocidades*: Con el objeto de obtener mayor potencia y recorrido más tendido, se ha buscado siempre el modo de incrementar la velocidad inicial. Para ello se recurrió al aumento de la carga de pólvora, a la selección de la pólvora más apropiada en relación con un calibre y arma determinados, y a modificar el diseño de los proyectiles para reducir la zona de forzamiento y mejorar el sellado de los gases.

Así, merecen citarse los construidos por Herman Gerlich, quien dotó al cuerpo de la bala de amplias nervaduras circulares que son las que toman las estrías. Debido a esa característica es que su calibre se designa con dos cifras que corresponden, respectivamente, al diámetro de aquéllas y al del cuerpo. Esos detalles fueron aprovechados para construir algunos perforantes, ya que ellos son tanto más efectivos cuanto más veloces.

Todos estos ejemplares poseen por fuera algunas franjas salientes, al tiempo que conservan en su interior la estructura propia de los de su clase.

xix) *Para el tiro a distancias reducidas*: Para este tipo de tiro, empleando armas comunes, se utilizan proyectiles más cortos que los normales, huecos, perforados longitudinalmente, esféricos, o con nada más que la coraza, para que sean livianos y se puedan impulsar con una carga mínima de pólvora. Se agregan a las vainas corrientes o a unidades de conversión que consisten en una pieza de bronce, latón o acero, de medidas exteriores y forma igual a las de aquéllas, pero de paredes muy gruesas porque el hueco interior está limitado a un orificio que generalmente tiene el mismo diámetro que el que aloja al mecanismo de encendido. Estas unidades pueden llevar como carga una cápsula cilíndrica que reemplaza al fulminante y contiene a éste y al propulsor, o estar dotadas de aquél y de una dosis ínfima de pólvora.

Para esta clase de tiro se fabrican también cartuchos de calibre inferior al de las armas a que se los destina, por lo que hay que adaptar éstas a aquéllos. La última palabra en materia de tiro a distancias reducidas

está dada por los proyectiles de plástico, con vainas del mismo material, a las que se agrega únicamente el fulminante que sirve de propulsor.

xx) *Para cartuchos de ejercicio*: Se utilizan para enseñar el manejo del arma. El proyectil suele ser el común o consistir nada más que en su blindaje. Algunos poseen el núcleo de aluminio o de madera y otros que, por el largo que tienen o por el que adquieren son una pieza que los suplementa, llegan hasta la base del culote sobre la que se apoyan.

También se han realizado cartuchos sin proyectil, en los que la parte delantera de la vaina se pliega simulándolo, o compuestos por un culote de bronce o de acero y el resto de una sola pieza de plástico o de bronce.

xxi) *Para cartuchos de fogueo o de salva*: Poseen forma y medidas aproximadas a las de los comunes, pero destinados, por construcción y material, a destrozarse o a perder toda eficacia a pocos metros de la boca del arma. Generalmente son de madera y huecos, pero también los hay de papel, de plástico y hasta se ha llegado a hacerlos con un blindaje liviano para facilitar el funcionamiento de las armas automáticas y de carga de tal tipo, que con los otros de esta clase operan deficientemente.

En la actualidad cada vez se tiende más, en esta clase de cartuchos, a suprimir el proyectil o bala y cerrar la vaina plegando la parte delantera hasta darle una forma semejante a la de aquél.

II. *Para armas con cañón de ánima lisa*: Aparte de las balas, se usaron desde 1890 en adelante una gran cantidad de proyectiles cilíndricos que, en general, no tuvieron mucha vida. La mayor parte de los que podemos considerar eficientes y de actualidad –aptos para ser disparados tanto desde caños cilíndricos como agolletados– tienen como prototipo el *Brenneke*, el *Stendebach* o el *Foster*. Los dos primeros de origen alemán y el último norteamericano.

Todos los diseñados por Wilhelm Brenneke están basados en los mismos principios fundamentales que consisten en presentar una gran sección en su frente de choque y el centro de gravedad cerca de la punta, para lo que se les quita peso en su extremo posterior y se les agrega –atornillado a la columna que tienen en medio de la cavidad del cuerpo– un taco de fieltro que sirve, además, para sellar los gases.

Entre los distintos modelos *Brenneke* podemos citar el *altes* de 1898, que es completamente cilíndrico y surcado en toda su extensión por seis nervaduras inclinadas a la derecha. El del año 1930, que difiere del anterior porque su cabeza tiene una saliente ojival y el cuerpo catorce nervaduras longitudinales unidas en la parte inferior por otra transversal. El D.R.G.M., que es como el del año 1898, cilíndrico, de punta plana, con una gran depresión circular que abarca la sexta parte de su largo; rodeando los bordes de la sección que queda por encima de esa estría, hay dos anillos que aumentan su calibre hasta darle la misma medida que posee la parte inferior y el taco de fieltro.

El D.R.G.M. modelo 1931 tiene en la cabeza –como el del año 1930– una punta ojival como la base de diámetro menor que el cuerpo, que, por su parte, está surcado por profundas acanaladuras circulares que se alternan en dos anchos distintos, dejando entre ellas campos muy pronunciados con apariencia de anillos.

Dentro de las líneas establecidas por Brenneke existen muchos proyectiles que se diferencian de los originales por la forma de la cabeza, el número de nervaduras, el modo en que está sujeto el taco posterior, etc. Entre los de fabricación nacional encontramos uno que en sus líneas externas está, evidentemente, inspirado en el modelo 1930, aunque es casi todo hueco, como el norteamericano Foster.

Se puede formar un segundo grupo con los que siguen las líneas generales del *Stendebach Ideal*, que es un proyectil de características propias, puesto en el mercado alrededor de 1890. En su conjunto es cilíndrico, de cabeza plana, con un anillo ubicado en su parte media y otro en cada uno de sus extremos. De estos tres anillos, los dos posteriores quedan unidos por seis nervaduras rectas. Además, un orificio –de diámetro equivalente a una tercera parte de su calibre y provisto de cuatro aletas longitudinales con giro a la derecha– lo atraviesa de punta a punta.

Por último están los que toman como modelo el proyectil creado en los Estados Unidos por Karl M. Foster y que, sin mayores cambios, se fabrica en varias partes del mundo. En esencia consiste en un cilindro hueco en sus dos terceras partes, que termina en una cabeza redondeada. Por fuera presenta, a lo largo del cuerpo, catorce nervaduras inclinadas hacia la derecha y unidas por otra transversal que corre a la altura del borde de la base. Por la forma en que está distribuido su peso el centro de gravedad se encuentra muy cerca de la punta, lo que lo mantiene estabilizado durante todo su recorrido.

Como observación general diremos que todos los ejemplares que pertenecen a los conjuntos indicados presentan nervaduras orientadas en sentido oblicuo en relación con el plano de la base, a fin de provocar un movimiento de rotación sobre su eje longitudinal, el que se obtiene, aunque muy lento, para que pueda influir sobre su estabilidad. Ésta se logra por otros medios, los que pueden consistir en llevar el centro de gravedad hacia la cabeza, para lo cual se le quita peso al otro extremo, ya sea ahuecándolo, dándole un diámetro menor o agregándole un taco de fieltro.

Los anillos que rodean al cuerpo, al igual que la columna posterior de fieltro, aseguran el sellado de los gases y facilitan el paso del proyectil por el agolletamiento del caño. El mismo resultado se obtiene al hacerlo hueco, ya que ello permite que, por la presión ejercida en el momento del disparo, se dilate, ajustándose bien a las paredes del ánima, como también que luego ceda al pasar cuando llega a su región más estrecha.

El proceso de invención/diseño y fabricación de balas/proyectiles es permanente y tan extenso que resulta imposible mencionar absolutamente todas las creaciones hasta hoy, por ende, digamos que aparte de los proyectiles que se pueden ubicar dentro de los grupos señalados, hay otros con características únicas, por lo que sería preciso describirlos uno a uno. Esta tarea, además de prácticamente imposible, resulta injustificada, dado que esos ejemplares no tienen, en general, mayor aplicación ni trascendencia, por lo que nos limitaremos simplemente a mencionar unos pocos de interés: *seccionado; proyectil de segmento J.B.; lethal; destructor,* etcétera.

V. ABREVIATURAS MÁS COMUNES UTILIZADAS EN LA CARTUCHERÍA

BP ..... *Black Powder* (pólvora negra).

NE ..... *Nitro Express* (pólvora sin humo).

N° 2 ..... Indica que ese cartucho está cargado con pólvora sin humo, pero anteriormente era de pólvora negra, por lo tanto aquellas armas que fueron diseñadas para tirar con cartuchos de pólvora negra no pueden disparar este cartucho.

Express ..... La velocidad inicial del proyectil es superior a los 610 metros por segundo.

Magnum ..... La velocidad inicial del proyectil es superior a los 762 metros por segundo.

R ..... La vaina posee un reborde. Esta munición es diseñada para armas rayadas de dos cañones y en arma corta para revólveres.

I ..... Munición para armas de infantería.

S ..... Indica que la punta del proyectil no es redondeada sino puntiaguda.

ACP ..... Munición para pistola automática *Colt.*

Auto ..... Munición para armas automáticas (pistolas).

Sp ..... Cuando se habla de armas calibre .38, implica que la munición es del .38 *Special.*

LR ..... Largo Rifle. Se lo usa para la munición calibre .22.

SR ..... Sin reborde.

+ P ..... Cartuchos con carga entre 10% y 20% mayor a los normales.

AE ..... *Action Express.*

FMJ ..... *Full Metal Jacket.* Proyectil blindado (totalmente encamisado) de uso militar.

H&H ..... *Holland y Holland.* Fábrica inglesa de armas y cartuchos.

HP ..... *Hollow Point.* Proyectiles de punta hueca (punta perforada).

KTW ..... Munición perforante. Indica las iniciales de los inventores (*Kopsh-Turcus-Ward*).

WC ..... *Wad Cutter.* Munición plana para competencias de tiro.

SWC ..... *Semi Wad Cutter.* Munición de defensa en forma tronco-cónica.

WW ..... *Winchester.*

WM ..... *Weatherby Magnum.* Cartuchos para armas producidas por la fábrica *Weatherby.*

WCF ..... *Winchester Center Fire.* Cartuchos *Winchester* de fuego central.

Capítulo XV
RESTOS DE DEFLAGRACIONES

I. Interrogantes más frecuentes que se vinculan con la deflagración de la pólvora originada por el disparo de un arma de fuego.

Ante todo corresponde aclarar que deflagración es la acción y efecto de deflagrar, vale decir, arder súbitamente una sustancia, con llama y sin explosión.

Cuando se produce la acción del percutor de un arma de fuego sobre la cápsula detonante (en cuyo interior se encuentra la carga fulminante) de un cartucho de bala o de munición múltiple, el encendido del fulminante se propaga al interior de la vaina (a través de los oídos cuando se trate de cartuchos de fuego central), produciendo el encendido de la carga impulsora (pólvora).

La combustión de esta carga genera un gran volumen de gases dentro de la cápsula (vaina), que ocasiona el desprendimiento de la bala integrante del cartucho, a la cual empuja a lo largo del ánima del cañón (interior del mismo) expulsándola en definitiva al exterior.

Todo el proceso aludido es, por ende, el que da origen a lo que se conoce como *deflagración de la pólvora*, expresión ésta que durante muchos años ha guardado estrecha vinculación con los siguientes interrogantes periciales:

a) Determinar si en las manos de una persona existen restos de deflagración de pólvora, con el propósito de verificar su intervención en el accionar y disparo de un arma de fuego. Similar observación se impone en los casos de suicidio.

b) Establecer la existencia de restos de deflagración de pólvora en el orificio de entrada de un proyectil, en el cuerpo humano.

c) Establecer la distancia de disparo sobre prendas de vestir, como investigación complementaria de las observaciones y pruebas de carácter físico experimental comparativo, realizadas con el arma incriminada, en un estudio previo.

d) Determinar si el arma ha sido disparada y el tiempo que ha transcurrido.

Antes de encarar los fundamentos técnicos que sirven de base a la posibilidad o no de dar respuesta al cuestionario de mención, es necesario conocer someramente los diferentes tipos de pólvora que se utilizan en las armas de fuego de uso frecuente.

Actualmente se emplean dos clases de sustancias o mezclas de ellas: pólvora negra y sin humo.

a) Pólvora negra

De muy antigua data, reemplazada totalmente por la pólvora sin humo.

La misma no es un compuesto químico pero sí una mixtura extremadamente sensible al calor, al choque y a la fricción.

Esta mezcla contiene un agente oxidante o fuente de oxígeno, nitrato de potasio y dos constitutivos fácilmente inflamables: carbón de leña y azufre. La oxidación o quemadura se inicia por una fuente de calor a una temperatura tan baja como la de 300 grados Celsius (centígrados), tal como la de una chispa generada por impacto de acero sobre pedernal.

La quemadura de la pólvora negra es el proceso de la rápida oxidación del carbón de leña y el azufre, utilizando el oxígeno liberado del nitrato de potasio. El rango de quemado es directamente proporcional a la cantidad de agente oxidante (nitrato de potasio) presente. La temperatura de ignición puede ser disminuida dentro de ciertos límites, con el agregado de azufre, un constituyente que también promueve la homogeneidad de la mezcla.

El carbón de leña y el azufre queman con la liberación de grandes cantidades de calor (816 a 1649 grados Celsius), luz, gases y una cifra significante de productos sólidos de combustión. Estos sólidos pesan más de la mitad (56%) del peso original de la pólvora e influyen en el humo denso y el olor característicos de la pólvora cuando se quema. Los variados productos de combustión son los siguientes:

Gaseosos: dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, metano e hidrógeno.

Sólidos: carbonato de potasio, sulfato de potasio, sulfuro de potasio, tiocianato de potasio, nitrato de potasio, carbonato de amonio, azufre y carbono.

La combinación de calor y gas produce alta presión si la reacción está contenida en un recipiente, tal como ocurre en el arma cargada. Esta presión resultante es el producto final en la utilización de la pólvora y es la que puede ubicarse en la base de una bala, con el propósito de dispararla desde el interior del cañón de un arma de fuego.

b) Pólvora sin humo

Constituida por variados ésteres orgánicos del ácido nítrico (nitrato de celulosa, nitrato de glicerilo –trinitrina–, nitroglicerina, etcétera).

Consiste, esencialmente, en nitrato de celulosa mezclada, en variable proporción, con nitrato de glicerilo (impropiamente denominados nitrocelulosa y nitroglicerina, respectivamente).

El nitrato de celulosa es el producto resultante de la nitración del algodón (celulosa pura) o de la celulosa en general mediante mezclas adecuadas de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

Se trata pues de reacciones que representan el proceso químico prioritario, a las que se adosan otras que originan sustancias que, a temperatura ordinaria, pueden ser gaseosas o sólidas, conformando estas últimas el residuo o sarro que se forma en el interior del cañón del arma. Entre el material que integra el sarro o residuo se registra una importante proporción de iones nitrato (no degradado, no descompuesto) y nitrito (derivado de reducción inmediata).

II. INVESTIGACIÓN DE RESTOS DE DEFLAGRACIÓN DE PÓLVORA (CARGA IMPULSORA) Y DETONANTES (CARGA FULMINANTE)

Cuando se produce un disparo, la bala se proyecta a través del ánima del arma, a la vez que los productos originados en la explosión de la pólvora son despedidos a gran velocidad hacia adelante y hacia atrás, mezclados con los compuestos resultantes de la descomposición del detonante o iniciador al ser percutida la cápsula que lo contiene. Este fenómeno permite el análisis químico de objetos que se hallan en el curso de los componentes fijos de la pólvora y del detonador (los productos originales y los derivados de la explosión), al ser proyectados hacia el frente o sectores posteriores. Hacia el frente, es viable determinar la distancia en que fuera disparada el arma y, hacia atrás, establecer si una persona ha hecho uso de la misma ya que las partículas originadas en la explosión se asientan sobre la mano de quien realiza el disparo.

No obstante ello, la explosión a la que se ha hecho referencia quema tan completamente la pólvora que hasta ahora no ha sido desarrollada una técnica analítica capaz de identificar consistentemente la cantidad remanente de pólvora no combustionada, en las manos o ropas del tirador.

Sin embargo, a través de los años se han llevado a cabo algunos procedimientos para lograrlo. En los primeros intentos de asociar un individuo con un arma, las manos fueron recubiertas con una película de parafina con el propósito de levantar nitritos residuales. Este residuo podía luego ser visualizado con difenilamina. Pese a ello, en algunos países el procedimiento fue abandonado porque los nitritos no proporcionan suficiente valor específico y requieren grandes depósitos para lograr un adecuado desarrollo del color. Todavía hoy, muchos investigadores se refieren erróneamente al *test de la parafina o prueba de la parafina* cuando discuten sobre análisis modernos para la detección de residuos de detonantes.

La investigación continua dentro de las aplicaciones del análisis por activación neutrónica identificó dos componentes no combustibles, el bario y el antimonio, como residuos detectables en mayoría de los cartuchos utilizados para disparar (*Special Report on Gunshot Residues Measured by Neutron Activation Analysis*, U.S. Atomic Energy Commission Report GA 9829, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia, 1970).

En el más común de los protocolos analiticos, se humedecen copos de algodón en ácido nítrico diluido, se frotan sobre los dedos de la palma de cada mano y luego se determinan las cantidades de bario y antimonio presentes, mediante análisis por activación neutrónica o espectrofotometría de absorción atómica.

Dado que ni el bario ni el antimonio aparecen solamente como residuos de deflagración de detonantes de cartuchos, es necesario hallar ambos elementos en cantidades acordes con los rangos encontrados en personas de quienes se sabe han disparado recientemente un arma.

En otro método, los técnicos emplean discos adhesivos para levantar partículas microscópicas de los residuos mencionados. Luego de ello se opera un microscopio electrónico por reflexión –nergía dispersiva de rayos X– para detectar partículas que contengan bario o antimonio. El mismo produce una imagen visual de las partículas, proveyendo al analista una información útil sobre medida y forma. Esta técnica ha ganado sustento en los años recientes, debido al desarrollo de sistemas automatizados que simplifican y eliminan gran parte de la lentitud y el tedio existentes en los procesos de búsqueda.

Hay variaciones y combinaciones de estos exámenes; sin embargo, todos dependen, al menos en parte, de la detección de bario y antimonio como evidencia presuntiva de residuos de detonantes (carga fulminante).

Estos residuos son parecidos a la tiza que posee en las manos el profesor o maestro que se desempeña en el pizarrón. En el momento en que se aleja de aquél, comienza la pérdida de tiza a través de acciones mecánicas tales como: frotarse las manos; colocarlas en los bolsillos; sacudirse las ropas o manipular objetos. Es importante entonces recoger la evidencia no bien se detiene a una persona.

Generalmente hay pocas esperanzas de encontrar cantidades adecuadas de ambos elementos (bario y antimonio), para asociar a un individuo con un arma, después de tres horas de actividades normales con las manos. El lavado remueve esencialmente todos los depósitos de residuos.

a) Detalles importantes

El auténtico valor de los exámenes de residuos de detonantes es que pueden asociar a un individuo con un arma de fuego. Es importante, sin embargo, señalar que identifican a dicha persona como el tirador, ya que los residuos pueden depositarse en cualquier mano cercana al arma en

el momento del disparo. También pueden aparecer en las manos del que ha manipulado un arma disparada o en los componentes de un cartucho ya utilizado. También es posible, aunque inverosímil, que los residuos se depositen en las manos por otros medios.

Al mismo tiempo, el fracaso en la detección de residuos en manos no implica que la persona examinada no haya manipulado o disparado un arma, ya que a veces no se depositan suficientes cantidades de material que permitan la identificación. Un arma puede producir depósitos en cinco disparos consecutivos, pero no en el sexto; puede, simplemente, no estar lo suficientemente sucia de residuos o bien no haber sido manipulada bastante como para efectuar una transferencia.

Como se mencionara anteriormente, los depósitos pueden haber estado y luego ser removidos por lavado o uso normal de las manos. Un encuentro de cantidades inconcluyentes de bario y antimonio simplemente significa que el analista no puede verter positiva valor de que asocie al individuo examinado con un arma de fuego.

Los análisis por activación neutrónica o la espectrofotometría de absorción atómica para determinar cantidades de bario y antimonio en muestras no constituyen una identificación de residuos inequívoca. Cuando se encuentran niveles altos de ambos elementos en una muestra, los resultados se reportan como consecuentes con aquellos obtenidos de personas que se sabe han disparado un arma. Es inverosímil, pero probable, que haya contaminación ambiente independiente de ambos elementos en una o más de las muestras recogidas de cada persona examinada.

b) Conclusiones

La detección de residuos de cargas fulminantes en las manos de una persona confirmaría que la misma estuvo presente en un ambiente con este material, unas pocas horas antes de la toma de muestras. Ello indicaría como resultado el haber disparado un arma, bien haberla manipulado, a ella o a componentes de los cartuchos utilizados, o haber estado próxima una persona a un arma cuando fue disparada por un tercero.

El fracaso de la detección de residuos en manos indica que la prueba no ofrece información de valor en la determinación de la presencia de una persona ante el material.

Con excepción de muy pocas y bien definidas situaciones, nada más debería inferirse de los resultados de estos exámenes.

III. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RESIDUOS DE PÓLVORA DEPOSITADOS EN UNA SUPERFICIE. DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE DISPARO

La distancia entre la boca del cañón del arma y el blanco es a menudo un factor de crítica importancia en incidentes que involucran heridas por disparos. El grado de interés en el tema depende de la severidad de la

herida y de los pormenores del hecho; crece cuando surgen homicidios y/o suicidios, sin testigos, y disminuye en situaciones de disparos accidentales, no fatales, con testigos.

El testimonio de un experto procurará, a través de su experimentación, establecer la distancia mínima entre la boca del cañón y el punto de impacto, basándose en la presencia o ausencia de huellas de residuos de pólvora en la víctima o su vestimenta.

En general, los residuos examinados rara vez responden a las huellas originales dejadas en la piel o la ropa de la víctima, debido a causales tales como la administración de primeros auxilios, el examen médico, la investigación y el embalaje de prendas. En algunas ocasiones, pueden reconstruirse porciones de los elementos latentes mediante técnicas químicas o infrarrojas.

Para evitar errores de interpretación el investigador debe estar enterado de las variaciones que acusan tales manchas o depósitos, los factores causativos y su significación en relación con la distancia.

Es un hecho repetido observar que un individuo detenido y acusado de dar muerte con disparo de arma, justifique el acto como defensa propia. Afirmará, entre otras cosas, que fue atacado o forzado a efectuar el disparo cuando quiso apoderarse del arma. Tales incidentes son terreno fértil para estudios sobre residuos de pólvora, dado que la proximidad física de los combatientes los transforma en un requisito obligatorio para el esclarecimiento de la verdad.

Los suicidios con armas casi siempre incluyen residuos dentro o alrededor del orificio de entrada, junto con otras características en heridas por disparo a muy corta distancia. La ausencia en conjunto de ello es una luz de advertencia, dado que pocas circunstancias permitirán una distancia de disparo superior a los 70 cm en heridas autoinfligidas.

Las pruebas y las experimentaciones deben incluir condiciones ideales y controladas, tomando en cuenta las variables antes descriptas.

Es esencial averiguar con certeza la densidad máxima de la imagen del residuo y su distribución en puntos graduados y medidos que se extienden desde 0 cm (punto de contacto del arma) hasta por lo menos 80 cm. El material que se va a utilizar como blanco debe reproducir lo más acertadamente posible el género (tela) u otro material que vestía la víctima. De la misma manera, el arma y la munición a emplear deberán ser similares a las utilizadas por el sospechoso, si no fueron secuestrados. Sintetizando, se deberán tratar de minimizar las variables y reducir la posibilidad de objeciones futuras.

a) Factores que afectan los residuos de pólvora

De acuerdo con los textos más autorizados, las imágenes de residuos de pólvora varían significativamente como resultado de cambios en la

sustancia fulminante, peso de la carga propulsora, lote y tipo de pólvora, forma y composición del blanco. Hay por lo menos diez factores principales que, individual o colectivamente, influyen en la impresión del tatuaje sobre la superficie del blanco.

En orden decreciente de importancia son los siguientes:

1) distancia;
2) longitud del cañón;
3) rango de quemado de la carga propulsora;
4) tipo de carga propulsora (disco, escama, esfera, etcétera);
5) calibre;
6) ángulo formado por la boca del cañón y el blanco;
7) material del blanco;
8) iniciador o carga fulminante (tipo, medida, antigüedad, etcétera);
9) peso de la carga propulsora, y
10) tipo de arma (revólver, pistola semiautomática, etcétera).

La efectividad de estos parámetros es variable, dependiendo de las circunstancias, combinación de variables, etc. La distancia es indudablemente el factor más importante y, en el análisis final, permite al investigador, mediante un sistema comparativo, arribar a una estimación del valor de la distancia original de disparo. Sin embargo, la precisión de esta estimación depende de la consideración de todas las variables existentes. El simple cambio de marca de munición podría alterar significativamente la imagen de residuos, a cualquier distancia dada, debido a que no todos los fabricantes emplean el mismo tipo de pólvora en munición de igual calibre y peso de la bala.

El efecto más importante del calibre sobre los residuos de pólvora es el de determinar la medida o el diámetro de su imagen, a una distancia dada. Hay un parentesco entre el calibre del arma y la expansión de la huella producida. De igual manera, también debe citarse que un cambio en el tipo o rango de combustión de la pólvora propulsora produce variaciones en la medida y densidad de la bala, dentro de cualquier calibre dado.

Probablemente, la más significativa y útil observación relacionada con el tema precedente es que existen cinco fenómenos separados y diferentes asociados con residuos de pólvora, en disparos a corta distancia. Aparecen y desaparecen en función de la distancia, forma completamente independiente del calibre; la diferencia es una cuestión de medida. El hecho es que la mayoría de estos elementos son diagnóstico de la distancia (boca del cañón-blanco) dentro de límites estrechos.

Los componentes de estos patrones han sido descriptos y clasificados sobre la base de la apariencia física, de la siguiente manera:

1) explosión en estrella;
2) impresión en forma de capullo o pétalos;
3) impresión carbonosa;

4) impresión de partículas, y
5) anillo del orificio de entrada.

Estos elementos pueden encontrarse individual o colectivamente, dependiendo de la distancia y otras circunstancias.

La explosión en estrella es una rasgadura en forma de cruz, que aparece tanto en la piel como en las ropas de la victima, así como también en las superficies de prueba o experimentación. Es indicativa de disparos por contacto o próximos al contacto (usualmente producidos a una distancia menor de 2,5 cm) y surge siempre sin importar el calibre, la diferencia es sólo una cuestión de medida y extensión.

En la distancia de contacto las partículas son lanzadas hacia el interior de la herida, pero si se produce un pequeño claro en el momento de la descarga puede aparecer un anillo cerrado, pequeño, denso y particular, dentro o bordeando la rasgadura. La ropa voluminosa o muy suelta puede eliminar la explosión en estrella, pero en tales casos la presencia de partículas de pólvora en la herida también es indicativa de una distancia muy corta.

La impresión en forma de capullo o pétalos es distintiva, frágil y grisácea, con forma floral o petaloidea. Está compuesta, entre otros, por material carbonoso, y se asemeja a la superposición de pétalos de una flor, tal como una camelia. Esto ocurre independientemente del calibre a distancias comprendidas entre algo menos de 2,5 cm y 25 cm. Su presencia es una indicación casi positiva de que la distancia de tiro no excede de los 25 a 28 centímetros.

Infortunadamente, si la superficie afectada es frotada o friccionada, el ornamento se oscurece fácilmente, dejando sólo un círculo gris irregular.

La aparición de esta característica está influenciada de alguna manera por la longitud del cañón *versus* la distancia, particularmente donde la primera excede de las seis pulgadas. Este fenómeno es producido probablemente por una turbulencia de gas que se atenúa con la distancia y se convierte en débil y dispersa como para imprimirse en distancias superiores a los 25-28 cm. En materiales oscuros o de fibra muy gruesa no es visible con facilidad, excepto bajo examen infrarrojo.

La impresión de película carbonosa ya mencionada es una mancha de color gris homogéneo similar a la impresión en forma de capullo o pétalos, pero carente de diseño floral o petaloideo y, generalmente, de menor tamaño. Comúnmente aparece dentro de la impresión indicada en último término como un círculo de diámetro más pequeño, que rodea el orificio de entrada del proyectil. Puede, algunas veces, desaparecer a la misma distancia que el diseño petaloideo, o persistir después de que aquél ya no es visible, hasta una distancia de 53 cm. Donde esta película aparece sola indica una distancia comprendida entre 25 y 53 centímetros.

La impresión de partículas incluye el efecto de *tatuaje,* tal como lo llaman otros autores. Consiste en granos de pólvora parcialmente quemados, o no, partículas carbonosas, material del encamisado del proyectil, esquirlas de plomo, suciedad y otros elementos provenientes del ánima del cañón. No producen impresiones de disparos de contacto porque los materiales sólidos son arrojados hacia el interior de la herida o a través de las prendas, por la columna de gas a elevada presión.

Ocasionan impresiones a distancia de décimas de centímetros hasta aproximadamente los 65 cm. Ocasionalmente, pueden detectarse partículas dispersas a 90 cm de distancia y aún más, especialmente donde se ha utilizado pólvora con granos del tipo esférico.

El diámetro y la densidad del dibujo son indicativos de la distancia, pero también está influenciado por la longitud del cañón, el tiro de carga propulsora y, en menor grado, por el calibre. A cortas distancias la impresión será de 2,5 a 7,5 cm de diámetro y completamente densa; en las distancias mayores podrá exceder los 25 cm de diámetro, pero el número de partículas será menor y se presentarán más dispersas. Cuanto más largo sea el cañón, más pequeña y ajustada será la impresión, en cualquier rango dado. Un cambio en la carga propulsora puede producir una modificación dramática en el patrón de densidad de las partículas.

Resulta notoriamente importante el cuidado que se les dispense a las prendas y otros materiales cuando sean manipulados para su traslado al lugar de examen.

Cuando exista una excesiva cantidad de partículas puede deberse a circunstancias que no sean pasibles de ser duplicadas o reconstruidas en la fase experimental. Por ejemplo, un revólver que 10 años ha recibido mantenimiento o limpieza y que no ha sido extraído de un placard durante 40 años, si es utilizado para matar a una persona transmitirá a la herida fatal, polvo, corrosión, suciedad, etc., que no podrán repetirse experimentalmente para comparación, ni aun luego de 50 disparos de experiencia.

En lo atinente al anillo del orificio de entrada, podemos decir que es de color gris oscuro y está originado por carbono, suciedad, lubricante del proyectil, residuos del iniciador, plomo y otros materiales que deposita el proyectil en el momento de penetrar en el blanco. El distintivo anillo oscuro de entrada está presente en todas las distancias excepto en la de contacto, donde puede estar oscurecido por otros factores. Cuando aparece solamente este elemento, se está en presencia de distancias superiores a los 65-75 cm, con la mayoría de las cargas propulsoras.

b) Algunas consideraciones sobre la longitud del cañón

La longitud del cañón de un arma de fuego influye sobre la combustión total de la pólvora y también sobre la forma del cono que forman los gases que escapan a presión. Estos dos componentes son importantes en

la determinación de la impresión de residuos a cualquier distancia dada. Este tema, como factor que afecta la delineación y densidad de la impresión o imagen, ha sido ignorado en la literatura.

Las diferencias de longitud poseen un efecto significativo, es por ello que se enfatiza la necesidad de conocer la dimensión del cañón original cuando se intenta reproducir la distribución de los residuos hallados en el hecho. Un cañón largo producirá residuos de imágenes que parecerán haber sido realizadas a distancias más pequeñas que las de un cañón más corto disparado a igual rango. Allí está la posibilidad de error.

Debe tenerse siempre presente que los resultados del tatuaje impresión que se obtengan con cartuchos de bala de un mismo calibre, diseñados para ser utilizados tanto en armas cortas como largas, van a ser diferentes, aunque sean de la misma marca y fecha de fabricación.

Varios autores se han referido a la importancia de la pólvora propulsora como factor determinante en el desarrollo de las huellas de residuos; sin embargo, nunca ha quedado claramente definida. El problema es más complejo que el de una simple diferencia en el tipo de pólvora o peso de la carga.

c) Influencia de la pólvora propulsora en los residuos

Hay por lo menos cinco características variables de la pólvora que influyen en las huellas que la misma deja luego del disparo. Ellas son:

1) tipo de pólvora (negra, sin humo, etcétera);
2) forma geométrica del grano (escama, disco, esfera, etcétera);
3) química (presencia de inhibidores, detenedores, etcétera);
4) peso de la carga, y
5) rango de combustión (factor de velocidad relativo).

Cada uno de estos factores puede individualmente causar variaciones en los residuos, pero rara vez actúan solos, ya que son elementos de contribución en el efecto total. Probablemente los dos más importantes sean el químico y el rango de combustión.

Debe comprenderse que la munición comercial está cargada con un determinado nivel de *performance* o norma, y que el peso de la carga de cada lote de pólvora se ajusta para mantener ese nivel. Las diferencias en el peso entre lotes diferentes de la misma pólvora son, probablemente, un factor insignificante con respecto a su efecto sobre las imágenes de residuos.

Por otro lado, la introducción de un tipo diferente de pólvora u otra con distinta estructura del grano, puede provocar una alteración profunda en el residuo. Cualquier factor o variable que afecte el rango de combustión y las características de presión de la pólvora puede originar variantes en la impresión.

Éste es un tema importante dado que los fabricantes pueden hacer cambios en el tipo de pólvora utilizada para carga de munición del mismo calibre y peso de bala. La munición comercial puede cambiar considerablemente con el transcurso de los años, sin que se modifique el rótulo. El cambio, no muy lejano, de pólvora con grano en forma de disco y tubular al de forma esférica, es un ejemplo.

La munición recargada en forma casera puede variar ampliamente respecto de la comercial, en lo que atañe al tipo de pólvora y peso de la carga, creando una situación que no puede ser reproducida sin muestras o conocimiento específico previo.

Las cargas de pólvora utilizadas por los fabricantes de munición militar y comercial indican el empleo de varios diferentes tipos de propulsores para munición del mismo calibre. La mayoría de la munición para armas de puño americanas contiene pólvora con grano esférico o en forma de disco. La inglesa o europea, por su parte, acusa el grano en escamas o muy pequeños bastones (varillas). Estas diferencias indican variaciones cuando se emplean diferentes áreas de una misma munición para ser examinadas bajo condiciones idénticas.

La tarea de diferenciación del tipo de elemento puede llevarse a cabo mediante el examen microscópico, sin embargo, no siempre es fácil diferenciar las formas geométricas cuando se transforman en residuos.

d) Conclusiones

Los disparos a corta distancia producen huellas con residuos de pólvora que contienen elementos indicativos de la verdadera distancia (boca del cañón-blanco), en el momento de la descarga. La importancia de obtener este parámetro de un modo infiable, en hechos donde aparecen heridas ocasionadas por arma de fuego, ha sido establecida. Los experimentos conducidos bajo mediciones controladas, utilizando el arma y la munición sospechadas, proveerán la máxima información obtenible.

1) Con excepción de una herida por contacto del arma con la piel, no puede darse una distancia aproximada de disparo sin antes concretar disparos controlados, utilizando el arma y la munición sospechada, o munición de la misma marca y lote.

2) La distancia entre el punto de contacto del proyectil y la boca del cañón afecta la configuración de la impresión de los residuos de pólvora, su medida y densidad.

3) Una variación en la carga, carácter y cantidad de la carga de pólvora propulsora, en el mismo calibre y cuando se dispara a través del mismo cañón, alterará las huellas del residuo, aun disparando a una distancia medida y constante.

4) Indistintamente de cuál sea el peso de la carga de pólvora en un cartucho para arma de puño de un calibre dado, que impulsa a un pro-

yectil de peso conocido, entre el 5% y el 15% de la carga de pólvora no se consume completamente en el disparo. Los gránulos de pólvora no combustionada y parcialmente combustionada dejarán su huella hasta una distancia comprendida entre los 75 y 90 cm en la mayoría de los tipos de pólvora sin humo. Sin embargo, con pólvora de gránulos esféricos esta distancia puede incrementarse hasta 2,50 metros.

5) El calibre del arma afectará la medida y el carácter de la huella de residuos, a cualquier distancia dada.

6) La longitud del cañón del arma afectará la medida y la cantidad de los residuos a cualquier distancia dada.

7) Los disparos experimentales bajo condiciones controladas producirán los mejores resultados y permitirán establecer parámetros de evaluación acertados.

8) Cualquier aproximación de distancia basada únicamente en el diámetro del orificio de entrada y la huella de pólvora, sin concretar primero disparos de comparación, no merece confianza, dadas las variables que pueden surgir en función del tipo de pólvora y la longitud del cañón, en un mismo calibre.

El grado de exactitud requerido para un caso particular de disparo de arma de fuego variará de acuerdo con las circunstancias. Muchas veces será suficiente con que el investigador sea capaz de establecer que un disparo pudo, o no, haber sido realizado dentro de algún intervalo, antes que a una distancia específica. Sin embargo, es necesario que conozca las variables involucradas con el propósito de reproducir con más precisión las condiciones en la escena del crimen.

e) Examen microscópico de la evidencia

Cuando de prendas de vestir se trate, es de hacer notar muy especialmente que la primera tarea será examinar microscópicamente las características físicas de los residuos que puedan estar presentes. Esta prioridad tiene por fundamento el hecho de que los subsecuentes exámenes químicos perturbarán en cierto grado los residuos observables.

Esta labor física es extremadamente importante, ya que será indicativa de la descarga de un arma y/o el pasaje de un proyectil, o proyectiles.

Usualmente es mucho más conveniente y apropiado desarrollar estos exámenes microscópicos en un área no contaminada, utilizando un microscopio estereoscópico con aumento variable (3x-30x), con adecuada iluminación. El examinador buscará diversos tipos de efectos físicos y residuos relevantes, a saber:

Indicativas de/consistentes con el disparo de un arma

1) plomo vaporoso (humo o ahumamiento);
2) partículas de plomo (virutas, pequeñas gotas solidificadas);

3) pólvora no combustionada;
4) adherencias fundidas de pólvora.

Indicativas de/consistentes con el pasaje de un proyectil

1) un orificio en una prenda de vestir;
2) anillo visible alrededor del perímetro del orificio, posible *enjugamiento* del proyectil.

Indicativas de/consistentes con un disparo por contacto

1) rasgaduras, desgarros;
2) quemaduras, chamuscamientos;
3) fibras artificiales derretidas;
4) ahumamiento denso.

Luego de la culminación de los exámenes microscópicos, corresponde llevar a cabo las tareas de orden químico necesarias.

La prueba inicial, vale decir, el ensayo de Griess modificado, está dirigida hacia la detección de depósitos de componentes de nitritos de la pólvora quemada o parcialmente quemada, ubicada alrededor de un orificio que se sospecha sea de bala o de perdigones. De encontrarse huellas de residuos de tamaño y densidad particular, podrán ser posteriormente reproducidas mediante el empleo del arma y la munición sospechados. Si sólo se encuentran depósitos de nitritos esparcidos, serán útiles en determinados casos para indicar por lo menos la distancia máxima desde la que fueron realizados, utilizando también el arma y la munición secuestradas.

El otro ensayo químico –nos referimos al rodizonato de sodio– está dirigido a la detección de cualquier tipo de residuo de plomo que pudiera ser habido, incluyendo el humo o ahumamiento, usualmente asociado con los disparos a corta distancia, partículas de plomo y enjugamiento del proyectil (depósito de plomo en forma de anillo encontrado a menudo alrededor del perímetro del orificio de entrada).

El enjugamiento es ciertamente consistente con el pasaje de un proyectil y las partículas de plomo indicativas del disparo de un arma, pero ninguno puede ser empleado para establecer la distancia entre la boca del cañón y la prenda. El segundo de los mencionados es un fenómeno fortuito y no reproducible, que depende de muchas variables desconocidas y no controlables, tales como el notorio emplomamiento del cañón al momento del disparo. El ahumamiento, por su parte, es muy significativo y se encuentra normalmente en disparos a corta distancia; aunque no puede utilizarse para determinar con precisión la distancia de disparo, es posible establecer la distancia máxima a la que habrá de depositarse utilizando el arma y la munición sospechosos.

IV. RESTOS DE DEFLAGRACIÓN DE PÓLVORA EN EL CAÑÓN O ÁNIMA DEL ARMA, Y TIEMPO DE DISPARO

Sabemos que al atravesar un proyectil el ánima del cañón del arma utilizada para disparar, se origina un depósito parcial en el interior de este último, de componentes resultantes de la deflagración y de la propia pólvora, de cuyo análisis pueden obtenerse referencias de interés pericial.

La correcta interpretación de restos de lubricante, restos incompletamente transformados en la pólvora, óxido de hierro y partículas extrañas, puede constituir un especial elemento de prueba.

Tales residuos no son totalmente inertes, puesto que con el transcurso del tiempo sufren transformaciones que permiten, en conjunto y según el criterio de algunos autores, emitir un juicio aproximado respecto del denominado *tiempo de disparo*. En relación con ello se indica que, hasta el presente, no existe ningún método de análisis que permita establecer en forma fehaciente la fecha exacta en que un arma ha sido accionada por última vez.

En tal sentido, el examinador o perito deberá limitarse a informar que ha sido o no accionada, conforme a los resultados de la investigación de restos de pólvora en el interior del cañón, dejando aclarado que una cuidadosa limpieza después de su uso pudo haber eliminado dichos restos, originando la correspondiente duda en caso de una conclusión negativa respecto de la investigación aludida.

Para detectar la presencia de estos restos tanto en el cañón como en los alvéolos (en el caso de un revólver), la técnica a utilizar consiste en la colocación de un hisopo de algodón en el interior de tales elementos, con auxilio de una varilla de vidrio de diámetro apropiado. En su desplazamiento el algodón arrastra los restos de depósitos asentados que, en primer término, se someten a reconocimiento físico. Como resultado de ello pueden surgir las siguientes posibilidades:

– *Que el algodón aparezca cubierto de herrumbre*: Se impone entonces aceptar o descartar la presencia de compuestos oxidantes en general y nitritos en particular, por medio de técnicas analíticas de reconocida sensibilidad y especialidad. Si tales ensayos dan resultado negativo, puede afirmarse que el arma no ha sido accionada e, incluso, opinar que no lo ha sido desde hace tiempo.

– *Que el algodón aparezca impregnado con aceite lubricante*: En tal caso, a menos que se tengan referencias ciertas sobre el caso, no puede emitirse juicio alguno. Si se sabe con certeza que el arma no ha sido sometida a manipulación alguna después del hecho, se podrá informar que la misma no ha sido accionada.

