

El entorno de la calidad total

En este capítulo se justifica la importancia de la calidad de los productos y servicios como elemento estratégico para la competitividad de las organizaciones que los producen. El concepto de calidad que subyace a lo largo de este libro es el de que la calidad es inversamente proporcional a las pérdidas e inconvenientes de todo tipo que un producto o servicio provoca al usuario.

Los métodos utilizados en la industria para asegurar la calidad de sus productos han evolucionado a lo largo del tiempo. En este capítulo se analiza críticamente dicha evolución y se refuerza la idea de que el mejor momento para considerar la calidad de un producto es cuando se está diseñando.

A continuación, y siguiendo todavía en el ámbito de calidad de los productos (o servicios), se analizan tres clases de actividad que requieren distintos tipos de actitud por su distinta complejidad.

Dichas actividades son las de mantenimiento o control de la calidad, actividades de mejora continua y, finalmente, las de innovación o creatividad.

En el apartado 1.4 se discuten los aspectos culturales, organizativos e instrumentales necesarios para que la calidad sea un elemento básico en la gestión de las organizaciones, y para que éstas sean capaces de satisfacer a sus clientes tanto en calidad como en precio, plazo de entrega y servicio postventa de sus productos.

Finalmente, y dado que este libro trata sobre métodos estadísticos para el control, la mejora y la innovación de la calidad, se discute el papel que tiene el método científico en general y la estadística en particular dentro de las organizaciones para el desarrollo de los tres tipos de actividad.

1.1 Evolución histórica del concepto de control de la calidad

Desde sus orígenes, probablemente el ser humano ha considerado de vital importancia el disponer de productos de alta calidad. Es de suponer que el cazador que disponía de mejores flechas obtenía más y mejores presas y que este hecho no debía pasar inadvertido a nuestros antepasados.

La organización del trabajo en la era industrial ha añadido otros puntos de vista acerca del producto tales como costes, plazo de entrega, servicio postventa, seguridad, fiabilidad, etc.

La prioridad asignada a los diversos conceptos ha ido evolucionando con el tiempo. Así, por ejemplo, en situaciones en las que la demanda de productos ha sido muy superior a la capacidad de oferta, la gestión empresarial se ha orientado hacia la producción y ha dado alta prioridad a la

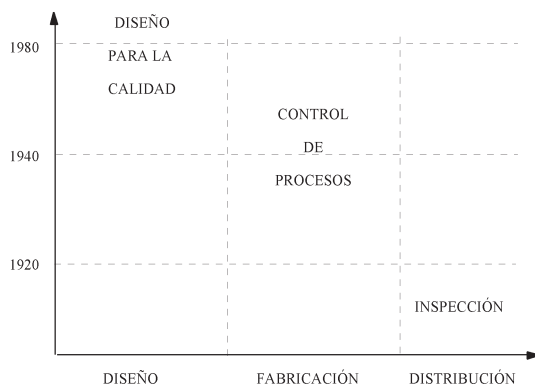


Fig. 1.1 Historia del control de calidad

productividad, mientras que cuando la demanda de ciertos productos ha sido menor que la capacidad de oferta, la gestión se ha orientado hacia el cliente y la calidad ha sido altamente prioritaria.

En la actualidad pocos discuten la importancia estratégica de la calidad como factor de competitividad industrial en una situación de fuerte saturación y globalización de los mercados.

Paralelamente, también ha ido evolucionando la etapa del desarrollo de un producto en la que se ha intentado asegurar su calidad. Dicha evolución está representada en la figura 1.1.

1.1.1 Inspección

Durante el inicio de la era industrial la calidad de los productos se intentaba asegurar mediante la inspección de los mismos antes de ser enviados al mercado.

El modelo conceptual del enfoque basado en la inspección es el de la figura 1.2.

16

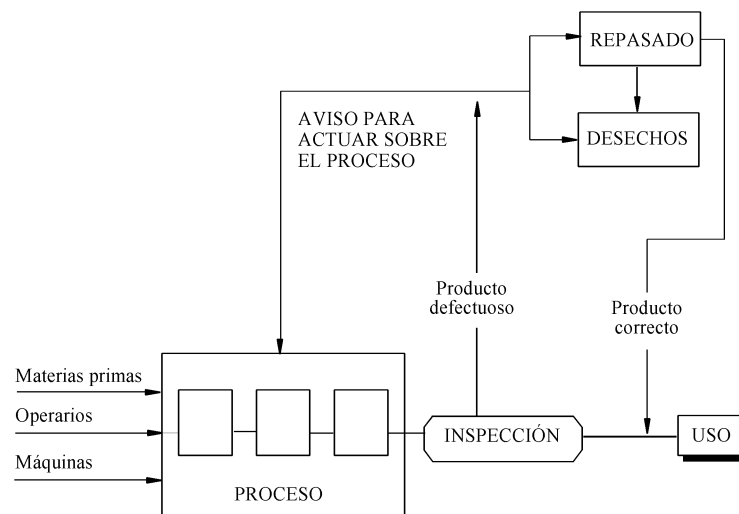


Fig. 1.2 Enfoque conceptual de la inspección

A la inspección, ya sea exhaustiva (100%) o mediante muestreo estadístico, se le asignan dos objetivos:

- separar el producto defectuoso para ser reprocesado o desechado, y
- advertir al responsable del proceso de fabricación sobre la aparición del producto defectuoso para que aquél pueda tomar las medidas de ajuste que estime oportunas.

Es bien conocido el hecho de que la inspección, incluso si es al 100%, no cumple eficazmente el objetivo (a), debido a la fatiga del inspector entre otras causas. Pero aunque pudiésemos suponer una inspección perfecta, no se debe olvidar que el producto detectado como defectuoso ya ha sido producido y, por lo tanto, se han consumido recursos de mano de obra, materia prima, energía, etc que incrementarán el coste del producto. Además, en el producto considerado como aceptable puede existir una proporción elevada de unidades cuya calidad no se diferencie mucho de las unidades rechazadas, y el operario se puede desentender de la calidad confiando en la inspección. Si añadimos a lo anterior que la inspección es una actividad no productiva, y que en muchas organizaciones la estructura organizativa no facilita la comunicación necesaria para hacer posible la consecución del objetivo (b), se entiende que este enfoque para asegurar la calidad claramente no es adecuado.

1.1.2 Control estadístico de procesos (C.E.P.)

Durante los años que precedieron al inicio de la II Guerra Mundial, y debido principalmente a los trabajos de W. Shewhart (1931), el aseguramiento de la calidad se desplazó a la etapa de fabricación de los productos.

El esquema conceptual del C.E.P. (o S.P.C. en abreviación inglesa) es el de la figura 1.3.

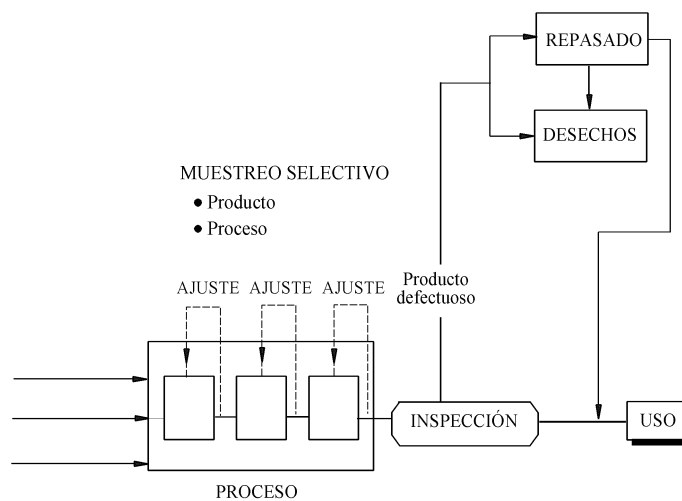


Fig. 1.3 Modelo conceptual del control estadístico de procesos

Se trata, esencialmente, de minimizar la producción de unidades defectuosas reduciendo el tiempo que transcurre entre la ocurrencia y la detección de algún desajuste en el proceso de fabricación, así como la identificación de las causas del mismo a fin de evitar su repetición.

Este tipo de control, que se desarrolla en el capítulo 11 de este libro, se implementa mediante muestreo de características físicas del producto (longitud, peso, diámetro, etc.), o de variables del proceso (temperatura, presión de rodillo, etc.).

Dado que el C.E.P. no conseguirá eliminar por completo la fabricación de unidades defectuosas, puede ser necesario mantener cierto grado de inspección final tal como se indica en la figura 1.3. Ahora, sin embargo, la inspección tiene como finalidad el separar el producto defectuoso.

1.1.3 Calidad en la etapa de diseño

Tanto la inspección como el C.E.P. son mecanismos internos de la organización. Es por ello que, aunque en una cierta empresa funcionasen a la perfección tanto las inspecciones a la recepción de materias primas como las de producto acabado, así como el control estadístico de los principales procesos de la misma, nada o muy poco aportarían estos procedimientos a algo tan importante como saber los problemas que los productos de la empresa en cuestión provocan a sus clientes cuando los utilizan, o por qué algunas personas utilizan productos de la competencia, etc.

