


3. 1. ¿QUÉ ES UNA HERRAMIENTA PARA EL CONTROL Y LA MEJORA DE LA CALIDAD?

El primer autor en proponer la utilización de un conjunto de herramientas para el control de la calidad fue Kaoru Ishikawa, en su libro *Guide to quality control* (1976). Para ello consideraba esencial la utilización de métodos estadísticos para ejecutar juicios correctos acerca de los datos recogidos en procesos productivos. Ahora bien, con ello no se refería a que toda la organización dominara el uso de complejas técnicas estadísticas, sino que el personal fuera capaz de utilizar con habilidad aquellas técnicas necesarias en su puesto de trabajo. En este sentido, Ishikawa clasificó las herramientas estadísticas en tres grupos:


— *Herramientas introductorias*: Dirigidas a todos los empleados y con unos requerimientos de conocimientos estadísticos mínimos. Deberían ser conocidas por toda la empresa, de forma que su continua utilización permitiera llevar a cabo pequeñas mejoras a diario. También están dirigidas a resolver los problemas planteados en Comités de Calidad o Círculos de Calidad, en especial cuando se usan no individualmente sino todas ellas en conjunto y siguiendo una determinada metodología de trabajo. Estas herramientas forman las llamadas “7 herramientas de Ishikawa”, y son:

1. Diagrama de Pareto.
2. Diagramas causa-efecto.
3. Estratificación de datos.



Comité de Calidad. El Comité de Calidad de una organización es el responsable de definir, impulsar, coordinar y supervisar los programas de calidad, así como de asignarles los recursos necesarios.

Generalmente está formado por altos directivos y mandos intermedios de la propia organización.



Círculos de Calidad. Los Círculos de Calidad, formados por entre 5 y 10 personas que se reúnen periódicamente y de forma voluntaria, tienen por objetivo mejorar los procesos y actividades de la organización, aumentar la satisfacción del personal mejorando sus condiciones de trabajo, e incrementar el aprovechamiento de sus capacidades potenciales.

Los miembros de los círculos de calidad deben tener experiencia en el uso de herramientas estadísticas, así como de otras para el control y mejora de la calidad.

Kaoru Ishikawa fue el padre y precursor de los círculos de calidad, aplicándolos por primera vez en 1962 en la Nippon Telegraph and Cable.

4. Hojas de control o de comprobación.
5. Histogramas.
6. Diagramas de dispersión.
7. Gráficos de control.

— *Herramientas intermedias*: Dirigidas a los ingenieros en general, especialistas en calidad y a los supervisores con responsabilidades en calidad en sus secciones. Estas herramientas, ocho en total según Ishikawa, requieren unos conocimientos estadísticos más avanzados, si bien no se considera necesario que todos los gestores los necesiten. Las herramientas propuestas son:

1. Distribución de los estadísticos, estimación estadística y pruebas estadísticas.
2. Estimación del muestreo, teoría del error estadístico y actividad de la varianza.
3. Inspección por muestreo estadístico.
4. Papel probabilística binomial.
5. Introducción al diseño de experimentos.
6. Correlaciones simples y análisis de regresión.
7. Técnicas sencillas de fiabilidad.
8. Métodos sencillos de análisis sensoriales.

¿Sabías qué?

Si bien K. Ishikawa, después de aplicar con éxito los Círculos de Calidad en Japón, Taiwan y Corea del Sur, pensó que únicamente podían emplearse en países que utilizaran el alfabeto chino.

Su razonamiento partía de que, al ser un alfabeto muy complejo, sólo puede escribirse correctamente después de mucho tiempo de estudio, por lo que el trabajo duro y la educación, necesarios en los Círculos de Calidad, son señas de identidad de dichos países.

Después del éxito en todo el mundo, en 1980 llegó a una nueva conclusión: los Círculos de Calidad funcionan ya que se basan en la naturaleza democrática de la raza humana.

— *Herramientas avanzadas*: Utilizadas por los responsables de calidad y consultores especializados con el objetivo de diseñar nuevos experimentos y analizar con exactitud los resultados obtenidos; incluyen:

1. Diseño avanzado de experimentos.
2. Análisis multivariante.
3. Técnicas avanzadas de fiabilidad.



4. Métodos avanzados de ensayos sensoriales.
5. Análisis de series temporales y métodos de investigación operativa.
6. Otros métodos.

Con posterioridad a las aportaciones iniciales de Ishikawa, se han llevado a cabo numerosas clasificaciones de las herramientas para la mejora de la calidad, aunque una de las más exitosas ha sido la separación entre las llamadas “Las 7 herramientas básicas de la calidad” y “las 7 herramientas para la Gestión de la Calidad”.

3.2. LAS SIETE HERRAMIENTAS BÁSICAS DE LA CALIDAD

Las “7 herramientas básicas de la calidad” son prácticamente las mismas que las propuestas por el K. Ishikawa, si bien sufren alguna ligera variación. De hecho, distintos autores las han clasificado de diferente manera, aunque su objetivo principal es el mismo.

Sea cual sea la clasificación, la característica principal de estas herramientas es que todas ellas son visuales, por lo que son de muy fácil utilización y comprensión. Además, todas ellas se pueden utilizar en cualquier puesto de trabajo, independientemente de si la empresa es de producción o de servicios. Ahora bien, la simplicidad del uso de dichas herramientas no debe esconder el gran potencial que tienen en la toma de decisiones, y en su uso como base para la mejora de los procesos de calidad.

Las siete herramientas que se presentan a continuación son las que más comúnmente se aceptan como tales. Por otra parte, se presentan en el orden en el que generalmente se utilizan, si bien es verdad, que no solamente se pueden emplear en distinto orden, sino también de forma individual. Con el objetivo de mostrar su aplicabilidad se presenta un único ejemplo en el que, para la resolución del problema planteado, se utilizan sucesivamente todas ellas.

¿Por qué se llaman las 7 herramientas de la calidad?

Las “7 herramientas de la calidad” se llamaron así en memoria de las “7 armas del guerrero japonés Benkei”, que le permitieron triunfar en batallas, al igual que las herramientas permiten resolver los problemas.

3.2.1. Diagrama de flujo

El objetivo del diagrama de flujo es el de mostrar cuál es el flujo del proceso a analizar, determinando cuáles son las entradas y salidas de cada actividad del proceso.

Para ello se utiliza alguna de las múltiples metodologías gráficas existentes para representar procesos, si bien la mayoría de ellas se basan en distintos símbolos que identifican: operaciones, movimientos, almacenaje, inspecciones, retrasos y decisiones. Muchos de dichos métodos utilizan también distintas columnas, situando cada actividad en los distintos departamentos o secciones implicados.