– *Que el algodón posea adheridas partículas negruzcas, de tamaño y forma irregular, sin presencia de herrumbre o lubricante*: Es muy probable que se trate de restos de deflagración, propios o indicativos de que el arma ha sido accionada. En tal caso se impone identificar compuestos oxidantes y nitritos.

a) Investigación de sustancias oxidantes

Se incluyen, de preferencia, nitratos y nitritos.

Una fracción del trozo de algodón utilizado se trata convenientemente con unas gotas de reactivo difenilamina-sulfúrica. Los oxidantes en general producen color azul.

b) Investigación de nitritos

El ion nitrito se identifica mediante el clásico ensayo de Peter Griess-Illoswa o con cualquiera de sus variantes. Este ensayo se considera sensible y específico.

c) Investigación de óxido de hierro

Otra fracción del hisopo se trata con solución acuosa de ácido clorhídrico al 5% en volumen, con lo cual se disuelve todo óxido metálico. A continuación se agregan 3-4 gotas de solución acuosa reciente de ferrocianuro de potasio al 5%, o bien solución acuosa de igual título de tiocianato potasio, con lo que aparece precipitado o color azul intenso, en el primer caso, o color rojo con el segundo reactivo.

V. ANÁLISIS DE LAS HUELLAS DEJADAS POR CARTUCHOS DE MUNICIÓN MÚLTIPLE, DISPARADOS CON ESCOPETAS

Aunque las huellas dejadas por tales elementos en las prendas de la víctima u otros objetos sean, por lo general, examinadas con microscopio y procesadas químicamente a fin de detectar residuos (componentes de nitrito y plomo debido al enjugamiento de los perdigones o postas, según el caso), la base para la determinación de cualquier distancia es simplemente la dimensión de la impronta y su reproducción.

Al analizar la huella de disparo es importante evitar estar sujeto a una descripción dimensional particular de su tamaño, como el diámetro, y comprender que debería compararse visualmente con patrones de distancias conocidas, que serán realizados para ese cometido. De esta manera es posible eliminar, para su consideración, orificios debidos a perdigones o postas que se han desviado toscamente de un modelo circular normal.

Es útil observar que, en algunas ocasiones, el conjunto de huellas dejado por la munición múltiple adquiere forma elongada debido a la existencia de cierta angulación en el momento del disparo. En esta situa-

ción la dimensión significante es la más estrecha, siendo la base para la comparación con el diámetro de otros modelos.

Eventualmente, en imágenes de impactos de este tipo de cartucho de munición múltiple, puede ocurrir que aparezcan menos orificios de los que debería haber, sobre todo cuando se trata de esferas de tamaño mayor al del perdigón. Esta circunstancia generalmente obedece a dos posibilidades:

a) resulta obvio que dos esferas pueden llegar a pasar por el mismo orificio;

b) un cartucho puede no contener el número de unidades que indica su fabricante.

Es importante recordar que no siempre este tipo de huellas proceden del empleo de escopetas o pistolones, debiendo considerarse en consecuencia la posibilidad de utilización de algún cartucho para arma corta (pistola o revólver) recargado con perdigones, o bien el empleo de munición de supervivencia.

El aspecto esencial en las reproducciones o disparos de experiencia aludidos es el empleo de la misma arma y munición que las utilizadas en el hecho, con el propósito de obtener ensayos de impactos a diferentes distancias bajo condiciones controladas.

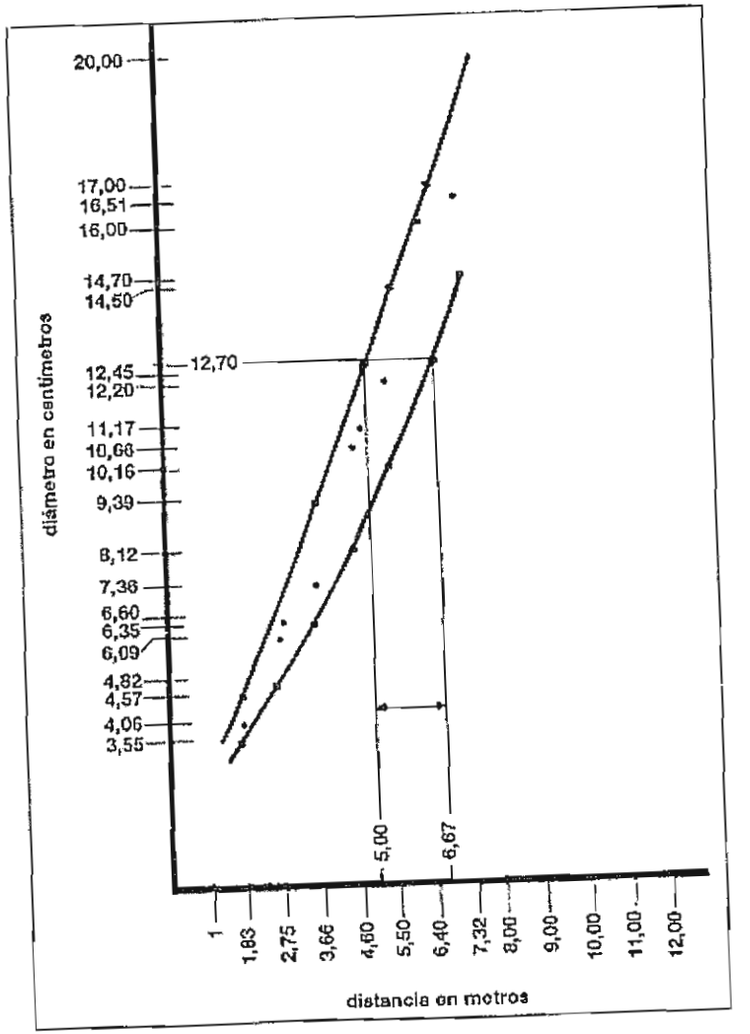
Una misma caja de cartuchos producirá muestras con variaciones perceptibles.

Cuando establecer la distancia de disparo con escopeta (o pistolón) resulte un factor crítico, tanto para la defensa como para la fiscalía, el perito deberá encontrarse en condiciones de mostrar o de sentirse más cómodo en su testimonio, mediante la demostración de límites o tolerancias sobre las cuales ha basado sus estimaciones de distancia. Dado que ningún arma de este tipo ni ningún cartucho destinado a la misma producirán exactamente los mismos efectos dimensionales en forma repetida y a igual distancia, es conveniente poseer un método que ilustre adecuadamente estas variaciones.

Dicho método consiste en un gráfico, como el que más adelante se muestra. Ejemplificativamente estos disparos fueron concretados en cartón (para minimizar el desgarrado a corta distancia), en cantidad de tres por cada parámetro de distancia. Por supuesto, cuantos más disparos se realicen en cada caso, más precisas serán las desviaciones halladas. Como regla práctica, tres disparos serán suficientes, y el gráfico, dibujado correctamente, los promediará dando origen a una distancia media para cada patrón. La información debe ser previamente tabulada y luego graficada, conforme se señala seguidamente:

Distancia (metros)	1,83	2,75	3,66	4,60	5,50	6,40	7,32
Diámetro de la huella (cm)	4,06	4,82	6,35	8,12	10,16	12,45	14,70
	4,06	6,09	7,36	10,66	12,20	16,00	16,51
	5,57	6,60	9,39	11,17	14,50	17,00	20,00

Este ejemplo va a reflejar que una huella de 12,7 cm de diámetro indica una distancia (boca del cañón-blanco) de 5 m a 6,67 m, para un arma y una munición dadas.



Capítulo XVI
IDENTIFICACIONES BALÍSTICAS

I. Personalidad del arma de fuego

En investigaciones vinculadas con armas de fuego siempre surgen preguntas cuyas respuestas tienen como fundamento los principios relativos a la personalidad de cada una de ellas. Esos principios permitirán responder qué tipo de arma se utilizó y si se trata de alguna en particular.

En efecto, estudios y experimentaciones concretados a nivel mundial a lo largo de varias décadas, con implementación de la más moderna tecnología, permiten afirmar una vez más que cada arma de fuego posee *una personalidad* bien definida, que la distingue y diferencia de todas y cada una de las armas de la misma marca y calibre, aunque sean de serie y numeración sucesivos. Esa personalidad radica –como se verá más adelante– en el estriado que presenta el ánima del cañón y en las características que imprimen el percutor y el espaldón en revólveres y demás armas de tiro a tiro, repetición, semiautomáticas y automáticas; sumándose las del extractor, botador y recámara en aquellas que poseen tales elementos (pistolas, pistolas ametralladoras, etcétera).

Lo expresado implica que cada arma de fuego puede ser identificada a través de sus representaciones, las que se imprimen en la superficie cilíndrica del proyectil disparado (en su zona de forzamiento) y en el culote y cuerpo de la vaina servida o disparada, en la forma y las condiciones que veremos a continuación.

1. Importancia del estriado para la identificación de proyectiles

En cada proyectil habrá dos tipos de marcas a tener en cuenta: las reiteradas y las accidentales. Las segundas en ocasiones pueden tener injerencia en la investigación técnica, pero no son de valor para identificar en particular un arma, ya que no se producen regularmente en el momento del disparo.

Las marcas reiteradas, en cambio, son muy útiles porque muestran identidad de ejecución. Las palabras identidad e idéntica, tal como se las

utiliza en las investigaciones de armas de fuego, no significan que las marcas o huellas dejadas en dos objetos como proyectiles o vainas sean idénticas en el sentido absoluto.

Puede ocurrir que entre dos cosas, o entre dos seres, haya extrema semejanza. Así ocurre que, habiendo gemelos tan parecidos, no es sin gran esfuerzo que se los puede distinguir. Ese parecido sorprendente se traduce en el lenguaje ordinario con la expresión "son idénticos". Para no incurrir en ese vicio lingüístico –que si bien es admisible en el diario conversar, no lo es cuando se trata expresar la idea con precisión científica– es que vamos a presentar ejemplos para que pueda apreciarse en su verdadero alcance el valor de cada uno de estos términos: identidad y semejanza.

Dos gotas de agua ofrecen tal parecido que, sin estar prevenidos científicamente, se afirmaría rotundamente que son idénticas. Sin embargo, pueden diferenciarse en el peso, en el volumen, en los microorganismos que contengan, etc. Aun coincidiendo en ello, tampoco serían idénticas porque, siendo dos, fatalmente han de ser distintas espacial o temporalmente.

La experiencia ha señalado que no hay dos armas, aun aquellas de la misma marca y modelo, que fueran producidas consecutivamente por las mismas herramientas, que produzcan las mismas características en un proyectil o cápsula servida. Por supuesto, habrá una semejanza de familia en cuanto al diámetro, número, ancho, paso e inclinación de campos y macizos, lo cual, técnicamente expresado, se resume diciendo: "tienen las mismas características de rayado", pero si bien las improntas pueden ser suficientemente parecidas como para caracterizar una marca (aun el modelo), no lo son como para atribuirlas a una misma arma.

Las armas modernas, incluyendo las de acción neumática de gas comprimido, tienen cañones estriados (excepto las escopetas), es decir, rayas que conforman helicoides en su superficie interna cuyo objeto es hacer que el proyectil adquiera un giro rápido sobre su eje longitudinal, produciendo simultáneamente un efecto giroscópico que evita que el proyectil se desvíe o se voltee durante su recorrido. Este método para mejorar la precisión tiene ya muchísimas décadas.

2. Evolución de las técnicas de confección del rayado del cañón

Mientras el método por medio del cual se produjeron en un principio las estrías parece no ser definitivamente conocido, se puede decir que hasta no hace mucho había dos sistemas de uso general para producirlo: el método de la fresa que actúa por raspado, y el método de la fresa en forma de gancho. La mayoría de las armas de determinada antigüedad de fabricación que el perito encuentra han sido rayadas por uno de estos dos métodos, siendo mayoría las atribuidas al segundo. Sin embargo, esta situación ha cambiado con las armas actuales, ya que han aparecido sistemas nuevos y más rápidos.

La fresa que actúa por raspado consiste en una barra ligeramente más pequeña que el ánima del cañón, sobre la cual hay una o dos secciones de raspado curvadas, de acero endurecido, cuyas alturas pueden ser reguladas en los sucesivos pasajes a través del cañón. Si se debe cortar un número impar de rayas, se utiliza una sola sección de corte; si es un número par, se pueden utilizar dos situadas una enfrente de otra. Esta operación es muy lenta, especialmente si se deben formar cinco o seis estrías con una sola herramienta de corte.

En el sistema de la fresa en forma de gancho se emplea una herramienta de corte similar a una aguja de croché, que se inserta en una muesca o ranura de la barra (algo más pequeña que el ánima el cañón). La altura del borde de corte del gancho puede ser regulada mediante un tornillo de ajuste alojado en el extremo de la barra.

Nuevamente, el proceso es exigente y consume tiempo, razón por la cual nuevos métodos de rayado están resultando de uso general.

Se emplea una herramienta de raspado o una de gancho, mediante el examen microscópico, con suficiente aumento, de la hoja de corte, es posible observar que la misma no es realmente pareja.

Tendrá muescas como las que posee la hoja de un cuchillo romo, con la única diferencia de que son más pequeñas; no importa cuánto cuidado se ponga en la operación de afilado, las muescas siempre estarán presentes y resultan en complejos endentados o estrías que se forman en la base de la raya hecha por la herramienta.

Debe recordarse además que el acero usado en los cañones es absolutamente homogéneo y habrá algunas áreas de la superficie que serán más duras que otras. La herramienta de corte no actuará de la misma manera en estas áreas de diferentes durezas, resultando de ello diferencias en las superficies. También la viruta minúscula de metal que resulta de la operación de tallado puede producir desigualdades en la acción del tallador. No importa cómo se produzcan estas desigualdades, a menos que sean quitadas tenderán a hacer marcas reiteradas en los proyectiles puesto que éstos son de material más blando. Algunos fabricantes llevan a cabo una operación de *lapidado* después de haber confeccionado todas las estrías. Se funde un tapón de plomo en el extremo de una barra colocada en el cañón, asegurando ello un buen ajuste. Luego, con una mezcla de aceite y polvo de esmeril fino como lubricante y agente de pulido, el tapón es empujado hacia atrás y hacia adelante a través del cañón, originando una superficie semejante a un espejo y desapareciendo la mayoría de las desigualdades producidas en los procesos de barrenado, escariado y estriado.

Un cañón nuevo, *lapidado,* imprimirá menos características a un proyectil disparado a través de él que si lo hubiera sido por un cañón no sometido al procedimiento mencionado. Aun así, pese a presentar pocas características, normalmente la identificación será posible.

El próximo a mencionar es el proceso de *brocado* o *escariado*. Una broca es una barra sobre la cual hay entre 25 y 30 anillos de acero endurecido, siendo cada uno de ellos ligeramente mayor en diámetro que el precedente, ostentando ranuras de la medida adecuada intercaladas a intervalos iguales, formando de esta manera una serie de *talladores múltiples*, con la misma cantidad de campos y macizos cada uno. Este sistema permite la producción del rayado de cada cañón en una sola pasada, debiéndose tener en cuenta que cada tallador se encuentre perfectamente alineado con el anterior.

Las brocas requieren mucha especialización en su preparación, pero cada una de ellas es capaz de rayar un gran número de cañones, por lo que el tiempo operativo se reduce en tal medida que una máquina puede estriar varios centenares de cañones en un día laboral. Además, pueden rayarse muchos más elementos con una broca de este tipo que con una de raspadura o de gancho, ya que aquélla llena muchos más bordes cortantes y el uso de cada borde es consecuentemente menor que en un tallador simple.

Se podria pensar que, puesto que muchos cañones se rayan con la misma broca, todos tendrían estrías exactamente iguales y que sería imposible para el perito distinguir entre los proyectiles disparados por ellos. Sin embargo, éste no es el caso. Cada cañón rayado posee aun una identidad que se expresa en las marcas hechas en los proyectiles disparados a través de él. Esto se debe considerablemente al hecho de que hay algo en común entre los tres métodos de rayado hasta ahora comentados. En todos los casos la preparación del ánima del cañón a ser rayado es esencialmente la misma. Se produce una perforación de diámetro adecuado, de punta a punta, a través del trozo de metal que va a llegar a ser un cañón. Puesto que la superficie así producida es demasiado áspera, debe ser escariada para pulirla suficientemente. Este movimiento de escariado es transversal al eje del cañón, y si se examina microscópicamente se observará una multitud de pequeñas líneas (incisiones) trazadas transversalmente al ánima.

En la sucesiva operación de rayado sólo una porción de estas líneas transversales será quitada, correspondiendo a la superficie donde se cortan las estrías; hallándose siempre presentes en los macizos. Si se examina una sección transversal de un cañón rayado se verá que hay dos grupos de líneas o minúsculos rasguños: uno en los macizos que corren transversalmente, y otro en el fondo del rayado que corre longitudinalmente. Frecuentemente habrá defectos en la superficie de los macizos del cañón debido a las incisiones por virutas producidas en la operación de brocado. Cualquier desigualdad en la superficie con la cual el proyectil pueda entrar en contacto imprime un rasguño o endentadura en el mismo, dado que la mayor presión sobre las balas la producen los macizos del cañón, siendo posible detectar las marcas más prominentes en el fondo de los campos del proyectil. Por otra parte, si las balas penetran muy ajustadamente se encontrarán estriaciones longitudinales en los macizos de los proyectiles, causadas por la raspadura de aquél a lo largo de la base de las rayas del ánima.

Otro proceso conocido, utilizado por primera vez en Alemania, consiste en *trefilar internamente* el cañón. Cuando una varilla de extrema dureza se introduce forzadamente a través de un caño cuya ánima es ligeramente menor en diámetro que aquélla, el metal del cañón se comprime ligeramente bajo esta presión elevada y el ánima aumenta ligeramente. Debido a la elasticidad del metal del cañón, el ánima no será tan grande en diámetro como la misma varilla, pero sí será más grande de lo que era antes de la operación. Si la varilla tiene una superficie muy uniforme y es muy dura, el ánima aparecerá pulida, con diámetro uniforme.

Las rayas se conforman mediante una operación similar, pero con una varilla en forma de torpedo hecha de carburo de tungsteno u otro material similar de extrema dureza, provisto de campos y macizos que son el negativo de aquellas que se van a producir en el cañón. Mientras pasa a través del cañón provoca una mayor compresión del acero así como produce campos. Esta varilla puede dar origen a miles de cañones.

Con la aplicación de este sistema el perito debe recurrir a exámenes más exhaustivos, a menudo con mayores aumentos a los que antes eran necesarios. Afortunadamente para el perito, los cañones así estriados todavia tienen identidad y cada vez que se usan la misma se incrementa.

Existe otro método de producir estrías para armas de buena calidad. Al igual que el anterior, éste se basa en un trefilado interno pero en forma algo diferente. En este sistema, un mandril de acero muy duro, que encaja ajustadamente, con una forma negativa del estriado deseado, es empujado dentro del ánima del cañón después de la operación de escariación, comprimiendo el ánima bajo una presión muy alta, de manera tal que el acero penetre en las rayas del mandril rellenándolas por completo. Este método fue utilizado hasta cierto punto en la Segunda Guerra Mundial en la producción de la pistola ametralladora M-3. El acero duro, tal como el que se emplea en fusiles de alto poder y buena calidad, y en varias armas de puño, no se presta para este proceso.

La operación de quitar el mandril del cañón resulta ser un trabajo difícil, durante el cual es probable que se dañe de alguna manera el rayado. Aquí nuevamente la experiencia ha indicado, en Estados Unidos, que cada cañón producido tiene una identidad y los proyectiles disparados con diferentes cañones pueden ser fácilmente reconocidos.

Para incrementar el promedio de producción de los cañones rayados, fue desarrollado un proceso de formación en frío conocido como el proceso *hammer* (martillo). Fue desarrollado en Europa por el doctor Appel e introducido en los Estados Unidos de Norteamérica durante la Segunda Guerra Mundial (Appel Process, Inc., Detroit, Michigan).

En este método un tubo de acero es pasado por un mandril corto, compuesto por acero muy duro, que contiene la impresión negativa del estriado deseado. A medida que el tubo avanza sobre el mandril, múltiples martillos golpean el metal del tubo para introducirlo en los campos del mandril. El grado de giro del rayado producido de esta manera se determina por el paso de campos y macizos en el mandril. La perfección del estriado dependerá de la perfección del mandril utilizado y de cuán perfectamente se hayan llenado las estrías del mismo.

Éste es un proceso de trefilado, pero difiere del descripto con anterioridad en que se hace salir al metal bajo la presión producida por martillos en una máquina automática, antes que por el presionado de un tubo sobre un mandril por la aplicación de una presión muy alta aplicada uniformemente. El proceso tiene algunas de las desventajas experimentadas en los precedentes, en particular la necesidad de usar un acero blando, maleable, que podría ser adecuado para armas más económicas de pequeño calibre. Sin duda tiene una decidida ventaja sobre los procedimientos ya indicados, ya que el mandril utilizado es relativamente corto, por lo que la dificultad para extraer uno más largo del interior del tubo estriado queda eliminada (*Firearms identification,* vol. I, The University of Wisconsin Press, Madison, 1962).

En nuestro país, al menos en lo que atañe a la Fábrica Militar de Armas Portátiles "Domingo Matheu", ubicada en Rosario, provincia de Santa Fe, que he tenido el gusto de visitar, el sistema de brocado o escariado para la conformación de estrías en armas automáticas y semiautomáticas está fuera de servicio desde el año 1972. En su reemplazo, el estriado de cañones tanto para armas largas como cortas se lleva a cabo mediante el procedimiento de *martelado* (*hammer process* en Estados Unidos y *martelage à froid* en Francia), que se concreta en frío.

Al ejemplificar este procedimiento nos referiremos a la pistola calibre 9 x 19 mm, sistema *Browning.* Para la obtención de su respectivo cañón estriado, se parte de un barrote o tubo macizo de 50 cm de largo, que previamente se frentea mecánicamente para asegurar su asentamiento en la herramienta que producirá su perforado posterior. El frenteado aludido le da forma de un cono que facilita el centrado de la máquina de perforado profundo. Esta última operación la realiza una broca ubicada en una *caña* lubricada con aceite, que va avanzando 35 mm por minuto hasta la perforación total del barrote.

Posteriormente, y ya en otro sector de la fábrica, se funde plomo en cada barrote perforado, se le agrega polvo de esmeril y con un baquetón que se integra a una máquina, se procede al pulido interno con grano 80 para desbastar y grano 120 para el acabado. El plomo hace la función de sostén del esmeril. Esta tarea abrasiva puede producir rayas profundas en el interior del tubo, que el posterior martelado no elimina; ello hace que se asegure el correcto pulido interno en la forma antes expuesta.

A las tareas descriptas le sigue el *martelado en frío*; para ello existen dos maquinarias, una que opera verticalmente y la otra horizontalmente. Estas maquinarias contienen martillos (que actualmente se desarrollan en el país) cuya función es dar el diámetro interior del cañón. En tal sentido, mediante la actuación de un peregrino de carburo de tungsteno (no se realiza en el país, ya que existen dos o tres fabricantes en el mundo) pulido al espejo, y de forma cónica, la maquinaria procede al estriado del cañón por la acción conjunta de los martillos que golpean sobre la superficie cilíndrica externa y el peregrino (que contiene el tatuaje estrial a transmitir) ubicado en su interior; sobre este último se desplaza el ánima o cara interna del barrote perforado.

Estriado este último, pasa a una máquina cortadora que contiene tres sierras circulares, con el propósito de obtener cinco unidades o cañones, del mismo.

Cada cañón así obtenido y con sus extremos sin acabar, luego de algunos procedimientos intermedios, se traslada al sector donde se fabrica la recámara correspondiente. Éstas se llevan a cabo con mechas que desbastan el material hasta la profundidad y el diámetro deseados, luego de lo cual se pulen internamente a mano con baqueta y tela esmeril de grano 150, a medida que el cilindro o cañón gira mecánicamente.

La operación siguiente consiste en la concreción de otro corte mecánico del extremo opuesto a la recámara, para culminar con la terminación o el acabado, también mecánico, del brocal (boca de fuego).

Con posterioridad al armado completo de la pistola, la misma es sometida a un disparo de tormento con un cartucho sobrecargado en un 25% de lo normal; catorce disparos para verificación de su funcionamiento y otros cinco para centrado de los aparatos de puntería, todo lo cual suma un total de veinte.

Teniendo en cuenta la descripción sintética de todas las tareas que guardan íntima relación con el cañón del arma y vinculándolas con la posibilidad o no de identificar un proyectil disparado por el mismo, surgen las siguientes consideraciones:

1) No puede negarse que en la actualidad el sistema de fabricación de estriado por martelado posee la cualidad de ser ideal, dado que el peregrino es de extrema dureza y con él pueden llevarse a cabo numerosísimas unidades sin deformación del mismo.

2) Este sistema es conocido internacionalmente y se aplica desde hace ya varias décadas.

3) La operación de perforado y posterior pulido con polvo de esmeril, de cada barrote, como paso previo a la concreción del martelado, es obvio que en su interior deja características *microscópicas* individuales en cada caso.

4) Tales características pueden ser observadas en fábrica mediante el empleo de un endoscopio.

5) Las diminutas y microscópicas virutas de arrastre que en las diferentes tareas de corte y terminación se le ejecutan al cañón, a partir del momento en que cada barrote martelado es fraccionado a cinco unidades, deben necesariamente transmitir características identificatorias.

6) El mismo criterio puede aplicarse con los veinte disparos que se concretan con el arma ya armada, oportunamente referidos.

7) Las etapas mencionadas necesariamente deben ir contribuyendo a la conformación de la personalidad de cada cañón y, consecuentemente, del arma a la que va a pertenecer.

Nuestros muchos años de experiencia en el tema de identificación de este tipo de armas con proyectiles secuestrados, ofrecidos para cotejo, más las opiniones de diferentes especialistas internacionales que se dedican a la misma tarea y que hemos podido recoger con el transcurso del tiempo, nos obligan a concluir que sí es posible diferenciar microscópicamente el empleo de una u otra arma de igual marca, modelo y calibre, cuyos cañones fueron estriados mediante el sistema aludido. En última instancia, la labor será más dificultosa.

Recordemos aquí lo expresado anteriormente, haciendo nuestras las palabras de Edmund Locard: "Aun cuando dos gotas de agua coincidieran en peso, volumen, microorganismos que contengan, etc., tampoco serían idénticas, porque siendo dos, fatalmente han de ser distintas en el espacio o en el tiempo", a lo que cabe agregar que el secreto está en saber observar y tener profunda experiencia en tareas de comparación y valoración cualicuantitativa.

II. IDENTIFICACIÓN DE PROYECTILES

a) Huellas en sus superficies

Cuando una bala de plomo macizo o encamisada pasa a través de un cañón estriado bajo alta presión, tiende a expandirse y ocupar completamente la sección transversal de aquél. El proyectil debería poseer una medida tal que le permitiera seguir el estriado y prevenir la pérdida de presión y la erosión de las superficies internas del ánima por escape de gases. Cuanto más completa sea la ocupación o llenado de la sección del cañón, más distintivas serán las marcas o huellas que registre el proyectil y mejor la posibilidad de cotejo entre características estriales.

Las desigualdades en las superficies aceradas de campos y macizos marcarán el proyectil a su paso por el interior del ánima bajo presión, y mostrará marcas útiles, no sólo en los macizos, sino también en los campos. El caso ideal es aquel en el cual todos los campos y macizos de la bala disparada tienen marcas que muestran características que se repiten, es decir, que serán encontradas en todos los proyectiles disparados con un mismo cañón, posibilitando coincidencias en el enfrentamiento comparativo microscópico con cada campo y macizo.

No es necesario decir que tal perfección raramente es encontrada. En algunos casos de proyectiles mutilados, el examinador puede tener la fortuna de hallar una característica suficientemente convincente como para permitirle expresar una opinión positiva. En el caso de proyectiles encamisados o blindados, es muy raro que se produzca la situación donde todos los campos y macizos posean características que coincidan perfectamente, dada la gran dureza del material, la cual, a su vez, impide que pase lo suficientemente forzado como para llenar la sección transversal antes referida.

En realidad, ocurre frecuentemente que los macizos de proyectil evidencian algunas marcas de características repetidas, con valor suficiente como para permitir un ensamble confrontativo convincente. De lo expresado no debe inferirse que las características coincidentes en el cotejo con proyectiles de plomo sean superiores en calidad que las que puedan encontrarse en encamisados. Debido a la mayor dureza del blindado, es menos probable que se borren o desaparezcan los finos complejos lineales producidos en el momento del pasaje del elemento por el interior del cañón. Pero si la bala es demasiado pequeña, puede que no continúe el estriado lo suficiente como para producir marcas que se repitan. Obviamente, si la bala resbala o patina habrá una confusión de marcas, ya que dos proyectiles nunca lo hacen de la misma manera.

Si un mismo proyectil es sólo ligeramente más pequeño de lo que debería ser, puede patinar cuando ingresa al sector estriado del cañón de un arma semiautomática o automática y luego asentarse y continuar el estriado. En tal caso, las marcas pueden ser del mismo carácter que las de patinaje encontradas en proyectiles disparados con revólveres.

Más asiduamente, un proyectil –particularmente un encamisado– que muestra buenas marcas en los campos, evidenciará pocas o nulas en los macizos, dado que no se expandió lo suficiente o no era de la medida apropiada.

Además de las marcas hechas por el estriado, pueden aparecer otras que se producen cuando la bala golpea el cono de forzamiento (si lo hubiere) y por irregularidades que existan en la boca del cañón. Algunas armas no poseen cono de forzamiento y el estriado comienza abruptamente, en tanto el diámetro interno del cañón en la parte estriada es menor que el que le precede inmediatamente y los bordes aguzados de los macizos cavan al proyectil cuando éste los golpea. En algunas armas el cañón está constreñido en la boca, probablemente por la operación de coronado. Esta constricción tiene una importante relación en las marcas que el cañón le transmite previamente a lo largo de todo su recorrido, pudiendo superponerse las nuevas marcas a las anteriores, previa remoción de éstas.

Es frecuente encontrar cañones con rebabas en su boca debido a accidentes o maltrato del arma, las que pueden cavar el proyectil produ-

ciéndole marcas distintivas en forma de ranuras longitudinales. Cuando aparecen debería examinarse la boca en procura de rebabas.

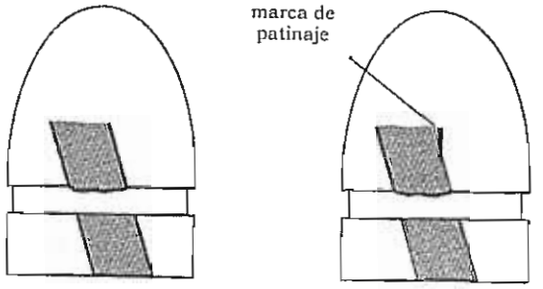
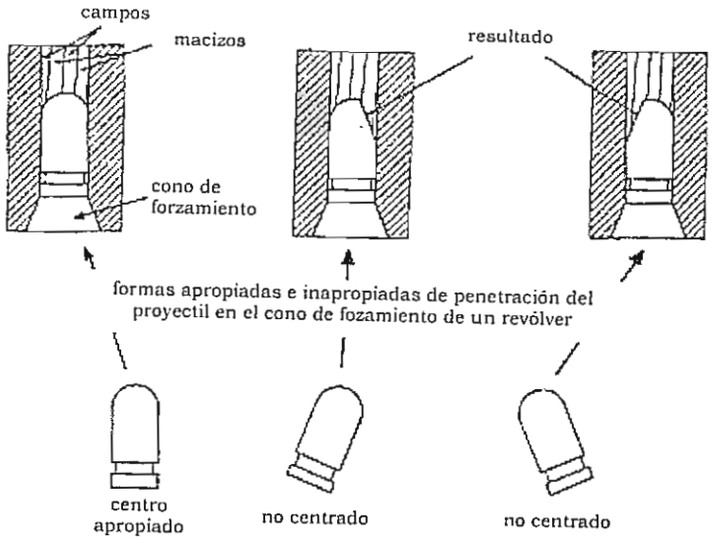


Gráfico de una huella de patinaje del proyectil.



Puede que también el perito encuentre armas con una comba en el cañón, la que proviene de disparar un proyectil a través de un cañón con una obstrucción –generalmente una bala atascada–. Cuando se produce un disparo en tal situación, el proyectil tendrá los grupos de características superpuestas que pueden causar considerable confusión.

Cuando una bala es disparada por un revólver, frecuentemente mostrará marcas de resbalamiento o patinaje y los campos serán más anchos hacia la ojiva que en la base. El patinaje ocurre cuando el proyectil golpea los macizos del cañón luego de adquirir alta velocidad en su paso del cartucho al sector estriado; dada la alta inercia que así ha adquirido, resiste el intento de los macizos de provocarle un movimiento rotacional y, por lo tanto, patina.

No es común apreciar esta última circunstancia en pistolas semiautomáticas, dado que comparativamente, el proyectil comienza el rayado con poca inercia y sigue los macizos prácticamente desde el inicio del recorrido.

Los revólveres de baja calidad o aquellos con mucho desgaste pueden exhibir alvéolos que no se alinean convenientemente con el ánima del cañón; en tales casos, habrá *trefilado de plomo.* Esta situación podría causar dificultad en la identificación de un arma, dependiendo ello de si se trata de un hecho repetido o no. En el último caso sí la habrá.

Si el cilindro está muy flojo (desajustado), la alineación alvéolo-cañón será caprichosa y provocará problemas. Usualmente la dificultad sobreviene por disparar muchos cartuchos en procura de proyectiles testigo, en lugar de los dos o tres acostumbrados.

Es probable que puedan encontrarse otro tipo de marcas no repetidas, por lo que debe tenerse sumo cuidado para evitar confusiones con su presencia. Nos referimos a una suerte de finos rasguños paralelos al eje longitudinal de la bala, producidos cuando ésta es forzada hacia afuera de la vaina en la que se aloja y a la cual está sujeta mediante el enganche de la boca de aquélla y la acanaladura que posee la bala cerca de la base. También pueden producir algunos puntos de anclaje presentes en la parte superior de la cápsula o bien un simple encastre demasiado ajustado entre ambos elementos.

Tales rasguños pueden existir en gran número y ocasionalmente no se remueven por el pasaje del proyectil a través del cañón. Dado que son muy cortos, es difícil determinar que son paralelos al eje longitudinal de la bala y resulta más fácil confundirlos con tatuaje estrial del cañón. Una bala que ha sido manual o mecánicamente extraída de un cartucho mediante la aplicación de fuerza, obviamente mostrará estas marcas.

Algunas armas baratas de origen extranjero, especialmente las realizadas en España y Bélgica antes de la Guerra Civil española y la Segunda Guerra Mundial, poseían un rayado de muy baja calidad. No sólo había raspaduras transversales en la parte superior de los macizos, sino también profundos arañazos o ranuras en los campos, producidos por herramientas de corte que tenían muescas en sus filos.

Si tales ranuras están presentes en el interior de un cañón, producirán marcas en los proyectiles que dispare. Si las marcas en las herramientas de corte son prominentes, pueden producirse ranuras casi idénticas en cada campo del cañón, por lo que una bala disparada a través de tal elemento podrá tener algunas características similares en cada macizo. Cuando ello ocurre, podrán producirse coincidencias de confronte ilu-

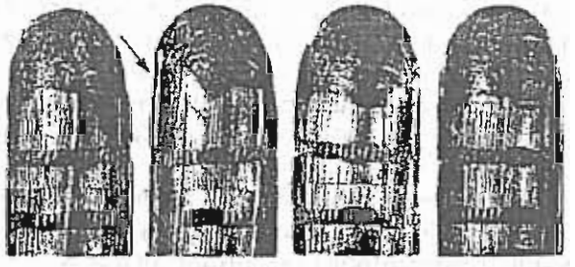
sorias de un proyectil con otro, es decir, un macizo se identificará con algunos otros del mismo proyectil siempre y cuando estuviesen ausentes otras características que los diferencien.

Afortunadamente, cada macizo y campo de un cañón estriado posee, por lo general, suficiente identidad como para evitar que un experto se equivoque.

b) Proyectiles testigo

Para su obtención, es de buena práctica utilizar el mismo tipo de munición (marca y año de fabricación) que ha sido secuestrada como evidencia, preferentemente la del arma incautada o en poder del sospechoso. Ello ayudará a asegurar la similitud, lo cual es importante dadas las variaciones tanto en la misma marca como en marcas diferentes.

Si no se obtuviesen buenas confrontaciones con el uso de munición similar es, por supuesto, viable experimentar con otras de diferente marca o año de fabricación, para ver si se pueden obtener mejores resultados comparativos. De ser así, son buena evidencia ya que no podrían ser producidas por ninguna otra arma, sin importar qué munición fue utilizada.



Cuatro yuxtaposiciones sucesivas obtenidas microscópicamente entre el proyectil incriminado y otro testigo, ambos de plomo, donde puede apreciarse el "trefilado" del proyectil por falta de alineación alvéolo-cañón.

Las marcas o características que aparecen en los proyectiles no sólo están influenciadas por la presencia de polvo, partículas de arenisca u otras sustancias ajenas, partículas metálicas de proyectiles anteriormente disparados, etc., sino también por el material de los proyectiles en estudio y/o camisas metálicas cuando fueran blindados o semiblindados.

Las balas construidas con plomo altamente endurecido mostrarán marcas algo diferentes que aquellas realizadas con plomo blando.

Algunos investigadores recomiendan reducir la carga de proyección cuando se trata de cartuchos de alto poder, indicando que la marcación de huellas no se ve afectada por la fuerza de la carga. En oportunidades hasta han recurrido a pasar el proyectil testigo en forma manual por el

ánima del cañón, con ayuda de una baqueta. Otros ven el tema de manera muy diferente.

Sea como fuere, lo aconsejable es no reducir la carga y disparar el cartucho tal como es, pues la carga reducida sólo debería utilizarse en los casos en que resultara imposible recuperarlo u obtenerlo satisfactoriamente de otra manera, y nunca recurrir a la obtención manual del mismo, tal como se expresara.

c) Procedimientos para la obtención de proyectiles testigos

Lógicamente es importante colectar u obtener proyectiles testigo útiles para cotejo con similares incriminados, de tal manera que no posean características o huellas adicionales a las le pueda imprimir el ánima del cañón utilizado, con posterioridad a su salida de la boca de aquél. El procedimiento más común es el de disparar sobre algodón limpio. Para las armas de alto poder como los fusiles o carabinas, un mejor procedimiento consiste en utilizar aserrín aceitado. También ha dado muy buenos resultados el empleo de estopa, la cual, al igual que el algodón y la lana, envuelve al proyectil en forma de capullo y disminuye la longitud del desplazamiento.

La recuperación de proyectiles en medio líquido brinda excelentes resultados, específicamente en agua. Para ello pueden emplearse dispositivos verticales u horizontales, siendo preferible, en el primer caso, que su base sea de forma cónica y la extracción del proyectil se lleve a cabo mediante una canasta de algún material que no se oxide. La opción dependerá de los espacios físicos con que cuente, especialmente en el de forma horizontal, que necesita una longitud considerable. En ambos casos el crecimiento de organismos en el agua puede prevenirse con el agregado de dicloruro de mercurio o tolueno.

Otra forma de reducir el espacio a emplear para los dispositivos de mención es aumentando el peso específico del agua mediante el agregado de alguna sustancia apropiada. Es de hacer notar además que cuando se trata de balas de punta perforada, según sean sus características, la recuperación del elemento intacto no resulta factible, dado que se expanden y fragmentan a escasos centímetros de penetración en el medio.

Un procedimiento inusual que también se ha empleado para la recuperación es el del empleo de un bloque de hielo. Experiencias concretadas en Estados Unidos hace ya bastante tiempo, demostraron que los proyectiles de plomo calibre .22 conservan luego de la penetración todas las características estriales y no exhiben deformaciones perceptibles. El calor y la presión del elemento derriten el hielo, produciéndose una desaceleración sin daños en la forma o en el tatuaje. No es un método práctico para el trabajo de rutina, pero podría ser útil en situaciones especiales.

d) Métodos de comparación

Antes del advenimiento del microscopio de comparación en la década del 20, destinado a las identificaciones balísticas, y durante algún tiempo después, la confrontación entre proyectiles y vainas se concretaba por otros métodos, rara vez empleados en la actualidad. De tal manera a veces se podía llevar a cabo una identificación convincente midiendo en secuencia los anchos de los macizos de proyectiles incriminados y testigos, para luego compararlos.

Las mediciones se concretaban con un micrómetro filiforme. Se trata de un dispositivo especial ubicado en la parte superior de un microscopio compuesto, que cuenta con una escala y un hilo o cabello cruzado que se mueve a lo largo de la escala (o, como en el microscopio Spencer, una escala que se mueve) a medida que se gira un tambor o cilindro calibrado. El proyectil se observa a través de la escala, haciendo rotar el tambor hasta que el hilo o cabello se alinea con un borde del macizo, dándose lectura a la posición tomada. Igual procedimiento se concreta con el lado opuesto de dicho campo. La diferencia equivale al ancho del campo, y cualquier cambio en la distancia existente entre el objetivo y el ocular destruirá la calibración, dado que cambia el aumento. Cuando se lo utiliza apropiadamente es muy preciso. Sin embargo, sabemos que en la actualidad existen técnicas mejores de medición, tal como veremos más adelante.

Por supuesto que hoy en día este método no tiene mayor sentido, dado que la forma en que se fabrican los estriados de los cañones no permite diferenciar unos de otros sólo por el ancho y la distribución de macizos, cuando se trata de armas de igual marca, modelo y calibre. Asimismo, cualquier deformación del proyectil secuestrado puede desvirtuar los resultados o las mediciones.

Otro sistema de identificación empleado en los días anteriores del microscopio de comparación fue conocido como el método de la correspondencia alternada, aparentemente originado en Francia, el cual requería mucha habilidad, paciencia y tiempo.

Se colocaba el proyectil secuestrado frente a una cámara de distancia focal larga, provista de una lente de distancia focal corta, con el propósito de obtener un buen aumento. La iluminación se ajustaba de manera tal de obtener la mejor ventaja de las huellas que exhibía el proyectil. Si el mismo poseía seis macizos, se tomaba igual cantidad de fotografías, en forma consecutiva, mediante la rotación del elemento, cuidando que se posicionara siempre de la misma manera en el plano focal. De igual modo se procedía con el proyectil testigo. Obtenidas las copias fotográficas respectivas, se buscaban las yuxtaposiciones que permitirían expedirse técnicamente sobre la identificación o no del elemento ofrecido con el arma secuestrada, sobre la base de la existencia de una cantidad suficiente de concordancias.

Este sistema es mucho más fácil de aplicar en la identificación de vainas servidas, dado que no se necesita una cantidad tan grande de fotografías.