Es por ello que, en la actualidad, el control de la calidad es una actividad globalizadora, que incluye, no sólo a todas las personas y procesos de una cierta empresa, sino también a los proveedores y a los distribuidores, tal como queda reflejado en la figura 1.4.

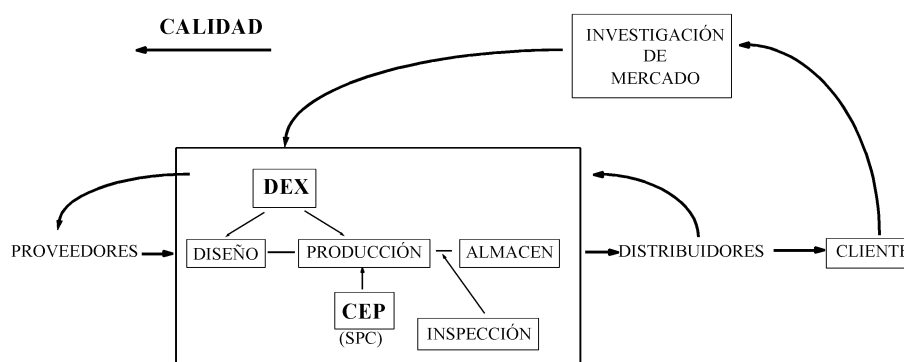


Fig. 1.4 Modelo conceptual de la calidad total

En esta figura destaca, en primer lugar, que la calidad ha de venir determinada por las necesidades y expectativas del cliente y no por necesidades internas de la propia organización. En segundo lugar se observa que el mejor momento para asegurar la calidad de los productos o servicios es durante el diseño de los mismos. Para ello es necesario, por un lado, actuar sobre los proveedores para poder mejorar la calidad de los componentes no fabricados en la empresa y, por otro, la utilización de herramientas como el diseño de experimentos (DEX) o el *Quality Function Deployment* (QFD) para intentar que las expectativas de los clientes se introduzcan y optimicen en la etapa de diseño y prototipo.

1.2 Mantenimiento, mejora e innovación en la calidad

1.2.1 Conceptos básicos

En el terreno de la calidad es conveniente distinguir tres tipos de actividades diferentes: mantenimiento, mejora continua e innovación. El lector puede encontrar una buena presentación de estos conceptos en el libro *Kaizen* de Imai (1986).

Por actividades de *mantenimiento* entendemos todas aquellas actividades tendentes a conservar los estándares tecnológicos, de gestión y de operación actuales.

mantenimiento = estandarizar + control

Parece recomendable que, antes de embarcarse en cualquier programa de mejora de la calidad, una empresa estandarice la mejor forma conocida de operar y se asegure de que todo el personal trabaja de acuerdo a dichos estándares. En nuestra opinión, los estándares deben ceñirse a las operaciones verdaderamente importantes, deben estar redactados de forma clara y ser comprendidos por el personal que debe seguirlos. El control del cumplimiento de dichos estándares es responsabilidad de la gestión de la empresa

Por actividades de *mejora continua* (*Kaizen* en japonés) entendemos todas aquellas actuaciones dirigidas hacia la mejora constante de los estándares actuales.

Tal como indica *Bill Hunter*, todo proceso u operación además de producto físico, genera información suficiente para mejorarlo. Hasta tal punto es cierta esta afirmación que es muy probable que cuando un estándar está en vigor más de seis meses sin ser modificado, ello sea debido a que no es seguido por nadie dentro de la propia organización.

Las actividades de mejora constante se realizan mediante la secuencia (*Plan, Do, Check, Action*), es decir, planificar la mejora, implementarla, verificar sus efectos y actuar en función de los resultados de dicha verificación, tal como explicamos en el apartado 1.2.2.

Creemos importante destacar que a toda mejora en los estándares operativos deben seguir actividades de mantenimiento, ya que de lo contrario es casi seguro que los efectos beneficiosos de la mejora desaparecerán rápidamente (ver figura 1.5).

Por actividades de *innovación* entendemos aquellas actividades sistemáticas tendentes a la creación de productos/servicios con funciones, operatividad, coste, etc., nunca experimentados antes.

Uno de los activos intangibles que toda empresa debería incrementar, lo constituyen las metodologías y herramientas que permiten utilizar los conocimientos y la creatividad de todo el personal de la organización para crear nuevos productos que satisfagan con creces las necesidades y expectativas de los clientes potenciales.

Cada una de las actividades que acabamos de describir requiere distinto nivel de conocimiento y de responsabilidad por parte del personal que la realiza. Así, por ejemplo, Imai (1986) considera que la distribución del tiempo de trabajo de los distintos niveles de responsabilidad en las distintas actividades se distribuye en Japón según el gráfico de la figura 1.6.

Destacan el poco tiempo dedicado a las actividades de mantenimiento (el día a día) por parte de la alta dirección, y el tiempo que dedican capataces y trabajadores a las actividades de mejora continua.

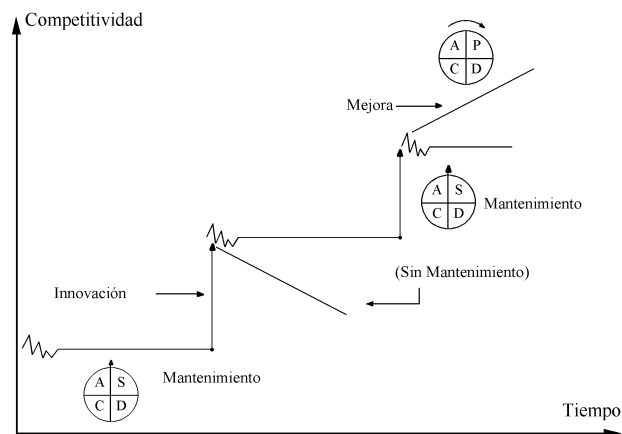


Fig. 1.5 Mantenimiento, mejora e innovación

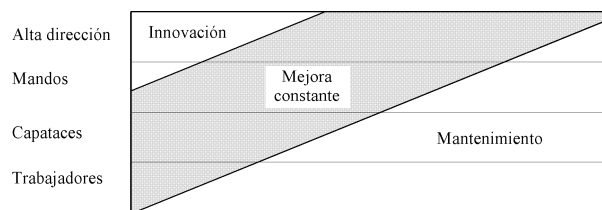


Fig. 1.6 Concepción japonesa de las funciones

1.2.2 El ciclo PDCA como estrategia básica de los procesos de mejora continua

Desde su primera visita a Japón en 1950, Deming transmitió a los ejecutivos e ingenieros japoneses que asistían a sus sesiones de consulta la importancia trascendental de la interacción constante entre I+D, diseño, fabricación y servicio postventa. Esta idea se generalizó en lo que diversos autores (Imai (1986), Ishikawa (1985)) han llamado el volante de Deming, también conocido por el ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). La versión de Ishikawa del ciclo PDCA se encuentra en la figura 1.7.

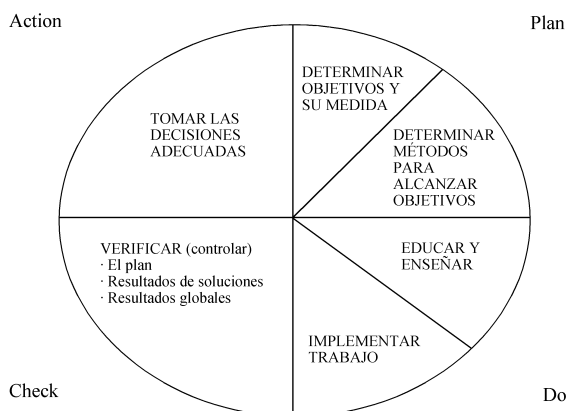


Fig. 1.7 El ciclo PDCA

Este ciclo es útil para actividades tan diversas como la planificación estratégica de una empresa, o la mejora del proceso de distribución del correo interno en la misma. En el contexto que discutimos en este capítulo, se propone el ciclo PDCA como la estrategia a seguir en toda actividad de mejora constante de los estándares existentes en una organización.

En primer lugar debe *planificarse* (Plan) la mejora.

La etapa de planificación comprende, entre otras actividades:

- a) definición de los objetivos a alcanzar,
- b) definición de medidas que permitan saber en un momento dado el nivel de cumplimiento de sus objetivos,
- c) definición del equipo responsable de la mejora,
- d) definición de los recursos o medios necesarios para alcanzar los objetivos propuestos.

En segundo lugar aparece la *ejecución* (Do) de las tareas necesarias para implementar la mejora.

En esta etapa es importante considerar la necesidad de educar y entrenar al personal responsable de la implementación de la mejora. La omisión de esta actividad suele hacer fracasar una buena parte de los proyectos de mejora. Evidentemente la fase de ejecución requiere la puesta en práctica de las modificaciones del producto o del proceso que han sido consideradas como oportunas y efectivas por el equipo de trabajo.