Una vez dibujado el diagrama de flujo, es muy fácil diferenciar aquellas actividades que añaden valor al producto (la mayoría de veces muy pocas de ellas) de aquellas que deberían ser eliminadas y de las que sin añadir valor son necesarias aunque eliminables a largo plazo.

La principal utilidad del diagrama de flujo es en primer lugar la de que todos los participantes en el grupo de mejora obtengan una comprensión objetiva idéntica del proceso a analizar. A partir de aquí, se debe comprobar si el funcionamiento real del proceso es igual al “oficial” redactado en los documentos de gestión de la organización, y si éste es susceptible de mejora. Además, el diagrama de flujo es un excelente punto de partida para la elaboración de los procedimientos de trabajo, permitiendo una comunicación con una única interpretación.

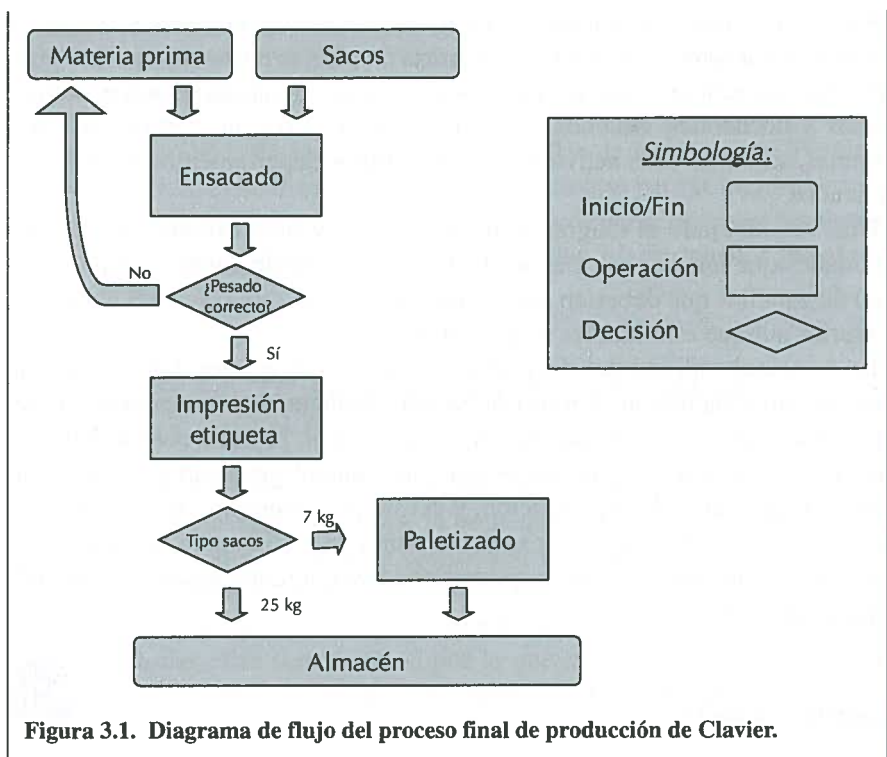
Ejemplo Clavier (1)

Clavier es una empresa dedicada a la fabricación de cereales en polvo. Los tipos de productos fabricados son muy diversos, en función de su uso, si bien solamente se realiza su venta en dos formatos: en sacos de 7 y 14 kg. Los sacos de 7 kg son almacenados en palets, formados mediante un robot paletizador automatizado, mientras que los de 25 kg los almacena directamente una carretilla elevadora uno a uno. El proceso de fabricación también es bastante sencillo, ya que se basa en la mezcla de distintas dosis de componentes en polvo en función del producto final deseado.

El responsable del almacén de productos acabados considera que la calidad de los productos finales que llegan a su almacén no es la que debería, ya que se detectan demasiadas no conformidades (sacos estropeados, palets incorrectos, sacos vacíos, ...). Dichos problemas son parcialmente reconocidos por el director de producción, si bien nunca se han recogido datos objetivos que los corroboren. Con el fin de analizar y solventar dicho problema, el equipo de dirección decide crear un grupo de trabajo en el que se ven implicados el responsable del almacén de productos acabados, el director de producción, el director técnico y el responsable de materias primas.

El primer paso, y con el objetivo de que todos los participantes en el grupo de trabajo tengan una comprensión idéntica y lo más objetiva posible del problema a tratar, se lleva a cabo el diagrama de flujo del proceso final de fabricación de Clavier. Con ello, se pretenden recoger todas las actividades que se realizan justo antes de almacenar el producto terminado.

ej:



3.2.2. Diagrama causa-efecto

También llamado “Diagrama de Ishikawa” o “Diagrama de espina de pescado” por su forma, el objetivo del diagrama de causa-efecto es el de detectar todas las posibles causas de un determinado problema o defecto.

A partir del problema que se quiere analizar, el diagrama causa-efecto lo relaciona con sus posibles causas agrupadas según tipos. Sin duda, el *brainstorming*, o tormenta de ideas, constituye una de las técnicas básicas para llevar a cabo dicho análisis. Las principales causas se muestran en las “espinas” principales del diagrama, que al mismo tiempo se relacionan con las causas secundarias que las afectan. Las agrupaciones en causas principales pueden obedecer a muchos criterios, pero entre los más habituales están las “6 Ms” (Mano de obra, Máquinas, Materiales, Métodos, Mediciones y Medio ambiente) o las “4 Ps” (del inglés: *people, procedures, places* y *policies*). De todas formas, cualquier agrupación es válida si agrupa correctamente y con sentido común las distintas causas a analizar, determinándose cuáles son las causas principales y cuáles las secundarias.

Si bien este diagrama es muy sencillo de utilizar, debe tenerse en cuenta que tiene sus limitaciones ya que no permite relacionar interacciones existen-

tes entre causas. Es por ello por lo que, si un problema es causado por una combinación de factores, resulta difícil utilizar esta herramienta para resolverlo.

Mediante el análisis de las causas representadas en el diagrama, se deberían eliminar aquellas poco importantes y seleccionar las que tengan más posibilidades de ser la causa principal del problema causado. Dicha causa será el objetivo a tratar en la acción correctiva posterior a llevar a cabo.

En 1990, Ryuji Fukuda, ingeniero de Sumitomo Electric, completó este diagrama mediante la creación del CEDAC (*Cause and Effect Diagrams with Addition of Cards*), en el que se añadían etiquetas al diagrama para reflejar las ideas y mejoras de los equipos de trabajo.