En el año 1913, un distinguido médico legista de origen francés, el doctor Victor Balthazard, ideó un sistema para la identificación del proyectil incriminado con el arma que lo disparó mediante el cotejo de aquél con el elemento testigo o de experiencia. El procedimiento consistía en hacer rodar ambos proyectiles sobre una hoja o lámina delgada de estaño colocada sobre un tablero, apoyando uno sobre una guía constituida por una regla plana. De tal manera se los impulsaba con el apoyo de una madera de cara plana, hasta dar una vuelta completa. Los resultados se fotografiaban y ampliaban para la confrontación respectiva.

El sistema *Balthazard* fue muy bueno en su época y en nuestro país comenzó a aplicárselo por los años 1922/23, pero presentaba los siguientes inconvenientes:

– no podía aplicarse cuando el proyectil secuestrado estaba formado o aplastado, por la imposibilidad de rodarlo;

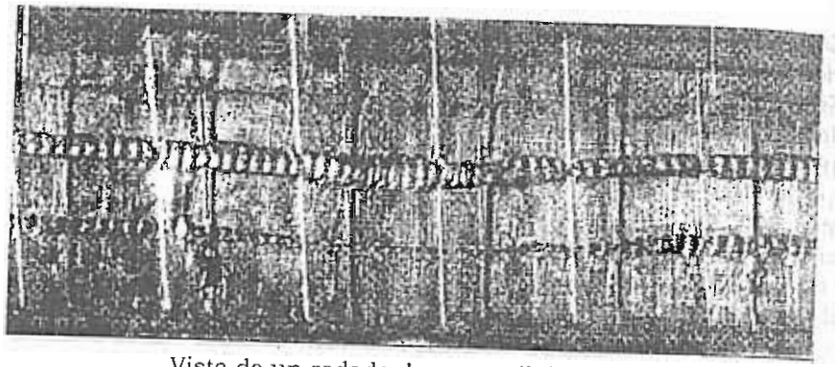
– el rodado del elemento debía concretarse con especial cuidado para evitar su arrastre, porque de lo contrario podían malograrse sus características;

– al intervenir la mano del hombre en la confección del rodado, el mismo podía desnaturalizarse voluntariamente bajo el imperio de la mala fe, o bien involuntariamente las presiones desparejas del movimiento no arrojaban resultados satisfactorios;

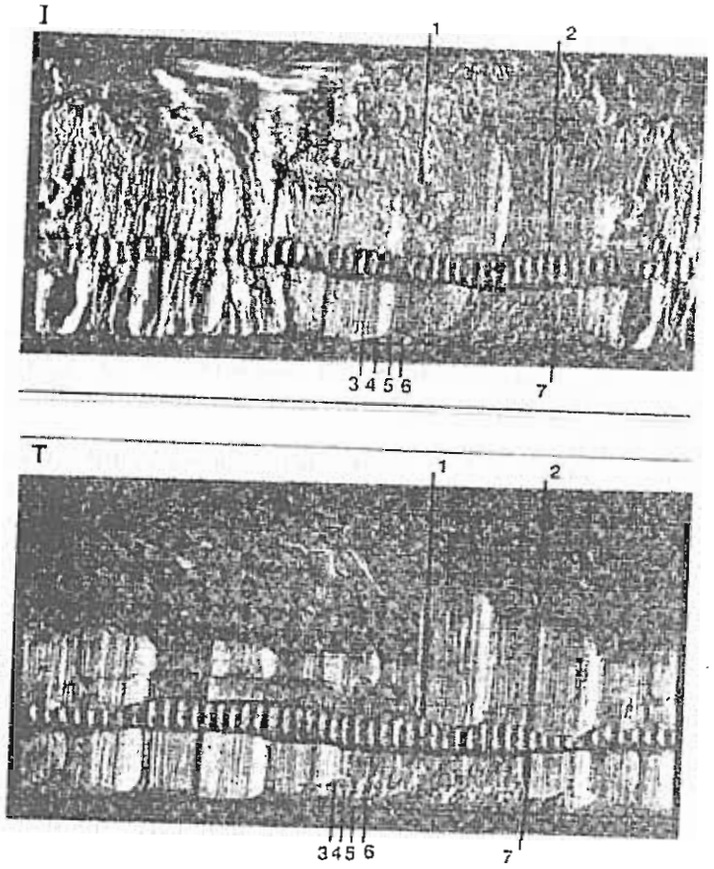
– porque este sistema limitaba su cotejo a las características que presentaban las rayas o campos del cañón impresas en los proyectiles, dejando de lado las que presentan los macizos que, por su especial relieve, se graban más fielmente en su superficie cilíndrica, especialmente en aquellos blindados.

Resultaría sumamente tedioso continuar describiendo los diferentes sistemas que fueron creándose con el transcurso del tiempo para facilitar la identificación de proyectiles; es por ello que, refiriéndonos a la época actual, sintetizaremos a continuación los métodos en uso en el orden mundial, incluyendo obviamente a nuestro país.

El fotomacrocomparador sistema argentino *Belaúnde,* que como es bien sabido lleva el nombre de su inventor, el ya fallecido comisario Ernesto M. Belaúnde, perteneciente a la entonces policía de la Capital, continúa brindando óptimos resultados en versiones más modernas con películas de 35 mm, ya que mediante su empleo el perito tiene frente a sí en un solo plano las vistas fotográficas completas de los tatuajes estriales existentes en ambos proyectiles: *incriminado y testigo,* situación ésta que le permite, con una buena capacitación, demostrar acabada y comprensivamente los resultados que obtenga. Cada documentación fotográfica, denominada *rodado,* se obtiene mediante el giro simultáneo de la película y el proyectil en forma sincronizada.



Vista de un rodado de proyectil de plomo.



Forma en que se llevan a cabo los cotejos entre proyectiles: "incriminado" (deformado) y "testigo", ambos de plomo, con marcación de las coincidencias destacadas.

El microscopio de comparación: Sin lugar a dudas es la herramienta actual por excelencia para el perito balístico cuya tarea, entre otras, es la identificación de proyectiles y vainas servidas. Muchos fueron los que colaboraron con sus ideas en la creación y el desarrollo actualizado del instrumento. Desde la fundamentación de la exacta identificación criminalística de proyectiles por el norteamericano Charles E. Waite, en el año 1920, fue evidente que rastros iguales en proyectiles disparados sólo eran comparables científicamente cuando las imágenes de los objetos eran aumentadas en forma simultánea.

En el año 1925 el doctor Otto Mezger, director del Instituto de Investigación Química de Stuttgart, se dirigió a la empresa Ernst Leitz Wetzlar con el pedido de que se le suministrara un instrumento óptico con el cual fuera posible observar simultáneamente dos proyectiles bajo idénticas condiciones de aumento e iluminación. Mediante dos microscopios biológicos, muñidos de un puente de separación ya existente en el mercado, se efectuaron por primera vez en Alemania observaciones de comparación en proyectiles en el laboratorio de aplicación técnica de Leitz, juntamente con el doctor Mezger y su colaborador, el doctor ingeniero Walter Hess, posterior director del Instituto Criminológico de la policía estatal de Berlín.

Las experiencias ganadas se vieron reflejadas en el instrumento especial creado por Leitz, el *gran microscopio de comparación para fines forenses*. Este instrumento, aparecido en el año 1931 en Wetzlar a raíz de las sugerencias del doctor Mezger, fue aceptado mundialmente por los expertos para la comprobación exacta en todas las gamas de la técnica criminalística de comparación. Pese a que la técnica de aplicación del instrumento especial Leitz sugerido por Mezger y Hess fue ampliada y sensiblemente simplificada con el correr de los años, las ideas básicas de estos dos prácticos permanecieron fijando el rumbo de todas las evoluciones.

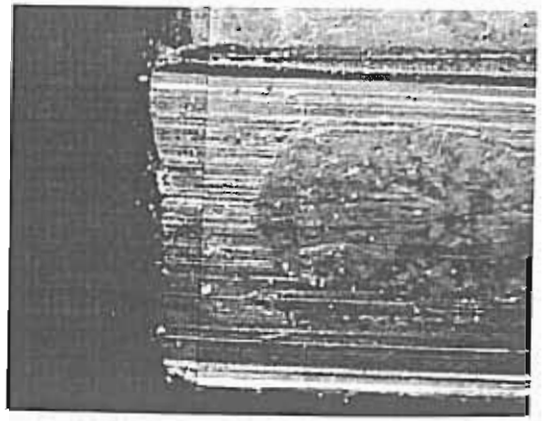
Así también, entre otros, son dignas de mención las apreciaciones del problema que efectuara Alexander von Inostranzeff, profesor de geología en la Universidad Imperial de San Petersburgo.

Como se expresa, este tipo de microscopio está indicado en aquellos casos en los que deben cotejarse con luz incidente y fotografiarse dos objetos. Su principal campo de aplicación es la criminalística (examen de proyectiles, vainas, huellas de herramientas, documentos, etcétera).

Ver imagen 39 en el Anexo fotográfico

Con éstos pueden ser observadas porciones de dos elementos en forma simultánea y luego yuxtaponerse a los fines demostrativos que se persigan. Los microscopios modernos vienen equipados con sistemas automáticos (computados) de documentación fotográfica y adaptadores para la aplicación de videocámara que posibilitan el estudio indirecto a través de monitores en color. También existen procesadores de imágenes para la

videomicroscopia digital. En todos estos casos resulta factible asimismo el archivo en memoria de imágenes, de todas las identificaciones que se concreten. Esta última circunstancia es sumamente útil para integrar una base de datos con características identificativas de proyectiles y/o vainas, disparados y percutidas respectivamente, por armas que aún no han sido secuestradas en un hecho delictuoso, por no haber sido halladas.



Reproducción fotográfica de correspondencias estriales obtenidas entre proyectiles "incriminados" y "testigo", mediante el empleo del microscopio de comparación.

e) Marcas adicionales y objetos adheridos o pegados a proyectiles

Otras cosas que ocurren a los proyectiles pueden resultar de utilidad en circunstancias especiales. Con frecuencia, cuando un proyectil atraviesa alguna prenda queda en su punta u ojiva el tatuaje de la trama de la tela, lo cual hace que pueda compararse con otros obtenidos experimentalmente mediante el empleo del arma sospechada y las prendas secuestradas, en condiciones simuladas.

Ello puede indicar cuál de dos o más proyectiles fue el que atravesó completamente el cuerpo de la víctima o damnificado, según el caso –punto éste muy importante cuando dos o más armas se encuentran involucradas en un tiroteo–. Las balas también suelen ser disparadas a través de protectores de alambre ubicados en ventanas o puertas, lo cual indica que pueden llevarse a cabo estudios similares al antes referido.

Los objetos, generalmente diminutos, adheridos o incrustados en la superficie de un proyectil pueden agregar información útil. Éstos pueden ser restos de yeso, madera, partículas de vidrio, cabello, fibras de distinto tipo y muchos otros. Los encargados del secuestro de proyectiles disparados en el lugar del hecho deben estar alertas respecto del adecuado manipuleo de tan importante evidencia.

f) Características de clase

Son todas aquellas características distintivas que, dadas las diferencias formuladas en las especificaciones de los diferentes fabricantes, darán a menudo una clave prometedora de la marca y del modelo de arma con la cual se disparó el proyectil.

Estas características son:
1) los diámetros del ánima y de los campos o estrías del cañón;
2) la inclinación o dirección del estriado;
3) el número de campos y macizos;
4) el ancho de campos y macizos;
5) el ángulo de inclinación del rayado;
6) la profundidad de las estrías.

g) Observaciones generales relativas a los proyectiles (balas disparadas)

Antes del advenimiento de la pólvora sin humo, se empleaba para la fabricación de balas el plomo endurecido por el aditamento de pequeñas cantidades de antimonio o estaño (o ambos). Pero con las velocidades superiores o más altas alcanzables con esta nueva pólvora, la fusión de metales con tal propósito se convirtió en un serio problema, lo que condujo a la cobertura de balas de plomo con algún metal más duro. Las balas para armas largas calibre .22 de baja potencia todavía se fabrican con aleaciones de plomo o pueden tener una muy delgada capa protectora de cobre (o aleación del mismo), que no sólo endurece sino que también lubrica la bala y reduce el *ensuciamiento* del metal. Esta capa delgada (o cobreado) no debe ser confundida con el encamisado.

Las balas encamisadas son ahora de uso estándar en fusiles o carabinas de alto poder y en pistolas y pistolas ametralladoras, siendo también ampliamente utilizadas en revólveres. Se han desarrollado muchas variedades y una colección de todos los tipos se hace necesaria como parte del equipo de un laboratorio. A diferencia de las balas cobreadas, cuyo espesor no supera los 0,000508 cm (nos referimos a la pequeña película que recubre), las encamisadas oscilan entre 0,0508 y 0,0762 cm de espesor.

Para su uso en armas automáticas el encamisado cubre toda la superficie de la bala, excepto el centro de la base. Con fines de caza el encamisado puede ser total, a excepción de la punta; *esta punta blanda* se expande al hacer impacto en la carne y provoca mayor destrucción de los tejidos, incrementando su efectividad. Las balas de punta perforada (*hollow point*) son completamente encamisadas, con excepción de un pequeño orificio en la ojiva. Se abren al chocar contra la carne y son muy destructivas de los tejidos. Todas las balas para fines militares están completamente cubiertas en la ojiva, la que puede ser redondeada o muy puntiaguda; deben llevar una punta de acero (o cualquier otro metal duro) para incrementar la penetración.

En los casos de balas con punta perforada o blanda, nos encontraremos frecuentemente con la circunstancia de que sólo una porción del proyectil recibido por el perito estará encamisada o que, por el contrario, carece totalmente de camisa metálica por haber sido completamente expulsada. Dado que el tatuaje estrial sólo se asienta en el encamisado, la pérdida del núcleo de plomo carece de importancia a los fines identificativos.

Para algunos fusiles o carabinas de alto poder, la velocidad del proyectil puede ser tan grande que prácticamente explota cuando choca contra un animal (u otro objeto), resultando difícil encontrar fragmentos grandes. En tales casos, los pequeños fragmentos de encamisado deben ser microscópicamente observados en busca de marcas que permitan conducir a una identificación.

Finalmente, diremos que la identificación de proyectiles cobreados suele ser dificultosa, dado que su pasaje por el ánima del arma no sólo la ensucia, dificultando la obtención de proyectiles testigo apropiados a los fines identificativos, sino que también se forman *escamas* en su superficie, las cuales desvirtúan microscópicamente la posibilidad de detectar complejos estriales técnicamente apropiados para estudio (no en todos los casos); ello es debido a que, al presentar una superficie de forzamiento más dura, no llenan con su diámetro toda la sección transversal del cañón (al menos con la presión adecuada), resultando consecuentemente un tatuaje menos marcado y definido.

III. Identificación de vainas servidas y cartuchos percutidos y sin estallar

Las vainas, cápsulas o casquillos servidos (según quiera llamárselos), especialmente los que proceden del disparo de armas automáticas, semiautomáticas y de repetición, a menudo evidencian huellas que se repiten y son útiles para la identificación del tipo (y a veces del fabricante) del arma empleada así como del arma en particular, cuando se concretan disparos experimentales (*testigos*) para ser comparadas tales cápsulas con las *incriminadas*.

Las impresiones o marcas realizadas por limas, herramientas o cualquier otro tipo de desigualdad, rugosidad o aspereza en la superficie del espaldón, cuando la vaina retrocede contra ésta bajo presión, son probablemente más reproducibles que las huellas que se originan por el deslizamiento de un proyectil sobre una superficie ligeramente áspera, tal como un ánima rayada. El primero se asemeja al proceso de impresión por cuño, mientras que en los proyectiles las huellas se transmiten por un proceso más parecido que dejan las herramientas cuando se deslizan mientras están contacto con la superficie.

El tamaño, la forma y la ubicación de las huellas de extractor y botador (eyector), la marca del espaldón, la presencia de rasguños producidos por

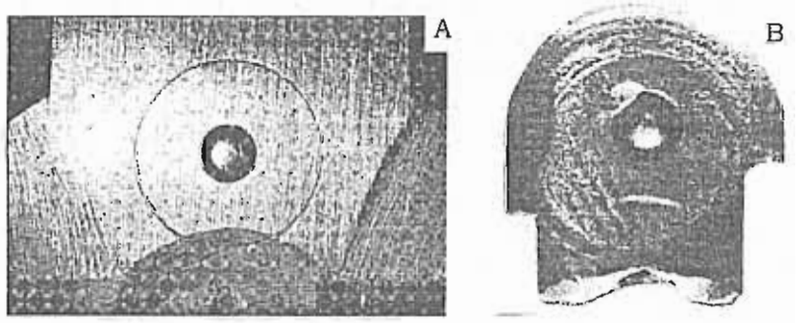
el cargador, etc., son todos elementos importantes para determinar el tipo y la marca (y posiblemente el modelo) de arma utilizada. En el caso de la munición de fuego anular, el tamaño, la forma y la localización de la huella de percusión reúnen valor para determinar la marca del arma empleada.

La identificación de una determinada arma con una vaina servida puede realizarse a menudo por comparación de las marcas existentes en la cápsula incriminada con las producidas por el arma sospechada en elementos testigo. Aquí otra vez es importante que se utilice la misma marca de munición a la que pertenece el material ofrecido para estudio. En realidad, es más importante aquí que en el caso de los proyectiles, dado que la existencia de disimilitudes en el espesor o la composición de la cápsula fulminante, o en el metal del culote del casquillo, producirá marcadas diferencias en la distinción de las huellas producidas.

En muchos casos, la munición de la misma marca que la o las vainas secuestradas puede encontrarse en poder del sospechoso; ésa es la que preferiblemente debe ser empleada para la obtención de material testigo, ya que es más probable que posea las caractesticas físicas de aquéllas. No obstante, no toda la munición de una misma marca estará hecha con el mismo grado de dureza de material y no se puede afirmar definitivamente que los cartuchos secuesados estén hechos con metales del mismo lote o partida, aunque la probabilidad siempre es mayor.

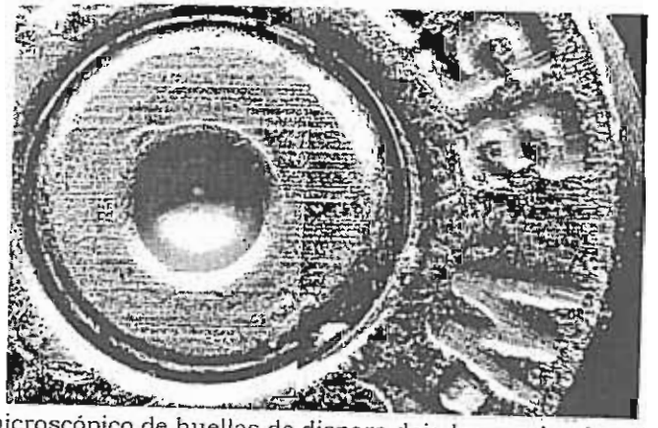
Si las características identificativas que se buscan en las cápsulas indubitadas no aparecieran adecuadamente con la munición secuestrada, es completamente apropiado recurrir a otros cartuchos de la misma marca o de marcas diferentes.

A veces, las cápsulas fulminantes vienen recubiertas con capas protectoras para evitar la penetración de humedad. Si las vainas servidas que servirán de evidencia la poseen, deberían utilizarse cartuchos de prueba con coberturas similares.



A- Espaldón terminado a mano de un revólver.
B- Espaldón de una pistola semiautomática, terminado a máquina.

Frecuentemente, las marcas o huellas buenas y bien definidas, presentes en una vaina ofrecida, no estarán en las testigo o, si lo están, pueden ser pobremente definidas cuando se emplea una munición de marca diferente. Ello puede deberse a diferencias en la cápsula fulminante, o también a variantes en las presiones de la pólvora. Cuanto más alta sea la presión, más distintivas parecerán ser las marcas. Dado que muchos de los cartuchos empleados en hechos de sangre reúnen considerable antigüedad, es imperativo que el perito posea una colección adecuada, tanto de munición antigua como de producción actualizada.



Cotejo microscópico de huellas de disparo dejadas en el culote de las vainas incriminada y testigo, por una pistola semiautomática calibre 9 mm.

a) Huellas de percusión en cartuchos de fuego anular

La huella más notable que se va a encontrar en una cápsula de fuego anular es la dejada por el percutor. Las huellas de espaldón por lo general no están presentes, excepto en algunos tipos de armas y en cartuchos con carga *magnum*. Las huellas de extractor pueden estar presentes en cápsulas que han sido eyectadas en el proceso de disparo; como son las que más seguramente se van a encontrar en la escena del hecho, naturalmente en ellas estamos más interesados.

Ocasionalmente las huellas de extractor son suficientemente repartidas y distintivas como para permitir su identificación bajo la comparación microscópica; consecuentemente, siempre habrá que buscarlas.

Las marcas de botador aparecen con mayor dificultad, y cuando existen no siempre ofrecen posibilidades de cotejo que permitan detectar complejos lineales de yuxtaposición convincente, no obstante poder guardar similitud morfológica.

Frecuentemente los detalles de la impresión del percutor sobre la cápsula ofrecen rasgos característicos y repetitivos que posibilitan su identificación. Obviamente, cuando hablamos de percutor nos referimos o incluimos a los diferentes dispositivos que producen el estallido de la cápsula fulminante.

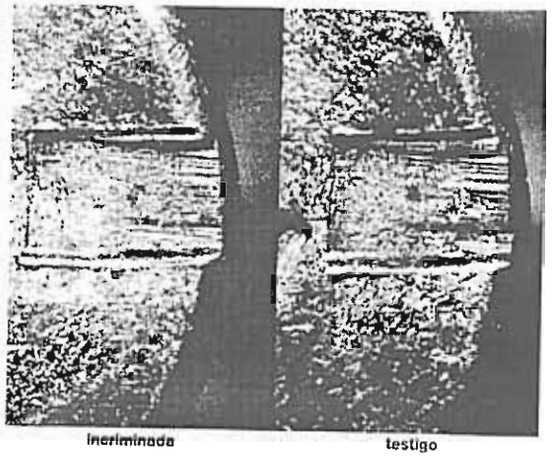
Afortunadamente para el experto, los fabricantes poseen diferentes ideas referidas a la forma y el tamaño del extremo anterior del percutor. Cuanto más tiempo cada fabricante mantenga tales características en sus distintos modelos, mayor será la importancia que tendrán aquéllas. En la medida en que no se produzcan cambios, el perito podrá dar alguna referencia sobre los tipos de armas (marcas y modelos) que han intervenido en el hecho. En los casos donde se remitan armas para examen, puede ayudar a eliminar algunas de ellas.

Sabemos que las huellas de percusión pueden clasificarse y archivarse de acuerdo con su forma; ahora bien, si todas las marcas dejadas por el percutor fuesen siempre similares en forma y dimensiones, la situación sería de lo más simple; desafortunadamente esa situación ideal no existe. Si se emplea un arma nueva y limpia, con la misma munición, y si la vaina está adecuadamente asentada dentro de la recámara, las huellas deberían ser totalmente reiteradas o repetidas en forma, ubicación y dimensiones. En un arma con mucho uso o en una de pobre calidad, el percutor puede que no golpee exactamente en el mismo lugar. La longitud de una huella rectangular se verá así afectada y un percutor cuyo extremo fuese redondeado podría producir impresiones redondas o semicirculares de distintas medidas.

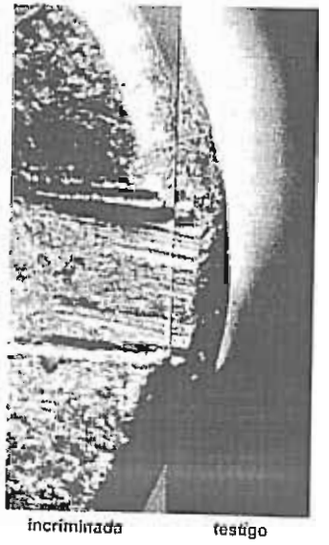
La medida y, en alguna manera considerable, la forma de una huella de percusión, dependerán de la profundidad de penetración del percutor. Frecuentemente, en el momento del disparo el cartucho no se encuentra firmemente asentado contra el extremo posterior de la recámara, impidiendo la profundidad *normal* de penetración; ello afectará las dimensiones de la impresión, sea el extremo del percutor redondo o rectangular. Estos últimos usualmente son de forma prismática o en cuña (para agregar fuerza o poder), consecuentemente, una impresión más profunda será más ancha y más larga.

Los percutores con extremos redondos o circulares planos son frecuentemente ahusados y aquí otra vez la medida de la huella dependerá de la profundidad de penetración. Si el cartucho no se aloja ajustada y apropiadamente en la recámara, el punto de impacto del percutor en sucesivos disparos no necesariamente será el mismo, y la medida (particularmente la dimensión vertical) de la huella no será uniforme.

Un extremo de percutor con forma redondeada (circular) puede producir huellas circulares o semicirculares, lo cual depende de cuán cerca golpee el borde de la cápsula. La mayoría de las huellas semicirculares son hechas por percutores con extremos redondeados o circulares planos.



Microfotografías comparativas de una percusión incriminada y otra testigo, en vainas calibre .22.



Yuxtaposición de características lineales encontradas en las vainas.

Otro factor de importancia es la munición utilizada; percusiones en cápsulas de distintos fabricantes pueden mostrar diferencias distintivas. Es bien sabido que aun el cobre puro no tiene siempre el mismo grado de dureza, debido a los diferentes tratamientos a los que pudo haber sido sometido. La profundidad de penetración dependerá del espesor del metal en el culote de la vaina, pudiendo variar de fabricante en fabricante.

Se recomienda pues, para la obtención de vainas testigo en las que haya que estudiar las huellas de percusión, que se utilice la misma munición que la incriminada (de ser posible) y, si es factible, del mismo lote. Es recomendable disparar por lo menos tres cartuchos de experiencia y comparar las percusiones obtenidas entre sí. Si las huellas son todas similares, puede asumirse que la incriminada mostrará las mismas características si es que se identifica con el arma en cuestión. Si aparecieran variantes significativas en tres cápsulas de mención, entonces debería obtenerse más material testigo. Si después de comparar un número considerable de cápsulas, ninguna posee huellas o características que concuerden adecuadamente con las de la vaina servida incriminada, se puede concluir con certeza que no estamos frente al arma correcta.

Como se ha dicho anteriormente, las ubicaciones de las huellas de extractor y botador pueden ser de considerable importancia. Para dar un ejemplo, supongamos que tuviésemos que distinguir entre dos armas, una carabina *Winchester* modelo 74 de carga automática y un *Winchester* modelo 75 de acción a palanca. La información dada por las huellas de percusión únicamente no es concluyente, pero hay diferencias respecto de las marcas del extractor y del botador (eyector). Si la vaina testigo del modelo 74 se orienta de manera que la huella de percusión se localice a las 12 horas (considerando las agujas del reloj como referencia), la huella de extractor se encontrará a las 3 y la del botador a las 9. Si la cápsula testigo del modelo 75 está similarmente orientada, con la huella de percusión a las 12 horas, aparecerán dos marcas de extractor, una a las 3 y otra a las 9, y la del botador aproximadamente a las 6. La comparación apropiada con la vaina incriminada nos permitirá determinar cuál de las dos armas pudo haberla percutido para provocar el disparo. Si esta última vaina exhibiera dos huellas de extractor y una de botador a las 6 horas, con seguridad podremos eliminar el modelo 74, si ninguno de los disparos de experiencia muestra estas marcas. Por supuesto, ello no prueba que esta arma en particular, modelo 75, fue la utilizada.

De más está decir que todo el tema referido a la identificación de vainas servidas tiene igual aplicación en la identificación de cartuchos percutidos y sin estallar (cuando el disparo no se produjo), con la aclaración lógica de que todas las huellas susceptibles de estudio aparecerán mucho menos marcadas o, dicho de otra manera, serán menos evidentes.

b) Huellas de percusión en cartuchos de fuego central

Los percutores para armas de fuego central tienen también frecuentemente un grado considerable de identidad. El extremo anterior a menudo posee anillos concéntricos hechos por la herramienta de corte que les dio origen y se imprimen en la cápsula fulminante, en el fondo de percusión. Puesto que estos anillos son diferentes para todos los percutores, desde

el momento en que pueden ser a menudo confrontados en la búsqueda comparativa microscópica, siempre son buscados.

Algunos percutores poseen extremos planos, otros romos y redondeados, otros extremadamente ahusados y algunos hasta puntiagudos. Por lo tanto, estos percutores desarrollan identidad debido al uso, el desgaste y las roturas. Las marcas ocurridas por estas causas son identificables y se encuentran frecuentemente. La posibilidad de que dos percutores se rompan, fragmenten o astillen en la misma forma es muy remota, por cierto.

El ángulo bajo el cual un percutor golpea a la cápsula fulminante debería ser señalado. El percutor de un revólver, usualmente, aunque no siempre, golpea en un ángulo determinado, dado que el martillo con el cual es solidario o al cual está sujeto se mueve en forma de arco. En algunos revólveres existe una aguja percutora independiente (armas actuales de buena calidad) que se desplaza hacia adelante cuando el martillo las golpea en su parte trasera o posterior. Esta acción produce el golpe con incidencia vertical sobre la superficie del fulminante.

1. Huellas de espaldón

Surgen como producto del impacto del culote de la vaina (en su desplazamiento hacia atrás), provocado por la fuerza de la explosión en el cartucho. Dado que esta explosión es considerable y se expande igualmente en todas las direcciones, resulta obvio que la cápsula (en el momento en que la bala abandona el cartucho) golpeará o será empujada hacia atrás, contra el espaldón, con considerable fuerza.

Ocurre frecuentemente que las huellas son tan bien definidas y distintivas, que una simple ampliación fotográfica tomada con iluminación adecuada es suficiente para mostrar que tanto la cápsula incriminada como la testigo han sido percutidas por una misma arma.

Las características de las marcas dejadas por el espaldón dependen del proceso de fabricación, las particularidades o peculiaridades de construcción, y lo que ocurra con su superficie después de su manufactura.

Vista en corte de vainas servidas que muestran el efecto de la presión sobre la indentación de la cápsula fulminante. a) Una cápsula sin percutir. b) Una presión débil. c) Una presión normal. d) Una alta presión.

Afortunadamente para el perito, las posibilidades de variación son casi infinitas.

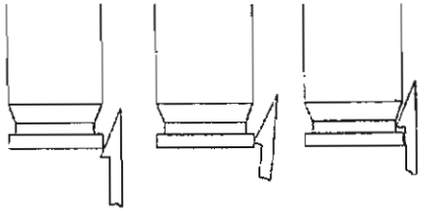
Dado que cada fabricante tiene un procedimiento determinado para la producción de un cierto modelo de arma, que puede diferir del utilizado por algunos o todos los otros fabricantes y porque sigue este procedimiento en forma bastante consistente, posiblemente en sus diferentes modelos, debería ser posible clasificar las superficies de los espaldones por las especiales características que posean.

A pesar de ser interesante esta clasificación, su uso no se ha generalizado, probablemente por varias razones, tales como la inaccesibilidad del artículo, la carencia de comprensión del sistema y la definición en la predicción y, quizá lo más importante de todo, la dificultad en reconocer con certeza las marcas que hay que buscar.

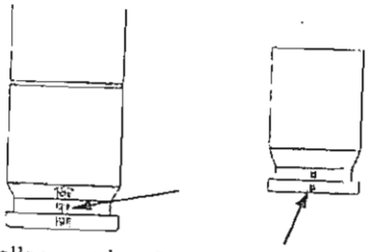
En los cartuchos de fuego central la claridad de la impresión del espaldón depende no sólo del espesor de la cápsula fulminante, la composición, la fuerza de la carga de la pólvora y de que dicha cápsula esté correctamente ubicada, sino también de la presencia de aceite, grasa, suciedad o polvo en su superficie. Las inscripciones de fábrica en el culote a menudo interfieren con la obtención de buenas huellas de espaldón. También hubo fabricantes que identificaban con una letra el centro de la cápsula fulminante (simbolizando su marca), pero esta tendencia ha ido desapareciendo.

2. Huellas de extractor

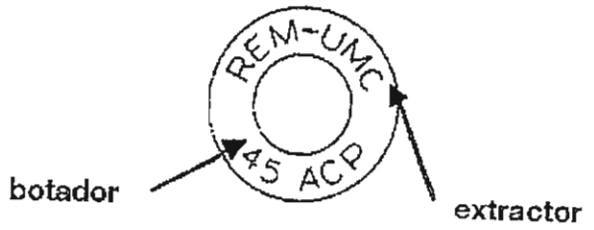
Las huellas de extractor hechas por armas automáticas, semiautomáticas y de repetición con frecuencia pueden yuxtaponerse o identificarse mediante señalización de puntos o líneas característicos, para su identificación. En las armas de repetición la profundidad de las impresiones variará considerablemente, dependiendo del vigor del operador. Algunas armas producirán excelentes huellas repetitivas, mientras que otras no. Un extractor flojo dará problemas. Algunas armas producirán marcas de botador bien definidas pero no serán, usualmente, tan útiles como las de extractor. El desarrollo de las mismas depende más aún del vigor con que se accione la palanca. En las automáticas la fuerza de la acción es naturalmente más uniforme, al igual que los resultados.



Forma en que actúa la uña extractora sobre la cápsula



Marcas o huellas que la uña extractora deja en la cápsula



Huellas de extractor y botador en el culote de la vaina

Dada la recomendable costumbre de descargar fusiles y escopetas de caza a la finalización de la tarea diaria, es frecuente en la práctica encontrar varias marcas de extractor y botador en una misma vaina. Las marcas del extractor pueden ser importantes en los casos donde no es hallada el arma sospechosa, o cuando el inculpado niegue la propiedad o cualquier conocimiento sobre un arma, de la cual los experimentos de laboratorio han demostrado que es la utilizada en la comisión de un hecho.

Si se encuentran huellas de extractor y/o botador en una misma cápsula, que difieren notoriamente entre sí, indicaría que ha sido previamente accionada en armas diferentes. Debe recordarse además, que muchos casquillos pueden provenir de recarga y las huellas que ostenten son pasibles de multiplicarse. En los casos de revólveres, pistolas no automáticas y armas que no sean de repetición en general, difícilmente se localicen huellas de extractor y botador.

3. Huellas de botador

A veces estas marcas pueden ser confrontadas e identificadas convenientemente, pero con menos frecuencia que las de extractor. De cualquier manera su existencia debe ser investigada, ya que en caso contrario indicarán que el arma no tenía botador (de las cuales existen algunas), aunque éste no sería necesariamente el caso. Como ya se expresara, su posición en relación con las otras marcas, particularmente la de extractor, es importante para identificar la marca o tipo de arma.

4. Otras marcas o huellas

Siempre deben buscarse otras marcas. Defectos en la recámara donde el cartucho yace en el momento de la explosión producirán a veces huellas que se repiten en la cara cilíndrica externa de la cápsula servida. En oportunidades son combas más que marcas con características distintivas; no obstante ello, habrá que tratar de detectarlas. Por otro lado, ocurre que se encuentran huellas que sí tienen características distintivas. Las impresiones dejadas por los labios del estuche cargador en armas de carga automática a veces resultan de utilidad. Sin embargo, usualmente el resultado del examen de las marcas del estuche cargador es la confusión. Ocasionalmente, un defecto en el mecanismo de alimentación producirá una marca repetitiva útil para la identificación.

Suele ocurrir también que aparezcan *arañazos* en las cápsulas fulminantes debido al rozamiento con rebabas en el espaldón (próximas al orificio del percutor), que se producen en el momento de la eyección de la vaina o del giro del cilindro en los revólveres. De la misma manera, generalmente por motivos mecánicos anormales, el percutor suele dejar una huella de deslizamiento sobre la cápsula fulminante, por desplazamiento de ésta sobre aquél. Esto último es fácil de observar en escopetas, cuando el percutor queda desplazado hacia adelante luego del disparo (adherido por suciedad, o cualquier otro defecto mecánico), produciéndose la huella por rozamiento en el momento de abrir la escopeta para la extracción manual o mecánica de vainas servidas, hecho que no se da en las escopetas semiautomáticas.

Algunas combas o marcas en el culote se producen a veces donde el *block* de cierre o la corredera han sido seccionados para dar cabida al extractor. Otras veces se forman combas o ranuras en el cuerpo cilíndrico de la cápsula, provocadas por la porción de recámara que ha debido eliminarse para dar origen a la rampa por la que habrá de deslizarse el cartucho desde el cargador hacia aquélla. Esto último ayuda a determinar la orientación de la vaina tal como se encontraba colocada en el arma; ello, junto con las huellas de extractor y botador (cuando las hubiera), puede dar alguna información sobre el tipo de arma automática o semiautomática buscada. Aunque la comba de mención no permite identificar un espécimen en particular, dará una importante clave para determinar el tipo de arma utilizada.

Capítulo XVII
INFORMÁTICA FORENSE

I. Introducción

El valor de la información en una sociedad, y sobre todo en las empresas, es cada vez más importante para el desarrollo de negocios de cualquier organización. Derivado de este aspecto, la importancia de la informática forense –sus usos y objetivos– adquiere cada vez mayor trascendencia.

En un nivel básico, la informática forense es el análisis de la información contenida dentro de sistemas informáticos y creada con dispositivos de cómputo, por lo general en el interés de averiguar qué ocurrió, cuándo, cómo y quién estuvo involucrado. El propósito de las técnicas informáticas forenses es buscar, preservar y analizar información en sistemas de computación para lograr evidencias potenciales de un delito. Muchas de las técnicas usadas por los investigadores en el lugar del hecho tienen su contrapartida digital en la informática forense, aunque hay algunos aspectos únicos en la investigación basada en ordenadores.

El terreno de la informática forense es bastante joven. Hace años, los juzgados entendían que las pruebas halladas en las computadoras no eran muy diferentes a las evidencias convencionales. A medida que aquéllas fueron avanzando tecnológicamente, se observó que tales evidencias podían ser fácilmente corrompibles, destruidas o cambiables.

Se desarrollaron así herramientas específicas y procesos para buscar evidencias de delito en un ordenador, sin afectar la información que hubiera almacenada. Los expertos en esta tecnología trabajaron con científicos especializados en computadoras para intercambiar opiniones sobre procedimientos y herramientas apropiadas que se podrían utilizar para esta tarea. De tal manera, se fueron sentando las bases para crear la nueva informática forense.

Cada investigación de un ordenador es de alguna manera única y algunas pueden tomar días y otras meses. Algunos de los factores que pueden influir en el tiempo o extensión del estudio son:

- la experiencia de quienes realizan el trabajo;
- la cantidad de información que se deba clasificar a través de los discos duros, DVD, CD, u otros métodos de almacenamiento;
- el número de computadoras que se deba investigar;
- si los sospechosos han tratado o no de ocultar o borrar la información;
- la presencia de archivos encriptados (la criptografía –del griego κρυπτο *krypto*, "oculto", y γραφο *graphos*, "escribir", literalmente "escritura oculta"– es la técnica, bien sea aplicada al arte o a la ciencia, que altera las representaciones lingüísticas de un mensaje) o ficheros protegidos por contraseñas.

Se sugieren los siguientes pasos para recuperar evidencias en un ordenador sospechoso de contener evidencias que constituyen un delito:

1) Asegurar el sistema informático para mantener el equipo y los datos a salvo.
2) Hallar todos los ficheros y archivos del sistema, incluyendo aquellos que están encriptados, protegidos con contraseña, escondidos o borrados, pero que no estén todavía sobreescritos.
3) Hacer una copia de todos los archivos del sistema, tanto del disco duro como de todos los demás dispositivos que puedan almacenar información. Trabajar con las copias. El sistema original debe permanecer intacto.
4) Mediante el empleo de aplicaciones apropiadas, recuperar toda la información borrada ("deleteada") que se pueda.
5) Con programas diseñados al efecto, revelar el contenido de ficheros y archivos ocultos.
6) Desencriptar y acceder a información protegida.
7) Analizar el espacio o área no localizada/no usada en los discos de un ordenador, ya que podría contener archivos o ficheros relevantes.
8) Documentar cada paso o procedimiento, y preservar el material para mantenerlo intacto el tiempo que sea necesario.
9) Informar la condición física del sistema, y si algún dato estaba encriptado u oculto.

II. El ordenador

Una computadora o computador (del latín *computare* –calcular–), también denominado ordenador (del francés *ordinateur*, y éste del latín *ordinator*), es una máquina electrónica que recibe y procesa datos para convertirlos en información útil. Una computadora es una colección de circuitos integrados y otros componentes relacionados que puede ejecutar con exactitud, rapidez y de acuerdo a lo indicado por un usuario o automáticamente por otro programa, una gran variedad de secuencias o rutinas de instrucciones que son ordenadas, organizadas y sistematizadas en función a una amplia gama de aplicaciones prácticas y precisamente determinadas, proceso que se ha denominado con el nombre de programación y al que lo realiza se lo llama programador. Un ordenador es, pues, una máquina programable y sus dos características principales son:

1. Responde a un sistema específico de instrucciones de una manera bien definida.
2. Puede ejecutar una lista de instrucciones pregrabadas (un programa).

Ver imagen 40 en el Anexo fotográfico

Los ordenadores modernos son electrónicos y digitales. La maquinaria real, cables, transistores, y circuitos, se llama *hardware*; las instrucciones y los datos se llaman *software*.

Todos los ordenadores de uso general requieren los siguientes componentes de hardware:

Memoria: Permite almacenar, al menos temporalmente, datos y programas al ordenador.

Dispositivo de almacenamiento masivo (mass storage device): Permite que el ordenador conserve cantidades grandes de datos, en forma permanente. Los discos duros son un ejemplo de dispositivo de almacenamiento masivo.

Dispositivos de entrada (input devices): Generalmente teclado y ratón, el dispositivo de entrada es el conducto a través del cual los datos y las instrucciones se introducen en un ordenador.

Dispositivos de salida (output devices): La pantalla de visualización, la impresora o cualquier otro dispositivo que deja ver el resultado de lo que ha hecho el ordenador.

Unidad de proceso central (CPU): Es el cerebro del ordenador, es el componente que realmente ejecuta las instrucciones.

Además de estos componentes, muchos otros hacen posible que los componentes básicos trabajen juntos eficientemente. Por ejemplo, cada ordenador requiere un micro que transmita datos de una parte del ordenador a otra.

En general, los ordenadores se pueden clasificar por tamaño y potencia de la siguiente forma, aunque hay un solapamiento considerable:

Ordenador personal (personal computer): Un ordenador pequeño, para un solo usuario, basado en un microprocesador. Además del microprocesador, un ordenador personal tiene un teclado para introducir datos, un monitor para mostrar la información, y un dispositivo de almacenamiento para guardar datos.

Estación de trabajo (workstation): Una computadora de gran potencia para un solo usuario. Una estación de trabajo es como un ordenador personal, pero tiene un microprocesador más potente y un monitor de mejor calidad.