En tercer lugar tenemos la etapa de *evaluación* (Check). Esta fase es de enorme importancia. Se trata de verificar los resultados de la implementación de la mejora comparándolos con los objetivos iniciales. Es importante aclarar en este punto que, en general, no es suficiente evaluar los resultados finales. En efecto, si fuese cierto algo del tipo: “Si se aplica la solución Y debería obtenerse el resultado X”, no se trataría de verificar si se ha obtenido X sino también si se ha aplicado la solución Y.

Finalmente, en cuarto lugar, tenemos la etapa de *actuación* (Action).

De la etapa de verificación debe desprenderse la necesidad de actuar sobre el proceso para corregir los aspectos que hayan merecido una evaluación negativa. La actuación puede implicar y mejorar el propio plan, por ejemplo, fijando nuevos objetivos, o mejorando el proceso de educación del personal, o modificando la asignación de recursos para el proyecto de mejora, etc.

Una vez completado el ciclo es importante seguir dando vueltas al volante PDCA, repitiendo las cuatro etapas en un nuevo proceso de mejora. Sólo mediante esta perseverancia puede una empresa mejorar realmente todos los procesos y, en consecuencia, la calidad de sus productos y servicios.

1.3 Conceptos básicos de gestión de la calidad total

Este libro no cuenta entre sus objetivos entrar en el detalle de las diferentes teorías existentes sobre la gestión de la calidad total, que se encuentran desarrolladas en las obras de Deming (1982), Juran & Gryna (1980) e Ishikawa (1985), entre otros muchos autores.

De todas maneras, lo que tienen en común las teorías de estos pensadores de la calidad total es que ésta se asienta sobre tres pilares: cultura de la calidad, sistemas y recursos humanos, y utilización de la estadística. Si en una organización falla alguno de estos tres pilares, será difícil, por no decir imposible, introducir la gestión de la calidad total.

En la figura 1.8 se resume lo que el consultor norteamericano Brian Joiner llama la teoría Q.

La cultura de la empresa respecto a la calidad es un pilar esencial. Hoy en día es difícil encontrar directivos en las organizaciones que no digan que para ellos, la calidad es lo más importante. Pero por desgracia, los hechos no siempre concuerdan con estas afirmaciones. Es fundamental que los propietarios o la alta dirección se involucren en la introducción de esta cultura de la calidad en sus empresas.

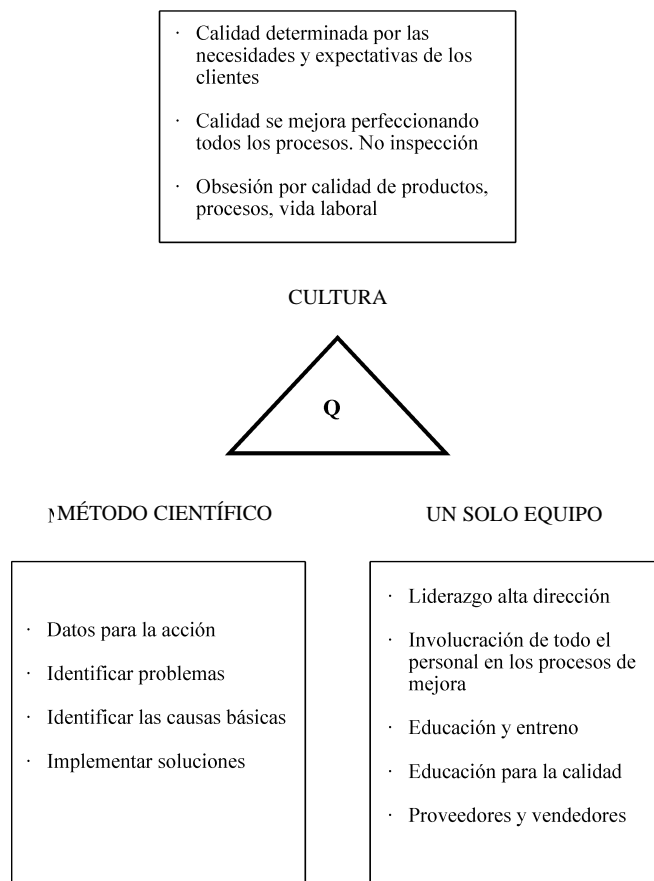


Fig. 1.8 La teoría Q de Brian Joiner

Dicha cultura empieza por reconocer que la calidad viene definida por las necesidades y expectativas del cliente, y no por consideraciones internas de los departamentos de la empresa. La idea fundamental es que los productos y servicios deben cumplir siempre las especificaciones del cliente e incluso sorprender al mismo con prestaciones en las que ni tan siquiera había pensado. Es esta calidad excitante (en la denominación de Kano (1987)) la que puede captar nuevos usuarios y ampliar la cuota de mercado de la organización que sea capaz de fabricar este tipo de productos.

Además, cuando se habla de cliente, hay que tener en cuenta que nos referimos, tanto al cliente externo o destinatario final de los productos y servicios, como al cliente interno. En este sentido es importante tener presente que toda unidad operativa dentro de la empresa se caracteriza por tener proveedores (el proceso anterior), tener clientes (el siguiente proceso) y realizar las operaciones propias de la unidad. Todo proceso debe, pues, intentar satisfacer las expectativas del proceso que le sigue (cliente interno) y, por descontado, intentar no crearle problemas o inconveniencias.

Otra idea básica en el aspecto cultural de las organizaciones es que la calidad se mejora únicamente mejorando todos los procesos de la organización. La mejora constante de la calidad es responsabilidad de todo el personal. De hecho podría decirse que en cualquier descripción de las funciones de un puesto de trabajo debería figurar la de mejorarlo constantemente.

Atendiendo al elevado porcentaje de componentes en un producto final que son comprados a proveedores externos, pero que el cliente final asociará a la empresa que sitúa el producto en el mercado, se ha impuesto la idea de que es importante asociar a los proveedores en la responsabilidad de la mejora de la calidad. Esta idea, que en la versión de Deming se debería realizar mediante *colaboración* entre proveedor y comprador en *beneficio mutuo* y en convenios a largo o medio plazo, no siempre se aplica con este enfoque y puede generar importantes tensiones entre las partes involucradas.

Los distribuidores pueden aportar información pertinente sobre el comportamiento de los productos cuando están en manos del cliente y, en consecuencia, aportar a la empresa datos sobre las necesidades y expectativas del mercado que deberían ser satisfechas por los productos y servicios de la organización.

Finalmente, el tercer pilar lo constituye la utilización *masiva* del método científico y más en concreto de la estadística.

El lector habrá observado que hemos puesto en cursiva la palabra *masiva*. En efecto, no se trata tanto de que un porcentaje reducido del personal utilice métodos estadísticos altamente complejos sino de que en toda la organización se utilicen datos fiables para la toma de decisiones a todos los niveles. Como decía Bill Hunter, (1) si una organización desea mejorar sus niveles actuales de calidad y productividad debe actuar, es decir, tomar decisiones; (2) para tomar decisiones es necesario disponer de buena información y, (3) la estadística es la disciplina especializada en convertir datos en información. De este simple razonamiento se desprende la importancia del tercer pilar.

Creemos conveniente insistir en la necesidad de la existencia de los tres pilares en toda organización que quiera situar la calidad en el centro de sus actividades, y que desee mejorar su productividad y sus costes por el único camino real, que es la mejora de la calidad. Así, por ejemplo, de poco serviría que se utilizasen gráficos de control o diseño de experimentos en una empresa donde no existiera la cultura necesaria, o se quisieran solucionar los problemas de calidad mediante la introducción de círculos de calidad sin que éstos supiesen utilizar las herramientas estadísticas básicas y sin que la alta dirección asumiera la responsabilidad en la resolución de los problemas que sólo ella pudiese abordar. Es importante insistir en esta idea dado que el presente libro se refiere exclusivamente a métodos estadísticos y el lector podría deducir, equivocadamente, que son sólo estos métodos los necesarios para mejorar la calidad de los productos y servicios de una organización.

1.4 Métodos estadísticos en la calidad total

En este libro presentamos algunos de los métodos estadísticos más utilizados para la mejora y el control de la calidad de productos y servicios.

No pretendemos ser exhaustivos y quedan fuera de este trabajo algunos métodos de uso muy extendido como la regresión múltiple, la fiabilidad y los experimentos con mezclas, entre otros.

En el capítulo 2 se presentan algunas herramientas básicas, conocidas como las herramientas de Ishikawa, cuyo uso sistemático y masivo en toda la organización es suficiente para resolver un porcentaje muy elevado de problemas de calidad. Uso *sistemático* significa entender las organizaciones como sistemas y tener en cuenta, por lo tanto, que una modificación o mejora en un cierto proceso puede influir en otros procesos de la organización. El lector deberá, pues, prestar más atención al concepto de uso sistemático y, uso por parte de todas las personas con un enfoque claro de mejora de la calidad, que en las técnicas o herramientas en sí mismas.

En el capítulo 3, se estudian de manera conceptual algunas ideas básicas de la teoría de la probabilidad, tales como variable aleatoria, densidad de probabilidad y función de distribución y los modelos probabilísticos más usuales.

El capítulo 4 se dedica al estudio de las distribuciones asociadas a muestras aleatorias simples de poblaciones normales, que constituyen la base teórica necesaria para el desarrollo del resto del libro.