¿Sabías qué?

El diagrama causa-efecto es la única de las llamadas "7 herramientas de Ishikawa" creada originalmente por K. Ishikawa en 1953.

ej:

Ejemplo Clavier (2)

El segundo paso del equipo de trabajo formado, es el de analizar todas las posibles causas que puedan producir que se realicen entregas defectuosas al almacén de producto acabado.

Para ello, se utiliza el diagrama de Ishikawa, aprovechando las llamadas 6 M's como causas principales. A partir de ellas, se recogen todas las causas secundarias, así como las terciarias, es decir, las que afectan a las secundarias.

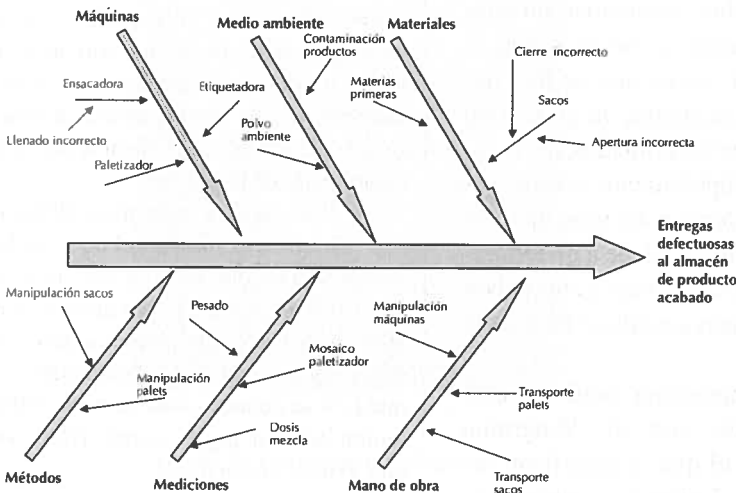


Figura 3.2. Diagrama causa-efecto de las entregas defectuosas al almacén de producto acabado de Clavier.

(continúa)

Si bien es verdad que el propio grupo, por experiencia, ya puede suponer cuáles serán las causas más relevantes o que más entregas defectuosas provocan, el objetivo de esta herramienta consiste en recogerlas todas, y de esta forma poder seguir utilizándola una vez sean solucionadas las principales. De esta manera, no deberá volver a repetirse su elaboración durante la realización de futuros grupos de trabajo que pretendan analizar la situación.

Sin duda, tanto la elaboración del diagrama de flujo como la del diagrama causa-efecto, son una muy buena oportunidad para analizar un problema o un proceso concreto desde el punto de vista de todos los implicados, permitiendo a los participantes compartir y confrontar sus opiniones al respecto.

3.2.3. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado “diagrama 80/20” se basa en la denominada *ley de Pareto*, que en el ámbito que nos ocupa se podría enunciar de la forma siguiente: en muchas ocasiones el 80% de los problemas existentes en una organización se deben aproximadamente al 20% de las causas detectadas. Es decir, se reconoce que un número muy reducido de eventos son los causantes de la gran mayoría de los problemas.

Para llevar a cabo el diagrama de Pareto deben contabilizarse los problemas detectados en el proceso a analizar. Posteriormente se sitúan en el eje horizontal del diagrama dichos problemas ordenados de mayor a menor según el número de veces que se han detectado, y se dibuja un gráfico de porcentajes acumulados de la situación. Rápidamente se observará que un porcentaje muy elevado de problemas se debe a un reducido número de causas. Éstas deben ser las causas a analizar en primer término.

Este diagrama también está relacionado con el “diagrama ABC” en el que se clasifican las causas en 3 grandes grupos. Las causas del tipo “A” son las principales, ya que son únicamente el 20% del total y causan el 80% de los problemas. Las causas tipo “B”, aproximadamente el 30% del total, causantes del 15%

Principio o ley de Pareto.

Constatación empírica que se atribuye al economista italiano Wilfredo Pareto (1848-1923), quien en la realización de un estudio sobre la distribución de la riqueza, constató que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza, y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza.

Se trata de una regla muy utilizada en el ámbito económico: el 80% de las ventas vienen del 20% de los clientes, el 80% de la producción se genera en el 20% del tiempo, etc. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20 (enunciada en inglés como *Vital Few and Trivial Many Rule*).



de los problemas, y las tipo "C", en las que se incluyen el 50% restante, causando únicamente el 5% de los problemas detectados. Evidentemente dichos porcentajes son muy aproximados, pero ayudan a reconocer y diferenciar cuáles son dichas causas, siendo las de tipo "A" las primeras que deben solucionarse.

Estas causas de tipo "A" son las que posteriormente Juran llamaría las "pocas vitales". Evidentemente, cuando éstas son totalmente erradicadas, y se vuelve a llevar a cabo otro diagrama de Pareto, parte de las causas "B" pasan a ser del tipo "A", con lo que el problema a solucionar se repite, convirtiéndose este proceso en una metodología de trabajo.

El gráfico de Pareto es una herramienta muy utilizada en la identificación y evaluación de las no-conformidades de los procesos productivos, si bien permite analizar muy distintos tipos de datos.

ej:

Ejemplo Clavier (3)

El siguiente paso en el análisis llevado a cabo por el equipo de trabajo consiste en analizar cuáles son los problemas que deben atacar prioritariamente. Para ello, y a partir del registro de quejas recibido de clientes finales, y en función de las causas principales detectadas con la anterior herramienta, se contabilizan cuáles son las más importantes.

Está claro que las quejas finales de los clientes no son un indicador de los problemas en la entrada al almacén de productos acabados, pero dado que no se

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL Y LA MEJORA DE LA CALIDAD

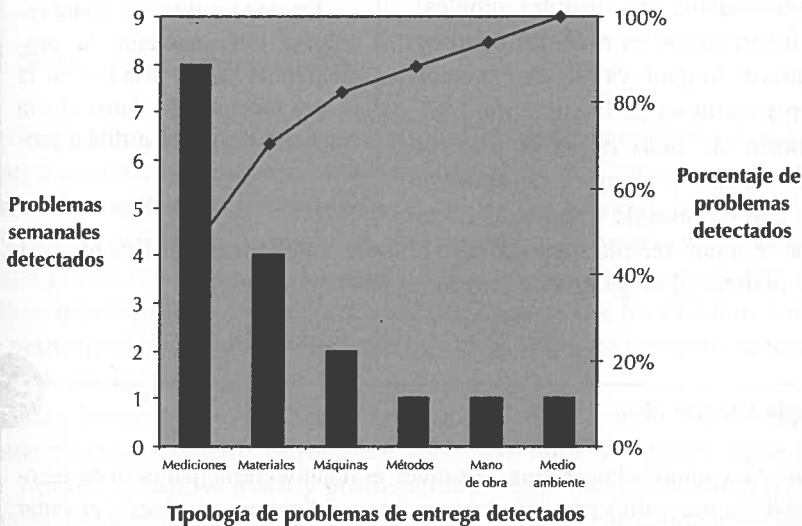


Figura 3.3. Diagrama de Pareto de las causas principales de las entregas defectuosas al almacén de producto acabado de Clavier.