Miniordenador (minicomputer): Un ordenador para varios usuarios capaz de soportar centenares de usuarios simultáneamente.

Chasis (mainframe): Una computadora multiusuario de gran potencia capaz de soportar miles de usuarios simultáneamente.

Superordenador (supercomputer): Un ordenador extremadamente rápido que puede realizar cientos de millones de instrucciones por segundo.

III. BENEFICIOS DE LA INFORMÁTICA FORENSE

La informática forense permite la solución de conflictos tecnológicos relacionados con la seguridad informática y la protección de datos. Gracias a ella, las empresas obtienen soluciones a problemas de privacidad, competencia desleal, fraude, robo de información confidencial y/o espionaje industrial, consecuencia del uso indebido de las tecnologías de la información. Mediante sus procedimientos se identifican, aseguran, extraen, analizan y presentan pruebas generadas y guardadas electrónicamente para que puedan ser aceptadas en un proceso legal.

Cuando una empresa contrata servicios de informática forense puede perseguir objetivos preventivos, anticipándose al posible problema, u objetivos correctivos, para una solución favorable una vez que la vulneración y las infracciones ya se han producido.

Esta disciplina resultará aplicable, por ejemplo, con el propósito de realizar un análisis de la causa por la cual un sistema informático ha fallado o no está funcionando adecuadamente, o para saber quién es el responsable por el mal uso de los sistemas informáticos, o tal vez quién cometió un delito utilizando un sistema informático o contra el mismo. Las técnicas y metodologías se emplean para llevar a cabo investigaciones de computación, en el interés de resolver, por ejemplo, casos de homicidio, fraude financiero, etcétera.

En muchos casos, la información es obtenida durante una investigación informática forense que no suele estar disponible o visible por el usuario medio de la computadora, tales como los archivos borrados y fragmentos de datos/información que se pueden encontrar en el espacio asignado para los archivos existentes –conocido por los forenses de la computadora como espacio de holgura/flojedad–. Se necesitan habilidades especiales y herramientas para obtener este tipo de información o evidencia.

Simplemente abrir un archivo hace que éste cambie –el ordenador recuerda la hora y fecha en la que fue accedido–. Si un investigador toma un ordenador y comienza a abrir archivos y ficheros, no habrá manera de averiguar si cambiaron algo; por ende, en un caso de piratería informática que llegara a juicio, no tendría validez como prueba al haber alterado y modificado el estado del sistema informático.

Algunas personas piensan que usar información digital como evidencia no es buena idea. Si es tan fácil cambiar datos en un ordenador, entonces, ¿con qué fiabilidad va a usarse como prueba? Muchos países permiten pruebas informáticas en juicio y procesos, pero ello podría

cambiar si se demuestra en futuros casos que no son de confianza. Los ordenadores cada vez son más potentes, por lo que los campos dentro de la informática forense tienen que evolucionar constantemente.

En los comienzos de la informática, era posible que un investigador especializado navegara por todos los ficheros/archivos de un equipo, ya que la capacidad de almacenamiento era mucho más baja. Hoy, los discos duros de un ordenador pueden contener gigabytes o incluso terabytes de información, por ende, la tarea de investigación puede ser compleja. Los peritos en informática forense deben encontrar nuevas maneras de buscar evidencias, sin tener que dedicar demasiados recursos en el proceso.

La utilización de la informática forense como medida preventiva sirve a las empresas para auditar, mediante la práctica de diversas pruebas técnicas, que los mecanismos de protección instalados y las condiciones de seguridad aplicadas a los sistemas de información son suficientes. Asimismo, permite detectar las vulnerabilidades de seguridad con el fin de corregirlas. Cuestión que pasa por redactar y elaborar las oportunas políticas sobre uso de los sistemas de información facilitados a los empleados para no atentar contra el derecho a la intimidad de esas personas.

Por otro lado, cuando la seguridad de la empresa ya ha sido vulnerada, la informática forense permite recoger rastros probatorios para averiguar, siguiendo las evidencias electrónicas, el origen del ataque (si es una vulneración externa de la seguridad) o las posibles alteraciones, manipulaciones, fugas o destrucciones de datos a nivel interno de la empresa para determinar las actividades realizadas desde uno o varios equipos concretos.

Definiciones

La definición más técnica que podemos utilizar para describir la informática forense es la siguiente:

La preservación, identificación, extracción, interpretación y documentación de la prueba informática, para incluir las reglas de evidencia, los procesos legales, la integridad de las pruebas, el verdadero reporte de la información encontrada, y ofrecer la opinión de expertos en un tribunal u otros procedimientos jurídicos y/o administrativos en cuanto a lo que se encontró.

Preservación

Al realizar un análisis informático forense, debemos hacer todo lo posible para preservar el medio original y los datos/la información. Generalmente, esto implica hacer una imagen o copia forense de los medios originales, y llevar a cabo nuestro análisis en la copia con respecto al original.

Identificación

En la fase inicial, esto tiene que ver con la identificación de los posibles contenedores de los datos relacionados con la evidencia informática, tales como discos duros (periféricos o no), disquetes, CD, DVD, *pen-drives* y archivos de registro, para nombrar unos pocos. Se debe entender que una unidad de disco duro de computadora no es en sí misma una evidencia, es un contenedor posible de la misma.

En la fase de análisis, esto tiene que ver con identificar la información y los datos que son realmente pertinentes a la situación existente. Tamizar a través de gigabytes de información, conducir búsquedas de palabras clave, mirar a través de los archivos de registro, etcétera.

Extracción

Cualquier evidencia que se encuentre relacionada con la situación en cuestión tendrá que ser extraída de los medios y luego salvada en otra forma de medio, así como también impresa. Las distintas metodologías forenses incluyen la recogida segura de datos de diferentes medios digitales y evidencias digitales, sin alterar los datos de origen. Cada fuente de información se cataloga preparándola para su posterior análisis y se documenta cada prueba aportada. Las evidencias digitales recabadas permiten elaborar un dictamen claro, conciso, fundamentado y con justificación de las hipótesis que en él se barajan a partir de las pruebas recogidas.

Todo el procedimiento debe hacerse teniendo en cuenta los requerimientos legales para no vulnerar en ningún momento los derechos de terceros que puedan verse afectados. Ello para que, llegado el caso, las evidencias sean aceptadas por los tribunales y puedan constituir un elemento de prueba fundamental, si se plantea un litigio, para alcanzar un resultado favorable.

Interpretación

Es importante entender que casi cualquier persona puede realizar un "análisis" informático forense, algunas de las herramientas de interfaz gráfica de usuario disponibles hacen que sea extremadamente fácil. Ser capaz de encontrar pruebas es una cosa, la capacidad de interpretar correctamente es bien diferente. Se podrían escribir libros enteros citando ejemplos de cuando los expertos en informática forense malinterpretaron los resultados de un análisis forense. Citemos uno.

En un caso, los expertos de la fiscalía utilizaron una popular herramienta gráfica que vino con una secuencia de comandos de búsqueda de Internet para encontrar la actividad de la máquina. Cuando hicieron correr la escritura, literalmente encontraron cientos y cientos de "búsquedas" que supuestamente habían sido llevadas a cabo por el acusado.

Por lo tanto, el acusado había accedido deliberadamente a ciertos tipos de información relacionada con estas búsquedas –las mismas mostraron intentos/intención–.

Cuando los peritos de la defensa examinaron la misma evidencia, se dieron cuenta de que todas y cada una de estas "búsquedas" era en realidad un enlace y para nada una búsqueda. Los hipervínculos se formaron de manera que cuando se cliqueaba en un vínculo, fue buscada una base de datos para levantar la información más actual relacionada con el vínculo. La forma en que se formaron los enlaces dentro de la página fue lo que la herramienta de interfaz gráfica de usuario perfeccionó, ya que se formaron de manera similar a fragmentos y páginas web que se podían encontrar para indicar la actividad de búsqueda.

Los expertos de la fiscalía dieron por sentado que su herramienta automatizada contabilizaba cualquier variable, y sólo mostraría las búsquedas que habían sido llevadas a cabo. Un gran error. Estos expertos carecían de las habilidades técnicas para autenticar sus resultados, por lo que dependían por completo de una sola herramienta automatizada.

Esto conduce a una lección muy importante; los resultados de cualquier herramienta siempre deben ser cuidadosamente revisados por alguien versado en la tecnología subyacente para ver si lo que parece ser un pato en realidad es un pato.

En el mismo caso, los peritos de la defensa recuperaron resmas de correo electrónico que los expertos de la fiscalía no encontraron. Esto se debió al hecho de que estos últimos simplemente no sabían cómo encontrarlas.

Es interesante señalar que tanto los peritos de la defensa como los de la fiscalía utilizaron la misma herramienta primaria en su análisis. Las diferencias en lo que fue encontrado por un lado y por el otro, así como las diferencias en la interpretación, se debieron a los niveles de experiencia y educación de los expertos –no tenía nada que ver con la herramienta que fue utilizada–.

Documentación

La documentación debe ser conservada de principio a fin ni bien uno se involucra en un caso. Esto incluye lo que comúnmente se conoce como una forma de cadena de custodia, así como la documentación pertinente de lo que se hace durante el análisis. No podemos exagerar la importancia de la documentación cuando se está involucrado en una situación en la que está llevando a cabo un análisis forense informático, se recomienda establecer y mantener la mentalidad de que el caso o la situación va a acabar en los tribunales. Se va a necesitar bastante tiempo para tener la certeza de que se está guardando la documentación apropiada; hay que dar por sentado que se cuestionarán todos los aspectos del caso, y todo lo que uno hace.

Reglas/normas de la evidencia

Hay varias reglas/exámenes que los tribunales pueden aplicar a la metodología y el testimonio de un experto, a fin de determinar la admisibilidad, la fiabilidad y la relevancia. La prueba en particular variará de región en región e incluso de corte en corte dentro del mismo lugar. La mejor opción es pedir asesoramiento jurídico sobre las modalidades de prueba que se deben tener en cuenta, y familiarizarse con esta información desde el principio.

Si se están llevando a cabo investigaciones de computación para un empleador, lo mejor es trabajar lo más estrechamente posible con los asesores legales y los del departamento de recursos humanos antes y durante una investigación. No se sabrá todo lo necesario cuando se empieza a trabajar en este campo, ya que se trata de un proceso de aprendizaje.

La integridad de la evidencia

Esto tiene que ver con mantener el control sobre todo lo relacionado con el caso o situación. Estamos hablando de establecer y mantener una cadena de custodia, así como asegurarse de que no se altere o cambie el medio original. Además, no se puede hablar con otras personas que no están involucradas acerca de los detalles del caso.

Presentación de informes relativos a la información encontrada

Los hallazgos e informes deben basarse en técnicas y metodología probadas, y el perito, así como cualquier otro examinador forense competente, debería ser capaz de duplicar y reproducir los resultados.

Proporcionar opinión de expertos

Puede que se tenga que testificar o relatar los hallazgos y opiniones acerca de lo encontrado en un tribunal de justicia u otro tipo de procedimiento judicial o administrativo, para lo cual se debe recurrir a la opinión de expertos.

Dos tipos primarios de investigaciones en informática forense

Las técnicas y la metodología se utilizan en dos tipos principales de investigaciones: la primera es cuando la computadora fue utilizada como instrumento para cometer un delito o está involucrada en algún otro tipo de uso indebido; la segunda es cuando el equipo se utiliza como blanco de un delito –*hackeado* de una información robada, por ejemplo–. Cuando las técnicas y metodología de la informática forense se utilizan en esta situación para averiguar lo que sucedió, por lo general se lo llama respuesta a incidentes.

En el primer tipo de investigación, se puede o no estar presente cuando el dispositivo de computación se cierra para comenzar una investigación. Se pueden recibir los discos duros y otros medios para analizar.

En el segundo tipo de investigación, normalmente siempre se deseará capturar información que es extremadamente volátil, como la contenida en las conexiones de red de memoria RAM y la relativa a los procesos en ejecución.

Independientemente de la situación, y si las pruebas se utilizaran en un tribunal de justicia o como los motivos de una carta de amonestación, las técnicas, procedimientos y metodologías empleados deben ser básicamente los mismos.

Lo que comienza como una carta de amonestación dada a un empleado por uso indebido de recursos de computación de la empresa, puede terminar siendo una demanda contra el empleador.

Lo que empieza como una investigación sobre el acceso a Internet en los ratos libres puede revelar que se ha accedido a pornografía infantil.

Por estas razones se deben utilizar técnicas conocidas y probadas por cualquier trabajo realizado vinculado con la informática forense, y siempre acercarse a una situación como si se fuera a terminar en un tribunal de justicia o, posiblemente, se entregara el caso a la policía.

Activo, archivo y datos latentes

En la informática forense, hay tres tipos de datos que nos interesan: activo, archivo y latente.

Dato activo es la información que se puede ver. Los archivos de datos, programas y archivos utilizados por el sistema operativo. Éste es el tipo de datos más fácil para obtener.

Archivos de datos son aquellos que han sido copiados (*back up*), hechos copia de seguridad, y almacenados. Ello podría consistir en cintas de respaldo, CD, disquetes, o todo el disco duro, para citar algunos ejemplos.

Información/dato latente (también llamado ambiente) es la información en la que normalmente se necesitan herramientas especializadas para acceder. Un ejemplo sería la información que se ha eliminado o sobreescrito parcialmente.

Una investigación en un equipo de computación puede suponer observar a uno o más de estos tipos de datos en función de las circunstancias. La obtención de datos latentes es, por lejos, la investigación que más tiempo consume y la más cara.

La evidencia obtenida de una investigación y examen forense no se limita a lo que se encuentra o extrae de medios magnéticos, como discos duros, disquetes y cintas. La evidencia puede estar en forma visual en un monitor de computadora, impresiones, contraseñas escritas en pa-

pel, notas hechas en los manuales de computadora o software, o los registros de sistemas externos a la computadora en sí, como los servidores *proxy* o *firewalls*. Un perito informático siempre debe recordar que podría haber, y probablemente haya, pruebas relacionadas con la situación que es externa a la propia computadora. En algunas situaciones esta evidencia externa no sólo podría definir el caso, sino que incluso podría ser la mejor prueba que se pueda obtener.

Sector público, sector privado y consultoría

Hay tres áreas principales en las que se utiliza la informática forense: el sector público, el sector privado y la consultoría.

Sector público

En este caso, la informática forense es empleada en el sector público por el gobierno y el personal de las fuerzas de seguridad, para investigar y llevar a juicio los delitos. Los delincuentes están utilizando la tecnología informática al cometer delitos "tradicionales" tales como homicidios, violaciones, fraudes y robos de autos, por nombrar unos pocos; también la emplean para cometer delitos que no serían posibles sin los dispositivos de computación, tales como entrar en un sistema en red y el robo o alteración de datos, publicación de pornografía infantil, o acosar a alguien por correo electrónico.

Las computadoras pueden ser: objeto de un delito (el sistema del ordenador es atacado a través de Internet); la herramienta en la comisión de un delito (envío y recepción de pornografía infantil), o estar relacionadas con un delito (mantenimiento de registros sobre los domicilios que se han robado/hurtado). En cualquier caso, tanto en el gobierno como en las fuerzas de seguridad el uso de la informática forense crece toda vez que hay más delincuentes que están utilizando la tecnología informática. La evidencia obtenida es empleada cotidianamente por los fiscales para llegar a la condena de los delincuentes implicados en el fraude, el asesinato, el tráfico de drogas, la pornografía infantil, la malversación y el terrorismo, entre otros.

Sector privado

En el sector privado, las técnicas y metodologías de informática forense se utilizan para investigar los robos electrónicos, malversaciones, uso indebido de los recursos informáticos de los empleados, y el robo de secretos comerciales, entre otras cosas.

Quienes están en el negocio de seguros pueden usar la información obtenida de los sistemas informáticos para identificar el fraude en la remuneración del trabajador, casos de accidentes automovilísticos o personales, o un incendio provocado. También ha habido algunos casos donde fueron enviados correos electrónicos para delinear planes para fingir lesiones en la espalda y otras dolencias, con el fin de recibir dinero del seguro. Estos correos fueron utilizados para condenar a aquellos que hacían las afirmaciones falsas.

Consultoría

La mayor parte del trabajo que se realiza en este sentido es para individuos o firmas de abogados en calidad de asesoría. Algunos pueden argumentar que trabajar para un estudio de abogados debe estar en la categoría de sector privado, dado que los estudios jurídicos son empresas y corporaciones; otros, en cambio, opinan que el tipo de trabajo necesita su propia categoría debido a la singularidad del mismo.

IV. PROGRAMAS O HERRAMIENTAS QUE COMPLICAN LA TAREA DEL INVESTIGADOR INFORMÁTICO

Quienes comenten delitos informáticos utilizan programas y aplicaciones para dificultar la tarea de los peritos forenses y, en tal sentido, es necesario que los expertos conozcan estas herramientas de software, y sepan cómo deshabilitarlas para tener éxito y acceder a la información.

Estas técnicas a las que se está haciendo mención se refieren a cualquier método, artilugio o software designado para frustrar una investigación informática. Hay docenas de maneras para que la gente oculte la información. Algunos programas pueden engañar a los ordenadores cambiando la información en las cabeceras de los archivos; la cabecera de archivo es normalmente invisible a las personas, pero es extremadamente importante, porque le indica al ordenador a qué tipo de fichero está asociado el archivo. Por ejemplo, si se renombra un archivo ".avi" con una extensión de fichero ".JPG", el ordenador aún sabrá que el archivo es realmente un ".avi" por la información en la cabecera.

Algunos programas permiten cambiar datos en la cabecera para que el ordenador crea que es otro tipo de fichero.

Existen herramientas que pueden cambiar las etiquetas anexadas a los archivos; estas etiquetas o metadata incluyen información como, por ejemplo, cuándo se creó un fichero o fue alterado. Normalmente no se puede cambiar esta información, pero cierto software sí permite alterar estas etiquetas.

Otros programas dividen archivos en pequeñas secciones y esconden cada sección al final de otros archivos. También es posible esconder un archivo en otro. Los ficheros ejecutables (ficheros que el ordenador reconoce como programas) son particularmente problemáticos. Los programas llamados empaquetadores pueden insertar estos ejecutables en

otros tipos de archivos, y hay otras aplicaciones que pueden fundir múltiples ejecutables en uno solo.

Otra manera de ocultar datos es la encriptación, lo cual implica usar un completo conjunto de reglas llamado algoritmo para hacer los datos incomprensibles. De tal manera, un algoritmo de este tipo puede hacer que un fichero de texto se convierta en un cúmulo de números y símbolos sin sentido, y alguien que quiera leer los datos necesitará una "llave" o clave para volver a convertir esos números y símbolos en texto legible. De no poseer las claves adecuadas, los investigadores necesitarán programas especiales designados para romper el algoritmo de encriptación del archivo, lo que demandará mayor o menor tiempo de acuerdo a la sofisticación del algoritmo.

Algunos de los programas y dispositivos que hacen posible el análisis de un sistema informático en un supuesto de delito son:

- los software o hardware de escritura, que copian y reconstruyen los discos duros *bit* a *bit*. Tanto las herramientas software como los de hardware eluden cambiar cualquier información. Algunas herramientas requieren que los investigadores retiren los discos duros del ordenador del sospechoso antes de hacer una copia.

- El software de imagen de disco graba la estructura y el contenido de un disco duro. Con este software no sólo es posible copiar la información del disco, sino también preservar la organización de los ficheros y su relación con los otros archivos del sistema.

- Los investigadores utilizan programas de recuperación de archivos para buscar y restaurar datos borrados. Estos programas localizan los datos que el ordenador ha marcado como eliminados pero que aún no han sido sobreescritos. Algunas veces esto resulta en un archivo incompleto, lo cual puede ser mucho más difícil de analizar.

- Hay varios programas diseñados para preservar la información en la memoria RAM de un ordenador. De forma distinta a un disco duro, los datos en la RAM dejan de existir cuando alguien apaga el ordenador. Sin el software adecuado, esta información puede perderse fácilmente.

- Las herramientas de *hashing* hacen comparaciones de los discos duros originales con las copias. Analizan los datos y les asignan un número único. Si los números encriptados del original y la copia coinciden, la copia es una réplica perfecta del original.

- El software de análisis revisa toda la información en el disco duro buscando contenido específico. Algunos programas de análisis buscan y evalúan las *cookies* de Internet, lo cual puede dar al investigador información sobre la actividad del sospechoso en la red.

- El software decodificador de información encriptada y los famosos programas para *craquear* contraseñas son muy utilizados y útiles para acceder a los datos protegidos. Los investigadores utilizan varios programas de este tipo, los cuales se actualizan cada poco tiempo.

V. GLOSARIO BÁSICO DE TÉRMINOS DE INFORMÁTICA

Este glosario ayudará a entender los términos, acrónimos y definiciones más usados para las partes de software y hardware en el mundo de la informática. Muchas de las expresiones se han dejado en inglés, ya que será más habitual oírlas en este idioma.

ActiveX: Es una tecnología de Microsoft que permite añadir nuevo software cuando se accede a una página web.

ADSL: Es una tecnología de transmisión de datos que permite enviar y recibir información a gran velocidad por los hilos telefónicos de cobre convencionales.

Antivirus: Es un software que se instala en el ordenador y que permite prevenir que programas diseñados para producir daños, también llamados virus, afecten el equipo. También tiene la misión de limpiar ordenadores ya infectados.

ASCII: Es un conjunto de normas de codificación de caracteres mediante caracteres numéricos, de amplia utilización en informática y telecomunicaciones.

Aplicación: Es simplemente otra forma de llamar a un programa informático. Se instala en el ordenador y permite realizar tareas de todo tipo, desde mandar un correo hasta gestionar la contabilidad de una empresa.

Avatar: En Internet y otras tecnologías de comunicación modernas, se denomina avatar a una representación gráfica, generalmente humana, que se asocia a un usuario para su identificación. Los avatares pueden ser fotografías o dibujos artísticos, y algunas tecnologías permiten el uso de representaciones tridimensionales.

Backup: También llamado copia de seguridad, es la tarea de duplicar y guardar cualquier tipo de datos o información en otro lugar (disco, servidor...) para que pueda ser recuperado en caso de la pérdida de la información original.

Bandwidth: Ancho de banda. Es la cantidad de datos que pueden ser enviados en un espacio de tiempo determinado a través de un circuito o conexión.

Banner: Es una imagen o gráfico que permite a una empresa anunciarse. Suele ir a un lado, arriba o debajo de una página web.

Bit: Es la unidad mínima de información digital que puede ser tratada por un ordenador.

Bluetooth: Es un sistema de conexión inalámbrica para voz y datos. Es utilizado en distancias cortas. Su límite de acción es de unos 10 metros.

Browser: Los programas que permiten ver las páginas de la red global o WWW se llaman en inglés browsers. El verbo to browse viene de una antigua palabra francesa que significa "brote de una planta", y su sentido inicial era "mordisquear, ramonear", que es lo que hacen los herbívoros. De ahí pasó a significar "echar una ojeada" (por ejemplo, a las cosas de una tienda) u "hojear" las páginas de un libro.

Un navegador o navegador web (del inglés, web browser) es un programa que permite ver la información que contiene una página web (ya se encuentre ésta alojada en un servidor dentro de la World Wide Web o en un servidor local).

Bug: Se refiere a los errores existentes en cualquier tipo de software o hardware.

Byte: Es una unidad de medida de información digital que se compone de 8 bits.

Caché: En informática, caché es un conjunto de datos duplicados de otros originales, con la propiedad de que los datos originales son costosos de acceder, normalmente en tiempo, respecto a la copia en caché. Cuando se accede por primera vez a un dato, se hace una copia en el caché; los accesos siguientes se realizan a dicha copia, haciendo que el tiempo de acceso medio al dato sea menor.

Es una memoria existente en el disco duro que permite guardar copias temporales de archivos para poder acceder a ellos en ciertos momentos. Cuando se accede a Internet, esto resulta muy útil ya que puede guardar algunos elementos de páginas web para no tener que cargarlos en la próxima visita a la misma página.

CSS: Es un formato de archivo con varias instrucciones HTML que permite dar una presencia homogénea a varias páginas web sólo preocupándose de modificar dicho archivo CSS.

Certificación: Es un método por el cual una entidad o persona garantizan que un programa es de quien realmente dice ser.

Chat: Es una forma de comunicación en tiempo real (simultáneo), entre varias personas a través de Internet.

Chip: Es un circuito integrado formado por transistores y otros elementos electrónicos.

Computadora: Es un dispositivo electrónico que permite procesar información y datos con programas diseñados para ello.

Cookie: Una cookie (literalmente, galleta) es un fragmento de información que se almacena en el disco duro del visitante de una página web a través de su navegador, a petición del servidor de la página. Esta información puede ser luego recuperada por el servidor en posteriores visitas. En ocasiones también se la llama "huella". Las inventó Lou Montulli, un antiguo empleado de Netscape Communications.

Copyright: Son los derechos de autor de un determinado producto.

CPU: Abreviatura de Central Processing Unit (unidad de proceso central), se pronuncia como letras separadas. La CPU es el cerebro del ordenador. A veces se lo menciona simplemente como procesador o procesador central, la CPU es donde se producen la mayoría de los cálculos. En términos de potencia del ordenador, la CPU es el elemento más importante de un sistema informático.

Criptografía: Es una forma de proteger información de vistas ajenas cuando se están transfiriendo archivos por la red.

Directorio: Es un espacio lógico del ordenador donde se guarda y almacena información.

DOS: Es una familia de sistemas operativos para PC. El nombre se compone de las siglas de disk operating system ("sistema operativo de disco"). Fue creado originalmente para computadoras de la familia IBM PC, que utilizaban los procesadores Intel 8086 y 8088, de 16 bits, el primer sistema operativo popular para esta plataforma. Contaba con una interfaz de línea de comandos en modo texto o alfanumérico, vía su propio intérprete de órdenes, command.com. Probablemente la más popular de sus variantes sea la perteneciente a la familia MS-DOS, de Microsoft, suministrada con buena parte de los ordenadores compatibles con IBM PC, en especial aquellos de la familia Intel, como sistema operativo independiente o nativo, hasta la versión 6.22 (bien entrados los 90), frecuentemente adjunto a una versión de la interfaz gráfica MS Windows de 16 bits, como las 3.1x.

Dominio: Estrictamente hablando, es un nombre que representa una entidad lógica y que puede estar formado por otros dominios formando un árbol o estructura jerárquica.

Download: Descarga. Se refiere al proceso de transferir datos desde un punto remoto (servidor u otro ordenador) hasta el ordenador propio.

Driver: Controlador. Programa que generalmente forma parte del sistema operativo y que controla una pieza específica de hardware. Software utilizado para conectar un dispositivo hardware con un sistema operativo.

E-Book: Es un libro pero en formato digital y con la peculiaridad de que no se compra en una librería convencional sino por Internet.

Firewall: Es un dispositivo que asegura las comunicaciones entre usuarios de una red e Internet.

Firmware: Conjunto de instrucciones integrado en el hardware que controla y dirige actividades de la memoria del microprocesador.

Formatear: Es el proceso de preparar un disco duro para que se pueda instalar el sistema operativo.

Fragmentación: El sistema operativo almacena los datos de un fichero o archivo concreto en muchas partes del disco, dejando grandes espacios entre los registros. Al fragmentar, se "colocan" todos esos espacios al principio del disco y de forma ordenada.

Gráficos: Son dibujos e imágenes instalados en el ordenador.

Hardware: Hace referencia a la parte física o sólida de un ordenador u otro elemento informático.

HTML: Siglas de HyperText Markup Language (Lenguaje de Marcado de Hipertexto), es el lenguaje de marcado predominante para la elaboración de páginas web. Es usado para describir la estructura y el contenido en forma de texto, así como para complementar el texto con objetos tales como imágenes. HTML se escribe en forma de "etiquetas", rodeadas por corchetes angulares (<,>). HTML también puede describir, hasta cierto punto, la apariencia de un documento, y puede incluir un script (por ejemplo, Javascript), el cual puede afectar el comportamiento de navegadores web y otros procesadores de HTML.

HTML también es usado para referirse al contenido del tipo de MIME text/html o más ampliamente como un término genérico para el HTML, ya sea en forma descendida del XML (como XHTML 1.0 y posteriores) o en forma descendida directamente de SGML (como HTML 4.01 y anteriores).

Interface: Es el punto de comunicación entre dos elementos electrónicos o informáticos. Muchas veces se hace referencia a él como puerto. También se podría definir como el punto de contacto entre el usuario, el ordenador y el programa, por ejemplo, el teclado o un menú.

Internet: Es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP, garantizando que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única, de alcance mundial. Sus orígenes se remontan a 1969, cuando se estableció la primera conexión de computadoras, conocida como ARPANET, entre tres universidades en California y una en Utah, Estados Unidos.

Uno de los servicios que más éxito ha tenido en Internet ha sido la World Wide Web (WWW, o "la web"), hasta tal punto que es habitual la confusión entre ambos términos. La WWW es un conjunto de protocolos que permite, de forma sencilla, la consulta remota de archivos de hipertexto. Ésta fue un desarrollo posterior (1990) y utiliza Internet como medio de transmisión.

Existen, por tanto, muchos otros servicios y protocolos en Internet, aparte de la web: el envío de correo electrónico (SMTP), la transmisión de archivos (FTP y P2P), las conversaciones en línea (IRC), la mensajería instantánea, la transmisión de contenido y comunicación multimedia –telefonía (VoIP), televisión (IPTV)–, los boletines electrónicos (NNTP), el acceso remoto a otros dispositivos (SSH y Telnet) o los juegos en línea.

ISP: Las siglas significan Internet Service Provider (Proveedor de Servicios Internet), por ende es una organización o empresa que tiene como misión dar acceso a Internet y proporcionar ciertos servicios añadidos a usuarios o empresas.

IP: Numero de 32 bits que identifica a ordenadores o equipos de red en Internet.

Mail: Correo. Carta escrita virtual que se puede mandar de un ordenador a otro.

Memoria ampliada: Memoria superior a los 640 kilobytes de memoria convencional, utilizada normalmente por el sistema operativo y las aplicaciones.

Menú: Es una lista de opciones para que una persona elija una acción. Es interactivo con el usuario.

Microprocesador: Componente de hardware que contiene un solo circuito integrado que lleva a cabo instrucciones.

Módem: Dispositivo que sirve para conectar con Internet. Lo que hace es modular los datos digitales para su transmisión por líneas telefónicas convencionales para después remodular la señal a su llegada.

Pantalla: Monitor CRT, de plasma, LCD u otro dispositivo de reproducción de imágenes que el ordenador utiliza como dispositivo de salida de visualización.

PCMCIA: Hace referencia a las tarjetas de memoria utilizadas en los ordenadores personales.

Píxel: Es la unidad más pequeña con la que se forman las imágenes.

Placa base: La orbea base, orbea madre, tarjeta madre (en inglés motherboard o mainboard) es una tarjeta de circuito impreso a la que se conectan las demás

partes de la computadora. Tiene instalados una serie de circuitos integrados, entre los que se encuentra el chipset, que sirve como centro de conexión entre el procesador, la memoria RAM, los buses de expansión y otros dispositivos.

Va instalada dentro de una caja que por lo general está hecha de chapa y tiene un panel para conectar dispositivos externos y muchos conectores internos y zócalos para instalar componentes dentro de la caja.

La placa base, además, incluye un software llamado BIOS, que le permite realizar las funciones básicas, como pruebas de los dispositivos, video y manejo del teclado, reconocimiento de dispositivos y carga del sistema operativo.

Plug and Play: Es un método por el cual el ordenador reconoce automáticamente un nuevo dispositivo insertado.

Protocolo: Conjunto de reglas que establecen la temporización y el formato del intercambio de datos.

Puerto serie: También llamado puerto COM. Es un conector en la parte trasera de la caja donde se pueden conectar algunos dispositivos como el mouse, un módem o una impresora.

ROM: Es una memoria del ordenador que se encarga de ciertas funciones básicas del ordenador.

Sistema informático: Es el conjunto de elementos hardware, software y periféricos que, conectados entre sí, forman un ordenador.

Sistema operativo: Un sistema operativo (SO) es un software que actúa de interfaz entre los dispositivos de hardware y los programas de usuario o el usuario mismo para utilizar un computador. Es responsable de gestionar, coordinar las actividades y llevar a cabo el intercambio de los recursos y actúa como intermediario para las aplicaciones que se ejecutan.

Software: El conjunto de programas, procedimientos y documentación asociado a un sistema informático.

Tarjeta: Es una placa electrónica que va normalmente conectada a la placa base y sirve para realizar ciertas funciones.

VGA: Video Graphics Array (VGA), Sistema gráfico de pantallas. Se trata de un adaptador de video estándar que permite ejecutar cualquier programa software de los más conocidos.

Capítulo XVIII

INVESTIGACIÓN DE SUCESOS VIALES. ACCIDENTOLOGÍA VIAL

I. Introducción

Normalmente es deber de la policía investigar los accidentes y obtener cualquier evidencia posible. En tal sentido, toda investigación debe estar conformada por tres partes importantes:

a) Informe de los hechos, presentado por un oficial de policía; en este informe deberían figurar los descubrimientos de la policía, las afirmaciones de los testigos y de las víctimas, información del escenario, condiciones de la ruta, temperatura del tiempo en el momento del accidente, descripción de las partes involucradas y cuándo ocurrió el accidente; además, el informe debe contener información sobre el estado de los vehículos (neumáticos, llantas, luces, daños, etcétera).

b) Documentación completa y detallada de la situación y de los daños causados.

c) Recolección y preservación de las evidencias materiales.

En los accidentes donde hay únicamente lesiones corporales insignificantes, el oficial de la policía que hace el informe lo puede elaborar por sí mismo sin ayuda suplemententaria; en los accidentes de tránsito en donde los accidentados presentan lesiones corporales de alguna consideración, se necesita un grupo especial de investigadores (peritos de la especialidad), que con el fin de asegurar y conservar cualquier evidencia siempre lleven consigo una cámara estereométrica.

Para obtener un buen contraste en las tomas fotográficas, todas las huellas detectadas del accidente se deben enfatizar con un marcador de polvo de yeso, luego tomar las estereografías en el sitio del accidente y finalmente analizar en el laboratorio.

La ropa de las víctimas, el calzado, el cabello/pelo o tejidos, las partes rotas del automóvil, tales como espejos, laterales, faroles, llantas dañadas, cinturones de seguridad, tacómetros, etc., es material de evidencia que debe ser analizado en el laboratorio con los diferentes métodos de investigación utilizados para resolver casos criminales; los resultados de estos análisis se registran a manera de informes elaborados por expertos forenses.

Lo más importante de recordar en todos los accidentes de tránsito es la búsqueda y aseguramiento de las evidencias, ya que si ocurren fallas u omisiones durante esta etapa no podrá compensarse ni siquiera con los métodos de laboratorio más sofisticados. En la búsqueda de la evidencia es importante contar con buenas fuentes de luz, ya sea natural o artificial. La longitud total de la huella de una frenada o de una patinada se puede ver con frecuencia sólo si se examina la evidencia en un ángulo plano con buena fuente de luz y mediante un cuidadoso examen de las huellas o marcas dejadas por las llantas: las irregularidades tales como fracturas, interrupciones, intersecciones aparecen reveladas allí; en general estas irregularidades son producidas por influencias externas, como por ejemplo el paso de un peatón. La ubicación de estas huellas puede indicar el punto exacto de colisión en una forma mucho más precisa que cualquier otro cálculo.

Con el fin de asegurar la evidencia, un experto debe ser quien examine el escenario de un accidente en forma muy cuidadosa, ya que de pronto puede reconocer cualquier indicio o huella que no fue notada anteriormente o puede descubrir en el sitio menos esperado alguna evidencia que puede ser la pieza clave que completa y ayuda a resolver el caso.

En todos los accidentes, los objetos involucrados deben ser verificados de una forma muy escrupulosa; en estos sitios muchas veces pueden encontrarse fibras textiles que pueden compararse con la ropa de las víctimas por medio de los métodos microscópicos y microespectrofotométricos; se utilizan también otras formas y otros métodos adecuados para buscar otros indicios o huellas; asimismo, el examen de los filamentos de las lámparas después de un accidente puede dar indicios muy valiosos de si una lámpara estaba encendida o no en el momento del accidente.

Un filamento roto en estado frío presenta en su fractura una estructura cristalina típica, y en un filamento roto en estado caliente, frecuentemente aparecen huellas de óxido de tunsgteno amarillo, considerado en las partes más frías, especialmente en los electrodos y en el escudo del filamento del rayo bajo.

Otra de las averiguaciones que han dado bastante resultado son los cinturones de seguridad; esta investigación no solamente ayuda a resolver la pregunta de si un pasajero estaba amarrado o no.

Cuando quiera que sea posible una reconstrucción forense de accidentes de tránsito, cualquier experto o testigo forense deberá basarse en todo un rompecabezas de huellas para obtener un cuadro claro libre de contradicciones, ya que la persona responsable por lo general se aprovecha de estas situaciones, bien sea en forma consciente o inconsciente para colocarse en una posición favorable; así que un registro confiable por parte de la policía y un examen muy sofisticado de la evidencia del accidente es con frecuencia la única posibilidad que se tiene para presentar los hechos en una forma objetiva.

A manera de síntesis, digamos que el desarrollo de la investigación de un suceso vial tiene como objetivo fundamental la determinación científica de las causales que le dieron origen.

II. ACCIDENTOLOGÍA VIAL

Recurriendo al diccionario de la lengua castellana podemos determinar que la palabra *accidente* significa: estado o calidad no esencial en una cosa; suceso imprevisto que altera el orden normal de algo; suceso eventual o acción de que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas; etcétera.

La palabra *vial,* por su parte, significa: perteneciente o relativo a la vía; calle formada por dos filas paralelas de árboles u otras plantas.

En cuanto a *logía,* proviene del griego *logos,* que significa: palabra, razón, raciocinio, lenguaje, estudio, tratado, tratamiento, etcétera.

Consecuentemente con todo lo hasta aquí expresado, podemos decir que la accidentologia vial es el estudio y tratamiento en forma integral de los accidentes de tránsito. Obviamente, aun no perteneciendo a la categoría de accidentes, no podemos excluir de estos estudios integrales los hechos dolosos.

La accidentología es una técnica que se nutre de las ciencias clásicas, principalmente de la física, la matemática, la ingeniería, la psicología y otras, en las que se apoya tecnológicamente. El estudio de un accidente vial se basa en poder determinar científicamente cuál o cuáles son los factores elementales o básicos que tuvieron incidencia en su producción. Estos tres factores elementales son: el vehículo, el hombre y el camino. La relación de incidencia entre esos factores puede ser única en cada elemento o, en su defecto, dichos factores pueden estar interrelacionados: la incidencia que el vehículo produce sobre el hombre y la que éste ocasiona sobre el vehículo; la que el camino produce sobre el hombre y el vehículo.

En lo que atañe al hombre, podemos marcar tres estados fundamentales que influyen, ya sea para producir o evitar un accidente: el conocimiento, el estado físico y el estado psíquico.

a) El hombre y el conocimiento

Nos referiremos tanto al conductor como al peatón (dado que ambos intervienen en el evento) y directamente al conocimiento de las normas de tránsito existentes, al hecho de saber leer y escribir, pues un conductor que no cuente con estos mínimos conocimientos no podrá interpretar las mencionadas normas, ni el sistema de señalización vial y, llegando a lo más simple, ni siquiera podrá leer el velocímetro de su rodado.

En el caso del peatón, no podrá leer, por ejemplo, el cartel de "PARE" que lleva un guía escolar.

b) El hombre y el estado físico

Es tan importante tanto para el conductor como para el peatón. Un individuo que carezca de una extremidad (si bien los adelantos técnicos hacen posible la conducción de un vehículo en tales circunstancias) no conducirá de la misma forma que una persona con todos sus miembros. De la misma manera, un conductor o un peatón que padezca un estado gripal, por ejemplo, verá disminuidos sus reflejos, o sea que influirá en el tiempo de reacción, que más adelante trataremos.

c) El hombre y el estado psíquico

Este estado influye en la pérdida de reflejos y en el tiempo de reacción, ya que una persona con problemas particulares que afecten su psiquis los trasladará a su manejo en la vía pública, ya sea como conductor o como peatón.

d) El vehículo

Su incidencia directa en el accidente se manifiesta por la mala conservación del mismo, o bien por no contar con aquellos elementos que podrían haber disminuido o prevenido la lesión. Los elementos constitutivos de un vehículo pueden agruparse en dos grandes ramas:

1. Elementos de seguridad activa

Son las partes del rodado indispensables y elementales para el buen funcionamiento del mismo, cuyo deterioro puede producir su no funcionamiento o bien un accidente fatal. Tales elementos son: el motor, la transmisión (embrague), el sistema de frenos, las ruedas, los *airbags*, etcétera.

2. Elementos de seguridad pasiva

Son aquellos que implementos de usarlos, amortiguarían golpes, evitarían o disminuirían lesiones, por ejemplo: casco, apoyacabeza, cinturón de seguridad, silla portabebé, balizas, etcétera.

e) El camino

Una calle en mal estado puede producir un accidente. Un bache en un lugar inesperado nos ocasiona una reacción de movimientos bruscos con respecto al volante, que puede llevarnos a impactar con otro vehículo o contra una persona.

Por otro lado, si discernimos que una maniobra brusca puede ser peligrosa y optamos por continuar sin esquivar el bache, la pérdida de estabilidad, dirección, etc., del vehículo (proporcional a las dimensiones del bache y a la velocidad del rodado) o bien la rotura de algún sistema, ofrecen la posibilidad de colisionar.

Debemos considerar también la falta o el hundimiento de las tapas de las bocas de desagües o cualquier protuberancia inesperada en los carriles de circulación.

Según su capa superficial, los diferentes tipos de caminos pueden enumerarse de la siguiente manera: concreto, asfáltico o alquitrán, adoquinado, piedra compactada, grava, escoria, piedra, hielo, nieve y reja metálica. De acuerdo con sus características y con la humedad ambiente, varían los factores de adherencia.

f) El factor humano

A los conductores y peatones se los considerará conjuntamente. En general, las mismas circunstancias personales que hacen que los conductores sufran accidentes son válidas para los peatones. El comportamiento de uno u otro está muy ligado al factor psíquico. Las condiciones de ambos se combinan a menudo con otras de la carretera o del vehículo, hasta formar una combinación de factores causantes del accidente.

1. La personalidad

Puede definirse sintéticamente como el conjunto de cualidades que explican el comportamiento del individuo. Interesan principalmente los rasgos o características que distinguen a una persona de otra. En relación con los accidentes de tránsito, revisten suma importancia dos aspectos de la personalidad: 1) la capacidad natural mental y física; 2) los conocimientos y aptitudes que determinan el modo de pensar y de sentir de las personas.