En el capítulo 5 se presentan los métodos basados en la t-Student para comparar dos poblaciones. En la práctica es frecuente que un mismo producto sea fabricado en dos o más procesos idénticos que funcionan en paralelo. Antes de mezclar las producciones de dos máquinas, deberíamos asegurarnos de que, efectivamente, están trabajando con la misma media y desviación tipo. Esta comprobación puede hacerse mediante pruebas de significación basadas en la t-Student para diseños totalmente aleatorizados.

Otro tipo de problemas que se resuelven con los métodos de la t-Student para diseños en bloques aleatorizados son, por ejemplo, comparar una población de individuos antes y después de haber sido sometida a un tratamiento, como podría ser un plan de formación.

En el capítulo 6 se generalizan los métodos estudiados en el capítulo 5, al caso de comparar más de dos poblaciones. Dicha comparación se realiza mediante técnicas de análisis de la varianza que se presentan para el caso de diseños totalmente aleatorizados y para diseños en bloques aleatorizados.

Los capítulos 7 y 8 están dedicados a la presentación de los conceptos y métodos para el diseño de experimentos con factores a dos niveles. Se estudian tanto los diseños factoriales como los factoriales fraccionales con o sin bloqueo. El capítulo 9 extiende los conceptos de los dos capítulos anteriores al estudio de las superficies de respuesta.

Las aportaciones de G. Taguchi al diseño de productos robustos y las posibles mejoras a sus métodos, son objeto de estudio en el capítulo 10.

Finalmente el capítulo 11 se dedica al estudio del control estadístico de procesos.

Herramientas básicas para la mejora de la calidad

Es práctica habitual en todas las empresas fijar unos objetivos en cuanto a ventas, producción, *stocks*, beneficios, etc., y periódicamente ir comprobando si los resultados obtenidos coinciden con las previsiones realizadas, para tomar las acciones correctoras oportunas en el caso de que las desviaciones respecto a lo previsto sean importantes.

Sin embargo, las acciones en cuanto a la mejora de la calidad se toman en muchas ocasiones basándose en sensaciones, impresiones u opiniones, pero no en el análisis científico de datos objetivos.

Cada vez está más extendida la idea de que los problemas de calidad deben ser atacados mediante la aplicación de métodos científicos de recogida y análisis de datos (estadística). Pero el uso de esta práctica no debe quedar restringido a un grupo reducido de “expertos en calidad” sino que todo el personal puede (¡y debe!) participar en el proceso de control y mejora de la calidad.

Naturalmente, no todos deben aplicar las mismas técnicas. Por ejemplo, los planes de experimentación para la optimización de productos (que se estudian con detalle en los capítulos 7 y 8 de este libro) exigen la utilización de importantes recursos materiales y requieren un cierto nivel de especialización y conocimientos; por tanto, deben quedar en manos de los cuadros técnicos.

No obstante, existen otras técnicas que sí deben ser conocidas y utilizadas por todo el personal de la empresa. Estas técnicas se conocen con el nombre de “Las siete herramientas básicas de Ishikawa”, ya que ha sido este ingeniero japonés el que más ha promocionado su uso, primero en Japón, con notable éxito, y después en el resto del mundo.

Existe unanimidad entre los expertos de más prestigio en temas de calidad respecto a que estas sencillas herramientas, bien utilizadas por parte de todo el personal de la empresa, permiten solucionar en torno al 90 % de los problemas de calidad que se presentan. Conviene, por tanto, tenerlas presentes y fomentar su utilización. Las herramientas son:

- ▶ Plantillas para la recogida de datos.
- ▶ Histogramas.
- ▶ Diagramas de Pareto.
- ▶ Diagramas causa-efecto.
- ▶ Diagramas bivariantes.
- ▶ Estratificación.
- ▶ Gráficos de control.

En este capítulo se presentan con detalle las seis primeras. A los gráficos de control, por su mayor envergadura, se les dedica el capítulo 11 de este libro.

2.1 Plantillas para la recogida de datos

No es difícil suponer que para mejorar la calidad se necesitan datos. Pero muchas veces los datos se toman de forma desordenada o mal documentada, haciendo imposible su análisis posterior. Otras veces los datos son incorrectos porque se han tomado de forma distinta a la prevista, y las conclusiones que se obtienen a partir de éstos carecen de sentido por mucho esmero que se ponga en su análisis.

Por tanto, la recolección de datos debe efectuarse de manera cuidadosa y exacta, y para ello nada mejor que utilizar plantillas especialmente diseñadas para cada caso.

Los objetivos que se pretenden con el uso de las plantillas son:

- ▶ facilitar las tareas de recogida de la información,
- ▶ evitar la posibilidad de errores o malos entendidos,
- ▶ permitir el análisis rápido de los datos.

Las plantillas para la recogida de datos pueden tener distintas finalidades: controlar una variable de un proceso, llevar un control de productos defectuosos, estudiar la localización de defectos en un producto, estudiar las causas que originan los defectos o realizar la revisión global de un producto.

Las figuras 2.1 a 2.4 muestran algunos ejemplos.

CONTROL DE SERPENTINES									
Identificación									
Tipo:					Fecha:				
Lote:					Línea:				
Hoja de ruta:					Operario:				
Total revisado:									
Defectos:									
Tipo									Total
Soldadura									
Poros									
Deformado									
Incompleto									
Otros									
Notas e incidencias:									

26

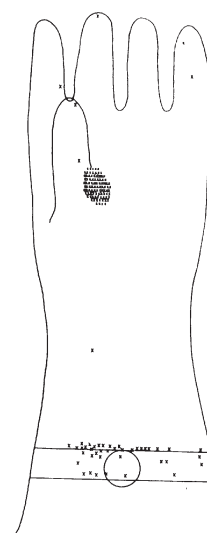


Fig. 2.1 Ejemplo de plantilla para el control de productos defectuosos. El conocimiento de cuáles son los defectos que se presentan más corrientemente permite dar prioridad a las acciones que se deben tomar

Fig. 2.2 Plantilla para la localización de poros en guantes de goma. Obsérvese la diferencia que supone conocer la información que aquí figura respecto a saber que “se presentan muchos poros”. (Tomado de J.M. Juran *Manual de Control de Calidad*)

La experiencia demuestra que en la recogida de datos conviene seguir algunas reglas, éstas son:

1. No tomar datos si después no se van a utilizar. Puede parecer obvio pero es una costumbre bastante arraigada. Los datos inútiles sólo sirven para dificultar la localización de los útiles.
2. Asegurarse de que los datos se toman de forma que se análisis sea fácil, de lo contrario es probable que no se haga nunca. Entretenerse en el diseño de la plantilla de recogida de datos es una de las actividades más rentables que pueden realizarse.
3. No pasar los datos “a limpio”. Es una pérdida de tiempo y una fuente de errores. Es necesario anotarlos de forma clara y ordenada a la primera.

INSPECCIÓN FINAL - ACCESORIOS METÁLICOS													
Semana:		Año:				Realizado por:							
Máqui.	Opera	Lun.		Mar.		Mie.		Jue.		Vic.		Total	
		M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
o Golpe - Raya + Grieta Δ Rcbaba * Otros													
Comentarios:													

Fig. 2.3 Esquema de plantilla de inspección para estudiar las causas que ocasionan los defectos

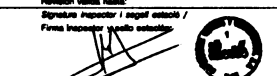
MATRÍCULA / MATRICULA:		INFORME D'INSPECCIÓ TÈCNICA DE VEHICLES	
BASTIDOR / BASTIDOR:		INFORME LTV N.º	
C. HOMOLOG. / C. HOMOLOG.:		ESTADÍSTICA ESTADÍSTICA	
TIPO V. / TIPO V.:		ENTRAT CONCESSIONÀRIA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA / ENTIDAD CONCESSIONARIA:	
MARCA Y MODELO / MARCA Y MODELO:		R.E.C. n. 02/79	
Deficiències observades / Deficiències observades: 1. Frenos delanteros 2. Frenos traseros 3. Dirección 4. Suspensión 5. Motor y transmisión 6. Escapes y silenciador 7. Iluminación 8. Carrocería y pintura 9. Otros 10. Otros		Detalle de inspección por sistema: A. Frenos delanteros B. Frenos traseros C. Dirección D. Suspensión E. Motor y transmisión F. Escapes y silenciador G. Iluminación H. Carrocería y pintura I. Otros J. Otros	
<input type="checkbox"/> Inspecció amb deficiències lleus / Inspecció con deficiencias leves <input type="checkbox"/> Inspecció satisfactoria de / Inspecció satisfactoria de: <input type="checkbox"/> Inspecció negativa de / Inspecció negativa de: Aprobada usuario / Entero usuario: D.N.I.C.F.		Inspecció favorable de / Inspecció favorable de: Resultó válido de / Resultó válido de: Signatura inspector / Inspecció favorable / Firma inspector cuando estubo: 	

Fig. 2.4 Porción de la plantilla utilizada en una inspección técnica de vehículos

2.2 Histogramas

En muchos casos, si los datos han sido tomados de forma correcta, las conclusiones que se pueden obtener a partir de los mismos son inmediatas. Si no es así, raramente se precisan análisis estadísticos complicados, suele bastar con una adecuada representación gráfica.