(continúa)

dispone de ningún dato mejor y, debido a su relación existente, el grupo consideró que podía utilizarse como primer indicador, si bien quedaba supeditado a una posterior comprobación.

Una vez recogidos los registros del departamento de ventas, se realizó un diagrama de Pareto con el que se concluyó rápidamente que el primer objetivo a cumplir era mejorar todos los aspectos referentes a mediciones: peso de los sacos, mosaico o distribución de los sacos en los palets, etc.

3.2.4. Hojas de control o de comprobación

La hoja de control tiene por objetivo recoger datos del proceso a analizar de forma sencilla, rápida y eficaz. Con las hojas de control se pretende ante todo evitar errores en la toma de datos, así como disminuir el trabajo del responsable de esta recogida.

Normalmente, y para evitar un tedioso trabajo de estratificación y clasificación de los datos después de su recogida, las hojas de control se suelen diseñar de forma que se facilite el posterior análisis, por ejemplo separando los datos en distintos grupos y marcándolos únicamente con simples señales. Dicha información es más útil cuantos más datos se tengan, ya que cada vez es más representativa de la situación real.

A partir de unas hojas de control bien diseñadas, y siempre de acuerdo con las condiciones de trabajo de quien las debe rellenar, resulta muy sencillo obtener los datos estratificados con claridad y realizar el diagrama de Pareto.

Al utilizar las hojas de control debe evitarse el **Efecto Hawthorne** según el cual el propio proceso de recogida de datos interfiere en los datos recogidos.

En este sentido, no podrá recogerse correctamente la productividad de un proceso, si la propia recogida de datos afecta considerablemente a dicha productividad.

Ejemplo Clavier (4)

Una vez “escogido” el problema a resolver, el objetivo principal es el de recoger los datos necesarios relacionados con éste, analizarlos, proponer y ejecutar mejoras y, por último, valorar su efectividad.

En primer lugar, para obtener los primeros datos sobre los errores de “medición” más habituales, se desarrolló una hoja de control, que puesta a disposición

(continúa)

de los trabajadores del almacén de productos acabados, permitía recoger muy rápidamente cuáles eran las causas de los problemas que ellos detectaban en los palets recibidos. Dicha hoja se preparó con las causas con más posibilidades ya escritas a priori, de forma que prácticamente no se perturbase el trabajo de los empleados en el almacén.

En caso de haberse detectado el problema a analizar en otra sección de la empresa, posiblemente se hubiera podido llevar a cabo dicha recogida de información mediante herramientas informatizadas, pero éste no era el caso del almacén donde no se disponía de red.

La recogida de datos resolvió que el principal problema a solventar era el peso defectuoso de muchos de los sacos producidos. Éste iba a ser por consiguiente el punto en el que el grupo de trabajo iba a centrar su atención.

Producto: Palets con sacos de 7 kg procedentes línea de producción 2				Almacén: 3		Operario: J.R.G.
Causa	10/10/04	11/10/04	12/10/04	13/10/04	14/10/04	TOTAL
Peso defectuoso	###	###	###	/		16
Mosaico incorrecto	/			/		2
Dosis mezcla		###			///	8
Otros			//			2
TOTAL	6	10	7	2	3	28

Figura 3.4. Hoja de control de entrada en el almacén de producto acabado de Clavier.

3.2.5. Histogramas

Un histograma se utiliza para mostrar gráficamente un conjunto de datos relativos a un determinado proceso sujeto a variabilidad. Con ello se persigue evaluar cómo se distribuyen los datos recogidos del proceso, permitiendo intuir cómo es la población de la que se obtuvieron los datos. Al mismo tiempo, los histogramas son utilizados también en el análisis de la capacidad de los procesos, mostrando los límites de las especificaciones de los clientes, con lo que se permite observar muy fácilmente qué proporción de los datos obtenidos no cumple los requerimientos.

Para llevar a cabo un histograma se deben en primer lugar recoger los datos objeto de estudio, agruparlos según sus valores o dentro de un margen de valores, y representarlos gráficamente según su frecuencia, en general, mediante barras verticales. De esta forma, el histograma mostrará cuál es la naturaleza de la distribución, así como su mediana y la variabilidad del proceso.

Al agrupar los datos obtenidos en un histograma según un margen de valores, se pierde el valor individual de cada dato recogido, si bien dicha pérdida

de información queda compensada por una mejor interpretación de los datos recogidos.

ej:

Ejemplo Clavier (5)

Una vez el grupo de trabajo centró sus investigaciones en el peso de los sacos, su principal motivación fue la de obtener los datos de los pesos de todos los sacos producidos, no sólo los de una muestra.

Para ello, se colocó una balanza en el proceso productivo durante un día para verificar todos los pesos de los sacos producidos. Los resultados obtenidos se mostraron en un histograma (Figura 3.5), en el que se detectó una clara desviación en los pesos deseados, que deberían estar centrados en 7 kg, con una tolerancia de 300 gramos por arriba o por abajo. El peso no se centraba en los 7 kg, sino en 6,850 kg. Además, la capacidad de la máquina de envasado, con unos 200 gramos de error máximo según el fabricante, posibilitaba que existiera un elevado número de sacos con un peso inferior a las especificaciones.

La primera actuación a llevar a cabo era la de reglar la máquina de llenar sacos a 7 kg, y posteriormente analizar cómo se podía evitar que dicha desviación volviera a suceder en un futuro.