La personalidad se ve afectada también por muchos factores temporales, tales como intoxicación, medicamentos, fatiga, enfermedades, etcétera.

2. La motivación

Es un concepto psicológico que explica el porqué de un determinado comportamiento, es además un ensayo mental preparatorio de una acción para animar o animarse a ejecutarla con interés y diligencia.

3. La actitud

Es pasible de ser definida como un modo más o menos permanente de pensar y sentir acerca de las cosas. Normalmente, las actitudes se aprenden, y pueden ser buenas o malas para la conducción de vehículos, según se ajusten o no a las normas de seguridad. Algunas actitudes y motivaciones específicas que tienden a crear un clima de inseguridad en las calles y rutas pueden ser el exhibicionismo, la inseguridad y la conducción temeraria.

4. La emoción

La emoción o el estado emocional es otro concepto que ayuda a explicar el comportamiento del conductor. Se podría definir como la manera de sentirse acerca de las cosas, ser agradable o no y poseer distintos grados de intensidad. En plena conducción puede degenerar en un comportamiento peligroso. El conductor puede verse afectado por diferentes clases de emociones: la pesadumbre, la ira y el temor.

Todos estos elementos influyen en la reacción o tiempo de reacción del conductor.

g) El factor psicológico: distracciones, intoxicaciones, alcohol, monóxido de carbono, fatiga o cansancio

Una distracción puede provenir de algo que el conductor oiga, sienta, toque o piense, que aleja su mente y a veces su vista de aquello en lo que debe poner toda su atención, por ejemplo, una piedra que golpea en el parabrisas, encender un cigarrillo, carteles o anuncios publicitarios, observar/consultar el GPS, hablar por teléfono celular, etcétera.

Ciertos productos químicos ingeridos por la persona, muchas enfermedades y la fatiga, exigen determinados esfuerzos en la mayor parte de los elementos de la personalidad, que son importantes para una conducción segura. Entre los distintos efectos se encuentran: el decaimiento de las fuerzas, el embotamiento de los sentidos, la lentitud de pensamiento o reflejo, y sobre todo un control más difícil de las emociones. Dentro de los productos que generan intoxicación, podemos citar el alcohol, los narcóticos, las drogas que disminuyen o aumentan la capacidad cerebral, y el monóxido de carbono, entre otros.

Tampoco hay que descartar enfermedades tales como la diabetes, la epilepsia, dolencias cardíacas, etcétera.

El alcohol, aun ingerido en pequeñas dosis, entorpece la capacidad del conductor para resolver problemas en el momento de la conducción. Las personas bajo la influencia de aquél están más propensas a sufrir accidentes. Una misma cantidad de alcohol afecta más a unos que a otros, e incluso una misma persona no acusa los mismos efectos en todos los momentos. Ello dependerá de la capacidad para absorber el elemento con más lentitud o para quemarlo en el cuerpo con mayor rapidez (también depende de la ingesta previa, su condición física, etcétera).

Este elemento afecta las emociones y reduce la capacidad para tomar decisiones correctas o anticiparse a situaciones peligrosas. La persona da rienda suelta a sus emociones, parece estar menos cohibida y en estado eufórico, al menos en los primeros momentos; posteriormente, se reduce la agudeza visual y la capacidad para distinguir los colores, sobre todo cuando el alcohol se combina con otros tóxicos, como el monóxido de carbono.

1. Límites de alcoholemia reconocidos

La cantidad de alcohol en la sangre no tiene más que un valor indicador, y sólo constituye un elemento de diagnóstico legal, el cual debe tener en cuenta todos los datos de información y las indicaciones siguientes:

Alcoholemia inferior a 0,5 cm^3 ‰ (0,37 g) = intoxicación inaparente.

Alcoholemia comprendida entre 0,5 y 2 cm^3 ‰ (0,37 a 1,5 g) = presunción de trastornos tóxicos más o menos graves.

Alcoholemia superior a 2 cm^3 ‰ (0,15 g) = borrachera en la mayoría de los casos.

No hay que atribuir todos los actos anormales del conductor a los efectos del alcohol. Existen algunas otras condiciones que pueden provocar un comportamiento similar a los que produce la intoxicación por alcohol, como, por ejemplo, ataque epiléptico, coma diabético, etcétera.

2. Monóxido de carbono

En el caso de un conductor de vehículos, la intoxicación por monóxido de carbono (CO) puede provenir de los escapes de gas del rodado o bien del humo excesivo del cigarrillo mientras se conduce con las ventanillas cerradas. Los síntomas varían con las personas y su absorción conduce a mareos, dolor de cabeza, debilidad, dilatación de las pupilas y rigidez muscular.

3. Fatiga o cansancio

La fatiga o cansancio, producido por largos viajes o por tareas excesivas antes de la conducción, puede provocar un accidente, ya que quienes lo padecen pueden acusar pobre discernimiento de las cosas, torpeza, doble visión, habla dificultosa, falta de coordinación, reflejos muy lentos, audición disminuida, etcétera.

h) Accidentes por imprevistos (enfermedades)

Dentro de los numerosos accidentes por imprevistos que guardan relación con enfermedades, podemos sintéticamente citar los siguientes:

1. Dolencias cardíacas

Suelen ocurrir con más frecuencia en personas de avanzada edad o de peso excesivo. En ocasiones el ataque cardíaco va acompañado de dolor, náuseas, vómitos, desvanecimiento, etcétera.

2. Epilepsia

Es una afección del sistema nervioso. Se presenta en forma de convulsiones, pérdida momentánea del sentido, caída, etcétera.

3. Diabetes

Los ataques se caracterizan por una excesiva sed, pérdida de las fuerzas y mucho apetito. Cuando se produce el coma, va precedido de dolor de cabeza, irritabilidad, vómitos y dolor abdominal.

i) Cinturones de seguridad

Los cinturones de seguridad continúan ganando el reconocimiento de ser la medida más efectiva de protección personal disponible para reducir o prevenir lesiones en casos de accidente.

El cinturón, correctamente instalado y ajustado luego de su pertinente aprobación, puede reducir la gravedad de la lesión, evitando que la persona se golpee contra el interior del vehículo o que sea lanzada fuera de él.

Cuando un rodado choca de frente, el o los pasajeros resultan impulsados hacia adelante a la misma velocidad que la que poseía el vehículo al momento del impacto. El cinturón de seguridad mantiene sujeto a quien lo porta a fin de aminorar la violencia de la detención brusca. También brinda mayores posibilidades de mantener al individuo consciente y, por ende, más capacitado para poder escapar del peligro.

Los cinturones suelen estar construidos con dos o más cintas de tejido muy resistente, de longitud adecuada y sujetas mediante bridas a los anclajes convenientemente dispuestos en la carrocería.

Hay de diversos tipos:

Abdominales: poseen distintos puntos de sujeción al suelo.

Bandolera: sujetan transversalmente el tórax; van fijados a un punto del suelo y el otro a un parante central.

Combinados: sujetan combinando los dos anteriores.

Combinados de cuatro y seis puntos: sujetan el abdomen, los hombros y las piernas mediante diferentes puntos de fijación (ejemplo: pilotos de aviones).

Todos los cinturones mencionados pueden poseer sistema de enrollamiento automático.

Se denominan *inerciales* aquellos con sistemas que permiten desarrollar movimientos lentos, pero que se bloquean cuando se produce un desplazamiento violento del cuerpo hacia adelante (frenada, desaceleración brusca, etcétera).

Por lo general todos ellos deben resistir 2300 kg a la fuerza de tracción.

j) Falta de visibilidad

Suele ser motivo de accidentes el hecho de no tener buena visión de lo que está aconteciendo, a una distancia prudencial, de forma tal de poder concretar con éxito determinada maniobra.

La falta de visibilidad puede obedecer a diversos factores, entre ellos:

– suciedad en el parabrisas;

– parabrisas mal pulido o rayado.

Ambas situaciones conllevan a la anulación total o parcial de la visión, o bien a la visión deformada o desvirtuada de la realidad en imágenes. Lo mismo ocurre con los espejos retrovisores y las lunetas.

k) Encandilamiento

Este punto obviamente debe ser tenido especialmente en cuenta durante la circulación nocturna. El empleo innecesario de las luces de largo alcance provoca en quien circula en sentido opuesto una especie de ceguera momentánea, período en el cual el conductor afectado circula determinada cantidad de metros sin plena conciencia de la trayectoria real. Ello se verá influenciado por la velocidad, la intensidad lumínica de los faros y el tipo de protección del parabrisas o anteojos del conductor.

l) Condiciones meteorológicas, visibilidad reducida

Los factores de mención guardan relación directa con los accidentes de tránsito. En los días o estaciones de tiempo lluvioso o con neblina éstos recrudecen, ya sea por falta de responsabilidad con respecto a la velocidad o deficiencia en los neumáticos.

El estado atmosférico y la oscuridad no obstruyen la visión en la misma proporción que los objetos sólidos, pero reducen la visibilidad, vale decir, disminuye la distancia a la que los objetos pueden verse. A menor distancia mayor peligro. En estos casos, los accidentes guardan relación directa con el conductor y el pavimento.

m) La niebla y el humo

Son similares a la oscuridad, dado que en la mayoría de los accidentes en los que se encuentran presentes tales factores, la causa es el exceso de velocidad. La niebla, y aún más el humo, aparecen y desaparecen con mayor rapidez que la oscuridad.

La niebla, cuando es densa y continua, es menos peligrosa que cuando alterna con claros, y lo mismo ocurre con el humo. Estos claros suelen producirse en lugares de poca altitud.

n) La lluvia y la nieve

Mientras caen, disminuyen la visibilidad del mismo modo en que lo hacen la oscuridad y la niebla. A ello habrá que sumarle el hecho de que los cristales de parabrisas, luneta y ventanillas se empañan, reduciendo a muy escasos metros la visión exterior.

ñ) Señalización

Toda condición que reduzca la visibilidad dificultará asimismo la lectura de las señales del camino. Ello ocurre sobre todo cuando la niebla, lluvia, nieve, etc., se combinan con la oscuridad. La visibilidad de señales

o marcas resulta más afectada que la de los semáforos, ya que ésta penetra a través de la lluvia o niebla.

La nieve, la lluvia, la niebla y el humo reflejan la luz de los faros frontales (retrorreflexión) sobre los propios conductores, limitándoles aún más la visión.

III. La velocidad como causa de accidente

El papel de la velocidad en los accidentes de tránsito es motivo de frecuentes discusiones, de allí que merezca una atención especial. Sin velocidad no habría movimiento y sin éste no se producirían accidentes.

Obviamente la velocidad es entonces un factor importante, y cuanto mayor sea su valor más grave será el accidente. Con excepción de ciertos trayectos prolongados en rutas o caminos con escaso o nulo tránsito vehicular, la velocidad no se mantiene constante sino que va variando, pero tanto los parámetros bajos como los altos pueden generar accidentes.

Con un rodado a alta velocidad resulta imposible tomar varias curvas en la misma forma o con la misma intensidad, ya que cada una posee un radio de curvatura y/o un peralte (mayor elevación dc la parte externa de la curva en relación con la interna) y/o un factor de adherencia en la superficie del pavimento, diferentes. Al combinarse estos elementos condicionan la velocidad del vehículo y su capacidad de seguir la curva manteniéndose dentro de la calzada, sin dejar de tomar en cuenta el centro de gravedad del automotor, y el hecho de que si éste es elevado, será más propenso al vuelco.

De noche y en una ruta, la distancia a la que puede verse el peligro se limita a la luz que proviene de los faros delanteros, causa por la cual la velocidad segura o límite para no provocar accidentes quedará subordinado a dicho haz luminoso.

Tal como se dijo anteriormente, la baja velocidad también puede ser causal de accidentes. Donde se circula de prisa y no existe razón aparente para no hacerlo, la velocidad presentará un problema inesperado, especialmente en horas diurnas. La marcha segura es totalmente diferente al límite impuesto por la ley. La primera es la que se ajusta a los peligros potenciales o posibles del camino y a las características del tránsito con que se encuentre el conductor. Ella se ve afectada en cierta forma por la visibilidad, que puede reducirse por causa de oscuridad, neblina o humedad, así como por el factor de adherencia del camino o pavimento, que igualmente puede reducirse debido al agua, la nieve, el hielo u otros elementos.

IV. Iluminación del vehículo. Tiempo de distancia y parada

De noche, el campo visual de quien maneja se reduce prácticamente a la zona que iluminan sus faros, ya que su percepción de los colores y formas fuera de ella es muy limitada.

Hasta que comenzaron los años 50, se empleaban bombillas de incandescencia de dos filamentos para lograr una luz baja y otra alta, la misma era de 40 a 45 watios y sólo transformaba en iluminación un 20% de su potencia, el resto se perdía en forma de calor.

Alrededor de 1975 comienzan a colocarse lámparas halógenas, donde la incandescencia se produce en el entorno de un gas (normalmente yodo), lo que permite alcanzar una temperatura más alta, un mayor rendimiento luminoso (30%) y una luz más brillante. De esa manera los objetos en la oscuridad contrastan mucho más.

Hoy por hoy los vehículos de alta gama vienen provistos de luces de descarga o de xenón, cuya intensidad es el doble de la de un faro convencional. La distancia de alumbrado se alarga, el consumo es menor, tienen un rendimiento del 90% y la luz es parecida a la del sol, lo cual reduce la fatiga visual, además de otros factores.

Distancia de parada es la que necesita el automóvil para detenerse totalmente luego de aplicados los frenos, en caso de emergencia. Es el cálculo en metros sobre la base del sistema de frenos, buen estado de cubiertas y pavimento normal, considerando que el conductor se encuentra en perfecto estado físico y psíquico.

Existen dos tramos que recorre el vehículo: el primero es el espacio de desplazamiento desde que el conductor percibe el peligro (a través de alguno de sus sentidos), llega a la mente, es transmitido por ésta al sistema nervioso y, a través de las fibras nerviosas, a los músculos, resultando como consecuencia el accionamiento del pedal de frenos. A ello lo llamaremos *período de reacción del conductor.*

El segundo tramo es la distancia recorrida por el rodado luego de haberse accionado el pedal de frenos, hasta detenerse completamente. A continuación se detallan las distancias promedio que recorre un vehículo desde la primera percepción del peligro, hasta detenerse completamente, a distintas velocidades, tomando en cuenta como tiempo de reacción del conductor 0,72 segundo.

– Circulando a 20 km por hora, desde que percibe el peligro hasta que acciona el pedal de frenos, siempre considerando como tiempo de reacción para todos los kilometrajes el de 0,72 segundo, recorre 4 metros, y desde el momento en que acciona el pedal de frenos hasta que se detiene completamente, otros 4 metros. Es decir que en total se recorren 8 metros.

– Circulando a 60 km por hora, en el período de reacción recorre 33 metros tanto en pavimento seco como mojado, y desde que presiona el freno hasta detener el vehículo 18 y 29 metros respectivamente, lo cual arroja un total de 51 y 62 metros (pavimento seco y mojado)

– Circulando a 90 km por hora, el tiempo de reacción es recorrido en 50 metros tanto en pavimento seco como mojado, y hasta detener el rodado 40 y 64 metros respectivamente, lo que hace un total de 90 y 114 metros.

– Circulando a 110 km por hora, tendremos 61 metros para el tiempo de reacción en ambos casos y 60 y 96 metros para la detención, respectivamente. Total: 121 y 157 metros.

– Circulando a 130 km por hora, se recorren 72 metros en ambos casos para el tiempo de reacción y 83 y 133 metros para la detención. Total: 153 y 205 metros, respectivamente.

V. REACCIONES DEL CONDUCTOR

Cuando hablamos de tiempo de reacción nos referimos al que tarda el individuo después de percibir el peligro, para decidir qué debe hacer y actuar en consecuencia. Este tiempo es utilizado por:

a) los órganos sensoriales, sobre todo los ojos, para captar la situación o el estímulo;

b) la mente, para considerar lo que debe hacerse respecto de la situación creada;

c) el sistema nervioso, para llevar el mensaje de la mente a los músculos;

d) los músculos, para comenzar a moverse en la reacción.

A este tiempo de reacción del individuo habrá que sumarle otro adicional para realizar los movimientos destinados a controlar el rodado antes de que éste responda a los deseos del conductor. Los valores promedio del tiempo de reacción son:

– En una persona muy hábil, concentrada en la conducción del móvil, sin ningún tipo de problemas físicos, anímicos o afectivos, entre 0,3 y 0,4 décimas de segundo (existen muy pocas personas en estas condiciones frente a un volante).

– En una persona normal, entre 0,7 décimas de segundo y 1 segundo.

– En una persona problematizada, sin ganas o molesta para el manejo, excesivo tránsito, fácil irritabilidad, etc., entre 1,7 y 2 segundos.

La reacción no es en sí una característica independiente, sino que está constituida y afectada por todos los elementos de la personalidad. Depende de las condiciones físicas y psíquicas, de los conocimientos, de la habilidad y de las aptitudes. Puede que conduciendo, una reacción rápida sea menos importante que una reacción correcta.

El juicio instantáneo puede llevar a una rápida reacción simple que es la más corriente, pero tal vez no la adecuada, porque la situación exige cierta discriminación. A medida que el sujeto va adquiriendo mayor pericia con la práctica, adquiere al mismo tiempo hábitos de reacción y respuesta más rápidos en situaciones que antes le exigían reacciones discriminatorias más lentas. El tiempo de reacción incluye, pues, el requerido para captar la situación después de verla, oírla o sentirla. En igualdad de condiciones, es preferible una reacción rápida a otra lenta, pero a veces las personas reaccionan con rapidez erróneamente, sin tiempo para corregir sus errores antes de que se produzca el accidente.

El tiempo de reacción es un importante elemento a tener en cuenta en la reconstrucción del accidente; su cálculo indicará la distancia recorrida a una velocidad determinada, a partir de un punto de percepción y antes de aplicar los frenos. También se ve afectado por muchos factores, tales como la emoción, la ira, el temor, la pesadumbre, etcétera.

Se conocen cuatro clases de reacciones basadas en la cantidad de reflexión necesaria. Cuanto menor sea dicha reflexión, más breve será la reacción; éstas son:

a) Reacción refleja

Son en su mayoría instintivas y requieren un tiempo mínimo porque no implican meditación.

b) Reacción simple

Son las más corrientes, dado que el conductor las espera y sabe lo que tiene que hacer si se presenta la contingencia, ejemplo: cuando se coloca la luz roja, aplicar el freno y detener el rodado.

c) Reacción compleja

Aquí cada uno de los distintos estímulos pide la respuesta adecuada entre las posibles, por ejemplo: una señal con las luces que le indiquen al conductor que adelante tiene que girar hacia uno u otro lado o aminorar la marcha, etcétera.

d) Reacción discriminatoria

Ocurre cuando un conductor se ve obligado a elegir entre dos o más alternativas que no son las habituales, por ejemplo: decidir si ubicarse a la derecha o a la izquierda de un rodado que zigzaguea entre dos carriles. Ésta es la más lenta de todas, pues es complicada.

VI. CALLES EN MAL ESTADO

Los caminos o calles en mal estado pueden producir accidentes, ya que un bache en un lugar no esperado ocasiona una reacción de movimientos bruscos en el volante de dirección como para salvar la contingencia acaecida, pero esta reacción brusca muchas veces lleva a impactar con otro vehículo que circula en el mismo sentido o en sentido opuesto, como también a atropellar a un peatón.

Si se reacciona y discierne que la maniobra de esquive del pozo puede ser peligrosa, ya que la afluencia del tránsito es intensa, y se opta por seguir y tomar el mencionado bache, en el momento de transitarlo y de acuerdo con sus dimensiones, profundidad y la velocidad que se esté desarrollando, se puede producir una colisión por pérdida de estabilidad del móvil, o rotura en el sistema de dirección o suspensión.

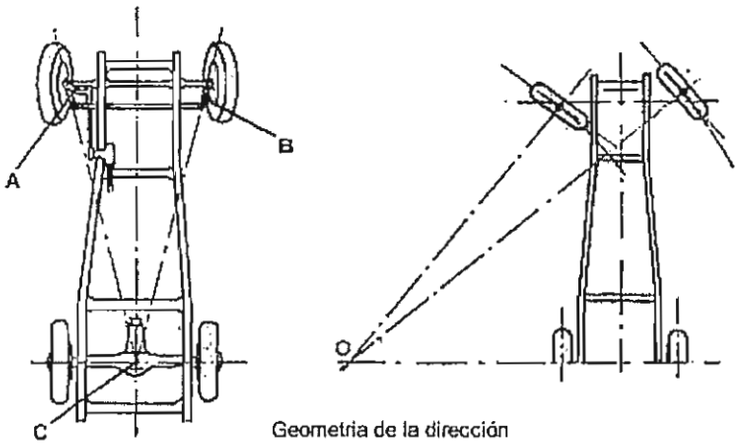
Similares inconvenientes ocasionan, en rutas, calles o caminos, la falta o el hundimiento de las tapas de bocas de desagüe o cualquier protuberancia inesperada dentro de los carriles de circulación.

VII. NOCIONES SOBRE PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DIRECCIÓN Y FRENOS

a) Dirección

El conjunto de mecanismos que componen el sistema de dirección tienen la misión de orientar las ruedas delanteras para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor. Para que el conductor no tenga que realizar esfuerzo en la orientación de las ruedas (estas ruedas se denominan "directrices"), el vehículo dispone de un mecanismo desmultiplicador, en los casos simples (coches antiguos), o servomecanismo de asistencia (en los vehículos actuales).

Como las trayectorias a recorrer por las ruedas directrices son distintas en una curva (la rueda exterior ha de recorrer un camino más largo por ser mayor su radio de giro, como se ve en la figura inferior), la orientación que debe darse a cada una es distinta también (la exterior debe abrirse más), y para que ambas sigan la trayectoria deseada debe cumplirse la condición de que todas las ruedas del vehículo, en cualquier momento de su orientación, sigan trayectorias curvas de un mismo centro O (concéntricas), situado en la prolongación del eje de las ruedas traseras. Para conseguirlo se disponen los brazos de acoplamiento A y B que mandan la orientación de las ruedas, de manera que en la posición en línea recta sus prolongaciones se corten en el centro C del puente trasero o muy cerca de éste.



Geometría de la dirección

La elasticidad de los neumáticos corrige automáticamente las pequeñas variaciones de trayectoria. Las ruedas traseras siguen la trayectoria curva, gracias al diferencial (cuando el vehículo tiene tracción trasera), que permite dar a la exterior mayor número de vueltas que a la interior; pero como estas ruedas no son orientables y para seguir su trayectoria debe abrirse más la rueda exterior, resulta de ello cierto resbalamiento en curva, imposible de corregir, que origina una ligera pérdida de adherencia, más acusada si el piso está mojado, caso en el que puede producirse el derrape en curvas cerradas tomadas a gran velocidad.

Según los distintos sistemas de dirección, se pueden encontrar variados tipos de montaje con respecto a sus piezas constitutivas, por ejemplo: sector y sinfín, sinfín y rodillo, de palanca y leva, a cremallera, etcétera.

También existen las llamadas direcciones asistidas, o servodirección, que tornan más liviano y cómodo el manejo; cajas automáticas de cambio de velocidades, etcétera.

– *Fallas en el sistema de dirección*: las fallas más comunes en el sistema de dirección son:

Dirección dura: la dureza de una dirección se ve sobre todo en marcha moderada y las causas pueden ser las siguientes: presión de cubiertas demasiado baja; falta de engrase en la caja de dirección y extremos; sistema de suspensión vencido; inclinación desigual en las ruedas (falta de alineación); barras de dirección torcidas o forzadas.

Vehículo circulando en línea recta tiende a desplazarse hacia un lado: las causales pueden ser desigualdad del inflado (presión) de neumáticos (generalmente si se suelta el volante del vehículo tenderá a ir para el lado del neumático de más baja presión); desgaste desparejo de ambos neumáticos delanteros; exceso o falta de convergencia; sistema de suspensión vencido hacia un lado.

El volante de dirección presenta demasiado juego: es conveniente un pequeño juego del volante de dirección, pero si es excesivo, puede ser peligroso. El juego normal de giro de volante es de 2 a 3 cm, pero si tiene más de 6 cm el sistema necesita una reparación. El juego excesivo puede ser producido por el desgaste de un sector de la caja de dirección o también de las articulaciones o extremos. Es causal de una dirección inestable en la marcha.

Vibración del volante de dirección a velocidades medias y altas: estas vibraciones o trepidaciones del volante de dirección a determinadas velocidades son debidas al juego excesivo de los extremos de dirección o de pernos y bujes de punta de eje; también pueden originarse en desgastes de los bujes de fijación de las parrillas de suspensión delanteras.

b) Frenos

La función de los frenos es detener el giro de la llanta para así lograr detener un vehículo.

Los frenos constituyen uno de los más importantes sistemas de seguridad de un automóvil. En virtud de ello, los fabricantes dedican mucho tiempo al desarrollo y diseño de los sistemas de frenado.

Hay distintos sistemas de frenos, el más utilizado actualmente es el sistema hidráulico con discos adelante y tambores atrás. Anteriormente se utilizaban los frenos mecánicos, sistema que hoy ya está obsoleto.

La tecnología en frenos más reciente es el sistema ABS, el cual controla el frenado para evitar que las llantas se derrapen, y permite mantener el control del vehículo aun en una situación de frenado extremo.

1. Frenos mecánicos

Anteriormente se utilizaban frenos mecánicos, en los cuales, al momento de presionar el freno con la fuerza del pie, un cable transmitía la fuerza para tratar de frenar el vehículo. Estos tipos de frenos dejaron de ser funcionales cuando la potencia de los motores empezó a desarrollarse, porque debido a las altas velocidades que empezaron a desarrollar los vehículos se requería un gran esfuerzo físico para lograr frenar un auto, por lo tanto este sistema de frenado quedó totalmente obsoleto y se evolucionó hacia los frenos hidráulicos, pues con un esfuerzo mucho menor se logra una potencia de frenado mucho mayor.

2. Frenos hidráulicos

El sistema de frenos hidráulicos consta de dos tipos de sistemas: sistema hidráulico y materiales de fricción.

En el sistema hidráulico, cuando se presiona el freno del vehículo, un cilindro conocido como cilindro maestro, colocado en el motor, se encarga de impulsar hidráulicamente el líquido de frenos por toda la tubería, hasta llegar a los frenos colocados en las llantas y lograr frenar el vehículo.

Los materiales de fricción que se utilizan son conocidos como pastillas de freno y suelen ser piezas metálicas, semimetálicas o de cerámica que soportan muy altas temperaturas y son las que crean la fricción contra una superficie fija, que pueden ser tambores o discos; y así logran el frenado del vehículo. Las pastillas son piezas que sufren desgaste y tienen que revisarse y cambiarse en forma periódica.

Tipos de frenos hidráulicos:

Frenos de disco

Los frenos de disco consisten de un rotor de disco que está sujeto a la rueda, y un caliper, que sujeta las pastillas de freno de disco. La presión hidráulica desde el cilindro maestro causa que el pistón presione como una almeja las pastillas por ambos lados del rotor. Esto crea fricción entre aquéllas y el rotor, produciendo un descenso de la velocidad o que el vehículo se detenga.

Frenos de tambor

Los frenos de tambor están conformados por un tambor metálico sujeto a la rueda, un cilindro de rueda, pastillas de freno y resortes de regreso. La presión hidráulica desde el cilindro maestro causa que el cilindro de rueda presione las pastillas contra las paredes interiores del tambor, produciendo un descenso de la velocidad o que el vehículo se detenga.

Actualmente los frenos de tambor solamente se utilizan en las llantas traseras, y sólo de ciertos vehículos, debido a que los frenos de disco poseen mucha mayor fuerza de frenado, son los que se utilizan en la mayoría de los coches como frenos delanteros y la tendencia indica que todos los coches terminarán usando frenos de disco en las cuatro llantas.

Frenos ABS (anti-block-system)

Este tipo de frenos se utilizan en algunos coches que poseen frenos de disco en las cuatro llantas, llevan un sensor en cada rueda, que compara permanentemente el régimen (velocidad de giro) de cada una de ellas con el de las restantes. Dicho régimen puede ser diferente en cada rueda, porque en curvas, terrenos deslizantes o en frenadas cada rueda tiene diferentes velocidades y/o superficies. Los cuatro sensores están comunicados con una computadora; y si se reduce repentinamente el régimen de una sola rueda, la computadora da aviso del riesgo de bloqueo, lo que ocasiona que se reduzca de inmediato la presión hidráulica en el tubo de freno de esa llanta, para aumentar a continuación otra vez hasta el límite de bloqueo. Este ciclo se desarrolla varias veces por segundo, sujeto a vigilancia y regulación electrónicas durante toda la operación de frenado. Con ello, el vehículo sigue estable al frenar indistintamente del agarre o patinaje que ofrezca el pavimento; no necesariamente se acorta el recorrido de frenado.

Freno de mano

El freno de mano se utiliza para que un vehículo estacionado no se ponga en movimiento por sí solo, recibiendo el nombre de freno de estacionamiento, aun cuando se puede utilizar como freno de emergencia, si es necesario, durante la marcha del vehículo.

Es una palanca que se encuentra al alcance del conductor; la palanca va unida por unos cables a la leva de freno. Al accionar la palanca las levas ejercen presión sobre las pastillas de las llantas traseras ocasionando un frenado que, en caso de darse con el vehículo andando, suele ser muy brusco.

3. Fallas en el sistema de frenos

Chirridos: Uno de los signos más perceptibles de problemas en el frenado son los chirridos, por desgaste de pastillas o de discos de frenado. Tras el cambio de pastillas de freno, este ruido puede ser normal durante unos días.

"Tacto" del freno: Al presionar, la sensación debe ser de firmeza, debe tener un buen recorrido e ir frenando a lo largo de él. Un comportamiento blando o esponjoso alerta sobre problemas.

Oscilaciones al frenar: Este fenómeno, también denominado *pulling*, se manifiesta cuando al frenar el auto tiende a efectuar un leve zigzag (va hacia izquierda y derecha alternativamente). Probablemente se trate de las pastillas de frenado (deficientes, gastadas o de mala calidad).

Pérdida de frenado: Las pastillas de frenado gastadas o de mala calidad pueden ir perdiendo potencia de frenado en el transcurso de una frenada larga o exigente debido a que el material pierde sus propiedades originales por recalentamiento. Para mantener el mismo nivel de frenado hay que apretar cada vez más el freno y, llegado al límite, el auto frenará menos.

VIII. NEUMÁTICOS

Un neumático (del griego πνευματικός, relativo al pulmón, por el aire que lleva), también denominado cubierta en algunas regiones, es una pieza toroidal (en geometría, el toroide es la superficie de revolución generada por una curva plana cerrada que gira alrededor de una recta exterior coplanaria –el eje de rotación situado en su mismo plano–. Su forma se corresponde con la superficie de los objetos que en lenguaje cotidiano se denominan argollas, anillos o aros) de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía.

Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos.

Por su construcción existen dos tipos de neumáticos:

- Diagonales: en su construcción las distintas capas de material se colocan de forma diagonal, unas sobre otras.
- Radiales: en esta construcción las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta, sin sesgo. Este sistema permite dotar de mayor estabilidad y resistencia a la cubierta.

Igualmente y según su uso de cámara tenemos:

- Neumáticos *tubetype*: aquellos que usan cámara y una llanta específica para ello. No pueden montarse sin cámara. Se usan en algunos 4x4, y vehículos agrícolas.
- Neumáticos *tubeless* o sin cámara: estos neumáticos no emplean cámara. Para evitar la pérdida de aire los flancos de la cubierta se "pegan" a la llanta durante el montaje, por lo que la llanta debe ser específica para estos neumáticos. Se emplea prácticamente en todos los vehículos.

Los factores que atañen a la seguridad de un neumático son los siguientes:

a) La seguridad intrínseca

El neumático sufre durante su rodamiento esfuerzos y deformaciones que se repiten cíclicamente, pudiendo eventualmente producir su rotura. Debe tener por lo tanto una resistencia a la fatiga que supere la duración de la banda de rodamiento de la cubierta consumida por abrasión. La técnica actual de fabricación de cubiertas ha superado este requisito ampliamente, permitiendo en ciertos casos su reconstrucción más de una vez. Los neumáticos modernos difícilmente presentan fallas que comprometan la seguridad del vehículo.

Desde el punto de vista de la seguridad, hay dos funciones del neumático que interesan: la tracción y la dirección. La primera gobierna la capacidad del vehículo de acelerar y frenar; la segunda afecta la maniobra y la estabilidad.

b) La correlación vehículo-neumático-conductor

La función del neumático como componente importante del automotor está íntimamente afectada por el vehículo. Éste debe estar diseñado para la función que cumple, es decir, tener la capacidad necesaria para la carga prevista y una carrocería correcta y bien equilibrada. El buen diseño evita excesos de carga y la distribución incorrecta de los esfuerzos del neumático.

Los neumáticos deben ser los correctos para el uso y las cargas previstas por el diseñador del vehículo. De ahí en adelante comienza la responsabilidad del operador (propietario, encargado y conductor). El buen estado mecánico del automotor es imprescindible para el comportamiento adecuado de los neumáticos. Los elementos de la dirección, suspensión y frenos afectan en forma notable la capacidad de seguridad de aquéllos; por ejemplo: un amortiguador en mal estado, al no cumplir su función, hace que el neumático pierda contacto continuado con el suelo, e impide mantener la estabilidad del rodado.

El conductor debe conocer las limitaciones de velocidad permitida a los neumáticos y las diferencias que se producen en las características de *tenida* de los mismos con las variaciones de las condiciones atmosféricas y tipos de camino. Cuando sobre el camino aparecen situaciones particulares como agua, hielo o aceite, la adherencia del neumático declina rápidamente, siendo por ello fundamental que el conductor adecue su conducción a las posibilidades reales de aquél.

c) Mantenimiento y estado de conservación

La mejor manera de evitar accidentes por causa de los neumáticos es previniéndolos mediante un mantenimiento constante. El mismo se

inicia con la revisión periódica de la presión de inflado y de su superficie externa para detectar cortes o irregularidades en la forma de aquél que puedan indicar roturas internas.

Esta revisión siempre debe incluir la llanta. Cuando en la misma se aprecia cualquier deformación, debe desarmarse el conjunto inmediatamente y asegurarse el buen estado interior.

Otro detalle importante es saber cuándo deben retirarse las cubiertas de su uso (desgaste del dibujo). Existen diferentes etapas de desgaste. La banda de rodamiento de la cubierta tiene un dibujo en cortes, hendiduras y relieves, cuyo objeto es mejorar su adherencia sobre la superficie del camino, especialmente cuando el suelo está mojado o tiene una superficie resbaladiza. Al iniciarse el desgaste, la efectividad del dibujo disminuye; la misma es constante y se reduce a cero con la cubierta lisa. Resulta, pues, responsabilidad del conductor conocer que la *tenida* disminuye por el desgaste, debiendo, consecuentemente, reducir la velocidad, especialmente en caminos mojados.

Diversos países han fijado un límite que se considera razonable con respecto a la profundidad del dibujo, debajo del cual el neumático no debe circular por la vía pública. Este límite tiende a evitar asimismo los riesgos por pinchaduras, cortes y daños en general.

Los reventones ocurren solamente como resultado de accidentes o por recalentamiento debido a excesos de velocidad, cargas con presiones de inflado incorrecto o ensamblado en llantas inadecuadas o defectuosas. Las cubiertas lisas son obviamente más propensas a sufrir deterioros, en un orden de 50 veces más que las nuevas. En las que poseen 1,5 mm de profundidad de dibujo, este orden es de 18 veces; a partir de este valor y si lo reflejáramos en un gráfico, la curva crece rápidamente.

d) Desgaste de neumáticos

1. Delanteros

Las causas pueden ser: inflado incorrecto (presión insuficiente); convergencia incorrecta de las ruedas delanteras; bamboleo de los neumáticos, lo cual puede ser debido a neumáticos que no han sido bien montados, la llanta que no ha sido sujeta debidamente al neumático, ruedas torcidas, forzadas o mal montadas; curvatura inadecuada de las ruedas delanteras; excesivo uso de frenos en forma brusca; los frenos de las ruedas delanteras arrastran; los neumáticos tienen una excentricidad excesiva, y el grupo de puntas de eje está desequilibrado.

2. Traseros

Las causas prematuras pueden ser: neumáticos con poca presión; ruedas traseras desalineadas, lo cual puede deberse a eje trasero torcido o roto, avería en la suspensión, la suspensión trasera no es del tipo adecuado, parte posterior del chasis torcida o rota; las ruedas están torcidas o bambolean debido a tuercas de fijación flojas, deformación de la llanta o de la rueda, eje torcido o forzado; la rueda trasera está floja en su eje; el cubo de las ruedas traseras no ajusta bien en el eje; uso innecesario de los frenos en forma violenta; exceso de velocidad del vehículo, especialmente en las curvas; la banda de rodamiento no es concéntrica con la rueda; conjunto de la rueda desequilibrado.

e) Factor de adherencia

Es la cantidad de fuerza que un pavimento ejerce sobre el neumático de una rueda en relación con el peso que soporta dicha rueda. Se expresa generalmente en fracción decimal. Por ejemplo: si una rueda presiona sobre el camino con una fuerza de 1000 kg y la carretera produce sobre esta rueda una fuerza de 500 kg, el factor de adherencia será 500/1000 = 0,50. Esta fuerza horizontal ejercida por el pavimento sobre el rodado se manifiesta indistintamente cuando el mismo circula normalmente, cuando gira o cuando frena.

Es lo que hace que el vehículo cambie de velocidad y está determinado por las características de deslizamiento del revestimiento superficial del camino. El factor de adherencia con ruedas patinando es el coeficiente medio de fricción durante la patinada, ya que el coeficiente de fricción es la cantidad proporcional de fuerza necesaria para hacer resbalar un objeto a una velocidad uniforme sobre una superficie, a la presión de dicho objeto contra esa superficie.

El factor de adherencia para neumáticos que patinan está determinado principalmente por estos factores:

– *Material de la superficie de la carretera.*

– *Longitud de las huellas de la patinada*: Las huellas largas en carreteras secas y limpias acusan un factor de adherencia inferior a las producidas en forma corta. El coeficiente de fricción entre un neumático y la carretera disminuye a medida que progresa el deslizamiento, en razón de que el neumático se recalienta más por fricción producida en el arrastre.

– *Material del neumático*: Hay considerables diferencias en la clase o el tipo de goma o caucho con que se fabrican los neumáticos. Las cubiertas duran mayor o menor kilometraje debido a sus materiales (caucho duro o blando); con ello disminuirá o aumentará el coeficiente de adherencia del neumático.

– *Dibujo del neumático*: De acuerdo con el tipo de camino, el dibujo es muy importante, ya que de ello dependerá la mayor o menor tracción del rodado por su agarre.

– *Temperatura ambiente*: Tiene mucha importancia en la adherencia, ya que a una temperatura mayor las distancias de frenado se alargarán para una misma velocidad y peso.

– *Presión de inflado*: De ella dependerá la superficie de fricción contra el camino.

– *Peso del vehículo*: Influye mucho en las distancias de parada antes de que las ruedas queden bloqueadas, pero cuando éstas patinan sobre el camino el peso del vehículo cargado acusará una mayor presión, incrementándose la temperatura y promoviendo una mayor patinada.

El rozamiento del neumático con el suelo depende del coeficiente de rozamiento multiplicado por el peso del vehículo que soporta. En una curva, la carrocería del vehículo se desplaza hacia el exterior, aumentando el peso sobre las ruedas del exterior y reduciendo el peso sobre las ruedas del interior. El rozamiento de las ruedas exteriores con el suelo aumenta, mientras que el rozamiento de las ruedas interiores disminuye.

Una consideración muy importante es la dirección de la fuerza de rozamiento. Cuando se acelera en línea recta, la fuerza de rozamiento tiene la misma dirección y sentido que el vehículo. Cuando se frena en línea recta, la fuerza de rozamiento sigue manteniendo la dirección pero su sentido es contrario al desplazamiento del vehículo. El rozamiento se utiliza para transmitir fuerza al suelo, ya sea para acelerar o para detener el vehículo.

Siempre que existe una transmisión de fuerza entre el neumático y el suelo, se produce un deslizamiento entre ambos. En aceleraciones o frenadas normales, el deslizamiento suele quedar por debajo de un 10 o un 15%. Si se frena con mayor intensidad, el deslizamiento aumenta y puede llegar al 100% cuando la rueda está completamente bloqueada. En este caso, el neumático solamente es capaz de transmitir al suelo una fuerza de rozamiento con la misma dirección que tiene el vehículo. El conductor no puede en este caso controlar el vehículo, ya que el neumático carece de guiado lateral.

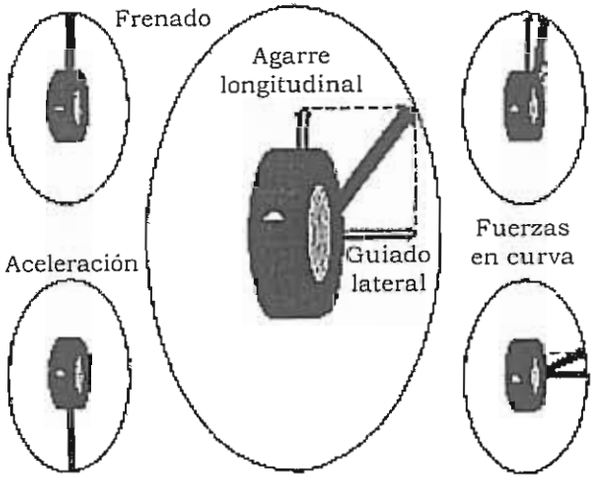
La fuerza de rozamiento del neumático con el suelo se descompone en dos: una se encarga del agarre longitudinal y otra del guiado lateral. En algunas situaciones, la fuerza de rozamiento del neumático es completamente de agarre longitudinal (aceleraciones o frenadas en línea recta) y otras es completamente de guiado lateral (paso por curva con velocidad mantenida). Pero en muchas ocasiones los dos tipos de fuerzas conviven (aceleraciones o desaceleraciones en curva).

Cuando la fuerza de rozamiento que transmite el neumático con el suelo se acerca al máximo, el deslizamiento entre éste y el suelo se incrementa. Si se llega al máximo al acelerar, el neumático perderá capacidad de tracción al patinar excesivamente con el suelo. Si se llega al máximo al tomar una curva, el neumático se desplazará hacia el exterior de la curva originando un cambio en la trayectoria del vehículo.