La tabla de datos que figura a continuación corresponde a una muestra, tomada aleatoriamente durante 20 días, del peso en gramos de cierto embutido que puede ser elaborado por dos máquinas distintas (1 y 2), que a su vez son atendidas indistintamente por dos operarios (A y B).

DÍA	OPERAR.	MÁQUINA 1				MÁQUINA 2			
1	A	220.3	215.5	219.1	219.2	220.3	208.0	214.4	219.2
2	B	215.8	222.0	218.9	213.6	216.9	213.4	217.7	217.7
3	B	220.4	218.7	218.6	219.6	222.9	219.7	209.4	221.6
4	B	221.5	227.0	219.5	222.5	223.1	215.3	220.4	215.6
5	A	215.7	225.3	223.0	218.0	216.0	210.9	221.4	210.9
6	A	222.7	215.1	219.6	217.3	212.1	213.0	218.0	216.5
7	A	216.0	218.8	217.9	213.0	216.9	216.0	213.5	219.2
8	B	219.4	218.3	216.7	224.1	216.2	218.4	216.6	214.9
9	B	219.8	222.6	219.1	217.7	216.2	212.2	216.9	214.9
10	A	220.2	219.5	222.4	219.9	222.9	214.3	219.1	216.7
11	B	218.0	223.9	219.6	221.9	214.9	212.6	219.4	212.3
12	B	219.3	219.6	218.8	219.9	219.0	216.7	216.4	213.5
13	B	220.0	214.1	224.3	217.4	218.0	219.5	219.5	222.3
14	A	223.9	220.6	219.5	219.6	211.8	218.2	218.3	217.4
15	A	218.1	218.8	218.4	217.9	214.6	215.7	218.0	216.4
16	B	216.9	221.6	220.6	222.6	215.6	220.4	217.3	216.2
17	B	217.9	225.7	222.2	216.1	212.5	214.6	209.7	211.3
18	A	224.2	216.2	219.9	220.4	215.8	219.9	216.5	211.9
19	A	214.1	219.7	222.4	224.5	213.7	209.7	216.9	213.1
20	A	221.1	225.0	222.7	222.2	212.5	217.5	217.4	215.7

Tabla 2.1 Datos sobre el peso (en gramos) de cierto embutido

Las especificaciones del peso son 220 ± 10 g, y últimamente se han detectado ciertos problemas a este respecto. Veamos cuál sería el diagnóstico de la situación y la propuesta de medidas a tomar a la vista de estos datos.

Cuando se trata, como en este caso, de analizar la dispersión que presentan unos datos, la representación gráfica más adecuada es el histograma. Para realizar un histograma se marcan una serie de intervalos sobre un eje horizontal, y sobre cada intervalo se coloca un rectángulo de altura proporcional al número de observaciones (frecuencia absoluta) que caen dentro de dicho intervalo.

Si se pretende comparar varios histogramas contruidos con distinto número de datos, es preferible que las alturas de los rectángulos sean proporcionales al porcentaje de observaciones en cada intervalo o al tanto por uno (frecuencia relativa). Utilizando la frecuencia relativa en el eje de ordenadas también se facilita la comparación entre el histograma obtenido y un determinado modelo teórico representado por una función densidad de probabilidad (véase el capítulo 3). En este caso se considera que la frecuencia relativa es proporcional al área definida por cada columna. Puede interpretarse la función densidad de probabilidad como la representación del histograma cuando el número de observaciones tiende a infinito y la anchura de los rectángulos tiende a cero.

En la figura 2.5 se han realizado dos histogramas con todos los datos (en total 160). En el histograma de la izquierda se ha colocado la frecuencia absoluta en el eje vertical y en el de la derecha la frecuencia relativa. La única diferencia es la escala vertical, pero naturalmente las conclusiones que se pueden obtener son las mismas: El proceso está descentrado y se está produciendo un cierto porcentaje de unidades fuera de tolerancias (por defecto). A partir de estos histogramas no puede obtenerse ninguna otra conclusión, pero la forma en que se han anotado los datos permite construir histogramas para las unidades producidas por cada operario y también por cada máquina.

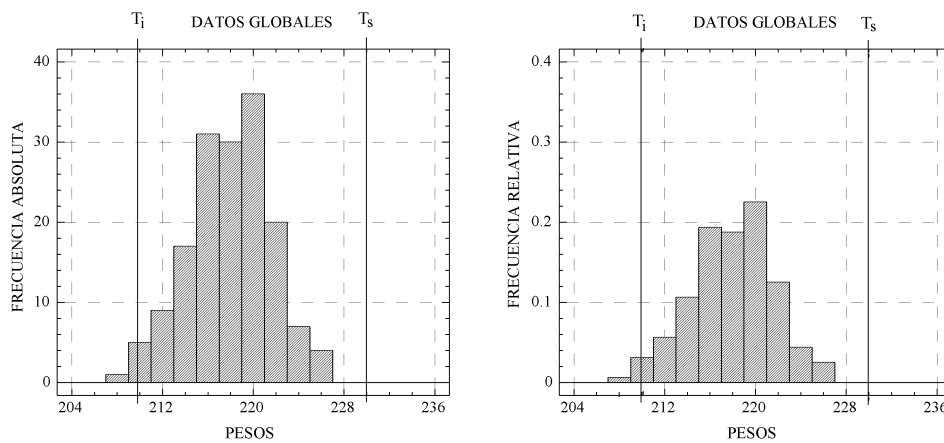


Fig. 2.5 Histograma de los datos globales, colocando en el eje vertical la frecuencia absoluta y la frecuencia relativa

Los histogramas realizados por operario no revelan nada útil, pero los realizados por máquina (figura 2.6) ponen de manifiesto el origen del problema. Mientras que la máquina 1 está centrada y produce dentro de tolerancias, la máquina 2 está descentrada, y esto es lo que produce que un cierto porcentaje esté por debajo del peso mínimo.

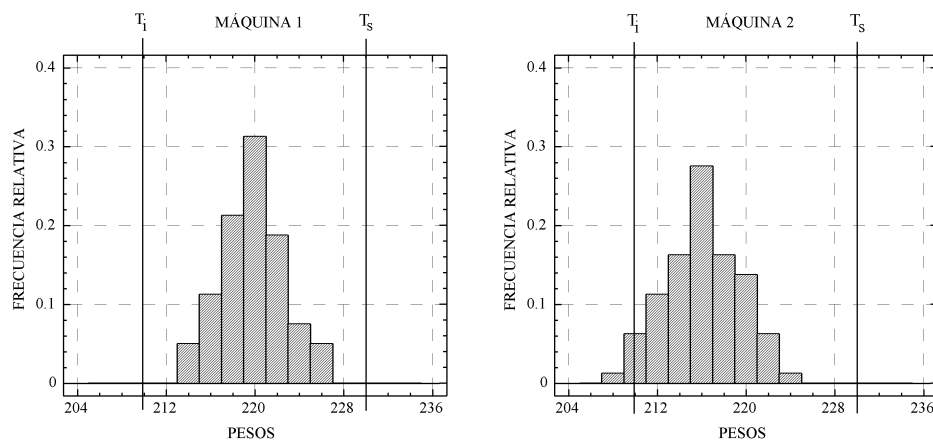


Fig. 2.6 Histogramas correspondientes a las unidades producidas por cada máquina

También pueden realizarse gráficos por operario y máquina, pero no revelan nada que no sepamos ya. No hay diferencias entre operarios, la diferencia está en las máquinas.

Los histogramas que se han presentado han sido elaborados con ayuda de un paquete de *software* estadístico. En algunos casos, especialmente si son los operarios los que analizan los datos que ellos mismos recogen, puede ser más rápido y cómodo construir los histogramas a mano. En este caso, conviene seguir una sistemática adecuada como la siguiente:

1. Colocar los datos a representar en filas de aproximadamente 10 números.
2. Identificar y señalar el máximo y el mínimo de cada fila.
3. A partir del máximo y el mínimo de cada fila, localizar el máximo y el mínimo globales.
4. Calcular el rango (R) de los datos.

$$R = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}$$

5. Optar por un número de intervalos (k), en primera aproximación, utilizando la siguiente tabla:

NÚM. DE DATOS	NÚM. DE INTERVALOS
<50	5 - 7
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
>250	10 - 20

6. Determinar la amplitud (h) de los intervalos, haciendo:

$$h = \frac{R}{k}$$

y redondeando el valor obtenido a un múltiplo exacto de la precisión de los datos.

7. Fijar los límites de los intervalos. Para evitar el problema que se presenta al asignar un valor a un intervalo cuando dicho valor coincide con el extremo superior de un intervalo y el extremo inferior del otro, conviene fijar dichos extremos con una precisión igual a la mitad de la precisión de los valores.

Así, si los datos se presentan con un solo decimal y los extremos de los intervalos son de la forma 2,15 - 2,35, está claro que los valores 2,2 y 2,3 deberán situarse en este intervalo, 2,4 en el intervalo siguiente, etc.