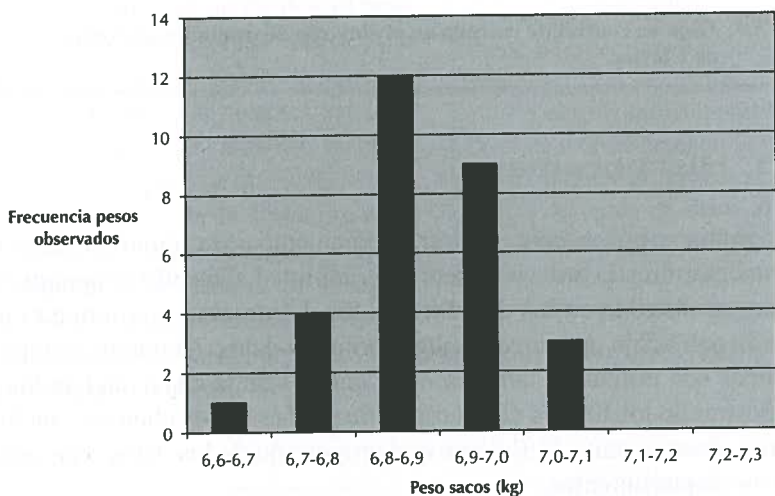


Figura 3.5. Histograma de los pesos de los sacos producidos por Clavier.

3.2.6. Diagramas de dispersión

Con el fin de determinar la relación entre dos conjuntos distintos de datos, por ejemplo la relación entre el peso y la altura de una población o la temperatura

de un proceso y la resistencia del producto generado, se utilizan los diagramas de dispersión.

Para ello, se recogen los datos de los conjuntos por parejas y se muestran en los llamados diagramas de dispersión, representando cada variable en un eje distinto de coordenadas, situando en el horizontal los datos que a priori se cree que son la causa, y en el vertical sus efectos. De una manera rápida y sencilla, se desea comprobar si existe relación o no entre ambas variables a partir de la tendencia y dispersión del gráfico obtenido. Con este diagrama es imposible probar que una variable sea responsable de los cambios sufridos en la otra, pero sí que existe una relación, así como evaluar la magnitud de dicha relación.

Para evaluar la correlación existente, cuantos más pares de datos se obtengan, mejor, si bien según el propio Ishikawa, en general, son necesarios al menos 50 pares y, si es posible, más de 100.

Es común, utilizar un mismo gráfico para el análisis de datos con distintas características, por lo que se estratifican, es decir, se separan según sus características, y se representan en el mismo gráfico utilizando distintas simbologías. De esta forma, por ejemplo al analizar la relación existente entre peso y altura de una determinada población, pueden utilizarse distintos símbolos para hombres y mujeres en el gráfico, para que de manera rápida y visual sea posible diferenciar si existe o no correlación en ambas muestras.

A partir del gráfico diseñado puede calcularse el coeficiente de correlación y otros estadísticos, si bien no es el objetivo concreto de esta herramienta, que pretende tan sólo visualizar si existe o no relación.

Ejemplo Clavier (6)

Con el fin de controlar con exactitud el peso de los sacos se pensó que quizá sería más preciso, en lugar de pesar cada saco mediante una cédula de pesado durante su llenado, introducir en la máquina de llenado un temporizador que controlara el tiempo de llenado de dichos sacos. El objetivo era aprovechar que el control del temporizador era mucho más sencillo y más preciso que el dispositivo de pesado, para conseguir precisar mucho más en el peso final de los sacos llenados.

Antes de introducir este nuevo control, se tomaron medidas de los pesos y el tiempo real de cada llenado de distintos sacos, para ver si efectivamente había relación entre ellos. Los resultados obtenidos se representaron en un diagrama de dispersión, en el que se observó de forma clara que no había relación alguna. Por ello, no fue posible introducir un control por tiempo, por lo que se decidió que el sistema debía seguir basándose en el control exhaustivo del peso de los sacos.

(continúa)

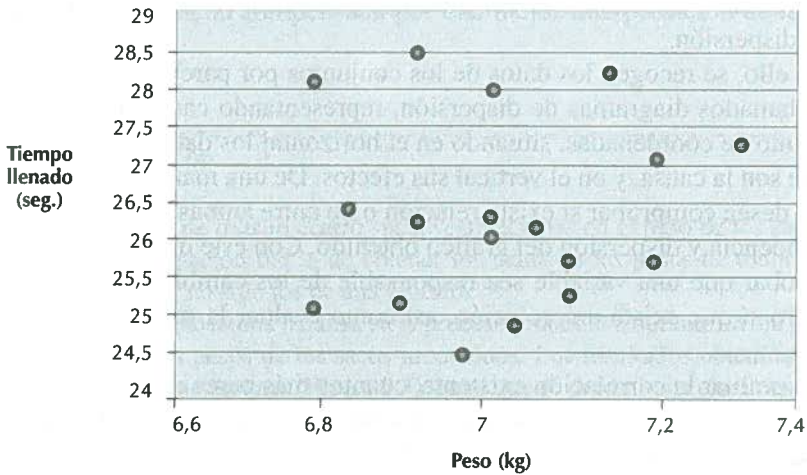


Figura 3.6. Diagrama de dispersión tiempo de llenado-peso de los sacos de la máquina ensacadora de Clavier.

3.2.7. Gráficos de control

El objetivo de los gráficos de control es el de tener bajo control una determinada característica de calidad a medir.

Para ello, se diseñan unos gráficos en los que se registran los valores de los parámetros medidos en cada intervalo de tiempo determinado a priori, y en el que se han señalado previamente los límites superiores e inferiores que se aceptan en el proceso para considerarlo bajo control. El gráfico pretende visualizar de una forma muy simple, si los datos recogidos están o no entre estos límites, detectando así posibles problemas de calidad.

Dichos gráficos pueden utilizarse de forma indistinta para el control de variables. Ahora bien, aunque la función de ambos gráficos será similar, el diseño de ellos es sensiblemente distinto, siendo los más utilizados los llamados comúnmente gráficos: “Run diagram”, “ \bar{X} ”, “R”, “np”, “p”, “c” y “u”. En función del tipo de datos a analizar deberá utilizarse uno u otro gráfico tal y



SPC o Control Estadístico de los procesos. El uso de gráficos de control se engloba, en general, en el llamado Control Estadístico de los Procesos, conocido también por el acrónimo SPC (*Statistical Process Control*).

El objetivo del SPC es el de aplicar técnicas estadísticas para la recogida de datos de los procesos, así como su posterior análisis de forma que pueda interpretarse sus características y mejorarlas de forma continua.

como se presenta en la Figura 3.7. El objetivo de cada tipología de gráfico es el siguiente:

Run diagram o gráfico de corrido: Controlar el valor de todas las unidades producidas en un determinado proceso.

\bar{X} : Controlar las medias de distintas muestras de un proceso. Este gráfico se utiliza generalmente junto con el gráfico tipo **R**.