Si el vehículo traza una curva a gran velocidad, es necesario que el neumático transmita la mayor fuerza de guiado lateral. Para que esto ocurra no debe existir ninguna fuerza de agarre longitudinal, es decir, el vehículo no debe acelerar ni frenar. Si cualquiera de estas situaciones

ocurre, la fuerza de rozamiento resultante no mantiene la dirección del eje de giro de la rueda, sino que se desplaza hacia adelante (al acelerar) o hacia atrás (al frenar). La fuerza de rozamiento resultante se descompone en la de guiado lateral y en la de agarre longitudinal. La fuerza de guiado lateral se reduce y el neumático puede deslizar en exceso con el suelo, originando un cambio en la trayectoria del rodado.

Para evitar situaciones de peligro, en fuertes apoyos en curva, no se debe acelerar ni frenar bruscamente, esto reduciría la fuerza de guiado lateral. Tampoco conviene bloquear las ruedas en frenadas, al no girar el neumático no es capaz de transmitir fuerzas de guiado lateral. El vehículo en estas situaciones queda a expensas de las inercias que aparecen sobre la carrocería, pudiendo originarse situaciones peligrosas por la falta de control sobre el vehículo.



f) Marcas de neumáticos

Para poder interpretar algunas de las marcas que dejan los neumáticos en las carreteras o calles, conviene tener idea de cómo se comportan los vehículos y neumáticos durante una acción de maniobra, para evitar un accidente o durante una colisión.

El contacto del neumático con el camino es normalmente una superficie de dos lados paralelos y rectos, de extremos redondeados. La superficie de rodamiento de aquél suele tener unas ranuras para hacerlo más flexible y permitir una entrada de aire para su refrigeración; generalmente estas ranuras están dispuestas en zig-zag, lo cual facilita la adherencia.

El neumático inflado normalmente, para soportar un peso determinado ejerce una misma presión en toda la zona de contacto, es decir que la marca que se efectuará en el momento de una frenada brusca será de todo el ancho de su banda de rodamiento.

En cambio, un neumático con baja presión o sobrecargado acusa una deflexión, o sea, un arqueamiento del centro de la banda de rodamiento, haciendo que los extremos de ésta reciban la mayor parte del peso.

Sintetizando, diremos que las marcas que pueden aparecer en una frenada brusca indicarán:

– *Presión excesiva*: La banda de rodamiento apoyará sobre el camino, en su parte central y no hacia sus bordes. La huella será más angosta que el ancho de la banda del neumático con presión de inflado correcta.

– *Presión baja*: La huella en sus bordes es intensa, pero hacia el centro no se notará o marcará, ya que la cubierta se arquea perdiendo el contacto con el camino.

– *Giro muy cerrado*: Si un vehículo gira con poco radio para su velocidad, o se trata de seguir una curva con velocidad superior a la que permite el trazado de la misma, la fuerza centrífuga tiende a empujarlo hacia el interior de la curva (el vehículo se inclina hacia el exterior y el peso sobre los neumáticos exteriores aumenta, disminuyendo en los interiores). Vale decir que en las curvas los neumáticos tienden a concretar el efecto de excesiva presión, ya que se liberan de peso (neumáticos interiores); los exteriores se comportan como si tuviesen muy baja presión, acusando además una deformación lateral pronunciada.

g) Marcas y huellas de deslizamiento

Frecuentemente, se confunde lo que es la marca que deja el neumático con la huella de deslizamiento que produce un vehículo al ser frenado bruscamente.

En el lugar de un accidente puede distinguirse la marca de un neumático (sobre todo si hay rastros de líquidos u otros residuos) de la huella por frenado. En la primera van a existir ciertas y determinadas formas que son exactas al neumático. En la huella de frenado, aparte de aparecer en el pavimento la huella de la cubierta, existirá un arrastre de estas marcas por el bloqueo del neumático. De acuerdo con la forma que tengan estas huellas de frenado, si las analizamos profundamente podremos determinar:

– dónde comenzó a frenar;
– dónde finalizó y qué dirección tomó el vehículo;
– si la totalidad de sus ruedas frenaron, o si lo hicieron en forma despareja;
– si existió desviación en el momento de la frenada, etcétera.

Lo hasta aquí expresado reviste el carácter de valioso para la determinación de velocidades.

IX. EL TACÓGRAFO

Un tacógrafo es un dispositivo electrónico que registra en un gráfico diversos sucesos originados en un vehículo durante su conducción. Dicho vehículo puede pertenecer al transporte terrestre (de carga o de pasajeros) o ferroviario. Los sucesos que registra un tacógrafo normalmente son: velocidad (promedio y máxima), RPM, kilómetros recorridos, aceleraciones y frenadas bruscas, tiempo de ralentí (período durante el cual el vehículo permanece detenido con el motor en marcha), entre otros. Estos datos, dependiendo del tacógrafo, pueden ser recopilados por una computadora y almacenados en una base de datos o imprimirse en forma de gráficos para su posterior análisis.

El tacógrafo digital almacena la información de la conducción de los últimos 365 días en el propio tacógrafo y de los últimos 31 días en el chip de la tarjeta del conductor, la cual sustituye al disco diagrama de los tacógrafos analógicos.

El tacógrafo sirve para mejorar las condiciones de competitividad de las empresas, mejorar la vida laboral del conductor e incrementar la seguridad vial.

Tiene el aspecto de un velocímetro y está destinado a reemplazar a éste en el tablero.

Además de la escala indicadora de la velocidad y del odómetro (indicador de los kilómetros recorridos), cuenta también con un reloj y una luz de alarma para indicar los excesos de velocidad.

X. SEÑALAMIENTO

a) Señales de reglamentación

Son aquellas que notifican acerca de las restricciones que imponen las ordenanzas de tránsito sobre el movimiento vehicular, o sirven para instruir al usuario de la vía pública sobre lo que debe hacer. Sin ellas no podrían hacerse cumplir las normas que regulan el tránsito en su circulación y estacionamiento.

b) Señales de prevención

Informan al usuario de la vía pública sobre la existencia de un peligro y la naturaleza de éste. Indican o llaman la atención del conductor acerca de la inminencia de un punto peligroso o accidente en el diseño del camino, el que requiere una mayor atención por parte del automovilista y que de otra manera podría no ser percibido.

c) Señales de información

Se las utiliza para guiar al usuario hasta su destino, proporcionándole la información necesaria y útil para el desarrollo de su viaje.

XI. DEMARCACIÓN HORIZONTAL

a) Eje divisorio

Denominase así la doble línea amarilla de trazo continuo, que divide corrientes circulatorias de tránsito de sentido opuesto. El eje divisorio puede hallarse en el eje de la calzada o desplazado hacia un costado, cuando se trata de arterias con mano preferencial. No puede ser traspasado ni circularse sobre él. En arterias donde rigen alternativamente sentido único y doble sentido de circulación, en momentos de vigencia del primero tomará carácter de *línea de carril* y se considerará continua o discontinua, de acuerdo con el trazo de la línea de carril inmediata derecha.

b) Línea de carril

Es la línea blanca o amarilla de trazo continuo o discontinuo, divisoria de las corrientes circulatorias de idéntico sentido. Será de trazo discontinuo en los sectores donde se halle permitido su traspaso para adelantarse a otro vehículo, seleccionar carril de giro, alternar la línea de marcha o para cualquier otra maniobra permitida, no pudiendo circularse sobre la misma.

La de trazo continuo implica la prohibición de trasponerla en todos los casos, como asimismo de circular sobre la misma.

La de trazo amarillo continuo o discontinuo delimita el espacio para el uso exclusivo del transporte público de pasajeros. La línea de carril doble, una continua y otra discontinua, permite su traspaso exclusivamente en el sentido de la discontinua hacia la continua.

c) Flechas

Son las marcas indicatorias de los sentidos de marcha que pueden adoptarse en la circulación. Las maniobras que indican las flechas son las únicas autorizadas a efectuar.

d) Línea de borde

Es la línea blanca, de trazo continuo, que se demarca junto al cordón de la acera o en el límite de la calzada, separando la misma de la banquina.

e) Línea de pare

Es la línea blanca de trazo continuo, transversal al sentido de la circulación. Indica la obligación de detener el vehículo antes de ser traspuesta por indicación de la autoridad competente, señalamiento luminoso, cruce de peatones, o en caso de hallarse ocupada la bocacalle.

f) Senda peatonal

Es la zona o sector de calzada delimitada por dos líneas paralelas blancas, de trazo discontinuo, o indicada por franjas blancas paralelas al

sentido de la circulación. La senda peatonal indica el sector de calzada destinado al cruce de peatones, estando prohibido a los mismos detenerse o esperar sobre aquélla.

g) Línea canalizadora

Es la línea blanca de trazo discontinuo que encauza el tránsito de vehículos en intersecciones, giros, etc., de características particulares.

h) Cocheras

Se consideran líneas delimitatorias de cocheras las líneas blancas de trazo continuo o discontinuo que limitan a las mismas entre sí, e indican la forma de estacionamiento.

XII. MARCAS EN EL PAVIMENTO

a) *Línea longitudinal discontinua.* Separa carriles de igual sentido de circulación. Puede trasponerse únicamente para adelantarse a otro vehículo o para seleccionar el carril de giro.

b) *Línea longitudinal continua.* Delimita el carril; no debe ser traspuesta.

c) *Líneas longitudinales dobles.* Dividen las corrientes circulatorias y determinan el límite extremo izquierdo del sentido de circulación del tránsito. No deben trasponerse ni se debe circular sobre las mismas.

d) *Senda peatonal.* Los bastones transversales a la calzada o la doble línea paralela indican la zona de cruce reservada para peatones.

e) *Flechas de guía.* Establecen el sentido de circulación y anticipan los giros permitidos en la siguiente encrucijada.

f) *Señalamiento en curvas.* Doble línea horizontal con trazos continuos y discontinuos en sus extremos. Quien circule del lado de la línea discontinua puede trasponerla, no así quien se halle inmediato a la línea continua.

g) *Líneas oblicuas.* Anticipan la presencia de obstáculos o hacen las veces de construcciones físicas, canalizando las corrientes circulatorias. Está prohibido circular sobre las mismas.

h) *Cruce ferroviario.* Demarcación complementaria de los indicadores verticales que destacan la presencia de una vía férrea.

XIII. OTRAS DEMARCACIONES HORIZONTALES

a) *Acceso a garaje.* Denominase demarcación de acceso a garaje la línea blanca de trazo continuo que limita la zona de calzada inmediata al cordón, donde el mismo se halla rebajado y que contiene dos líneas diagonales blancas de trazo continuo.

b) *Sector de paradas.* Es la línea amarilla de trazo discontinuo que limita la zona de calzada reservada para la detención de los medios de transporte de pasajeros.

c) *Paso a nivel.* La demarcación de pasos a nivel (cruces de vehículos y vías férreas) consiste en una cruz de San Andrés, con las letras "FC", limitadas por dos líneas blancas de trazo continuo, transversales al sentido de circulación, ubicadas con la debida anticipación al paso a nivel y complementadas con una línea de "Pare" antes del mismo.

d) *Letras y números.* Las letras y números de trazos blancos indican limitaciones, prevenciones, prohibiciones, excepciones e informaciones.

e) *Isletas.* Denominase isleta la zona de calzada demarcada con líneas paralelas amarillas de trazo continuo en diagonal o "V", con delimitación perimetral, que canaliza las corrientes circulatorias. La zona demarcada reemplaza a la plazoleta seca de idéntico fin.

f) *Cordones.* Los cordones de las aceras se pintan de blanco para indicar su presencia, en caso de que puedan constituir obstáculos imprevistos a la circulación. Los pintados de color amarillo indican prohibición de estacionamiento durante las 24 horas. Los de color rojo indican prohibición de estacionamiento y detención durante las 24 horas, con excepción de la detención del transporte público de pasajeros, siempre que los mismos cuenten con el respectivo poste indicador de paradas en dicha zona de restricción.

XIV. RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

La reconstrucción de los hechos ocurridos en los sucesos viales es el proceso científico de investigar, analizar y sacar conclusiones sobre las causas y eventos durante una colisión de vehículos. Los especialistas son llamados para conducir en profundidad el análisis de la colisión y la reconstrucción de la misma, para identificar las causas y los factores que contribuyen en diferentes tipos de colisiones, incluyendo la función del conductor, el vehículo, la ruta y el medio ambiente. Las leyes de la física y los principios de la ingeniería, tales como la conservación del momento lineal, los métodos de trabajo-energía y la cinemática, son la base de estos trabajos y pueden hacer uso de programas informáticos para calcular cantidades útiles. La reconstrucción del accidente ofrece un análisis riguroso que el perito puede presentar en el juicio. Las reconstrucciones de accidentes se llevan a cabo en los casos de víctimas mortales, y muchas veces cuando se trata de lesiones personales. Los resultados de las reconstrucciones de accidentes también son útiles en el desarrollo de recomendaciones para la construcción de rutas y autopistas más seguras, así como para mejorar aspectos de seguridad de los diseños de vehículos de motor. Estas reconstrucciones a menudo se llevan a cabo por ingenieros criminalísticos/forenses, unidades especializadas de las fuerzas de seguridad, o consultores privados.

La finalidad de este tipo de peritaje es, entre otras, dar respuesta a los siguientes interrogantes:

- velocidades de impacto,
- ubicación del punto de impacto,
- magnitud del impacto,
- análisis de las distancias y tiempos,
- análisis de la visibilidad,
- ¿quién estaba manejando?,
- uso del cinturón de seguridad: ¿hubiera ayudado?¿fue utilizado?,
- apertura de los *airbags*; interpretación de la caja negra (si existiera) e informe de la magnitud del impacto,
- ¿es el informe de otro perito exacto/correcto?

La reconstrucción no puede ser considerada como perfecta y ha de estimarse entre un mínimo y un máximo, sobre la base de los muchos elementos que se han de tener en cuenta para extraer conclusiones. Pongamos como ejemplo la velocidad, cuyo valor resulta importantísimo para una correcta reconstrucción del evento. El resultado que se obtenga al respecto nunca puede considerarse como exacto, sino que debe admitirse en el cálculo un posible margen de error.

Estos errores son inevitables; hay que tener en cuenta que muchos factores a estudiar han de ser obtenidos por aproximación. Así ocurre con los puntos de percepción posible y real, con el tiempo de reacción, con la eficacia de los frenos, con el coeficiente de adherencia del camino, con el estado de los neumáticos, etc. Todos estos elementos han de ser valorados por estimación.

Los accidentes no se originan por una sola causa sino por un conjunto de ellas, y en el supuesto de que las mismas se reproduzcan exactamente, el accidente se originará de igual forma. Estas circunstancias son las relativas al conductor, al vehículo, a la carretera y al tránsito (otros vehículos, peatones, etc.). Al examinarse estos elementos puede llegarse no sólo a conocer cómo se produjo el accidente, sino también al motivo real que lo ocasionó. Es interesantísimo el análisis de las causas del accidente, puesto que se produce por la conjunción de una serie de elementos que independientemente no darían lugar al mismo, pero que en el momento de coincidir dan como resultado lo siguiente: muchas veces se atribuye la causa del accidente a un determinado elemento, como por ejemplo el estado del camino; sin embargo, por el mismo punto han pasado cientos y cientos de vehículos y no se ha producido ni siquiera una situación de peligro. No obstante, llega un momento en que una unidad ocasiona el accidente.

Lo expresado supone que la causa no ha sido en forma exclusiva el estado de la ruta, sino las condiciones especiales del vehículo o de su conductor. Una velocidad excesiva, un descuido en su conducción, una mala conservación de los neumáticos, habrán contribuido a que el suceso, hasta ahora evitado, se produjera.

Precisamente en este punto es cuando adquiere mayor valor una buena reconstrucción del accidente y el análisis de la solución admitida, puesto que de aquélla derivarán las afirmaciones que demostrarán que el accidente se produjo por una conjunción de factores que, de no haber coincidido en el tiempo y en el espacio, no hubieran devenido en el siniestro.

En muchas ocasiones, una pequeña variación en las actitudes del conductor condiciona una alteración en su factor de seguridad. Ello es suficiente para que se produzca el hecho dañoso. Tras el conocimiento de los factores operativos que han participado en el accidente, reflejado en la reconstrucción, habrá de estudiarse la situación de los elementos intervinientes: hombres, vehículos, camino, para tratar de encontrar qué atributos de cada uno de ellos son los que han confluido para que el accidente tuviera lugar y en qué proporción han intervenido.

El estudio de todos estos elementos y circunstancias dará como resultado un análisis del accidente que llevará a las siguientes conclusiones:

a) *Descartadas por erróneas.* A veces los conductores de los vehículos accidentados afirman categóricamente determinados hechos, incluso con el apoyo de testigos inconscientemente falsos. Cuando se realiza el análisis del accidente, se comprueba que dichas afirmaciones no pudieron darse en ningún momento.

b) *Posibles.* En oportunidades los hechos se relatan en forma tal que parece que pudieron desarrollarse de esa manera. En la reconstrucción podrá comprobarse si efectivamente pudo ser así o no, y aunque habrá casos en que positivamente tendrá que afirmarse lo contrario, también existirán otros en que la situación se podrá admitir.

c) *Probables.* Éstas serán las situaciones que se presentan con mayor frecuencia en la reconstrucción de accidentes. Como ya expresáramos, en todo trabajo de reconstrucción hay que admitir márgenes de error y posibilidades de acontecer, sin que esto suponga el menor menoscabo al interés de un estudio analítico de los hechos.

d) *Ciertas.* Por más meticulosidad que preceda a la recogida de los datos y por mucho esmero que se ponga en su estudio, no se podrá afirmar que los hechos se produjeron exactamente como se deduce de la reconstrucción. Fuerzas imprevistas, reacciones anómalas que pueden condicionar movimientos, desplazamientos, destrozos, cuya interpretación resulta a veces incomprensible. No obstante puede haber casos de absoluta certeza.

Si la diferencia entre el punto de percepción real y el que afirma el inculpado es mínima, si las velocidades son aproximadas, si no hay constancia fehaciente, si no existen certezas absolutas de que los hechos se produjeron de manera distinta, siempre será preferible una valoración benévola de la responsabilidad.

Sin embargo, la reconstrucción del accidente puede demostrar también la mentira, la falsía de un conductor, su absoluto desprecio por las normas

de tránsito, su temeridad, etc., y entonces puede caer sobre él todo el peso de la ley con el convencimiento jurídico y moral de que se condena al culpable, a un individuo que no merece llevar un volante entre las manos.

La reconstrucción de accidentes de tránsito se realiza partiendo de las evidencias físicas producidas por el accidente, analizándolas a la luz de las leyes de la física y empleando las técnicas de representación gráfica, completándolas con nuevas tecnologías tales como la informática, la fotogrametría, la medición de las deformaciones de los vehículos, la biomecánica, etc.. Empleando todas estas técnicas es posible, partiendo de las evidencias físicas del accidente, reconstruir la trayectoria de cada vehículo o peatón antes y después del accidente, calcular las velocidades desarrolladas y así determinar con un un alto grado de precisión la forma en que un accidente de tránsito ha ocurrido.

Para una buena reconstrucción, el investigador tendrá que atender en primer lugar a que la información recogida sea de máxima calidad. Debe evitar comenzar el estudio con conclusiones predeterminadas derivadas de estereotipos o de las declaraciones de los testigos presenciales o implicados en el accidente sin previamente comprobarlas, ya que ello conduce a desechar hipótesis porque no corresponden a esa idea previa del desarrollo del accidente.

La reconstrucción de accidentes se desarrolla por diferentes motivos, con diferentes objetivos y por distintas personas.

Las organizaciones gubernamentales, los constructores de vehículos, las compañías aseguradoras y las fuerzas de seguridad, desarrollan reconstrucciones de accidentes. En el ánimo de las administraciones están presentes objetivos de recabar información más precisa sobre los accidentes y mejorar las normas de seguridad; en el caso de los fabricantes de vehículos reside en su ánimo mejorar el diseño de sus productos conociendo cómo se han comportado en accidentes reales para solventar los problemas que en ellos se hubiesen producido. Las compañías aseguradoras tienen interés en la reconstrucción de accidentes desde el momento que se ventilan a causa de ellos fuertes indemnizaciones en los tribunales. Las autoridades policiales necesitan reconstruir accidentes para determinar las posibles responsabilidades de orden penal o civil a que hubiera lugar, como resultado del accidente.

La reconstrucción de la secuencia del accidente requiere la realización de gran número de complicados cálculos matemáticos, tal como se indicara oportunamente, en aplicación de los principios de conservación de la energía, las fórmulas de Campbell sobre las energías de deformación, el principio de conservación de la cantidad de movimiento, etc., y es ahí donde se ha demostrado particularmente útil el empleo de medios informáticos por la mayor rapidez y la mayor precisión y exactitud en las operaciones, que finalizan con una representación gráfica bi o tridimensional del suceso, recreando así la explicación de lo sucedido en el accidente con una aproximación muy certera y cercana a la realidad.

El empleo de programas informáticos para la reconstrucción de accidentes arrancó en EE.UU. a finales de los años 60 cuando la agencia norteamericana de seguridad vial en las carreteras (NHTSA) encargó al Laboratorio Aeronáutico Cornell (actualmente CALSPAN) el diseño de un programa de reconstrucción de accidentes. Paralelamente, también en EE.UU., la Asociación de Fabricantes de Vehículos de Motor (MVMA) desarrolló en colaboración con el Instituto de Investigación de Transportes de la Universidad de Michigan (UMITRI) diversos programas de reconstrucción de accidentes.

La utilización de estos programas se extendió durante los años setenta entre las administraciones gubernamentales norteamericanas, las compañías constructoras de automóviles y en algunas universidades y centros de investigación importantes. Estos programas desarrollados por CALSPAN y UMITRI tenían un problema que impedía su generalización: requerían un ordenador *mainframe*, de elevado costo, sólo accesible para pocos centros. La aparición de los primeros ordenadores personales, en particular del IBM PC, cambió radicalmente el panorama. En efecto, lo que antes sólo podía realizarse empleando unos ordenadores muy potentes y caros, se encontraba a partir de ese momento al alcance de cualquiera que pudiese comprar uno de estos ordenadores con un valor de adquisición muy inferior al de los *mainframes*. Ya en 1980, por primera vez un programa desarrollado por CALSPAN para un *mainframe* se reescribió para ser utilizado en un ordenador Apple. A éste le siguieron mucho otros productos y se desarrollaron programas específicamente diseñados para ejecutarse en PC que están en continua evolución, sobre todo en la mejora de la representación gráfica del accidente y en la incorporación a sus bases de datos de nuevas pruebas de choque, de los más importantes centros de investigación.

XV. CONCEPTOS Y TÉRMINOS BÁSICOS

Siempre es importante conocer y acordar conceptos y términos básicos en temas como los que se están tratando. Para ello a continuación se vierten muchos de ellos desde dos aspectos:

En cuanto a la física:

1. Aceleración: Es el cambio de velocidad en función del tiempo de cualquier objeto físico. La aceleración es un vector y como tal tiene magnitud, dirección y sentido, puede producir un aumento en la velocidad si esta última va en el mismo sentido o una disminución de la misma si va en sentido contrario. Las unidades de la aceleración son variadas: se puede medir en metros sobre segundo al cuadrado, pies sobre segundo cuadrado, o en múltiplos de g (g es la gravedad).

2. Cambio de velocidad (ΔV): Es la diferencia entre una velocidad inicial y una velocidad final.
3. Centro de masa: Es el punto de un cuerpo donde se puede suponer que se encuentra concentrada toda la masa de un cuerpo rígido.
4. Cinemática: Estudio del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen.
5. Coeficiente de fricción: Factor constante que da cuenta de la resistencia al deslizamiento de un cuerpo sobre otro.
6. Conservación de energía: La ley de conservación de la energía establece que el valor de la energía de un sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo.
7. Conservación del momento: En un sistema aislado en el cual las fuerzas externas son cero, el momento lineal total se conserva.
8. Dinámica: Es el estudio del movimiento de los cuerpos teniendo en cuenta las causas que lo producen.
9. Dinámica del vehículo: Análisis de las fuerzas presentes en el movimiento de un vehículo.
10. Energía: Es la capacidad que posee un cuerpo para realizar trabajo en virtud de su velocidad o de su posición.
11. Energía cinética: Energía que posee un cuerpo en virtud de su velocidad.
12. Fuerza: Interacción entre dos o más cuerpos que produce en éstos un cambio en su cantidad de movimiento.
13. Fuerza centrífuga: Fuerza ficticia confundida con la *inercia lineal* que obedece a la primera Ley de Newton, en la cual se expresa que un cuerpo cambia su cantidad de movimiento sólo en presencia de una fuerza resultante.
14. Fuerza de fricción: Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción la resistencia que se opone al movimiento (fuerza de fricción cinética) o a la tendencia al movimiento (fuerza de fricción estática) de dos superficies en contacto.
15. Gravedad (g): Aceleración de los cuerpos en un movimiento vertical, debida a la fuerza gravitacional, comúnmente llamada peso. Las unidades de éste son también variadas: Newton, dinas o kilogramos fuerza.
16. Impulso: Es el producto de una fuerza en un intervalo de tiempo.
17. Inclinación: Es el ángulo que posee una recta respecto a un eje.
18. Leyes de Newton: Postulados que explican las interacciones y los movimientos de los cuerpos.
19. Masa: Propiedad inherente a todo cuerpo físico.
20. Mecánica: Rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos.
21. Momentum: La cantidad de movimiento, momento lineal o ímpetu es una magnitud vectorial que se define como el producto entre la masa y la velocidad en un instante determinado.
22. Peso: Se denomina peso de un cuerpo a la fuerza que ejerce sobre dicho cuerpo la gravedad de un objeto masivo, normalmente la Tierra.

23. Posición: Es la ubicación de un punto respecto a un sistema de referencia. En la reconstrucción de accidentes de tránsito se tienen en cuenta diferentes tipos de posiciones entre las cuales se pueden nombrar: la posición relativa de los cuerpos antes, durante y después del accidente de tránsito. Ésta se puede medir en millas, kilómetros, metros, entre otras.

24. Radio: Línea que une el centro de un círculo con cualquier punto de la circunferencia.

25. Vector: El concepto matemático de vector se utiliza en física para describir magnitudes tales como posición, velocidades, aceleraciones, fuerzas, momento lineal, etc. En ellas es importante considerar no sólo el valor sino también la dirección y el sentido.

26. Velocidad: Cambio de posición en función del tiempo. Es la razón a la cual un vehículo recorre una distancia. Ésta se puede medir en millas por hora, kilómetros por hora, metros por segundo, entre otras.

27. Velocidad angular: La razón a la cual se desarrolla un giro, la cual se mide en radianes por segundo.

28. Velocidad crítica: Velocidad máxima que puede tener un objeto en una curva circular sin salir de ésta.

En cuanto a la reconstrucción:

1. Análisis de la causa: Es el esfuerzo por determinar el porqué del accidente a partir de la evidencia presente en la escena del mismo.

2. Causa: Combinación de factores que determinan las razones por las cuales se cree que se produce el accidente.

3. Curso de colisión: Sendero previo al accidente seguido por los objetos involucrados en una colisión.

4. Daño indirecto: Daño en partes del vehículo diferentes al punto de impacto.

5. Decisión: La determinación de la acción ante una situación, estrategias, tendencias o tácticas evasivas.

6. Distancia de frenado: Distancia requerida para que un automóvil detenga su movimiento.

7. Distancia de reacción del conductor: Distancia recorrida por un vehículo durante el tiempo de reacción del conductor, ante un riesgo.

8. Distancia total de detención: Distancia recorrida desde que el conductor percibe el riesgo hasta que se detiene.

9. Energía de aplaste/Deformación: La cantidad de energía utilizada en la estructura de un vehículo para ser deformado.

10. Factor de arrastre: Es un factor que representa la aceleración o desaceleración de un vehículo u otro objeto, como un fragmento decimal de la gravedad.

11. Impacto: Es el impulso que ejerce un cuerpo sobre otro.

12. Impacto central: Es un impulso dirigido al centro de masa del vehículo.

13. Marca del giro: Huella de arrastre.

14. Posición final: Punto de descanso último después de una colisión.

15. Posición final con pérdida de control: Posición final alcanzada en un accidente sin intervención humana.

16. Posición final en control: Posición final alcanzada por el esfuerzo consciente de una persona para detener su movimiento después de un accidente.

17. Primer contacto: Punto en el cual un cuerpo toca por primera vez a otro.

18. Punto de referencia: Punto respecto al cual se fijan las evidencias.

19. Reacción: Acción refleja ante la presencia de un riesgo.

20. Reacción de reflejo: Respuesta involuntaria a un estímulo.

21. Reconstrucción profesional: Esfuerzo por determinar a partir de la información disponible como ocurrió el accidente.

22. Sobrerreacción: Reacción excesiva de un conductor ante una situación arriesgada que produce otro, o un riesgo adicional.

23. Software de reconstrucción: Software empleado como ayuda en la investigación de accidentes de tránsito.

24. Tiempo de frenado: Tiempo requerido para la detención de un vehículo.

25. Tiempo de reacción del conductor: Tiempo que demora el conductor en efectuar una acción.

26. Trayectoria del peatón: Trayectoria del cuerpo del peatón después de un impacto.

27. Triangulación: Método de localizar medidas de referencia.

28. Velocidad común: Durante el impacto, los vehículos, al estar en contacto por un breve instante de tiempo, poseen la misma velocidad.

XVI. MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

Cada accidente en particular requerirá la aplicación de cálculos para dar respuesta a diferentes interrogantes periciales. Las variantes y posibilidades en ambos sentidos (en el técnico y en el que surja del cuestionario) son numerosas. Habrá hechos donde los participantes sean conductores y peatones, otros donde intervengan únicamente conductores (con o sin tripulantes que los acompañen) y dentro de la amplia gama de posibilidades, podríamos señalar aquel donde intervenga un conductor y un objeto inanimado (fijo o móvil) contra el cual choca.

Obviamente no puede realizarse una síntesis pormenorizada de fórmulas de aplicación para cada caso, especialmente aquellas que tienden al cálculo de velocidades, no obstante lo cual diremos que las tan conocidas ecuaciones vertidas en los diferentes libros de física, referidas a dinámica, cinemática y estática, así como también la aplicación de las funciones trigonométricas, conducen en cada caso al acercamiento de parámetros aproximados a la realidad de los hechos. Ciertamente, ello

no es todo; amén de los imponderables y demás cálculos que puedan concretarse, será necesario también contar con instrumental de precisión para medir distancias, deformaciones, desaceleraciones, calibrar velocímetros, etcétera.

No obstante lo dicho hasta aquí, se mencionan a continuación fórmulas útiles que pueden ayudar en la tarea del perito que recién se inicia:

$$D_T = \frac{V_v^2}{2\mu g} + t_r V_v$$

Esta ecuación permite determinar la distancia total recorrida por un móvil que se desplaza a una velocidad Vv, teniendo en cuenta la distancia recorrida durante la reacción del conductor y la avanzada durante el frenado.

Se debe tener en cuenta que:

- la velocidad del vehículo durante el tiempo de reacción se asume como constante;
- durante el proceso de frenado la desaceleración del vehículo se asume como constante;
- la ecuación es válida para procesos de frenado en superficies horizontales.

D_T = Distancia total recorrida medida en metros.
V_v = Velocidad del vehículo medida en metros/segundo.
t_r = Tiempo de reacción de una persona atenta medida en segundos.
μ = Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso.

Con esta ecuación se puede determinar la velocidad V del vehículo al inicio de la huella de frenado.

$$V = \sqrt{2\mu g d}$$

Se debe tener en cuenta que:

- la posición final de la llanta del vehículo debe coincidir con el final de la huella;
- la aceleración del vehículo se asume como constante;
- la ecuación es válida para proceso de frenado de emergencia en superficies horizontales.

V = Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenada medida en metros/segundo.
μ = Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: máximo (0,8); mínimo (0,7).
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo al cuadrado.
d = Longitud de la huella de frenado medida en metros.

La siguiente fórmula permite determinar la velocidad de un vehículo al inicio de la huella de frenado antes del impacto.

$$V = \sqrt{2\mu g d + V^2_{imp}}$$

Se debe tener en cuenta que:

- la desaceleración se considera constante;
- la ecuación es válida sólo para superficies horizontales;
- la velocidad de impacto debe ser determinada por otros métodos.

V = Velocidad del vehículo en el instante de comenzar a marcar la huella de frenado medida en metros/segundo.
μ = Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: máximo (0,8) mínimo (0,7).
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo al cuadrado.
d = Longitud de la huella de frenada del vehículo medida en metros.
V_{imp} = Velocidad del vehículo al momento del impacto medida en metros/segundo.

La siguiente ecuación facilita la determinación de la velocidad del peatón un instante después de ser impactado por un vehículo, conociendo la distancia total recorrida por el éste y la altura del centro de masa del mismo.

$$V_p = [-(2h/g)^{1/2} + (2h/g + 2d/\mu g)^{1/2}]\mu g$$

Se debe tener en cuenta que:

- la altura de frente del vehículo debe estar por encima de la altura del centro de masa del peatón;
- ecuación válida sólo para superficies horizontales.

m = Coeficiente de fricción entre el piso y el peatón (0,9).
g = Valor de la aceleración gravitacional terrestre 9,8 metros/segundo al cuadrado.
h = Altura del centro de masa del peatón en metros.
d = Distancia entre el punto de colisión y la posición final del peatón en metros.
V_p = Velocidad con la cual es lanzado el peatón en metros/segundo.

La siguiente fórmula permite determinar la velocidad de un vehículo que se desplazó una distancia dt deteniéndose sin dejar ningún tipo de huella.

$$V = \sqrt{2\mu g_{ef} g d_t}$$

Se debe tener en cuenta que:
- la aceleración se asume como constante;
- esta ecuación es válida sólo para superficies horizontales.

V = Velocidad del vehículo medido en metros/segundo.
μ = Coeficiente de rozamiento efectivo: máximo (0,8) mínimo (0,4).
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo al cuadrado.
d_t = Distancia total recorrida medida en metros.

La siguiente ecuación está destinada al cálculo del tiempo que tarda el peatón en recorrer una distancia determinada.

$$t = d/v$$

v = Velocidad del peatón al cruzar la vía en metros/segundo.
t = Tiempo que tarda el peatón en recorrer una distancia en segundos.
d = Distancia recorrida por el peatón en metros.

De la siguiente manera se calcula la velocidad máxima del vehículo para detenerse antes de atropellar a la persona.

$$V = \mu g t$$

V = Velocidad máxima del vehículo para detenerse antes del atropello en metros/segundo.
t = Tiempo que tarda el peatón en recorrer la distancia hasta el atropello, menos el tiempo de reacción del conductor del vehículo en segundos.
μ = Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso.
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo (al cuadrado).

Cálculo de la velocidad del vehículo de acuerdo a la distancia recorrida y a su aceleración.

$$V = \sqrt{2ad}$$

V= Velocidad final del vehículo, en metros/segundo.
a = Valor de la aceleración del vehículo en metros/segundo al cuadrado.
d = Distancia recorrida por el vehículo en metros.

La siguiente es la fórmula para el cálculo de la velocidad del vehículo teniendo en cuenta la distancia recorrida desde el lugar donde observa el obstáculo hasta donde se detiene completamente.

$$V = \left(-t_r + \sqrt{t^2_r + 2d_2/\mu_2 g} \right) * \mu_2 g$$

V_v = Velocidad del vehículo en el instante de observar el obstáculo en metros/segundo.
μ = Coeficiente de rozamiento efectivo entre las llantas y el asfalto seco: máximo (0,8) mínimo (0,7).
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo al cuadrado.
d_A = Distancia total recorrida por el vehículo en metros.
t = Tiempo de reacción para el conductor del vehículo en segundos.

Cálculo de la velocidad máxima del vehículo para no derrapar en una curva:

$$V = \sqrt{\mu g r}$$

V = Velocidad máxima del vehículo para no derrapar en curva en metros/segundo.
m = Coeficiente de rozamiento entre las llantas del vehículo y el piso, máximo (0,8).
g = Valor de la aceleración de la gravedad: 9,8 metros/segundo al cuadrado.
r = Radio de la trayectoria curva seguida por el bus en metros.

La siguiente fórmula permite el cálculo de la velocidad mínima para que se produzca el vuelco de un rodado al realizar un giro.

$$V_V = \sqrt{(b/h)\, gR}$$

V_v = Velocidad mínima para el volcamiento en metros/segundo.
R = Radio de giro en metros.
b = Distancia transversal entre las llantas del vehículo y el centro de masa del vehículo en metros.
h = Altura del centro de masa del vehículo en metros.
g = Valor de la aceleración de la gravedad (9,8 metros/segundo al cuadrado).

Finalmente se indica la ecuación para el cálculo de la distancia que recorre un vehículo a una velocidad Vv durante la reacción del conductor:

$$D_T = t_r V_V$$

D_T = Distancia de reacción en metros.
V_V = Velocidad del vehículo en metros/segundo.
t_r = Tiempo de reacción de una persona atenta en segundos.

XVII. EL *AQUAPLANING*

El *aquaplaning* o *hydroplaning* (o más raramente acuaplaneo) es la situación en la que un vehículo atraviesa en la carretera, a cierta velocidad, una superficie cubierta de agua en circunstancias que provocan la pérdida de control del vehículo por parte del conductor. Cuando llueve se crea una capa acuosa que hace perder adherencia y contacto con el suelo. Si esa pérdida fuera total, se acabaría patinando y sufriendo un accidente. Para minimizar en la medida de lo posible esa pérdida, los fabricantes de neumáticos diseñaron unas estrías cuya función es expulsar el agua hacia los laterales, permitiendo así despejar de líquido la zona por la que deben rodar.

Cuando existe una capa fina de agua en la carretera, el vehículo no ve alterada su marcha gracias al perfil de los neumáticos, que van expulsando el agua hacia los lados de forma que las ruedas no pierden el contacto con la calzada.

Si la capa de agua es relativamente gruesa, de forma que la superficie cubierta de agua tiene las características de un charco, las ruedas del vehículo que pasa a cierta velocidad por ese lugar se hundirán en el agua y seguirán en contacto con la calzada, aunque el agua actuará como elemento de frenado sobre las ruedas. El vehículo perderá algo de estabilidad, pero seguirá siendo controlable por el conductor.

El peligro surge cuando el vehículo atraviesa una superficie de agua delgada, pero no tanto como la descrita en el primer caso, en el que los neumáticos expulsan el agua. En esta situación la capa de agua supera el grosor en que los neumáticos aseguran la adherencia, de forma que el vehículo, si pasa por ese lugar a cierta velocidad, pierde el contacto con el suelo y patina. El conductor no es capaz de controlar la dirección del vehículo, de forma que se produce normalmente un accidente, que en muchas ocasiones es grave.

Las probabilidades de *aquaplaning* aumentan con la velocidad y se reducen con la presión. Si la presión es muy elevada, incluso por encima de los valores normalmente aconsejados, la superficie de contacto con el suelo disminuye; en consecuencia, la capacidad del neumático de "atrapar" agua en la superficie de contacto se reduce, ya que es más capaz de expulsarlo por las ranuras.

XVIII. EL PERITAJE MECÁNICO

No hay duda de que los primeros en intervenir en un hecho culposo o doloso vinculado con un suceso vial son los peritos mecánicos. Ellos estimarán las velocidades en el momento de la colisión, fundamentándose en las deformaciones permanentes producidas en las zonas impactadas, los desplazamientos del o de los rodados, las distancias del frenado y las

fallas mecánicas. Si estas fallas fueron la causal del accidente, previo examen del mecanismo del vehículo, determinarán si el conductor pudo o no haber previsto las mismas. De igual manera establecerán si los daños fueron producidos por golpe o choque con o contra cuerpos duros o blandos y si los mismos son de antigua o reciente data.

XIX. EL PERITAJE FÍSICO-MATEMÁTICO

El profesional especializado en este tipo de labor deberá ante todo estudiar con profundidad las constancias sumariales existentes sobre el hecho acontecido, para luego determinar, mediante ecuaciones físico-matemáticas, la velocidad del o de los rodados en forma precisa y analizar la dinámica y cinemática de la mecánica del choque, teniendo en cuenta la trayectoria de los vehículos en el momento de la colisión. Establecerá además las distancias de frenado, la estabilidad de los vehículos, la influencia de los rodados en los accidentes y todo otro punto de interés para la causa judicial.

La información necesaria para los consecuentes análisis normalmente deberá seguir el siguiente orden metodológico:

- posición geográfica del impacto, perfectamente referenciada;
- posición final del o de los vehículos intervinientes en el suceso;
- longitud de las huellas de frenado, si las hubiera, pre y postimpacto, y sus características cualitativas;
- características del camino en el momento del accidente (granulometría), estado de conservación del mismo y presencia de agentes exteriores (musgo, aceite, arena, etcétera);
- estudio y análisis de las manifestaciones de las partes protagonistas y de los testigos;
- estudio y análisis del informe pericial del perito mecánico;
- estudio y análisis de las fotografías de los vehículos (cuanto más numerosas mejor);
- en caso de haber sido embestida una persona, posición de impacto y posición final de la víctima y del vehículo;
- plano del lugar del hecho, correctamente acotado.

Con los datos hasta aquí referidos pueden hacerse las siguientes determinaciones:

a) mecánica del accidente;
b) velocidad de los rodados;
c) trayectoria seguida por los rodados pre y postimpacto;
d) conos de visión de las intersecciones.

El estudio teórico posterior del frenado de los rodados y del correspondiente tiempo de reacción de los conductores indicará la factibilidad de haberse evitado o atenuado las consecuencias del accidente en cuestión.

XX. DATOS CONOCIDOS Y NECESARIOS EN LA RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES

La reconstrucción de un accidente de tránsito tiende a explicar, sobre la base de hechos conocidos, cómo sucedió el mismo. Hay cinco clases de datos necesarios para la reconstrucción:

– itinerario según las versiones de los conductores intervinientes;

– detalles sobre los desperfectos de los vehículos o las lesiones de los peatones y su significado;

– marcas o huellas en la carretera, ruta, camino, etc., o en objetos fijos, y su significado;

– posición final de los rodados;

– principios científicos relacionados con la mecánica (que explica el comportamiento de los objetos en movimiento) y la psicología (que explica los tiempos de percepción y reacción de los conductores).

Para concretar una reconstrucción es necesario contar con la mayor cantidad de datos posibles, en lo que atañe a huellas de frenado, de desplazamientos, lugar geográfico del impacto, iluminación, situación atmosférica, etc. Las etapas en que se realiza tal reconstrucción son las siguientes:

– análisis y determinación de toda la cinemática y dinámica que conformó el desarrollo del accidente;

– determinación de las causas de visión máxima de los conductores;

– determinación de los conos de visión compatibles con la velocidad y referidos a distintas secuencias de tiempo en segundos, antes del punto de impacto.

En todos los casos resulta de fundamental importancia el relevamiento fotogramétrico a corta y larga distancia, ya que permite el almacenamiento de información sobre cada hecho en particular y viabiliza la repetición y evaluación planimétrica del suceso, cuando así sea necesario.