8. Rellenar la tabla de frecuencias, indicando el número de veces que aparecen datos dentro de cada uno de los intervalos definidos.
9. Construir el histograma.

En la figura 2.7 se presentan varias formas de histograma que responden a patrones de comportamiento típico.

El histograma 1 corresponde a la forma de campana habitual que representa la variabilidad debida a causas aleatorias. El histograma 2, con dos máximos diferenciados, responde a una distribución denominada bimodal y se presenta cuando están mezclados datos de distinto origen centrados en valores distintos.

El histograma 3 se denomina, por su forma, sesgado a la derecha, y responde a la variabilidad que presentan ciertas variables que no siguen una ley normal, como los tiempos de vida. También puede representar una magnitud con un “cero natural”, como la tolerancia entre eje y cojinete.

Al histograma 4 parece faltarle una parte y por ello se le llama censurado (en este caso, a la izquierda). No representa una variabilidad natural y por tanto hay que sospechar que se han eliminado algunos valores. Esto ocurre si después de la producción se realiza una inspección al 100 % para separar las unidades fuera de tolerancias.

En los histogramas 5 y 6 aparecen datos que no siguen el patrón de comportamiento general (anomalías, errores, etc.). Su variabilidad puede atribuirse a alguna causa asignable que deberá ser identificada y eliminada.

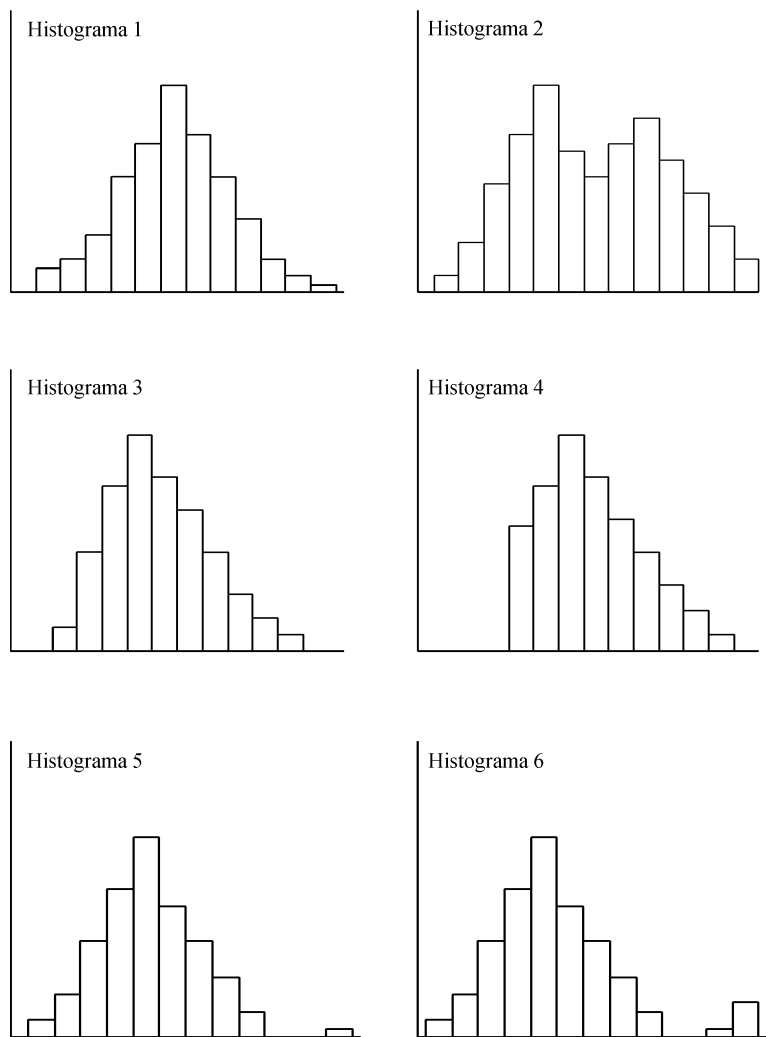


Fig. 2.7 Diversas formas típicas que pueden presentar los histogramas

2.3 Diagramas de Pareto

Existen muchos aspectos de cualquier actividad industrial (y también no industrial) susceptibles de mejora. En algunos casos, la mejora es obligada, pero el problema a abordar es de tal envergadura que parece imposible de resolver. Pensemos, por ejemplo, en una línea de envasado que sufre frecuentes paradas por avería en alguno de los módulos (no siempre el mismo) de que está compuesta. Puede plantearse la necesidad de cambiar la línea entera, pero en muchas ocasiones ésta es una inversión importante que se va postergando.

Supongamos que después de tomar datos durante seis meses, la información obtenida puede resumirse mediante la tabla 2.2.

CAUSA	NÚM. DE PARADAS			TIEMPO DE PARADA		
	Mañ.	Tar.	Σ	Mañ.	Tar.	Σ
Rotura hilo (1)	18	24	42	20	31	51
Cinta (2)	15	10	25	12	10	22
Vibrador (3)	92	88	180	62	68	130
Tornillo sin fin (4)	1	6	7	2	8	10
Apelmazamiento (5)	0	1	1	0	1	1
Rotura saco (6)	2	1	3	4	1	5
Otros (7)	1	0	1	8	0	8

Tabla 2.2 Número de paradas y tiempo de parada en una línea de envasado

La información que contienen estos datos se manifiesta de forma más clara construyendo unos gráficos como los de la figura 2.8.

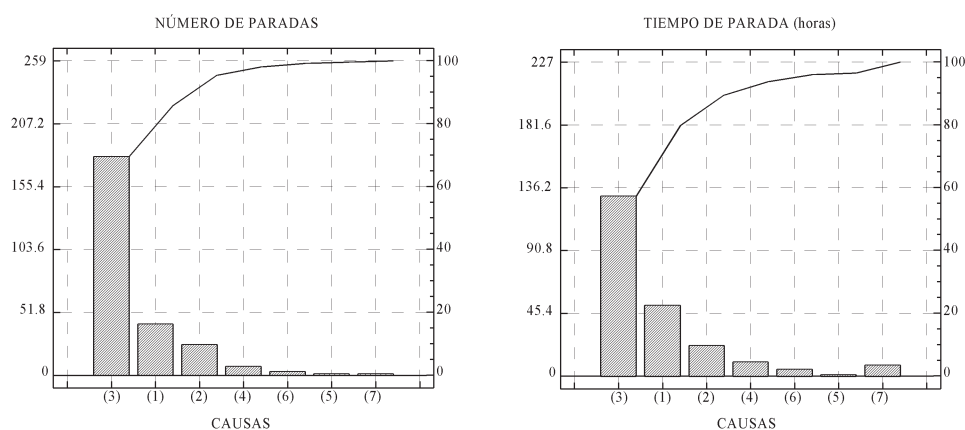


Fig. 2.8 Diagramas de Pareto para el número total de paradas y el tiempo de parada total

Estos gráficos se denominan “diagramas de Pareto” y ponen de manifiesto que, cuando se analizan las causas de un problema, en general son unas pocas las responsables de su mayor parte. A estas pocas se les llama causas fundamentales, al resto, que son muchas pero ocasionan una pequeña parte del problema se les denomina causas triviales.

En el caso que estamos analizando, sólo dos causas han ocasionado en torno al 80 % del problema (el 79,7 % del tiempo de parada y el 85,7 % del número de paradas). Por tanto, éstas serán las primeras causas a atacar. Todo el esfuerzo debe concentrarse en la eliminación de las causas fundamentales, ignorando en principio las triviales, que ya serán atacadas más adelante.

Los diagramas de Pareto pueden aplicarse a situaciones muy distintas con el fin de establecer las prioridades de mejora, y siempre reflejan el mismo principio de “pocas fundamentales y muchas triviales”.

La construcción de estos diagramas puede realizarse siguiendo los pasos que a continuación se indican:

1. Plantear exactamente cuál es el problema que se desea investigar, qué datos serán necesarios, cómo recogerlos (no olvidar el diseño de la plantilla) y durante qué período.
2. Tabular los datos recogidos. Si se trata de analizar las reclamaciones de clientes durante un año, dicha tabulación tendrá el aspecto que se indica en la tabla 2.3.

CAUSA	TABULACIÓN	TOTAL
A	### ##	10
B	### ## ### ##	42
C	##	6
D	### ## ### ##	104
E		4
F	### ## ## ##	20
Otras	### ##	14
TOTAL		200

Tabla 2.3 Tabulación de los datos recogidos para la relación de un diagrama de Pareto

3. Rellenar el formulario previo a la construcción del diagrama. Las causas deben ordenarse de mayor a menor importancia, situando “otras” siempre al final.
Para los datos de la tabla anterior, el formulario tiene el aspecto que se indica en la tabla 2.4.
4. Iniciar la realización del diagrama dibujando los ejes. Se coloca un eje horizontal dividido en tantas partes como causas figuran en el formulario anterior, y dos ejes verticales. El eje de la izquierda se marca desde 0 hasta el total (de reclamaciones, en este caso) y el eje de la derecha, que sirve colocar los porcentajes, se marca del 0 al 100 %.
5. Construir el diagrama de barras. La altura de cada barra debe corresponder al número de observaciones correspondientes a cada causa, de acuerdo con la graduación del eje de la izquierda.
6. Construir el polígono de frecuencias acumulado y añadir toda la información relativa al gráfico para que pueda ser fácilmente interpretado. El resultado final tiene el aspecto que se presenta en la figura 2.9.