R: Controlar los recorridos o intervalos de distintas muestras de un proceso, entendiendo como recorrido la diferencia entre el valor máximo y mínimo de cada muestra.

np: Controlar las unidades defectuosas de un proceso cuando éstas se expresan en número de unidades y el tamaño de la muestra es constante.

p: Controlar las unidades defectuosas de un proceso cuando éstas se expresan como una fracción de las unidades totales y el tamaño de cada muestra es variable.

c: Controlar la cantidad de defectos o no conformidades de un proceso tal y como se lleva a cabo en el gráfico **np**, es decir, cuando éstas se expresan en número de defectos y el tamaño de la muestra es constante. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que un producto puede tener más de un defecto, por lo que pueden aparecer más defectos que unidades controladas, mientras que en gráfico **np** esto no podía darse, ya que se controlaban el número de unidades defectuosas en lugar de los defectos.

u: Controlar la cantidad de defectos o no conformidades cuando éstas se expresan como una fracción de las unidades totales, tal y como lleva a cabo el gráfico **p**, pero teniendo en cuenta las mismas consideraciones que en el anterior gráfico, es decir, considerando las no conformidades en lugar de unidades defectuosas.

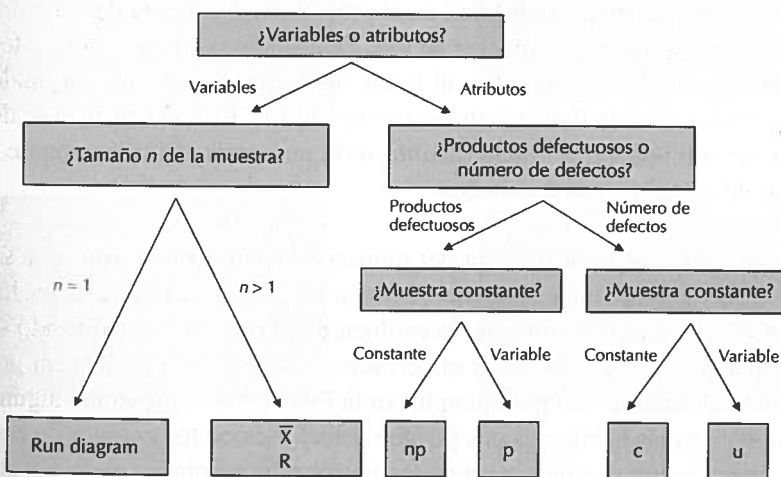


Figura 3.7. Selección del tipo de gráficos de control.

Para la elaboración del gráfico de control debe calcularse inicialmente el límite de control superior (LCS) e inferior (LCI), límites que dependerán entre otros factores de si las observaciones se señalan de forma individual, o si por el contrario lo que se presenta es la media de una muestra de datos.

Así por ejemplo, para el caso del control de una determinada variable, en el que se tomen distintas muestras cada cierto tiempo para controlar el proceso, el gráfico a utilizar será primeramente el tipo **R**, para determinar que el recorrido de las muestras no es excesivo, y posteriormente si los resultados son satisfactorios, el gráfico de tipo \bar{X} en el que se comprobará que el proceso esté bajo control. En dichos gráfico los límites superiores e inferiores se definen, para el gráfico **R** como:

$$\begin{aligned} LCI &= \bar{R} \cdot D_3 \\ LCS &= \bar{R} \cdot D_4 \end{aligned}$$

y para el gráfico \bar{X} :

$$\begin{aligned} LCI &= \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \\ LCS &= \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \end{aligned}$$

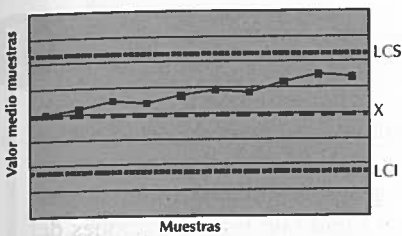
siendo:

\bar{R} la media de los rangos o recorridos de las muestras,
 $\bar{\bar{X}}$ el promedio de las medias de las distintas muestras, y
 D_3 , D_4 y A_2 constantes basadas en el número de observaciones de cada muestra, así como de la variabilidad permitida al proceso. Dichas constantes no son más que un método abreviado para efectuar el cálculo de una forma rápida cuando se permita una variabilidad en el proceso de 6 veces la desviación típica (σ), que es lo que generalmente se usa. Es por ello por lo que para este caso en concreto pueden encontrarse el valor de dichas constantes en cualquier manual básico de estadística o control de la calidad. En todo caso, si se deseara trabajar con una variabilidad distinta sería necesaria la utilización de otras tablas o de cálculos más detallados.

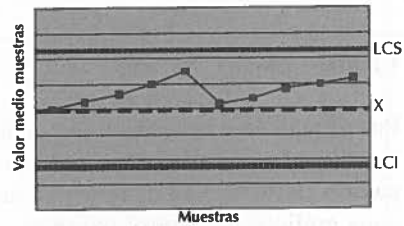
Ahora bien, con la utilización del gráfico de control no se consigue únicamente observar problemas puntuales, es decir observaciones fuera de los límites marcados, sino también controlar la evolución del proceso, visualizando si hay una tendencia clara de los datos observados, lo que podría indicar un posible desajuste del sistema. Así por ejemplo, en la Figura 3.8 se presentan algunas de los problemas más habituales que pueden detectarse con los gráficos de control.

La observación de cualquiera de los patrones presentados en la Figura 3.8 puede deberse a distintos factores, siendo los más habituales los siguientes:

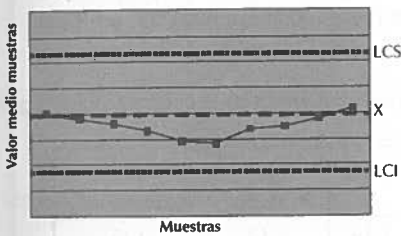
- Figura a) *Tendencia*. La observación de una cierta tendencia puede revelar un desgaste uniforme y continuado de la máquina que realiza el proceso debido a una falta de mantenimiento, suciedad, o un cambio continuo en el entorno de trabajo.
- Figura b) *Cambios repentinos*. Un cambio repentino puede ocultar una dejadez de los operarios que, al detectar que se alejan de los valores deseados, vuelven a situarse bruscamente en la tendencia original, así como puestas a punto de los centros de trabajo una vez se detecta que el proceso se desvía de forma paulatina de su objetivo.
- Figura c) *Ciclos*. La detección de ciclos puede esconder la falta de concentración de los operarios en los procesos manuales, que al observar un desplazamiento excesivo respecto al límite central de control, recuperan de forma continuada su objetivo.
- Figura d) *Errático*. Un gráfico de control con grandes cambios en los datos recogidos, si bien todos dentro de los límites de control, puede