XXI. INTERROGANTES PERICIALES MÁS FRECUENTES

a) Determinación de las velocidades de los vehículos.

b) Tiempo de detención en función de la velocidad.

c) Distancia de frenado en función de la velocidad y/o tiempo de reacción de los conductores.

d) Velocidad límite para una curva y vehículo determinados.

e) Velocidad máxima alcanzada por el vehículo interviniente dentro de una distancia dada, partiendo del reposo o en movimiento.

f) Factibilidad de vuelco según esquemas accidentológicos.

g) Cálculo de la posible velocidad de impacto hasta su anulación, habiéndose aplicado los frenos momentos antes del tiempo prefijado por los conos de visión o por detalles del expediente de la causa.

h) En caso de embestida a peatones, posición relativa del vehículo y el peatón, uno, dos o tres segundos progresivos antes del impacto.

i) Esquema de la secuencia o progreso del accidente.

XXII. EL EXAMEN DEL VELOCÍMETRO, UN AUXILIAR EN LA INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES

Como ya se indicara oportunamente, un factor muy importante para ser determinado en la investigación de cualquier accidente es la velocidad del vehículo en el momento del impacto. Existen varios métodos para lograrlo, siendo el más común el análisis de las huellas de frenado. Aunque bueno, este método no siempre puede ser aplicado, dada la ausencia de tales marcas.

Otra forma es examinar el vehículo y estimar los daños que sufriera como producto de la colisión. En la práctica, estas estimaciones se llevan a cabo comparando los daños con otros observados en distintos accidentes, en los cuales los rodados colisionaron con objetos fijos a velocidades conocidas. Sin embargo, en tales casos las estimaciones dependen más de suposiciones, así como de la experiencia y familiaridad de quien interviene con los resultados de hechos similares, que de cálculos objetivos.

Muchas veces, ya sea en choques frontales o con objetos fijos, surge poca evidencia que pueda ser considerada para definir la velocidad del rodado. En los frontales los daños pueden ser tan severos y los ángulos de aproximación y salida tan críticos, que las ecuaciones de conservación del movimiento son casi imposibles de aplicar, salvo que se conozca la velocidad de uno de los vehículos en el momento del impacto.

Otro de los métodos existentes es el de examinar el velocímetro, el tacómetro y el tacógrafo.

Todos los vehículos que se venden y han vendido están equipados con un dispositivo que indica la velocidad en kilómetros por hora (o millas por hora, según su origen), fácilmente visible por el conductor. También pueden poseer un tacómetro que indica las revoluciones por minuto del motor. Ambos instrumentos por lo general consisten en un cuadrante numerado (en forma de reloj o no) y una aguja o indicador, en la medida que no sean digitales. El fondo de la escala con números puede poseer diversos colores y la aguja usualmente se encuentra recubierta con una pintura luminosa de color naranja, verde, rojo, azul, etcétera.

Tales instrumentos han sido, de una forma u otra, instalados en vehículos desde su origen y rara vez se los ha utilizado para la determinación de velocidades en casos de accidente. La observación del velocímetro permite a veces calcular tal parámetro, pero debe recordarse que la lectura directa de una aguja atascada en tal instrumento puede o no indicar la velocidad de impacto.

En algunos casos, cuando la colisión es muy severa (especialmente en choques frontales o con objetos fijos) la aguja, cuando la hubiere, produce una marca o huella en el cuadrante del velocímetro precisamente en el momento del impacto. A veces, suele vérsela a ojo desnudo. Otras, alguna parte del cuerpo del conductor u objetos ubicados dentro del vehículo se ponen en contacto con el velocímetro, empujando o golpeando

la aguja respectiva contra el cuadrante. La misma puede o no quedar adherida en esa posición de golpe. Si ocurre lo primero y todo el daño es relativamente recto (de adelante hacia atrás), la ubicación de la aguja puede muy bien indicar la velocidad deseada. Los daños y otras evidencias sustanciarán tal probable velocidad.

Las apreciaciones aludidas no serán viables cuando la fuerza del impacto ha sido de atrás hacia adelante, ya que en tales casos la aguja, en vez de acercarse al cuadrante del velocimetro, se alejará.

Cuando existan huellas de frenado sustanciales, previas a la colisión, muy probablemente la aguja del velocímetro se ubicará en cero. Lo mismo ocurrirá cuando haya sufrido desperfectos (inoperable) el cable del velocímetro, aunque el vehículo aún se esté moviendo.

La otra huella detectable en el velocímetro, también dejada por su aguja, es la marca de pintura que puede quedar asentada en el cuadrante, perteneciente a la primera. Sin embargo, en este caso no siempre es detectable a ojo desnudo y debe recurrirse a un examen más intenso de laboratorio.

El velocímetro de un camión pesado que ha colisionado con un vehículo de tamaño estándar, rara vez recibirá suficiente fuerza como para dejar la marca de pintura aludida. No obstante ello, si estuviera equipado con un tacógrafo, su disco podría indicar cualquier cambio en su velocidad y la hora del cambio.

Similares evaluaciones a las que se puedan concretar con un velocímetro pueden llegar a efectuarse con los tacógrafos, debiéndose recordar que los mismos sólo indican las revoluciones por minuto del motor.

El éxito de cualquier examen en el sentido expuesto dependerá de la adecuada extracción de los elementos, desde el interior del vehículo dañado. El examen de laboratorio deberá consistir en la observación microscópica con luz normal; la observación con microscopio binocular estereoscópico y finalmente con aplicación en ambos casos de luz ultravioleta.

XXIII. La importancia de los rastros de pintura en el peritaje de los accidentes de tránsito

No requiere mayor esfuerzo intelectual comprender la importancia que reviste el examen físico y químico de los rastros de pintura que puedan encontrarse en accidentes de tránsito, especialmente en aquellos casos donde uno de los vehículos se ha dado a la fuga.

En tales casos, no sólo reviste interés la composición química de la pintura sino además el color, el espesor y el orden de sucesión de las posibles capas existentes.

En determinadas circunstancias también ha de ser valiosa la conformación geométrica del rastro dejado, para el posterior cotejo de coincidencia posicional y conformación.

XXIV. Algunos pocos comentarios finales

a) Secuencia en los accidentes de peatones

Los peatones suelen ser golpeados por la parte delantera de los vehículos, en raras ocasiones lo hacen por el costado o la parte trasera. Por lo tanto, el primer punto de contacto son por lo general las piernas con la parte frontal del paragolpes.

El siguiente contacto depende del tipo de vehículo impactante y de la altura del peatón. Con los vehículos de frente plano, por ejemplo aquellos grandes que transportan mercaderías, todo el cuerpo por encima de la altura del parachoques se verá afectado al mismo tiempo. Con otros tipos de vehículos, el siguiente punto de contacto será el borde delantero del capó. El peatón puede entonces angularse en forma de curva para que su cabeza se mueva hacia la parte superior del capó o el parabrisas. Ello depende de la altura de su centro de gravedad comparado con el borde delantero del capó y la velocidad del vehículo que golpea. Los niños pueden muy bien no angularse hacia el frente del capó si su centro de gravedad está por debajo del borde delantero del mismo, simplemente se proyectan por delante del rodado. Durante estos contactos el peatón se acelera a la velocidad del vehículo. El vehículo es por lo general frenado, mientras que el peatón sigue a la velocidad original del vehículo impactante y no se desacelerará hasta tocar el suelo. Los peatones generalmente son hallados por delante del vehículo cuando todo ha llegado a su fin.

b) ¿Qué pasa con la velocidad del peatón?

Si se ha podido calcular la velocidad del vehículo embistente, y se sabe dónde fue golpeado el peatón y dónde quedó después de ello, a continuación, utilizando los siguientes fórmulas se obtendrá la velocidad lateral del peatón:

Velocidad lateral del peatón = distancia lateral recorrida x velocidad del vehículo.

Distancia longitudinal recorrida: del mismo modo, las distancias lateral y longitudinal entre el primero y último contacto que el peatón llevó a cabo con el rodado embistente, pueden emplearse para establecer la velocidad probable del peatón.

Si eso no es posible, entonces hay que referirse a investigaciones que se hayan podido llevar a cabo sobre velocidades de traslado de peatones. En general estos datos sólo provienen de los testigos y las declaraciones de partes involucradas.

c) ¿Qué información se necesita en una demanda de peatones por accidente?

La información más importante en estos accidentes es el punto de impacto, las posiciones finales del peatón y del vehículo, y el daño al ve-

hículo. La evidencia de la escena usualmente sólo estará disponible en el informe policial, y los factores importantes por lo general sólo se habrán registrado en el caso donde interviniera una dependencia especializada en accidentes. El vehículo es una fuente importante de información pero suele repararse antes de que llegue al escritorio de un abogado, con la excepción de los abogados penalistas que se enfrentan con una muerte por conducción peligrosa o imprudente. Si el vehículo ha sido reparado, deben hacerse esfuerzos para obtener las fotografías que puedan existir del vehículo cuando estaba dañado. Los registros médicos del peatón son a menudo muy útiles.

d) ¿Qué factores influyen en los accidentes de vehículos?

Mientras que los siguientes no son exclusivos de los accidentes automovilísticos, son ciertamente muy relevantes en muchos casos.

La visibilidad otorgada a un conductor es a menudo un problema. Esto no sólo significa obstáculos, tales como líneas de construcción y setos, sino también puede significar la visibilidad de un peatón atropellado, en bicicleta o conductor de motocicleta. En general, peatones y operadores de vehículos de dos ruedas utilizan ropa que es difícil de ver en la noche. Los faros de los rodados no están diseñados para permitir a sus conductores ver más allá de 30 metros de lo que permite el haz de luz, la combinación de la pobre visibilidad y la iluminación inadecuada puede tener resultados trágicos.

La velocidad del coche y el tiempo de reacción del conductor se pueden utilizar para establecer si un accidente podría o no haberse evitado con una velocidad reducida o un conductor más alerta. Donde el exceso de velocidad es aparente en un caso, la aplicación de la velocidad adecuada y un tiempo de reacción estándar del conductor tendrán al vehículo frenado antes de lo que ocurrió en el accidente. Esto a menudo significará que no se produzca el choque, o una velocidad más baja en el impacto. Las velocidades bajas de impacto están, obviamente, asociadas con la reducción del daño y el perjuicio.

El estado del coche no suele ser un factor en los accidentes, sobre todo la dirección, pero la condición de los frenos y los neumáticos a veces juega un papel fundamental en la causa y el resultado de un accidente.

CAPÍTULO XIX

EXAMEN DE PINTURAS

I. INTRODUCCIÓN

En innumerables casos, este tipo de evidencia, correctamente examinada y evaluada, puede suministrar datos que sirvan, por ejemplo, para demostrar la presencia de un automóvil sospechoso en el lugar en que ocurrió un accidente, para relacionar un robo con un homicidio, o bien para consolidar y sustanciar otros tipos de evidencias en casos diversos.

Durante el curso de distintas investigaciones pueden encontrarse pruebas importantes. Aun una pequeña mancha sobre la ropa o las herramientas de un sospechoso puede presentar las suficientes características identificatorias que permitan un buen examen o comparación.

La pintura puede revelar evidencia vital para el científico forense ya que está presente en muchas superficies. La habilidad y las técnicas utilizadas por aquél para analizar muestras de pintura recuperadas de la escena del crimen pueden otorgar una contribución significativa a la investigación.

El examen de la pintura, por lo general, aunque no exclusivamente, implica la comparación de una muestra de pintura recuperada del lugar del hecho con una muestra de control de pintura que ha sido tomada de una fuente conocida.

Algunos ejemplos de pintura que se transfiere son:

- pintura recuperada de la ropa de una víctima de accidente vial, con la pintura de un vehículo;
- pintura de dos o más vehículos involucrados en una colisión;
- pintura recuperada de una herramienta que pudo haber sido utilizada en un robo con efracción en un domicilio, con la pintura del punto de entrada/ingreso.

La pintura se encuentra generalmente en accidentes de vehículos. Los vehículos de nueva fabricación tienen una secuencia específica de capas que ayuda al perito en sus análisis y conclusiones sobre el origen de las muestras de pintura.

Esta secuencia puede incorporar varias capas diferentes, incluyendo la capa base, la imprimación y la capa superior. Cada lote, para un determinado modelo de vehículo de un fabricante, normalmente tiene la misma secuencia de capas de pintura. Si los vehículos se vuelven a rociar con pintura o poseen áreas dañadas reparadas, cambia la secuencia aludida; como se agregan más capas, menos vehículos mostrarán la misma secuencia. Las pinturas del hogar, o cualquier elemento pintado, también puede poseer una secuencia de capas.

El científico forense inicialmente lleva a cabo un examen visual de la muestra de pintura; utilizando un microscopio de baja potencia, examina la muestra de costado, buscando las diferentes capas y similitudes en la estructura de ellas.

Dependiendo de la muestra, puede utilizar un instrumento llamado micrótomo que puede cortar una sección delgada de la pintura a utilizar para su posterior análisis.

Después de producir secciones delgadas de pintura, las diferentes capas se pueden analizar utilizando instrumentos como los que más adelante se detallarán. Cada capa de la muestra recuperada se puede comparar con la capa correspondiente a la muestra de control, para determinar coincidencia. Las pruebas químicas también se pueden aplicar a las muestras de pintura.

En todas las etapas del examen hay oportunidades para identificar las diferencias en las muestras. Sólo cuando el perito está completamente satisfecho con los resultados de sus análisis concluirá que las muestras de pintura podrían haberse originado de la misma fuente.

II. Componentes

Hay varios tipos de pintura. Hay pintura para automóviles, casas (exterior e interior), pinturas para uso artístico, esmalte de uñas y pinturas utilizadas en la cerámica, sólo para nombrar algunos. Existen innumerables cosas a nuestro alrededor que fueron pintadas, la lista es inimaginablemente larga y tiene un enorme potencial para su uso en los exámenes forenses.

La pintura es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. El componente orgánico generalmente es el pigmento contenido en la pintura, que le da su color; el aglutinante mantiene las sustancias juntas. Se añade a la pintura un disolvente para darle su forma líquida; el disolvente se evapora en el aire y permite que la pintura se convierta en un sólido. La pintura seca contiene el aglutinante que suele ser inorgánico y los pigmentos que suelen ser orgánicos.

La pintura es un líquido que luego de ser aplicado con pincel, *spray* o rodillo, se endurece por evaporación de disolventes, por oxidación, o por una combinación de éstos, para formar una capa protectora y decorativa. Comúnmente está formada por los siguientes componentes:

a) *Excipientes.* Este término incluye aceites, resinas o elementos plásticos que forman la película que une los pigmentos y se adhiere a la superficie.

b) *Pigmentos y sustancias colorantes.* La pintura se colorea con pigmentos y/o tinturas que pueden combinarse o ser disueltos con el excipiente. Los pigmentos son finísimas partículas sólidas que dan el color deseado y consistencia a la pintura; pueden incluir sustancias que aumentan el volumen de ellas o mejoran sus propiedades.

c) *Tinturas.* Son necesarias en todas las pinturas que contienen aceites. Habitualmente son compuestos orgánicos que contienen cobalto, plomo o manganeso. La existencia de uno de estos elementos implica la utilización de un aceite en la preparación.

d) *Disolventes.* Se emplean para regular la consistencia de la pintura, de tal manera que pueda ser convenientemente aplicada como un líquido. Se evaporan con facilidad y no están presentes en las pinturas acrílicas.

Las pruebas de laboratorio generalmente consistirán en la determinación y el cotejo de las características individuales, tales como color, tipo, textura, disposición y composición. El objeto del examen será, la mayoría de las veces, comparar pequeñas partículas o manchas de pintura de origen desconocido, con una muestra de la que sí se conoce su procedencia.

El propósito podría ser también determinar la marca y el modelo del auto del cual se extrajeron las pruebas, establecer si la pintura es de aquellas que se usan sobre objetos metálicos, cajas de seguridad, etc., o verificar si puede estar asociada con alguna ocupación en especial.

III. La pintura como evidencia en una investigación forense

La pintura, como evidencia, se divide en dos categorías principales. Puede simplemente indicar la "clase" de la que procede; ello podría significar la diferenciación entre la pintura de un automóvil, de una casa, de un esmalte de uñas y otros tipos de pintura. Esto se hace generalmente a través del análisis químico muy detallado de las distintas capas de pintura y el examen físico de las muestras de este material. Aunque varios fabricantes pueden emplear el mismo proveedor de pinturas, las capas y los colores pueden variar de fabricante a fabricante.

La pintura también puede indicar las características individuales. Esto sólo es verdaderamente posible cuando existe una coincidencia exacta de los bordes de dos pedazos/trozos/astillas de pintura. Sin embargo, cuando las propiedades físicas tales como el color y el número de capas y los perfiles químicos y biológicos muestran puntos múltiples de similitud con la muestra de referencia, se incrementa la probabilidad de un común origen.

Al igual que con cualquier evidencia, rara vez hay una coincidencia absoluta. Lo mejor que el investigador puede hacer es establecer tantos puntos de semejanza entre las dos muestras como para que la probabilidad de que tengan diferentes puntos de origen sea estadísticamente minúscula.

Las virutas/astillas de pintura y residuos de pintura son uno de los tipos más comunes de evidencias de rastros que se pueden encontrar en la escena del crimen. El uso más común de transferencia de pintura es en el caso de un accidente automovilístico. Sin embargo, hay millones de lugares donde se pueden encontrar superficies pintadas; cada vez que éstas entran en contacto con otra superficie sólida, alguna pequeña cantidad de transferencia se produce. Por supuesto, esto es en el caso de la pintura seca.

Las manchas de pintura húmeda son otra fuente de evidencia. La pintura que se encuentra fresca se puede transferir a cualquier cosa que la toque. La pintura húmeda que ha sido alterada es una buena fuente de evidencia de fibra y cabello; asimismo, también puede poseer impresiones dactilares o palmares.

El uso más común de transferencia de restos de pintura es en el caso de accidentes automovilísticos; también se emplea en los casos de robo donde las herramientas utilizadas para ingresar a una casa o vehículo tienen evidencias de ello en su superficie.

Cualquier tipo de arma que se pueda imaginar que se haya utilizado en un altercado violento, donde impactó paredes, vehículos y otras superficies pintadas, puede tener vestigios de evidencia en forma de pintura sobre la misma. Los proyectiles de arma de fuego que impactan paredes, vehículos y otros objetos pintados también pueden tener evidencias en forma de pintura, en ellos. El origen de la pintura en cualquiera de estos elementos puede ayudar a un investigador a reconstruir un crimen.

IV. AUTOMÓVILES

En el caso de un accidente vial, siempre hay transferencia de pintura; la transferencia puede ser de un vehículo a otro o de un vehículo a cualquier objeto que el vehículo pudo haber golpeado. La transferencia dual es cuando la pintura del vehículo se transfiere al objeto al cual golpea y la pintura del objeto se transfiere al vehículo. Los rodados son especialmente buenos para la recuperación de la pintura transferida, debido a que el metal subyacente del vehículo se inclina/curva en el impacto; ello hace que la capa de pintura subyacente se separe del metal y se caiga en fragmentos. A veces, si el impacto se produce en un ángulo, un poco de pintura se transfiere de un vehículo a otro objeto o vehículo por la fricción entre los dos objetos.

Los fabricantes de automóviles utilizan números diferentes de recubrimientos y pinturas de imprimación, lo que puede ayudar a identificar la marca y el modelo del vehículo. La mayoría de los fabricantes utiliza un mínimo de cuatro recubrimientos/capas; la primera capa es la capa de imprimación, que se une al metal en bruto; ello proporciona una superficie para que las siguientes capas de pintura se puedan enlazar/unir. Esta primera capa también crea una superficie lisa que oculta las imperfecciones en el metal, lo que también puede ser útil en el caso de daños causados por un choque y fuga o un agujero de bala que se ha ocultado. Incluso si las áreas repintadas del vehículo son repintadas con la capa superior del mismo color, tal como el usado por el fabricante, es poco probable que se emplee la misma fórmula de pintura.

La segunda capa es la imprimación de superficie, que también ayuda a ocultar las costuras y otros defectos. Esta capa está pigmentada para ocultar el color de la capa de electroimprimación Esta capa suele coincidir con el color de la capa superior. El gris se utiliza para los colores claros, el rojo para los colores oscuros. Incluso si hay pocas evidencias de que el color de acabado puede ser el color superior, el color de la imprimación puede utilizarse para indicar el tono del vehículo.

La tercera capa de pintura es la capa base. Esta capa es la que le da al vehículo su color. En los antiguos vehículos la pigmentación puede estar hecha de diferentes metales pesados. Debido a las preocupaciones ambientales y de salud, la pigmentación de los vehículos modernos es de naturaleza orgánica; algunos fabricantes pueden usar óxidos de metal, aluminio o vidrio molido para crear una apariencia brillante.

La última capa de pintura es la capa transparente, que no está pigmentada y protege las capas subyacentes de arañazos y daños causados por el sol y la lluvia, así como la sal y la abrasión de la arena que sopla.

Al examinar las virutas/astillas de la pintura de un vehículo, el número de capas usadas y la secuencia en su aplicación pueden ayudar a determinar la marca y el modelo del rodado. Además, al examinar las dos muestras tales como una conocida y otra cuestionada, el número y la secuencia de las capas pueden ayudar a determinar si la muestra puede ser de la misma fuente.

V. COMPARACIONES FÍSICAS

Son poco frecuentes pero ocurren de vez en cuando. Una comparación física es cuando un trozo/astilla de pintura de origen conocido se compulsa con una muestra de uno de los coches, ropa o arma, etc., sospechosos. La coincidencia por comparación se obtendrá mediante la comparación de los bordes de dos muestras con un microscopio estereoscópico; esto permite comparar las dos muestras lado a lado. Al igual que las estrías en los proyectiles de armas de fuego, también se comparan los bordes de dos muestras de pintura. Las que encajan como un rompecabezas se pueden considerar coincidencias exactas.

Un examen de comparación comienza con observaciones generales mediante el auxilio de un microscopio con la finalidad de: determinar color, textura, estructura y cualquier característica que pudiera servir como punto de referencia. Si la muestra de la que se conoce su procedencia fue tomada de un lugar cercano al área desde donde proviene la de origen desconocido, el microscopio le permitirá al observador no dejarle ninguna duda de que partieron de una superficie en común.

Para observar mejor el color en las tareas de comparación, las pruebas se sumergen en aceite mineral y se miran a través del microscopio. Las partículas pueden superponerse para que las diferencias, si las hubiere, resulten evidentes. La luz que se emplea es variada en intensidad.

El resultado de las pruebas, especialmente en muestras muy pequeñas, dependerá de la habilidad y experiencia del examinador.

El término textura incluye características tales como brillo, aspecto granuloso, dureza, formación de ampollas o burbujas, etc. Muchas veces las muestras de pintura examinada pueden contener dos o más capas, las que habitualmente serán distinguidas microscópicamente. Al respecto, el examinador observará y registrará la estructura de las capas, anotando el espesor, la posición y textura de cada una de ellas. A menudo se llega a las capas inferiores raspando la pintura o mediante el uso de disolventes, para mejor observación.

Como en el caso ya citado, el propósito de una investigación es determinar la marca y el modelo de un vehículo involucrado en un accidente, contándose para ello solamente con pequeñas partículas de pintura extraídas de las ropas de la víctima. En estos casos es fundamental contar con un archivo o banco de datos apropiado y actualizado, el que, de ser posible, contendrá una colección de paneles suministrados por los fabricantes de automóviles.

VI. El examen de la evidencia

Lo primero que un examinador va a hacer es revisar el método utilizado para recopilar y almacenar la muestra y la cadena de custodia. Es importante determinar que no existe una posible contaminación de la muestra; si todo parece estar correcto, tendrá en cuenta el tamaño, el número de las mismas y los factores ambientales que pueden haber afectado a la condición de ellas. El examinador revisará los detalles del caso y determinará qué pruebas son necesarias para responder a las preguntas específicas en el caso.

Otros métodos de exploración física comienzan con una comparación visual de los colores de las muestras cuestionada y conocida. Si aquéllas parecen ser del mismo color y tono, a continuación las capas pueden ser examinadas de forma individual. Si los colores y tonos no parecen coincidir, el investigador puede optar por finalizar el análisis y tratar con una muestra diferente. Cabe señalar que las diferencias en el color, el número de capas y el grosor pueden existir en las muestras de un mismo origen. Para reducir la posibilidad de que esto ocurra, la muestra de referencia se debe tomar lo más cerca posible, pero no en la zona dañada. Las muestras de objetos sólidos se obtienen con un escalpelo/bisturi para quitar la pintura; esto se puede hacer en el área de trabajo, como en el caso de los vehículos. Cuando los objetos extraíbles tales como ropa, armas o herramientas están involucrados, pueden ser empaquetados/embalados y enviados al laboratorio y procesados allí. Otras fuentes

de muestras cuestionadas pueden incluir herramientas, las paredes de domicilios, los edificios, la piel y tejidos de las uñas. La muestra debe tomarse antes de hacer cualquier tratamiento con cinta de elevación/extracción de los polvos con huellas dactilares, ya que estas cosas pueden cambiar el perfil químico de la muestra.

Si la observación microscópica de las capas y el color de la muestra no la excluyó, el perito puede optar por continuar con el examen microscópico de la muestra. Otros métodos pueden incluir el uso de un microscopio electrónico de barrido.

Otro método para probar la similitud de dos muestras es la aplicación de disolventes químicos diversos. Estos productos químicos se agregan a cada capa de la muestra cuestionada y de referencia, y se observa la reacción.

VII. Análisis químicos y biológicos

La manera más común para vincular una muestra a otra es a través del análisis químico de los distintos componentes de la pintura. El propósito de este tipo de análisis es encontrar tantos puntos de semejanza como sea posible, tanto en los componentes orgánicos como en los inorgánicos.

El tipo más común de análisis es la cromatografía gaseosa-espectrometría de masa de la pirólisis. Este procedimiento primero probaba la composición química del aglutinante en la pintura, en vez de los pigmentos orgánicos. En este proceso la pintura se calienta hasta que alcanza un estado gaseoso y luego se hace pasar por una columna que separa los distintos componentes. Los componentes se pasan a través de un detector y un gráfico, conocido como pirograma. Este sistema puede ayudar a distinguir las pinturas de color similar, pero de diferente composición química.

Esta prueba no siempre es definitiva, porque los aglutinantes utilizados por el fabricante pueden variar debido a los costos y la oferta, incluso si el color se mantiene constante.

Otros exámenes incluyen el uso de un microscopio electrónico de barrido. Un haz de electrones se pasa sobre una muestra y produce retrodispersión, electrones secundarios y la emisión de rayos X. El componente de rayos X de la exploración indica los elementos específicos presentes mientras que la difracción de rayos X puede identificar formas cristalinas de pigmento.

Con la microespectrofotometría también es posible analizar muestras de pintura que se han saltado cuando ocurre un accidente de tránsito. La muestra de pintura se moldea en una resina sintética, se hacen cortes de 3 a 5 micrones de espesor, estas capas delgadas se investigan con luz transmitida y de la misma forma como se analizan las fibras textiles.

En conclusión, la microespectrofotometría es una técnica con una amplia aplicación que ofrece todas las posibilidades disponibles en criminalística para la investigación de microhuellas o micromuestras; además, ofrece la gran ventaja de ser una técnica no destructiva, es decir

que la evidencia no se destruye durante su análisis y puede ser guardada para una posterior confrontación si fuera necesario.

La espectrofotometría infrarroja se puede utilizar para identificar la composición del aglutinante de cada capa, observando cómo la muestra absorbe diferentes longitudes de onda de luz infrarroja.

Utilizando estos métodos, entre otros, el investigador recopila un perfil físico, químico y biológico de la muestra.

Experimento

La mayoría de los métodos de análisis químicos son científicamente complicados y requieren equipo sofisticado. Aquí se presenta un experimento que se puede hacer, el cual demuestra una manera fácil de distinguir un color de otro.

1. Elegir tres o más marcadores solubles en agua (por lo general, para los niños). Los tres deben ser del mismo color pero de diferentes marcas.
2. Llenar tres vasos de igual tamaño con 2,54 cm de agua.
3. Cortar tiras de papel de filtro para café de 10,16 cm por 2,54 cm. Dibujar con lápiz una línea de 1,27 cm de la parte superior e inferior de la tira.
4. Coloque un punto de tinta de cada marcador justo debajo de la línea en la parte inferior de la tira. Por encima de la línea superior perforar el papel con un lápiz o un pinche de algún tipo. Suspender el papel en el agua para que 0,63 cm estén en el agua. Asegurarse de que el punto de tinta no esté en el agua. Llevar un registro de qué marca de tinta de rotulador esté en cuál vaso. Es más fácil si tan sólo colocamos el elemento escritor que se utilizó al lado del vaso.
5. Esperar unos 15 minutos y retirar las tiras. Ponerlas en un mostrador junto al marcador que se correlaciona, con el fin de permitir que se seque. (No ponerlas sobre una superficie absorbente como toallas de papel).

Lo que se verá es que el pigmento orgánico usado para hacer el tono del marcador que se eligió se ha separado en los distintos colores utilizados. Cada fabricante utiliza una formulación ligeramente diferente. Digamos, por ejemplo, que el color que se eligió era verde.

Algunos fabricantes utilizan una mezcla de verde, amarillo y marrón, mientras que otros podrían usar verde, azul y amarillo.

6. Una vez que las tiras se secan, medir la distancia desde la base hasta la parte superior del primer color. A continuación, medir desde el primer color hasta la parte superior de la siguiente y así sucesivamente. Lo que se obtiene es algo como esto:

Verde Crayolla
Azul = 4,5 cm
Amarillo = 2,5 cm
Marrón = 5 cm

Éste es su perfil de pigmento que se puede utilizar para crear un gráfico que represente cada perfil. Si se imagina que cada fabricante pone a prueba sus tintas de esta manera por razones de calidad y realiza un seguimiento de los resultados, hipotéticamente se podría contactar a los fabricantes en un intento de encontrar una marca que corresponda a su perfil.

La base informática de referencia para la pintura puede provenir de varias fuentes; los libros de color de muestras de pintura usados por talleres de carrocerías pueden ayudar a conectar un color con una marca y un modelo. Este mismo material pueden estar disponible a través de distribuidores de pintura; los fabricantes de pintura puede tener registros de los colores de las capas superiores e inferiores, estos mismos fabricantes pueden tener fórmulas químicas de colores particulares. También se pueden emplear pirogramas y espectrogramas infrarrojos.

Por último, la pintura se puede utilizar para establecer la secuencia de los acontecimientos de un delito. Imaginemos este escenario: una joven es encontrada muerta por un traumatismo en la cabeza producido por una aparente fuerza contundente; hay pruebas de sangre de un ataque en la sala de estar, pasillo y dormitorio. No está claro si el golpe fatal fue producido en la sala o el dormitorio, junto a su cuerpo los investigadores encuentran un martillo.

En el martillo que fue empaquetado en el lugar y enviado al laboratorio se encontró lo siguiente: en sus garras hay pintura exterior de color blanco que coincide con la pintura del exterior de las ventanas. En su extremo para golpear hay varios tipos de evidencias: la primera capa es sangre y cabello, bajo esta capa hay pintura interior azul, que coincide con el color de la sala de estar. Bajo esta capa hay pintura interior verde correspondiente al tono del pasillo. Las marcas de herramientas, tanto en el salón como el pasillo, parecen ser marcas de martillo.

Por supuesto, todas las pruebas microscópicas, químicas y biológicas disponibles se llevarán a cabo para asegurarse de que la pintura se originó en el hogar de la mujer. De la secuencia de las evidencias de pintura en el martillo los investigadores podrían hipotetizar que el autor lo utilizó para romper e ingresar por una ventana. Él o ella enfrentó a la mujer en la sala donde se golpeó la pared con el martillo, persiguió a la mujer por el pasillo, golpeando una vez más la pared. La capa final fue sangre y cabello, lo que sugiere que la víctima fue muerta en el interior o cerca del dormitorio.

Éste es un escenario muy hipotético pero ilustra cómo la pintura puede ser utilizada para determinar la posible secuencia de eventos.

Capítulo XX

EL PERITO Y LA PERICIA/PERITAJE

I. El perito

1. Algunos breves conceptos

En su acepción más general, se puede definir al perito como aquella persona especialmente cualificada en virtud de sus conocimientos especializados en la ciencia, arte, técnica o práctica, es decir, aquella persona que posee conocimientos especiales en materias que no son conocidas, con ese nivel de precisión, por las demás personas de su mismo nivel cultural. Cuando se habla de conocimientos especializados, este término debe hacerse extensivo a todo tipo de saberes e, incluso, aptitudes y habilidades que no acostumbran a tener el común de las gentes.

No obstante, sería incorrecto afirmar que el hecho de poseer conocimientos en un campo más o menos especializado del saber cualifica a una persona como perito; por tanto, no todo sujeto que tiene conocimientos sobre mecánica, arquitectura, medicina, literatura, es un experto o un sabio en esa materia. Puede decirse que lo que verdaderamente define la pericia de una determinada persona es el dominio que la misma tiene de una materia, hasta el punto de que su conocimiento pueda calificarse de especial.

Cuando estos conocimientos, aptitudes o habilidades de una persona son reconocidos por la comunidad de la que forma parte, bien de un modo privado o de un modo oficial a través de un título conferido por el Estado, se dice que es perito o experto en aquello que conoce o sabe.

Por tanto, el perito o experto es un tercero, es decir, no puede ser ni una de las partes ni el propio juez (aunque éste crea tener los conocimientos especializados requeridos), que posee conocimientos técnicos especializados, esté en posesión de un título oficial o no, y que los aporta al proceso tras haberlos aplicado al estudiar los hechos u otros elementos objeto de prueba.

Como auxiliar de la justicia, puede ser una persona física o jurídica, pues cuando el dictamen pericial exija operaciones o conocimientos científicos específicos, el juez podrá pedir el informe a una academia o

institución cultural o científica que se ocupe del estudio de las materias correspondientes al objeto de la pericia, o a una persona jurídica que esté legalmente habilitada para ello. Ahora bien, desde el punto de vista material, el perito será siempre una persona física o natural, al margen de que el encargo de la prueba se haya hecho, formalmente, a una persona jurídica (academia o institución cultural o científica), quien analiza el objeto sometido a su consideración, quien elabora el dictamen y quien lo expone, es siempre una persona física.

En el desempeño de sus funciones, el magistrado necesita ocasionalmente auxiliarse de expertos que, por sus específicos conocimientos, lo puedan ilustrar sobre determinadas materias ajenas al concreto saber jurídico, con el objeto de obtener una valoración técnica sobre aspectos concretos. El perito es un auxiliar de la justicia, actúa en la etapa procesal de la prueba: la prueba pericial, la que será admisible cuando la apreciación de los hechos controvertidos requiriera conocimientos especializados en alguna ciencia, arte, industria o técnica.

Por perito debemos entender entonces a aquel tercero, técnicamente idóneo y capaz, llamado a dar opinión y dictamen fundado en un proceso, acerca de la comprobación de hechos cuyo esclarecimiento requiere conocimientos especiales sobre determinada actividad, técnica o arte, el cual es ajeno al juzgador.

2. Clases de peritos: perito oficial, perito de oficio y consultor técnico/perito de parte

La responsabilidad de los peritos y consultores técnicos ó peritos de parte (si interviene en el fuero Penal) adquiere una importancia trascendente, porque del cumplimiento que conforme a la ley realicen dependerá el resultado del litigio.

La importancia y relevancia de la prueba pericial como medio para demostrar la existencia o no de hechos en cosas, lugares y personas dentro de los procesos litigiosos se ha incrementado en los últimos tiempos. De igual manera, los conocimientos se han ido especializando en el tiempo, en los campos científico, técnico y artístico y son generalmente ajenos al saber de los expertos en Derecho. También, al menos en Argentina, se ha ido operando un incremento notorio de las causas judiciales.

Existe, pues, una marcada tendencia a judicializar todo, y son concretamente el perito (como auxiliar del juez) y el consultor técnico/perito de parte (como auxiliar de la parte litigante que lo contrató) quienes deben velar por un celoso cumplimiento de las normas procesales que regulan su actuación y procurar de tal manera que el juez interviniente en la causa tenga en él, como auxiliar de la justicia a través de su peritaje, una herramienta esclarecedora de la cuestión por dilucidar antes de dictar su sentencia.

En tanto, el consultor técnico/perito de parte deberá velar para que los derechos de la parte litigante que acudió a él sean respetados, acercando al juez, en su caso, o a dicha parte, su propio dictamen, que servirá sin duda para esclarecer los hechos que generaron el litigio, por un lado, y, por el otro, para imprimirle mayor celeridad al proceso judicial.

Lo contrario a todo ello traerá los consecuentes perjuicios –económicos o no–, la demora injustificada del proceso judicial y la pérdida de la posibilidad de alguna de las partes litigantes a salir exitosa del litigio.

Un perito de oficio tiene por naturaleza jurídica la función de ser auxiliar del juez (o auxiliar de la Justicia), es decir que emite un dictamen que posteriormente será valorado por el juez y, de no mediar cuestiones de fondo –p.ej.: errores, que esté incompleto, la falta de fundamentación científica o técnica, entre otras– servirá como medio (entre otros medios probatorios) del que se valdrá el juez para dictar sentencia.

Si el perito de oficio no aceptara, o no concurriera dentro del plazo fijado, el juez nombrará otro en su reemplazo, de oficio y sin otro trámite. Ello ocurrirá cuando se dieran las siguientes circunstancias:

- No aceptara el cargo ante el oficial primero, dentro del tercer día de notificada su designación, por cédula judicial u otro medio autorizado.
- No concurriera a aceptar el cargo dentro del plazo fijado por el juez.

El perito que, después de haber aceptado el cargo, renunciara sin motivo atendible, rehusara dar su dictamen o no lo presentara oportunamente, será removido. El juez, de oficio, nombrará otro en su lugar y condenará al reemplazado a pagar los gastos de las diligencias frustradas y los daños y perjuicios ocasionados a las partes, si éstas reclamasen. El reemplazado perderá el derecho a cobrar honorarios.

De tal manera, puede ser removido después de haber aceptado el cargo, en sede judicial:

- Si renunciara al cargo sin motivo atendible; es decir que el fundamento esgrimido por el Perito para renunciar a su cargo no tuviese identidad o justificación suficiente para el juez, p.ej.: una enfermedad de corta duración o que la misma no exista.
- Si se rehusara a presentar el dictamen pericial; p.ej.: si se negara a presentar su dictamen pericial sin causa legal existente.
- Si no presentara su dictamen pericial en el plazo correspondiente; p.ej.: no hacerlo porque tuvo que realizar un viaje de placer.

Perito oficial: Los cuerpos técnicos periciales y los peritos oficiales son expertos, auxiliares de la Justicia que colaboran con el juez en aspectos científicos, técnicos o artísticos, colegiada o individualmente; y su labor es necesaria para dilucidar cuestiones litigiosas, alejadas de la ciencia jurídica, o sea, del quehacer específico del juzgador.

A diferencia de los peritos de oficio, que son profesionales independientes, aquéllos dependen presupuestariamente del Poder Judicial. De-

bido a la naturaleza jurídica de sus funciones su figura se encuadra dentro de la de un funcionario público.

Asimismo, es dable destacar que los integrantes de los referidos cuerpos y los peritos oficiales disponen de tiempo que les permite garantizar rapidez, eficiencia y confiabilidad del trabajo pericial que realizan.

Actúan también como peritos oficiales los que pertenecen a los laboratorios de las fuerzas de seguridad.

II. ALGUNOS MODELOS DE ESCRITOS JUDICIALES QUE USUALMENTE EL PERITO DEBE PRESENTAR.

MANIFIESTA IMPOSIBILIDAD DE ACEPTACIÓN DEL CARGO

Señor Juez:

_____, (*indicación de título*, matrícula ____), con domicilio real en calle _____ y constituyendo domicilio procesal en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. me presento y respetuosamente digo:

I. Que conforme surge de las presentes actuaciones he sido designada Perito (*indicar especialidad*).

II. Que en atención a que _____, no podré aceptar el cargo otorgado por V.S., solicitando se me tenga por excusada/o con causa justificada.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO SOLICITA PRÉSTAMO DEL EXPEDIENTE

Señor Juez:

_____, (*indicación de título*, matrícula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que atento a la complejidad de la tarea pericial a realizar y de los numerosos elementos agregados en autos, vengo a solicitar en préstamo el expediente por el término de_____días, de acuerdo con lo dispuesto por el art. ___ del Código_____.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO SOLICITA PRÓRROGA

Señor Juez:

_____, (*indicación de título*, matrícula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que atento a la magnitud de la documentación entregada por vuestro Juzgado para ser (*indicar estudio/acción que debía hacer el perito*)_____, vengo a solicitar a V.S. me conceda una prórroga del plazo otorgado de _____ días, con vencimiento el _ de ____ del corriente año, para entregar el trabajo encomendado.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO SOLICITA ANTICIPO DE GASTOS

Señor Juez:

_____, (*indicación de título*, matrícula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que conforme la complejidad y extensión de la pericia encomendada por V.S., vengo a solicitar se fijen anticipos para gastos y se intime a su depósito a las partes interesadas, dentro del quinto día de notificado el auto que lo ordena.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO SOLICITA REGULACIÓN DE HONORARIOS

Señor Juez:

_____, (*indicación de título*, matrícula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que en atención al estado del proceso, vengo a solicitar se regulen mis honorarios profesionales por la pericia efectuada, la cual constó de (*indicar*y que se encuentra agregada en autos a fs. xx/xx.

Asimismo, solicito se fije el plazo para su cancelación.

II. A los fines impositivos hago saber que mis datos tributarios son los siguientes: CUIT xxxxxx, IVA responsable Monotributo.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO PRESENTA TRADUCCIÓN (*Ejemplo*)

Señor Juez:

_____, (*Indicación de título*, Matrícula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en

autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" Expte. N° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que vengo en legal tiempo y forma a presentar la traducción del portugués al español encomendada por V.S., solicitando se me tenga por cumplimentado al respecto.

II. Con relación al balance de 298 fojas entregado para su traducción, hago saber a V.S. que del mismo se ha realizado un glosario con las palabras escritas en idioma extranjero, detallando hoja por hoja las mismas y su traducción al idioma nacional. Este sistema se ha implementado en atención a la magnitud y extensión del balance y a la urgencia de entregar la traducción lo antes posible al Perito Contador Público.