CAUSA	NÚM. DE RECLAMACIONES	TOTAL ACUMULADO	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
D	104	104	52	52
B	42	146	21	73
F	20	166	10	83
A	10	176	5	88
C	6	182	3	91
E	4	186	2	93
Otras	14	200	7	100
TOTAL	200		100	

Tabla 2.4 Formulario previo a la construcción del diagrama de Pareto

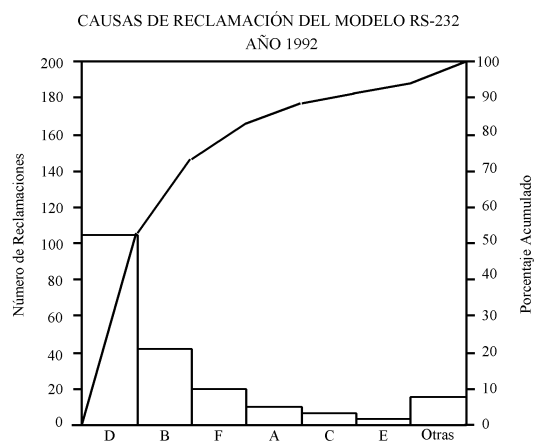


Fig. 2.9 Ejemplo de representación de un diagrama de Pareto

Siempre que sea posible, es conveniente utilizar unidades monetarias en el eje vertical izquierdo. Consideremos, por ejemplo, que se ha realizado una auditoría final a un lote de productos y se han detectado 200 defectos por causas indicadas en la tabla 2.5.

Con esta información, y realizando el diagrama de Pareto por número de defectos, se llegaría a la conclusión de que la primera causa a atacar es la A. Sin embargo, considerando los costes que origina cada tipo de defecto, la tabla podría ser la 2.6 y, por tanto, vista la situación de esta forma, la causa que tendría un interés prioritario sería la B.

Otra recomendación importante es recoger los datos de forma que puedan ser fácilmente estratificados según su origen (turno, operario, máquina, día de la semana, tipo de materia prima, etc.). No hay que conformarse con un diagrama de Pareto global, sino estratificar según el origen de los datos, comparar los diagramas y sacar conclusiones.

TIPO DE CAUSA	NÚM. DE DEFECTOS	PROPORCIÓN	PROPORCIÓN ACUMULADA
A	110	0.55	0.55
B	45	0.23	0.78
C	22	0.11	0.89
D	6	0.03	0.92
Otras	17	0.08	1.00

Tabla 2.5 Causas ordenadas según su frecuencia de aparición

TIPO DE CAUSA	NÚM. DE DEFECTOS	COSTE UNITARIO	COSTE POR CAUSA	PROPORCIÓN COSTE	PROPORCIÓN ACUMULADA
B	45	5	225	0.51	0.51
A	110	1	110	0.25	0.76
C	22	3	66	0.15	0.91
D	6	2	12	0.03	0.94
Otras	17	1.5	22.5	0.06	1.00

Tabla 2.6 Causas ordenadas según el coste ocasionado por cada una de ellas

2.4 Diagramas causa-efecto

En muchas ocasiones, cuando se presenta un problema, se confunde su resolución con la eliminación de los efectos que produce, y esta práctica suele traer consigo malas consecuencias.

Ishikawa, en su libro *¿Qué es el control total de calidad?*, presenta un caso de su propia experiencia. Explica que cierto dispositivo iba unido a una máquina por medio de cuatro pernos. El perno 1 se rompía con frecuencia por lo que se decidió sustituirlo por otro de mayor diámetro. A partir del cambio no se volvió a romper el perno 1, pero empezó a romperse el perno 2. Ante la nueva situación se decidió que los cuatro pernos deberían ser más grandes y se procedió al cambio. Ya no

se volvió a romper ningún perno, pero empezaron a aparecer fracturas en la placa de hierro en la que estaba situado el dispositivo. Se cambió la placa de hierro por otra más gruesa y se anunció que el problema había quedado resuelto definitivamente.

Un estudio más profundo realizado posteriormente puso de manifiesto que una vibración que llegaba al dispositivo era lo que ocasionaba los fenómenos de ruptura, y que si no se eliminaba acabaría rompiendo la nueva placa metálica o inutilizando el dispositivo con graves consecuencias.

Lo que se había hecho era intentar evitar el efecto del problema, pero sin eliminar su causa, y si la causa permanece, el efecto vuelve a manifestarse, de forma aún todavía más perjudicial.

Para solucionar un problema deben estudiarse sus causas y eliminarlas (en el caso de Ishikawa la causa era la vibración, aunque también debería haberse investigado el origen de la misma). La idea está clara, para solucionar un problema: ¡atacar las causas, no los efectos!

Pero descubrir el entramado de posibles causas que hay detrás de un efecto no es fácil. Para hacerlo es conveniente seguir una determinada metodología y construir el llamado “diagrama causa-efecto”. Una buena forma de hacerlo es siguiendo los puntos que ha continuación se describen:

1. Determinar e identificar claramente cuál es el efecto (el problema, la característica de calidad, etc.) a estudiar.
2. Reunir a las personas que puedan aportar ideas sobre el origen del problema y realizar un *brainstorming* de posibles causas.

Existen distintas formas de organizar este tipo de reuniones, pero el objetivo básico es siempre asegurarse de que cada participante aporta todo lo que lleva dentro. Una posibilidad es establecer rondas de intervenciones en las que todos participen siguiendo un orden establecido. Cada persona deberá ir aportando posibles causas hasta que las ideas se hayan agotado totalmente.

3. Realizar una selección de las causas aportadas. Seguramente algunas de las causas que aparecen en el brainstorming son descabelladas o están repetidas. Es necesario, por tanto, realizar una selección acordada de cuáles son las causas que deben aparecer en el diagrama.
4. Construir el diagrama. Con todas las causas aportadas, una sola persona, especialista en estas tareas y con un buen conocimiento del problema estudiado, debe ser la responsable de construir el diagrama.

En el diagrama las causas se presentan de forma jerarquizada y agrupadas en unos cuatro o seis grandes grupos denominados “causas primarias”, las cuales suelen ser: mano de obra, maquinaria, materiales, métodos, medio ambiente y mantenimiento (conocidas como las seis M). Cada causa primaria está integrada por varias secundarias, estas últimas por terciarias, y así sucesivamente, tal como se indica en la figura 2.11.

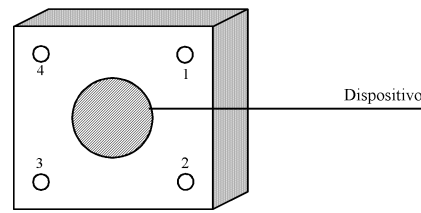


Fig. 2.10 Dispositivo unido a una máquina por cuatro pernos

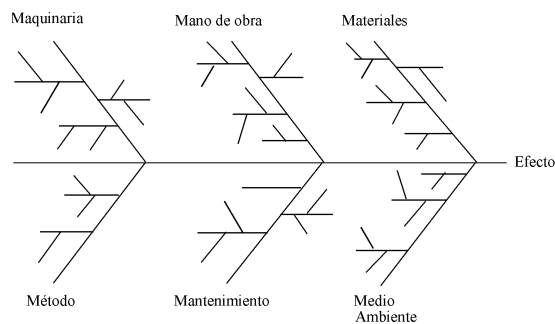


Fig. 2.11 Disposición jerarquizada de causas en un diagrama causa-efecto

¹ También “diagrama de espina de pez” o “diagrama de Ishikawa”

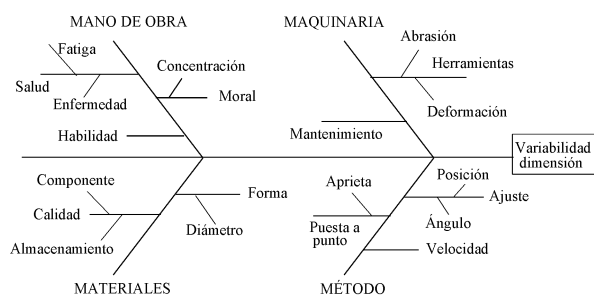


Fig. 2.12 Ejemplo de diagrama causa-efecto

sobre el fenómeno estudiado. Algunas causas desaparecen porque se han logrado eliminar, otras porque se ha constatado que no influyen. Cuando una causa deja de ser considerada, debe tacharse, más que borrarse, para dejar constancia de que ya se ha estudiado. También pueden aparecer nuevas causas potenciales que en un primer momento no se habían considerado.

En la figura 2.12 se reproduce un diagrama en el que sólo se han considerado cuatro causas primarias.

No debe perderse de vista que las causas anotadas en el diagrama son causas potenciales. Por tanto, será necesario recoger datos para confirmar que las relaciones causa-efecto realmente existen.