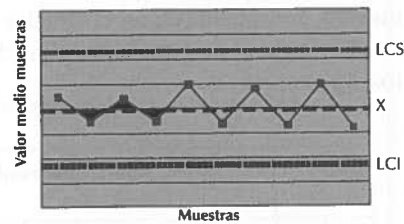
a) Tendencia



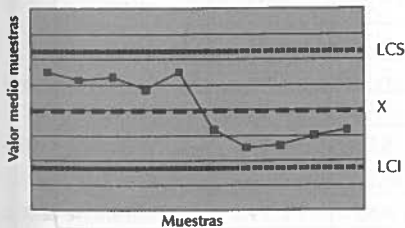
b) Cambios repentinos



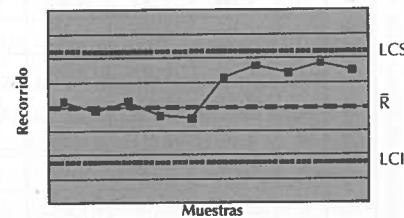
c) Ciclos



d) Errático



e) Agrupaciones



f) Cambios en el recorrido

Figura 3.8. Problemas habituales detectados con el gráfico de control.

esconder una incorrecta puesta a punto de dicho proceso. Éste es el gráfico más habitual en la fase inicial de realización de un determinado proceso, en la que se detecta una cierta inexperiencia del operario, de la máquina o de la utilización de nuevas materias primas por ejemplo.

- Figura e) *Agrupaciones*. La existencia de agrupaciones muestra cambios en las condiciones de trabajo, debidos por ejemplo a sustituciones de las máquinas utilizadas, turnos de trabajo o una sustitución en los materiales utilizados.
- Figura f) *Cambio en el recorrido*. La detección de cambios de recorrido, mediante el gráfico **R**, muestra la existencia de grandes variaciones en el proceso, si bien en ocasiones la mediana de las muestras (\bar{X}) puede mantenerse muy controlada. Éste sería el caso de un proceso controlado por un operario experto que pasa a ser sustituido por otro menos hábil, lo cual provoca una mayor dispersión en dicho proceso.

ej:

Ejemplo Clavier (7)

Por último, se modificaron los reglajes de todas las máquinas destinadas al llenado de sacos. Ahora bien, para evitar que el problema volviera a aparecer pasado cierto tiempo de funcionamiento, el grupo de trabajo decidió diseñar unos gráficos de control para una detección rápida de las desviaciones del proceso.

Para ello se colocó una célula de captación de peso en el mismo proceso productivo, conectada con un ordenador que iba recogiendo las pesadas. Se tomaron 10 muestras de 5 sacos cada una durante un día. Los pesos obtenidos fueron los siguientes:

		Valores observados					\bar{X} (Media)	R (Recorrido)
		1	2	3	4	5		
Número de muestra	1	7,24	7,13	7,20	6,89	7,14	7,12	0,35
	2	6,90	6,96	7,08	7,25	6,84	7,01	0,41
	3	7,04	7,24	6,87	6,97	7,02	7,03	0,38
	4	6,79	6,80	6,86	6,85	6,77	6,82	0,09
	5	7,14	6,85	7,04	7,14	7,23	7,08	0,38
	6	7,16	6,87	6,85	6,82	6,96	6,93	0,34
	7	6,92	6,93	6,88	7,01	6,98	6,94	0,13
	8	7,21	7,05	6,81	6,80	7,20	7,01	0,41
	9	6,84	7,11	7,22	6,85	6,92	6,99	0,39
	10	6,85	7,12	6,88	6,93	6,75	6,91	0,37

(continúa)

siendo el promedio de las medias y del recorrido:

$$\begin{aligned}\bar{\bar{X}} &= 6,98 \\ \bar{R} &= 0,32\end{aligned}$$

A partir de ello, en primer lugar y con la ayuda de las tablas necesarias, se diseñó el gráfico **R** para controlar la dispersión de cada muestra, siendo sus límites de control:

$$\begin{aligned}LCI &= \bar{R} \cdot D_3 = 0,32 \cdot 0 = 0 \\ LCS &= \bar{R} \cdot D_4 = 0,32 \cdot 2,11 = 0,68\end{aligned}$$

Al representarse el gráfico **R** de control, como puede observarse en la Figura 3.9, se confirmó que el recorrido de las muestras estaba bajo control.

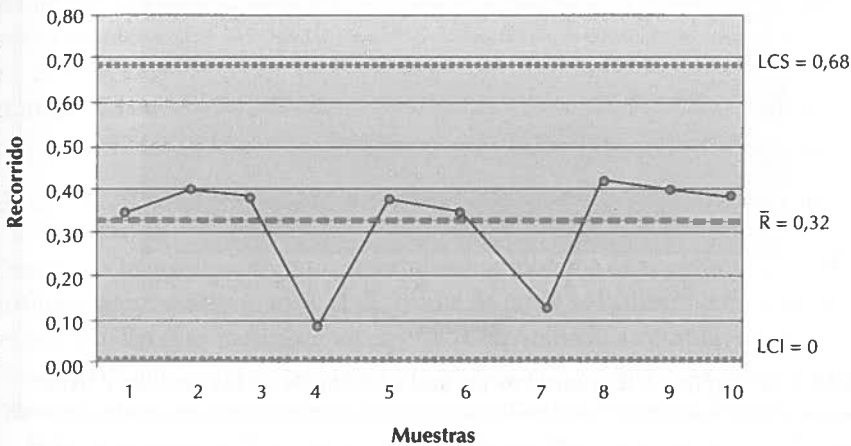


Figura 3.9. Gráfico R de control de los pesos de llenado de los sacos de Clavier.

De forma análoga se diseñó el gráfico \bar{X} , calculando los límites de control según:

$$\begin{aligned}LCI &= \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} = 6,98 - 0,58 \cdot 0,32 = 6,80 \\ LCS &= \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} = 6,98 + 0,58 \cdot 0,32 = 7,17\end{aligned}$$

Tal y como se observa en la Figura 3.10, el proceso está dentro de los límites marcados, por lo que se puede considerarse bajo control.