Desde ya hago saber a S.S. que me encuentro a disposición del Juzgado para cualquier aclaración que estime necesario efectuar, así como también a disposición del Perito Contador Público, pudiendo, si este último lo estima conveniente, acordar una entrevista con el a fin de aclarar las dudas que le surjan.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

PERITO SOLICITA REGULACIÓN DE HONORARIOS. SE FORME INCIDENTE DE REGULACIÓN DE HONORARIOS

Excmo. Tribunal:

_____, (*indicación de título*, matricula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. nN° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que vengo a acreditar los gastos efectuados en la pericia encomendada por este Tribunal, los cuales surgen de la factura del Colegio de xxxxxxxxPúblicos de la Ciudad de Buenos Aires y de la cual acompaño su original.

II. Asimismo, solicito sean regulados mis honorarios por la labor profesional desarrollada, la cual consta de una (*indicar*) de xxx fojas de la cual se acompaña copia simple a los efectos de la formación del incidente de regulación se honorarios que seguidamente se solicita.

a) Al solo efecto indicativo, acompaño copia del listado de "Aranceles Profesionales para Peritos (*indicar especialidad*)" del Colegio de (*indicar*) Públicos de la Ciudad de Buenos Aires de junio del corriente año. Del mismo surge (de manera indicativa) que por la labor desarrollada en esta causa correspondería regular $xx (pesos _____) por (*indicar*).

III. A los fines de la regulación solicitada, solicito se forme el respectivo Incidente de Regulación de Honorarios.

IV. Declaro bajo juramento no percibir retribución a sueldo del Estado (según acordada XX de la Corte Suprema de Justicia de la Nación) y a los fines impositivos declaro ser Responsable Monotributo con CUIT N° xxxxxxx.

Proveer de conformidad que;

SERÁ JUSTICIA

SE LIBRE OFICIO

Excmo. Tribunal:

_____, (*indicación de título*, matricula ____), manteniendo el domicilio legalmente constituido en calle _____ de esta ciudad, en autos caratulados "_____ c. _____ s. _____" expte. n° _____, a V.S. respetuosamente digo:

I. Que atento a la regulación de honorarios por mis trabajos desarrollados, que me fuera notificada mediante cédula, solicito se libre oficio a la Dirección Financiera del Consejo de la Magistratura indicando el monto de los mismos y que dichos honorarios se encuentran firmes.

II. Asimismo solicito se me autorice a diligenciar el oficio solicitado.

Proveer de conformidad que

SERÁ JUSTICIA

III. CONCEPTO DE PERITAJE/PERITACIÓN

Es el examen y estudio que realiza el perito sobre el problema encomendado para luego entregar su informe o dictamen pericial con sujeción a lo dispuesto por la ley. El informe pericial puede ser solicitado por el juez, por éste a propuesta de las partes, o ser solicitado directamente por las partes a su iniciativa y a sus expensas (peritación privada).

IV. LA PRUEBA PERICIAL

Es la que surge del dictamen de los peritos, que son personas llamadas a informar ante el juez o tribunal, por razón de sus conocimientos especiales y siempre que sea necesario tal dictamen científico, técnico o práctico sobre hechos litigiosos.

V. EL DICTAMEN O INFORME PERICIAL.

Los peritos realizarán el estudio acucioso, riguroso del problema encomendado para producir una explicación consistente. Esa actividad cognoscitiva será plasmada en un documento que refleje las secuencias fundamentales del estudio efectuado, los métodos y medios importantes empleados, una exposición razonada y coherente, las conclusiones, fecha y firma.

Ese documento se conoce generalmente con el nombre de dictamen pericial o informe pericial.

Si los peritos no concuerdan, deberá nombrarse un tercero para dirimir la discordia, quien puede disentir de sus colegas.

La labor pericial debe respetar el método técnico científico y su dictamen debe presentarse por escrito contemplando los siguientes ítems:

a) El objeto de la pericia es el estudio, que es el examen y la aplicación de un hecho, de un objeto, de un comportamiento, de una circunstancia o de un fenómeno. Es objeto de la prueba pericial establecer la causa de los hechos y los efectos del mismo, la forma y circunstancia en que se cometió el hecho delictuoso.
b) La descripción de la persona, objeto o cosa materia de examen o estudio, así como, el estado y forma en que se encontraba (elementos ofrecidos).
c) La relación detallada de todas las operaciones practicadas en la pericia y su resultado (operaciones realizadas).
d) Los medios científicos o técnicos de que se han valido para emitir su dictamen.
e) Las conclusiones a las que llegan los peritos (conclusiones).

La prueba pericial tiene que ser apreciada y valorada con un criterio de conciencia, según las reglas de la sana crítica. Los jueces y tribunales no están obligados a sujetarse al dictamen de los peritos.

El informe debe lograr, entonces, que el juez llegue a una propia convicción, sea de acuerdo con el mismo o apartándose. Para ello es necesario que el experto se valga de todos los medios posibles para fundamentar su cometido a través de sus saberes profesionales y sana crítica, no dejando dudas o "blancos" en su dictamen, no olvidándose que es un auxiliar de la justicia y debe bregar por la objetividad.

VI. Aclaraciones al informe, impugnaciones y observaciones al dictamen

De acuerdo al fuero de que se trate, del dictamen del perito se dará traslado a las partes, y de oficio o a petición de parte, el juez podrá ordenar que el o los peritos den las explicaciones que considere convenientes, señalando audiencia a tales fines o exigiendo que las den por escrito, según las circunstancias del caso. En esta última eventualidad, las observaciones a las dadas por el perito podrán ser formuladas por los consultores técnicos o, en su defecto, por las partes.

El pedido de explicaciones debe ceñirse al interrogatorio y a sus respuestas, no pudiendo incluirse nuevos puntos de pericia, sino solamente pedir aclaraciones y subsanar omisiones.

Con relación a la impugnación, digamos que si el dictamen pericial y sus explicaciones en su caso, es erróneo a juicio de las partes o inhábil para probar hecho alguno, éstas lo pueden impugnar (contradecir, refutar) al contestar el traslado de la pericia.

Los peritajes serán nulos cuando en su trámite se han violado las normas que rigen la idoneidad del perito, el derecho de defensa en juicio de las partes, al no dárseles la posibilidad de presenciar las operaciones técnicas, formular observaciones por sí o por intermedio de los consultores técnicos, cuando el dictamen no contenga la explicación detallada de las operaciones técnicas realizadas y de los principios científicos en que se funde, o por violarse u omitirse las formas procesales que constituyen el presupuesto esencial de su validez.

VII. Técnicas de comunicación

1. Introducción

Es fundamental que los peritos o expertos en una determinada disciplina científica sean capaces de comunicarse efectivamente en una variedad de circunstancias. La buena comunicación es esencial en el trato con quienes investigan un hecho, la redacción de informes, y la prestación de testimonio en juicios orales. Veremos a continuación las técnicas de presentación efectiva, así como guías para crear y administrar mensajes escritos.

2. Habilidades para comunicarse

Aprendemos de nuestras primeras experiencias, con quienes nos cuidan y otras personas importantes, que nuestra capacidad para comunicarnos de manera efectiva es esencial para nuestra supervivencia. Con el tiempo, la mayoría de nosotros encuentra formas de hablar, gesticular, escribir y actuar para que nuestros deseos y necesidades en situaciones particulares sean conocidos. Diferenciar las formas en que nos comunicamos con diversas audiencias, como clientes, familiares, colegas y amigos, es una parte natural de este desarrollo. Sin embargo, la mayoría de nosotros no somos conscientes de estas distinciones y, a menudo, describimos nuestros estilos de comunicación en términos de personalidad, tales como tímido o introvertido o extravertido. Aunque estas características claramente pueden influir en el contenido y la entrega de mensajes, especialmente durante las interacciones interpersonales, fracasan en captar la esencia de la efectividad de la comunicación y la naturaleza dinámica de nuestras capacidades, a largo plazo. Además, la importancia de la comunicación para nuestra felicidad privada y éxito público no recibe la atención necesaria.

Lamentablemente, nuestra educación formal, especialmente en los campos profesionales, tiende a concentrar nuestra atención en la comunicación de hechos complejos sin tener en cuenta a la audiencia objetivo. Como resultado, los administradores, científicos, médicos, ingenieros y otros, fracasan en diseñar sus mensajes. Se sabe que la mayoría de las personas no quieren o no son capaces de procesar comunicaciones que parecen llenas de relleno, y probablemente tengan razón. Sin embargo, otro punto de vista

es la falta de interés, que puede ser causada por nuestra incapacidad para excitarlos o de construir relaciones durante la comunicación profesional, como hacemos a menudo en nuestras relaciones personales.

La expresión oral generalmente se desarrolla temprano en la vida, a medida que nuestros padres y otros familiares nos inducen mediante gestos cariñosos a sonreír, hablar o comportarnos de cierta manera. Los patrones del habla, las entonaciones, las inflexiones y las expresiones faciales son aprendidas durante estos períodos, así como otras interacciones, y se convierten en partes innatas de nuestro repertorio de comunicación. Normalmente, utilizamos estilos de diálogo más informales cuando hablamos con la familia y amigos, y seleccionamos un idioma más formal durante las comunicaciones profesionales. Nuestras habilidades escritas se desarrollan un poco más tarde, y muchos de nosotros nos familiarizamos con el abecedario, palabras, frases y párrafos durante los años de escuela. Con frecuencia, el énfasis se coloca en el flujo lógico de ideas y la creación de argumentos convincentes, sobre todo en el progreso de nuestros trabajos en los grados de primaria, a través de la universidad o la educación profesional. Lo que a menudo no reconocemos es que la manera más eficaz de comunicar ideas a cualquier audiencia incluye una combinación de métodos tanto verbales como escritos.

El concepto de sinergia se utiliza mejor para describir el uso conjunto de los métodos verbales y escritos, lo que sugiere que su combinación multiplica la eficacia. Aprendemos información dificultosa más rápidamente, a través de la repetición; las exposiciones repetidas también crean una familiaridad que es más probable que resulte en la aceptación del material controversial. Procesar ideas complejas en una conversación con un colega profesional o en una reunión formal tiene la desventaja del control por otra parte, que puede o no comunicar sus ideas a un ritmo coherente con nuestra capacidad de asimilación. Sin embargo, la credibilidad de los mensajes verbales se mejora en gran medida por la entrega y la autopresentación de comunicadores con talento. Los mensajes escritos a menudo son a ritmo propio, es decir, el receptor puede decidir con qué rapidez o lentitud examinar la información. Con todo, falta la influencia social inherente a las presentaciones verbales, se confía en cambio en fuentes de credibilidad basadas en hechos. Al final, los puntos fuertes de un método compensan las debilidades del otro.

Las sinergias son mayores de lo que la mayoría de nosotros imaginamos. La razón primaria es que las comunicaciones verbales y escritas son mucho más diferenciadas de lo que a menudo nos damos cuenta. Por ejemplo, podemos ser capaces de influir en la base de conocimientos u opiniones de la misma persona o grupo a través de contactos múltiples. La exposición inicial puede ser un mensaje de correo electrónico que introduce nuestros puntos de vista; el siguiente contacto podría implicar una conversación telefónica larga, donde las diferencias de opinión se resuelven y las expectativas se expresan; una carta formal de acuerdo, que delinee las responsabilidades de ambas partes podría seguir este debate; puede ocurrir una videoconferencia ocasional durante los meses transcurridos, antes de que un informe sea entregado para su inspección. La conexión final podría incluir una presentación interactiva, utilizando múltiples portavoces, una variedad de ayudas visuales y diapositivas de Power Point.

3. La comunicación verbal

Si bien cada aspecto de los diferentes métodos de comunicación verbal tiene características únicas, existen varios atributos generales de las presentaciones eficaces, que son comunes a todos. Por ejemplo, el lenguaje corporal positivo es un ingrediente necesario para el desarrollo de las relaciones con cualquier audiencia. El contacto visual sólido, gestos de manos entusiastas, la sonrisa en forma regular, y el asentir con la cabeza de vez en cuando, sugieren la confianza y el entusiasmo por el mensaje comunicado. Muchos presentadores cometen el error de dar la espalda a la audiencia, para poder mirar directamente a sus diapositivas u otros materiales visuales; esta postura parece natural (y proteccionista), pero crea distancia entre el hablante y el receptor. Un mejor enfoque es el modelo del "pronosticador del clima", que implica estar parado al lado de los materiales de interés, poniendo atención a la parte pertinente, y enfrentado a su público a medida que aborda la cuestión.

Nuestro uso de la voz y el movimiento es tan importante como el lenguaje corporal y puede operar en forma complementaria. Los oradores/conferenciantes con voces monótonas, carentes de inflexión, que están rígidamente parados en un mismo lugar durante mucho tiempo, provocan que su público sueñe despierto, independientemente del tema. El volumen y la entonación de nuestras voces deben cambiar regularmente y estratégicamente para destacar ciertos puntos, crear y reducir la tensión y estimular e informar a nuestra audiencia. Los movimientos operan de una manera similar. A medida que nos movemos de un espacio físico a otro, el público debe desenfocar y reorientar sus ojos, así como cambiar las posiciones de la cabeza y (a veces) de sus cuerpos. Si bien estos actos físicos son bastante menores en comparación con movimientos más intensos, sirven para crear un estado de menor importancia pero más elevado de la excitación. Por supuesto, el movimiento constante distrae y los oradores tienen que ser conscientes de este hábito de ansiedad.

Otro aspecto importante de las presentaciones eficaces es el uso adecuado de materiales de apoyo. En nuestra era tecnológica, quienes exponen tienen acceso a un vasto repertorio de imágenes y sonidos en forma de música, video clips, fotografía, gráficos, y las variantes de sonido (bites) que pueden ser utilizados individualmente o en combinación. Desafortu-

nadamente, muchos oradores fallan en el manejo adecuado para obtener un efecto máximo. En lugar de su revelación dramática en el momento justo, los presentadores pueden proporcionar los estímulos visuales y verbales al azar, a menudo sin ningún reconocimiento directo. Además, su pantalla puede servir principalmente para mantener al orador informado del tema actual, en lugar de satisfacer las necesidades informativas de la audiencia. Las mejores prácticas sugieren que los expositores seleccionen los materiales que son complementarios a sus estilos interpersonales, de apoyo a sus puntos de vista principales, puestos de manifiesto en los momentos adecuados, y el refuerzo de sus mensajes verbales. La última serie de consideraciones incluye el flujo y el tiempo. El flujo se refiere al orden en que aparecen los puntos, la facilidad con que se experimentan transiciones, y la capacidad de abrir y cerrar las charlas, de manera que se maximice el impacto en la audiencia. Algunos oradores quieren empezar con una explosión final y en voz baja, mientras que otros gustan construir la anticipación y terminar con una nota alta. Se considera que lo mejor es preparar el escenario con un debate interesante en el inicio, y cambiar el ritmo durante la presentación para mantener el interés. El tiempo, la segunda cuestión relacionada, desempeña un papel en el que la información debe ser divulgada, cuando el público esté preparado para aceptarla. Por lo tanto, el material difícil de comprender debe ser descrito después de que el historial adecuado se presente, y el material controvertido debe ser revelado una vez que la confianza se haya establecido con el público. Las presentaciones deben comenzar y terminar en la fecha prevista, para evitar el malestar de la audiencia.

a. Presentación de información técnica

En un extremo, los oradores tratan de impresionar (o ignorar) a su audiencia a través del uso de la jerga de la disciplina específica, fórmulas matemáticas, y un ritmo de discusión que sólo los expertos de las universidades o conferencias especializadas podrían seguir. El otro extremo del espectro implica simplificar el material o avanzar tan lentamente que nadie que preste atención comprendería el mensaje, dejando a menudo a muchos participantes aburridos o con sensación de condescendencia. El término medio, un estilo favorito de muchos catedráticos de universidad, es comunicar a un nivel cercano o ligeramente por encima de la capacidad media de la audiencia, con la esperanza de evitar que se pierda el interés de los destinatarios finales superiores, mientras que se desafía a los receptores menores a seguir el ritmo. Ninguna de estas estrategias es especialmente eficaz, sobre todo si el objetivo más amplio es lograr que la audiencia salga de la presentación informada y/o persuadida.

Un enfoque alternativo requiere una mejor comprensión de las capacidades y motivaciones de la audiencia, previo a la elaboración de materiales de presentación. Si su formación científica se encuentra cerca o en el nivel de los expositores, la capacidad de persuasión de los mensajes puede depender de la profundidad y la sofisticación del material proporcionado. Sin embargo, si el público carece de la base científica apropiada, pero, es educado y tiene experiencia con el rigor técnico, sus expectativas pueden incluir un debate muy detallado y complicado con algunas explicaciones adicionales, utilizando vernáculos más comunes. Para el público ingenuo con poca base científica o experiencia académica en general, el uso limitado de información técnica, combinado con el estímulo de las experiencias visuales, puede representar la combinación más eficaz. De todos modos, una evaluación de su motivación para participar, aprender y ser persuadido impactará estas decisiones.

b. Presentación a audiencias

El tamaño y la diversidad de una audiencia son consideraciones añadidas para los presentadores. Para algunos comunicadores, cuanto mayor es la audiencia más motivados están y se desempeñan mejor. Sin embargo, para la mayoría de los individuos tales audiencias son desconcertantes debido a los problemas que se presenta para la creación de una relación sostenida. Cuando una masa de gente alcanza cierto tamaño, a menudo parece fundirse en un todo ambiguo, donde sus identidades individuales desaparecen. La iluminación es generalmente atenuada y, a continuación, se centra en los presentadores, creando mayor distancia entre ellos y el colectivo. El sonido de la propia voz, así como los estímulos visuales asociados, aumentan notablemente y tienden a acallar los ruidos de la competencia. Diversas audiencias, tanto si son grandes o de tamaño moderado, plantean desafíos distintos, debido a su origen étnico, religión, cultura, idioma, o cualquier otra diferencia entre ellos y los presentadores.

El anonimato que experimentan algunos presentadores se puede remediar con un cambio en la percepción y el uso de las recomendaciones de la última parte. Las audiencias tienen personalidades y frecuentes cambios de humor. Los presentadores deben estar en sintonía con su lenguaje corporal común y modificar el uso de la voz, el movimiento y el material visual, en consecuencia. Una táctica es elegir distintos individuos de distintos lugares para hacer contacto visual constante, con lo que todo el público siente su presencia y atención en el tiempo. El uso de la entonación, los gestos y las expresiones faciales de aplicación común en los entornos más íntimos, pueden facilitar la creación de relaciones positivas. Diversos grupos poseen una distancia de percepción y cultural respecto de los presentadores, y sus reacciones pueden ser difíciles de discernir. Por ende, los presentadores deben estar instruidos para modificar sus estilos y materiales a fin de satisfacer las necesidades de la audiencia, en orden a mejorar la eficacia de la comunicación.

c. Construcción de una relación

Nuestras conversaciones en el trabajo tienen la ventaja de reflejar la forma en que nos comunicamos naturalmente toda nuestra vida. Nuestros atributos físicos, la vestimenta, el comportamiento y las habilidades para escuchar, que nos acerca a familiares y amigos, se transfieren fácilmente a las interacciones con compañeros de trabajo, supervisores y clientes. Lo ideal es clasificar todas las relaciones de acuerdo con su función primaria. La primera categoría abarca nuestros roles más preciados: padre madre, hija, y mejor amigo/a. La otra categoría consiste, en su mayoría, situaciones de laborales donde se nos exige cumplir ciertas metas y objetivos. Por supuesto, existen situaciones en las que a menudo debemos hacer cosas para complacer a nuestros seres queridos y amistades íntimas que puedan surgir en el trabajo. En general, dejamos las formalidades de lado en los saludos, expresiones, etc., para las personas que ocupan nuestra esfera privada de relación, y recurrimos a las formalidades en el lenguaje, conducta y comportamiento en nuestras relaciones que implican menos confianza.

VIII. La comunicación escrita

Rara vez los comunicadores "pierden" las palabras. Sin embargo, hasta los más dotados tienen una preferencia innata por hablar o escribir. Independientemente de sus inclinaciones, la organización de su forma de pensar antes de poner "el elemento escritor en el papel", requiere mucho más tiempo y esfuerzo que organizar sus pensamientos para una charla que verse sobre el mismo material. Esto tiene sentido si se considera que la mayoría de la gente pasa mucho más tiempo hablando que redactando informes. Además, nuestras conversaciones suelen alinearse más estrechamente con nuestros pensamientos, que se producen casi constantemente. La redacción informal y las expresiones de uso común al hablar son consideradas inapropiadas para la escritura, que exige el uso de lenguaje de carácter excepcional. Por último, la mayoría de los profesionales (los que no los escritores) creen que la escritura es un medio para un fin, más que una habilidad para ser desarrollada y perfeccionada con el tiempo. Como resultado, sólo participamos en la redacción técnica cuando es necesario.

Sin embargo, hay algunas pautas generales que pueden ayudar a organizar los pensamientos. La primera es tener claro qué es lo que queremos que nuestro público recuerde al terminar nuestro informe. Si la lista incluye más de tres temas amplios, tendrán que disminuirse hasta un número manejable. Además, hay que tener cuidado de no fijar la mirada en posturas específicas o cambios radicales de opinión; tampoco es apropiado, a menos que la audiencia esté muy motivada o fácilmente influenciable. En lugar de ello, se debe reducir el material a su esencia para que

pueda ser articulado en unas cuantas frases breves, que se recuerden sin esfuerzo. Si se busca una modificación de las creencias, concentrarse en preguntar sobre la veracidad de sus posiciones, resultando en un movimiento parcial en la dirección de su interés. Por último, buscar la apertura de un debate que capte la atención y aumente el interés, y seleccionar los argumentos de cierre que refuercen las opiniones primarias.

1. Creación de un esquema extendido

El esquema extendido es el favorito de muchos maestros de la escritura. Se requiere que los autores examinen la lógica de sus argumentos y piensen a través de los detalles de sus ideas centrales. Tales esquemas requieren la consideración de la importancia relativa de los diversos componentes de los documentos y cómo cada parte se refiere a las otras. El mejor punto de partida es tomar la apertura y el cierre determinado en la etapa anterior y poner lo principal en algún lugar en el centro. Comenzando por el principio, los autores podrían recoppilar información de apoyo en el orden en que deba presentarse, hasta que la tesis principal sea revelada. Asegurarse de que cada elemento se base en el material anterior, y que apoya el contenido a seguir. Una vez que el aspecto central es determinado de forma adecuada, el resto del texto se puede utilizar para hacer frente a las posibles objeciones, para proporcionar material de apoyo adicional en forma de ejemplos, y/o para discutir únicas y valiosas aplicaciones.

2. Conversión del pensamiento a prosa

Una vez que el esquema se completa, la siguiente etapa consiste en tomar las ideas contenidas dentro de esta estructura y convertirlas en títulos, subtítulos y texto. Normalmente, los títulos fluyen fácilmente desde el esquema, que se parece más a una lista de temas generales. La parte difícil es el uso de estas pocas palabras para generar oraciones coherentes y párrafos que presenten adecuadamente la información y las tesis principales. Como se señaló anteriormente, el dilema es traducir los pensamientos en palabras de una forma (por escrito) diferente de la que solemos articular lo que está en nuestras mentes. Este proceso es similar a hablar en un idioma extranjero donde una persona debe tomar una idea que surge en una lengua nativa, traducirla a una segunda o tercera lengua, y presentarla verbalmente utilizando la pronunciación correcta. Con el tiempo y la práctica nuestra capacidad mejora, pero rara vez alcanza el punto en que los reportes técnicos fluyen con una facilidad en consonancia con nuestros deseos.

Una manera de evitar este problema es utilizar listados (generalmente señalizados individualmente con puntos al comienzo de cada frase o

palabra) que estén en algún lugar entre las palabras y el texto. Su uso racional dentro de un documento bien escrito puede llamar la atención sobre temas importantes, pero su uso excesivo puede llevar a un agotamiento de los lectores que tienen dificultades para desentrañar lo que es importante dentro de estas listas interminables. Un mejor enfoque es confiar más fuertemente en los párrafos contundentes para capturar y transmitir significado. Un buen punto de partida es tomar cada subtítulo y escribir uno o varios párrafos cortos que contengan todo el material de apoyo y enunciados de posición que se desean transmitir sobre esa área de actualidad. Escribir tal como las ideas provienen de forma natural, reconociendo que su traducción en la gramática y la estructura "correctas" puede realizarse en una etapa posterior. Asegurarse de que cada párrafo tenga una clara interrelación entre inicio y final, con su singular contribución retratada con exactitud y puesta de relieve en el texto.

3. Fluidez y estilo

La cuestión de la fluidez de material plantea dificultades para muchos escritores de información técnica. Un problema es que tendemos a pensar que cada tema es independiente y apartado del todo, concentrando nuestros esfuerzos en la comunicación de cada elemento por separado. Este problema se ve agravado por el uso de varios autores que son expertos en diversas partes, pero no tienen ningún concepto de las demás cuestiones. La resolución más simple de esta dificultad puede ser la de tener un autor o el trabajo de un editor externo para las conexiones entre las distintas secciones del documento. Las transiciones suaves entre los principales títulos a menudo resumen lo que se ha dicho y sientan las bases para la información por venir. En la medida de lo posible lo óptimo es la creación de un cierto entusiasmo y anticipación que provoca en los lectores querer continuar la lectura. Recordar los artículos y libros (incluidos los de ficción) que captaron mejor nuestra atención. En su mayor parte, estas piezas fueron estimulantes, comprensibles y convincentes.

Consideraciones de estilo y edición

La redacción técnica puede parecer la antítesis del estilo, pero eso no significa que los lectores exijan menos de sus documentos. Las consideraciones estilísticas incluyen muchas de las cuestiones mencionadas anteriormente y requieren escritores o editores para evaluar la claridad de los puntos importantes, la fluidez interno y entre las secciones y tópicos clave, y la legibilidad para exponer a las audiencias. El lenguaje florido y la verbosidad son inadecuados, pero una presentación demasiado concisa puede dejar a los lectores insatisfechos. Un problema mayor es la confianza en los idiomas científicos que son bien conocidos dentro del dominio profesional, pero excluyen a las personas que no comparten la misma formación académica. Así, la persona que trabaja en la fluidez también puede

editar el manuscrito para un uso común y coherente de un lenguaje que es apropiado para su público. Una táctica muy utilizada para apoyar este proceso es que las personas ajenas a la profesión lean el material y brinden información adicional acerca de la claridad, la fluidez y la legibilidad.

4. Comentarios de cierre

Emitir dictámenes científicos en los tribunales judiciales requiere muchas de las mismas tácticas verbales y escritas descritas anteriormente, con pocas modificaciones. Por ejemplo, el contenido y formato del informe pueden estar determinados por las organizaciones de calidad externas y los procedimientos de laboratorio, que pueden requerir que se escriba de una manera que no es la mejor para comunicar sus puntos de vista. También puede que se esté intentando comunicarse en un ambiente que limita seriamente la capacidad de controlar la presentación. Por ejemplo, se puede pedir que responda preguntas complejas ya sea con un "sí" o un "no" solamente. Del mismo modo, mientras que el uso racional de materiales visuales puede reforzar los mensajes y sirve para romper con la monotonía de lenguaje científico, se debe ser consciente de que el tribunal puede no permitirlo.

Además, puede que se pida comunicar en virtud de una serie de circunstancias. Generalmente, éstas son las comunicaciones preliminares, declaraciones, testimonios ante el tribunal, y el informe escrito. Por ejemplo, la primera interacción respecto de armas de fuego y huellas de herramientas, en casos forenses, ocurre generalmente durante la comunicación previa con los investigadores y fiscales. Estas comunicaciones son principalmente verbales y pueden parecer informales. Tener en cuenta que la persona con la que se está hablando escuchará selectivamente sus comentarios y grabará subjetivamente, sin calificación. Muchas veces, la próxima comunicación puede ser en el contexto de las declaraciones. La declaración es un registro escrito de sus dichos verbales y otro ejemplo donde se tendrá que hacer frente a requerimientos de contraste para las comunicaciones verbales y escritas efectivas. El interrogatorio directo y cruzado durante el testimonio en juicios orales es totalmente verbal, pero no se tiene control sobre las preguntas, y con frecuencia se posee control limitado sobre cómo poder expresar las respuestas. Así, además de los procedimientos de laboratorio, el informe escrito es el método de comunicación único que está totalmente bajo el propio control.

5. Mejora continua

La única manera de mejorar las habilidades de comunicación es a través de la práctica. Sin embargo, la calidad de nuestra práctica constituye una diferencia significativa. Cada uno de los temas anteriores proporciona asesoramiento sobre cómo convertirse en un mejor orador o escritor.

Para las presentaciones verbales, se insta a los comunicadores a conocer los antecedentes, el nivel de interés, la diversidad y el tamaño de su audiencia antes de preparar las charlas. El uso de materiales visuales debe estar diseñado para complementar los puntos importantes, en lugar de dirigir la atención lejos de los presentadores. El lenguaje corporal, los gestos y los movimientos ayudan a atraer y mantener la atención del público, junto con el uso apropiado de las entonaciones de voz y las inflexiones. Los documentos escritos suelen exigir más de los comunicadores, pero la escritura técnica no debe ser "blanda" o aburrida. Los escritores también deben considerar las características/por rasgos de la audiencia, así como la lógica de sus presentaciones y la claridad y el peso de su prosa.

Una opción para evaluar el progreso es a través de la utilización de un registro de las comunicaciones. Con el uso de este dispositivo, los comunicadores mantienen un diario escrito de cada vez que presentan sus ideas oralmente o por escrito a sus colegas. Es mejor mantener el registro en forma electrónica o de hoja de cálculo. Dado que las personas difieren cada presentación, los ejemplos incluyen el día, fecha, hora del día (para ver si su rendimiento varía en función del tiempo), la audiencia de destino (para evaluar si se prefieren las pequeñas o grandes audiencias profesionales o público lego), duración de la presentación (para evaluar si se desvanece en el largo plazo o simplemente ajusta su rendimiento), tipo de presentación (para evaluar si las formas verbales o escritas difieren), la autopercepción (para evaluar si la presentación fue bien o pobre), la percepción de los otros (para evaluar si el público está de acuerdo), y las lecciones aprendidas (para evaluar qué se puede hacer de manera diferente o en la misma forma, la próxima vez). Recordar que las habilidades se desarrollan y progresan mediante la reflexión, la práctica y la evaluación.

IX. Redacción de informes

Intentaremos ahora sintetizar la indicación de cómo informar los resultados de análisis vinculados con armas de fuego y huellas de herramientas. El informe es un documento oficial y puede ser leído por muchos profesionales, incluyendo: investigadores, fiscales, abogados defensores, otros expertos forenses.

Existen algunas directrices generales relativas a todos los informes forenses que deben ser seguidas.

Los informes forenses deben:

- adherirse a las políticas administrativas y técnicas del laboratorio de emisión;
- adherirse a los requisitos del órgano de acreditación del laboratorio;
- abordar todos los exámenes solicitados por la agencia/dependencia/etc., que envía el material;

- incluir los resultados de los exámenes adicionales no solicitados;
- estar claramente escrito en el idioma del país, usando la gramática y puntuación apropiadas;
- ser escrito, en la medida de lo posible, en términos no técnicos;
- expresar los resultados de una manera equilibrada e imparcial;
- ser un reflejo del expediente del caso/causa de que se trate.

1. Contenido

Normalmente, el contenido de un informe incluirá los siguientes elementos:

- fecha del informe;
- laboratorio/dirección de la agencia, dependencia, etc.;
- a quién va dirigido;
- número de causa/caso/expediente de la dependencia solicitante;
- número de seguimiento del laboratorio (pericia/peritaje/expediente/etc.);
- título escrito para el caso (puede contener la carátula de la causa (hecho delictuoso, hecho en sí, etc.), el nombre del sospechoso y el nombre de la víctima);
- exámenes requeridos;
- listado y descripción general de los elementos de prueba recibidos;
- cuándo, cómo y por quién se han recibido los elementos de prueba;
- los resultados de los exámenes realizados;
- información sobre el retorno/devolución de las pruebas;
- firma del perito y revisores de la garantía de calidad.

Las hojas de cálculo o de trabajo deben ser utilizadas por los examinadores para documentar su trabajo y para refrescar sus recuerdos para testimonios. Ésta es también una manera particularmente eficaz de organizar la información de archivo del caso, a fin de que pueda ser incorporada en el informe.

X. Testimonio en salas de audiencias

Hoy en día todas las ciencias forenses son rigurosamente probadas y documentadas. Cuando la información científica llega a los tribunales judiciales, jueces, abogados y examinadores se esfuerzan por igual para entender o presentar de manera efectiva la tecnología. Los fiscales y los abogados de la defensa con numerosos casos importantes y severas limitaciones de tiempo, intentan comprender los conceptos básicos. Se gasta mucho dinero en asistir a seminarios de formación sobre "cómo manejar" la evidencia técnica.

El testimonio eficaz es un componente crítico de los deberes del perito. La capacidad de comunicar eficazmente los conceptos científicos, la

tecnología y los análisis de prueba involucrados en un caso particular, a los no científicos es esencial. Mantener la objetividad, el profesionalismo y la integridad científica es absolutamente necesario y evitará muchos problemas a los peritos.

Una advertencia importante: las leyes, reglas/normas para la evidencia y las normas de procedimiento pueden variar de tribunal en tribunal y de un país/Estado a otro. El examinador siempre debe consultar con un abogado (normalmente el fiscal) antes de dar testimonio, para conocer la ley en particular y las normas aplicables en la jurisdicción.

1. Apariencia

La manera en que los peritos se visten y comportan en la sala de audiencias habla mucho de ellos, su independencia, la profesionalidad, la calidad del trabajo, y la autoconfianza. Parecer demasiado informal o mal vestido puede ser visto como una debilidad en estas áreas, así como sugerir falta de respeto a los procedimientos. Del mismo modo, exagerar las formalidades puede ser percibido como arrogante y condescendiente. Cualquiera de los extremos distrae fácilmente y puede ser utilizado para apoyar o socavar la calidad del trabajo de un analista. La apariencia también debe entenderse que incluye el modo de desenvolverse, la postura y el contacto visual.

Las salas de audiencias/juicios orales son entornos tradicionales y conservadores, y no necesariamente el mejor lugar para exhibir las tendencias de la moda o estilos más actuales. Los testigos no deben usar alhajas excesivas o accesorios llamativos. La minifalda, la corbata muy ancha (o muy angosta), los aros en la nariz o en el labio, es mejor dejarlos en casa.

A menos que fuera política de la dependencia o institución, se desalienta el uso de cualquier uniforme. Un traje es lo más apropiado. Un traje se presta a la objetividad y es una convención normalmente asociada con los profesionales.

2. Comportamiento

Profesionalidad, competencia, objetividad e integridad: éstos son los conceptos que deben temerse presentes cuando se considera el comportamiento apropiado para exhibir en los procedimientos judiciales. Mantener la integridad de la persona, así como la ciencia involucrada, es fundamental. "Sí, señor", "no, señor", "Sí, su o vuestra señoría", "no, Su Señoría", y cosas por el estilo, son totalmente apropiadas.

Sin duda surgirán circunstancias que tentarán al examinador a entrar en un debate o confrontación con un abogado. Hay métodos más eficaces para hacer frente a los abogados que crean tales circunstancias. Es importante recordar que el abogado puede estar tratando deliberadamente de confundir o provocar al perito durante su testimonio. La estrategia

tiene menos con el contenido de los testimonios y más que ver con el comportamiento y la presentación al conjunto de jueces. Por ende:

- siga siendo profesional y sereno;
- siga siendo objetivo;
- utilice el volumen y el tono de la voz para desviar la hostilidad;
- explique las respuestas si es necesario;
- No se agite ni sea confrontativo;
- No permita que el abogado le ponga palabras en su boca;
- No esté personalmente involucrado en el caso o su resultado.

3. Habilidades para la presentación

Las habilidades de presentación son difíciles de dominar para un perito. La capacidad de equilibrar el campo altamente técnico de experiencia, mientras se asegura que el tribunal comprende el contenido, no es tan sencillo como inicialmente se podría pensar. Es fácil que el testimonio tienda a convertirse en algo excesivamente técnico y científico, mucho más allá del alcance de la capacidad del tribunal de entender. A la inversa, es igualmente común simplificar demasiado el tema y ser condescendiente o subestimar la capacidad de comprensión del tribunal. Los testigos deben recordar enunciar de manera clara y lo suficientemente fuerte como para ser escuchados por los presentes. Siempre consultar con el abogado para tener una idea de la composición del tribunal y el nivel de educación. El examinador debe revisar cualquier material que piense utilizar en su presentación para asegurar la precisión y la claridad.

4. Conclusiones

La capacidad de comunicarse de manera efectiva en los juicios puede ser difícil e intimidante, pero es un aspecto crítico de las responsabilidades del examinador. Prepararse adecuadamente es una obligación que se traducirá no sólo en la capacidad del perito para dar testimonio preciso, sino que también desviará los esfuerzos de un abogado agresivo. La profesionalidad, la competencia, la objetividad y la integridad son los componentes de referencia para el testimonio eficaz. Las deficiencias en cualquiera de estos componentes pueden dar lugar a ataques no deseados.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Álvarez Saavedra, Félix José, *Diccionario de Criminalística,* Difusión Jurídica Editores, Colombia, 2003.

Bass M., William, y Birkby, Walter H., "Exhumation. The Method could Make the Difference", *FBI Law Enforcement Bulletin*, EE.UU., 1978.

Bevel, Tom, "Geometric Blodstain Interpretation", *Oklahoma Sheriff and Peace Officers Journal*, EE.UU., 1979.

Bunker, Judith L., y Koeing, Catherine, "Interpreting Bloodstain Patterns", *Lab Manual*, Orlando Police Department, Orlando, 1977.

Burrard, Gerald, *The Identification of Firearms and Forensic Ballistics,* Pitman Press, Londres, 1951.

Capello, Roberto E.; Gobbi, Eduardo J., y otros, "Documentos, su estudio analitico-pericial", en *Tratado de Criminalística,* t. I, Policial (PFA), Buenos Aires, 1983.

Cardini, Fernando; Carrara, Alicia H., y otros, "La química analitica en la investigación del delito", en *Tratado de Criminalística,* t. II, Policial (PFA), Buenos Aires, 1983.

Carlsson, Kjell, y Maehly, Andress C., *Métodos de obtención de huellas de calzados y neumáticos en superficies diferentes,* Laboratorio de Policia Cientifica, Solna, Suecia.

Cherry, Donald G., y Angel, Lawrence, "Personality Reconstruction from Unidentified Remains", *FBI Law Enforcement Bulletin*, EE.UU., 1977.

Chevet, Gaston, y Marant, Philippe, *Identifier les Armes et les Munitions,* Francia, 1982.

Clement, J. L., *Los documentos falsificados o imitados fraudulentamente,* Laboratorio de Identidad Judicial de la Prefectura de Policía, Paris.

Deadman, Harold A., "Fiber Evidence and the Wayne Williams Trial", *FBI Law Enforcement Bulletin*, EE.UU., 1984.

Dillon, John H. (jr.), "Gunpowder and Primer Residues", *Forensic Science Research and Training Unit*, FBI Academy, Quantico, Va., 1985.

FERNÁNDEZ, Gonzalo José, *El calibre,* Asociación Pedro Pablo Mauser, Buenos Aires, 1972.

FORTIN, Carole, "L'expertise des documents manuscrits", *Revue de la Sûreté du Québec,* 1981.

GUZMÁN, Carlos A., *Manual de Criminalística,* 1ª ed., La Rocca, Bs. As., 1997.

GERLERO, Reinaldo, "Cartuchos", *Revista Armas y Tiro,* Buenos Aires.

HATCHER, J. S., "Firearms Investigation, Identification and Evidence", *The Telegraph Press,* Harrisburg, Pa., 1943.

HILTON, Ordway, *Numbers Identification,* Nueva York.

HUIDOBRO, Francisco, *Balística externa,* España.

IAI FIREARMS SUB-COMMITTEE, "The History of Firearms Identification", *Identification News,* EE.UU., 1965.

INCHAURREGUI, Alejandro, "La huella digital de ADN", Equipo Argentino de Antropología Forense, *Revista Ciencia y Sociedad,* Buenos Aires, 1989.

MAC DONELL, Herbert L., y BIALOUSZ, Loraine F., *Flight Characteristics and Stain Patterns of Human Blood,* Washington D.C.

DEPARTMENT OF JUSTICE, *Law Enforcement and Criminal Justice,* EE.UU., 1971.

MATHEWS, Howard J., "Firearms Identification", vol. I, *The University of Wisconsin Press,* Madison, 1962.

MIGUEL, Dalmiro, "Las vainas metálicas", *Revista Magnum,* Buenos Aires.

MOREAU, Dale M., *Crime Scene Search as a Process,* FBI Academy, Quantico, Virginia, 1985.

– *Fundamental Principles and Theory of Crime Scene Photography,* Forensic Science Training Unit, FBI Academy, Quantico, Virginia, 1985.

MUNCH, André, "La Section Document au Laboratoire du Police Scientifique", *Revue de la Sûreté du Québec,* 1981.

PATITÓ, José A., y otros, *Tratado de Medicina Legal,* Quorum, Bs. As., 2003.

PELAYO, GARCÍA y GROSS, *Pequeño Larousse en color,* Buenos Aires, 1972.

POISON, Cyril J., *The Essentials of Forensic Medicine,* 2ª ed., Springfield, III; Charles C. Thomas, Inc., 1965.

PORTO, Salvador José, "Las armas de fuego", *Revista de la AACAM,* Buenos Aires.

PRASAD, A. N., *Las enfermedades del cabello y su papel en la identificación,* Laboratorio de Policía Científica de Bihar, India.

REVERTE COMA, José M., *Antropología Forense,* Ministerio de Justicia, Madrid, 1999.

SANTABALLA, José L., "El cartucho", *Revista Armas y Municiones,* España.

SPERBER, Norman D., "Bite Mark Evidence in Crimes Against Persons", *FBI Law Enforcement Bulletin,* EE.UU., 1984.

SVENSSON, Arne, y WENDEL, Otto, *Métodos modernos de investigación criminal,* AHR, Barcelona, 1967.

TELL, Guillaume, *L'annuaire des armes,* vol. 4, Crepin-Leblond, Paris 1980.

WILBER, Charles G., *Ballistic Science for the Law Enforcement Officer,* Thomas Books, EE.UU.

Criminalística

Carlos A. Guzmán

ISBN 978-9974-676-65-7

Serie Criminalística

Directores:
Carlos A. Guzmán
María Fernanda Ferreyro

Carlos A. Guzmán

Criminalística

Manual

Investigación. Antropología. Odontología.
Dactiloscopia. Serología. Huellas y marcas. ADN.
Palinología. Entomología. Reconstrucción facial.
Documentología. Balística. Armas.
Sistemas de puntería. Munición. Calibre.
Identificación balística. Informática forense.
Accidentología. Examen de pinturas.
El perito y los procedimientos periciales.

Segunda edición
Ampliada y actualizada

editorial B de f
Montevideo - Buenos Aires