Sin duda la aportación del control estadístico de los procesos no radica tan sólo en tener el proceso bajo control, sino también en controlar que el sistema no se vaya desviando de forma paulatina, tal y como parecía que había sucedido, si se suponía que en un principio la máquina de llenar sacos estaba correctamente ajustada. Por ello, se decidió preparar el mismo software que controla-

(continúa)

ba los pesos, para que analizara si el sistema se iba desviando de los objetivos marcados por los gráficos de control. De esta forma, se podían detectar los problemas mucho antes de que la máquina estuviera produciendo sacos fuera de las especificaciones.

Una vez llegado a este punto, el objetivo del equipo de trabajo fue el de evaluar los resultados obtenidos, utilizando de nuevo algunas de las herramientas anteriores, como por ejemplo el diagrama de Pareto. Dicho diagrama volverá a identificar el nuevo problema a abarcar, en caso de que el anterior se haya resuelto de forma satisfactoria.

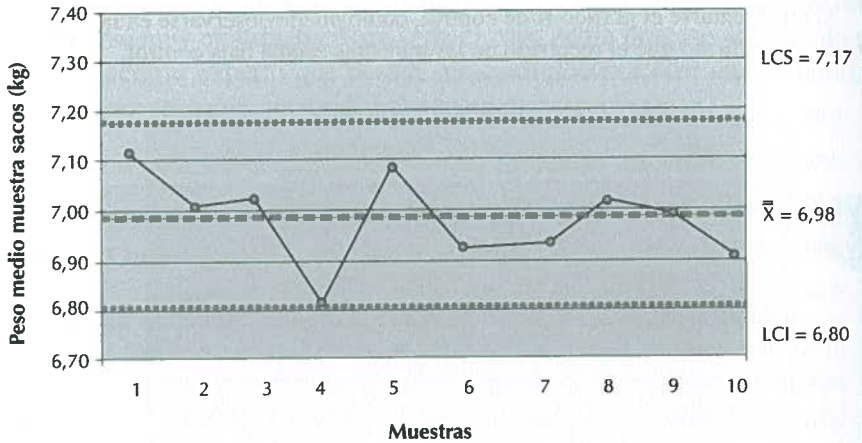


Figura 3.10. Gráfico \bar{X} de control de los pesos de llenado de los sacos de Clavier.

3.3. LAS SIETE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

De todas las clasificaciones aparecidas acerca de las “7 herramientas para la Gestión de la Calidad”, también llamadas las “7 nuevas herramientas para la calidad”, sin duda la más exitosa fue la propuesta por Mizuno en su libro *Management for Quality improvement: the 7 new QC tools* (1988).

Estas herramientas, orientadas a los niveles elevados de la organización, constituyen un grupo de instrumentos más avanzados, y utilizados en general para el trabajo en grupo durante procesos de planificación y gestión. Al igual que las anteriores, pueden utilizarse de forma independiente, si bien su máxima efectividad en la resolución de problemas aparece cuando se aplica una metodología que las incluya a todas. De todas formas, su difusión e impacto ha sido mucho menor que el de las “7 herramientas básicas”, por lo que llevaremos a cabo una descripción mucho más breve.

3.3.1. Diagrama de afinidades

El objetivo de esta herramienta es el de generar un elevado número de ideas, opiniones y todo tipo de información relevante relacionada con un problema concreto, organizándola en distintos grupos con una o varias características comunes. Dicha información suele partir de la realización de un *brainstorming* previo, y una posterior discusión de los epígrafes de cada grupo de ideas a formar.

3.3.2. Diagrama de relaciones o diagrama de red

A partir de la información recogida en la anterior herramienta, con el diagrama de red se persigue determinar, mediante un gráfico, cuáles son las relaciones existentes entre las distintas ideas generadas. Con ello se pretende recoger los niveles causales entre ellas, de una forma parecida a la usada en los diagramas de Ishikawa, pero sin ningún formato preestablecido.


3.3.3. Diagrama de árbol

Cuando en la resolución de un determinado problema es necesario llevar a cabo distintas tareas o actividades, el diagrama de árbol se utilizará para planificar su resolución. En él se partirá de un objetivo determinado a cumplir, que se irá desglosando de una forma secuencial en las distintas etapas necesarias para ello. Para cada etapa se priorizaran las diferentes actividades que la forman.

Este diagrama también es utilizado para evaluar las distintas posibilidades existentes para resolver un mismo problema.

3.3.4. Diagrama matricial

El diagrama matricial se utiliza para definir de una forma gráfica muy sencilla las relaciones existentes entre distintos factores, por lo general causas y efectos. Para ello se usan matrices, o conjuntos de matrices. Sin duda, el diagrama matricial más exitoso y de más utilización es el empleado en el QFD (*Quality Function Deployment*) creado por el Dr. Akao, también llamado “la casa de la calidad”.



QFD: Quality Function Deployment. El QFD es una metodología muy exitosa que permite traducir, con fidelidad y de forma concreta, las exigencias de calidad del cliente en requerimientos de calidad del producto y del proceso, asegurando que en todo momento se mantengan correlacionados.

3.3.5. Método de análisis de la matriz de datos

A partir de la información recogida en la anterior herramienta, el método de análisis de la matriz de datos se utiliza para determinar el grado de importancia de cada relación existente. Para ello se usa el análisis factorial, una técnica estadística de una cierta complejidad. Esta herramienta es la única que no suele emplear una estructura gráfica, sino que se basa en tablas y datos numéricos.

3.3.6. Diagrama de flechas

Este diagrama se utiliza para planificar la ejecución de un entramado complejo de tareas interrelacionadas con un objetivo final común. Su objetivo concreto es el de analizar las relaciones entre dichas tareas, y a partir de ello planificar su ejecución de forma que se cumplan dichas relaciones. Esta herramienta es ampliamente usada en la gestión de proyectos, en concreto, mediante la utilización de los llamados diagramas de PERT (*Programme Evaluation and Review Technique*) y CPA (*Critical Path Analysis*).

3.3.7. Diagrama del proceso de decisión del programa

También conocida como PDPC (*Process Decision Program Chart*), esta última herramienta se utiliza para seleccionar cuáles son los mejores procesos que lleven a obtener un objetivo concreto, mediante la evaluación de todas las posibilidades que puedan suceder. De esta forma, se podrán determinar por anticipado acciones que contrarresten potenciales problemas que puedan ocurrir durante el desarrollo del proceso escogido, por ejemplo, mediante la utilización de distintos controles. De esta forma el diagrama se representa mediante un árbol con las decisiones a tomar, y con distintas ramas para cada posibilidad.