Como consecuencia de lo anterior, el diagrama causa-efecto debe ser considerado un diagrama vivo. Es decir, un diagrama que va cambiando a medida que se van adquiriendo nuevos conocimientos

2.5 Diagramas bivariantes

Una forma de comprobar si existe relación entre una característica de calidad y un factor que puede afectarle es la construcción de diagramas bivariantes. El profesor Hajime Karatsu, en su libro *CTC. La sabiduría japonesa*, explica un interesante caso en el que la utilización de este tipo de diagramas permitió resolver un importante problema. Dice así:

“El sintonizador suele ser lo primero que se estropea en un televisor. Actualmente los botones electrónicos son algo corriente, pero en el pasado todos los selectores de canal tenían que girarse manualmente y podían funcionar mal si el sintonizador tenía un contacto pobre.

El sintonizador es el punto en que las ondas magnéticas se captan por primera vez. Los sintonizadores estandarizados se producían en masa y se empleaban en distintos modelos de televisor. Hace algún tiempo, un experto en control de calidad investigó el nivel de mal funcionamiento de los sintonizadores. Descubrió que, aunque se utilizaban sintonizadores idénticos, la proporción de mal funcionamiento era muy distinta de un modelo de televisor a otro. Se dio cuenta de que el problema debería estar relacionado con alguna cosa que no fuera el propio sintonizador; no obstante, seguía teniendo el problema de descubrir el verdadero factor entre varias alternativas posibles. La gente utiliza sus televisores de distinta manera; algunos los colocan en rincones polvorientos, otros los tienen en el salón, más o menos como un objeto decorativo. La frecuencia de uso y la fuente de electricidad también pueden ser distintas. En consecuencia, la avería de un televisor podía estar causada por el entorno o por un simple error en el proceso de fabricación. Los datos reunidos en cientos y cientos de televisores revelaron, sin embargo, que los sintonizadores se estropeaban en función del tipo de televisor en que habían sido instalados.

El experto en control de calidad analizó los datos desde distintos ángulos y descompuso en factores cada una de las condiciones concebibles y su relación con la proporción de averías: ¿Estaba relacionada con el tamaño de la caja, o con un aumento de la temperatura? ¿Se trataba de la longitud del eje del sintonizador o de la diferencia en unidades de corriente eléctrica? Durante bastante tiempo, parecía que no había ninguna correlación entre ninguno de los factores, pero al final surgió la causa.

La correlación residía en la distancia entre el sintonizador y el altavoz. Cuanto más cerca estaba el sintonizador del altavoz, con más frecuencia se averiaba; cuanto más lejos, menor era la proporción de mal funcionamiento. Una vez establecida esta correlación, los fabricantes empezaron a colocar los altavoces tan lejos de los sintonizadores como permitían las cajas, y el resultado fue que las quejas de los consumidores se redujeron drásticamente". (figura 2.13)

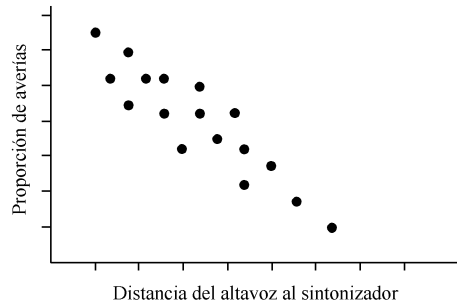


Fig. 2.13 Diagrama de correlación entre la proporción de averías y la distancia altavoz-sintonizador, obtenida a partir de los datos de un gran conjunto de televisores

La construcción de un diagrama bivariante puede realizarse de la siguiente forma:

1. Reunir pares de datos de las variables cuya relación se desea investigar. Con menos de 30 pares es difícil sacar conclusiones. En torno a 50 suele ser suficiente.
2. Trazar los ejes. Decidir las escalas de forma que ambos ejes tengan aproximadamente la misma longitud. Marcar los ejes con valores fáciles de leer.
Si una variable es una característica de calidad y la otra un factor (de diseño o de producción), se sitúa la primera en el eje vertical.
3. Situar los puntos en el gráfico. Si dos o más puntos coinciden, se señala marcando círculos concéntricos.
4. Incorporar toda la información pertinente que ayude a interpretar el gráfico (título del diagrama, número de pares de datos, título y unidades de cada eje, identificación del autor, etc.).

Los datos de la tabla 2.7 indican la temperatura a que se ha realizado cierta reacción química y el rendimiento que se ha obtenido en la misma. A partir de esta tabla se obtiene el gráfico de la figura 2.14.

OBS.	TEMP.	REND.	OBS.	TEMP.	REND.
1	162	94.6	26	160	94.0
2	154	93.0	27	110	91.3
3	148	93.9	28	138	92.5
4	116	92.7	29	140	92.0
5	152	92.8	30	150	92.2
6	136	92.5	31	134	92.0
7	158	93.5	32	162	93.5
8	126	91.5	33	180	95.2
9	140	93.8	34	142	92.1
10	160	93.6	35	152	92.4
11	160	92.6	36	170	92.9
12	160	94.1	37	150	91.5
13	144	92.9	38	160	93.0
14	120	91.0	39	104	91.0
15	126	92.0	40	130	92.5
16	134	92.4	41	160	93.1
17	164	93.4	42	138	93.0
18	162	93.6	43	152	93.4
19	132	92.3	44	130	93.4
20	130	91.1	45	110	92.0
21	170	93.0	46	120	92.5
22	148	91.4	47	110	92.3
23	144	93.0	48	152	92.8
24	112	91.6	49	172	92.0
25	126	92.0	50	126	92.6

Tabla 2.7 Datos correspondientes a las temperaturas de realización y el rendimiento obtenido en 50 reacciones químicas

Los diagramas bivariantes pueden presentar distintos aspectos según el tipo de relación que exista entre las variables. En la figura 2.15 se han representado los diversos tipos de diagramas que pueden aparecer. En algunas ocasiones no está claro si existe o no correlación. Para estos casos, Ishikawa propone la realización del llamado "test de correlación de las medianas". Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

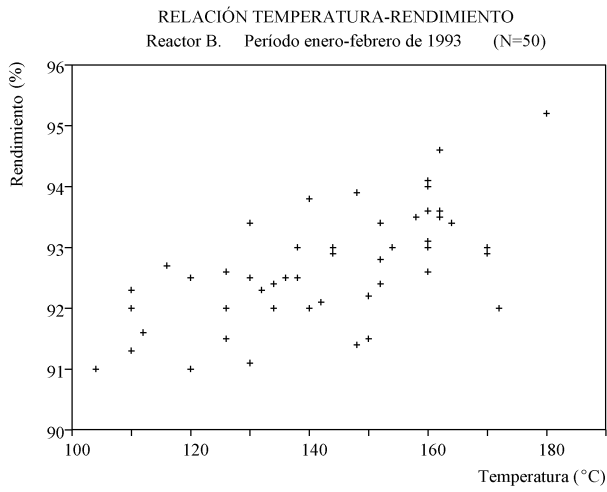


Fig. 2.14 Diagrama bivalente elaborado a partir de los datos de la tabla 2.7

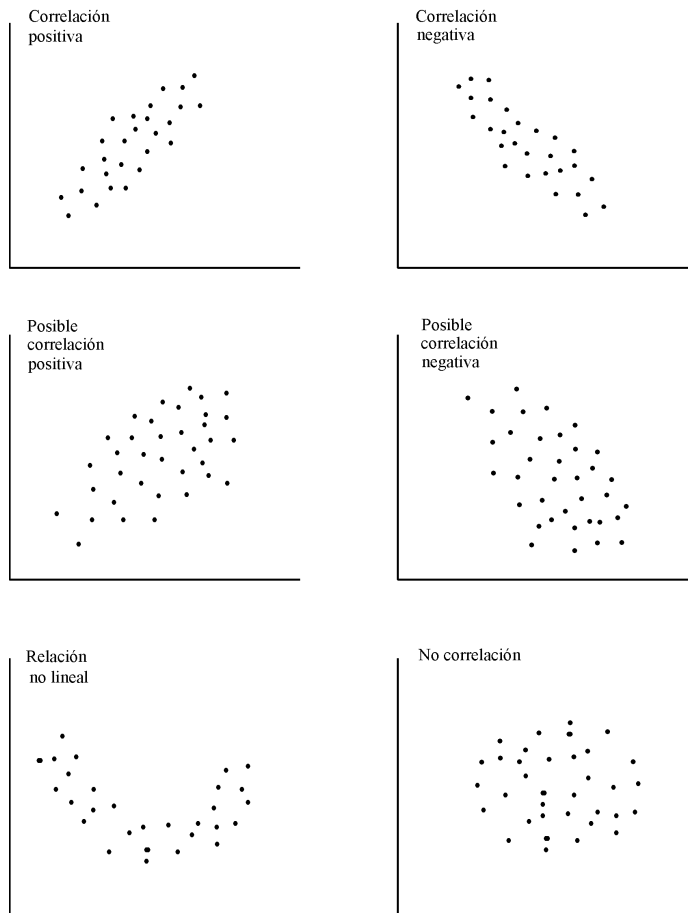


Fig. 2.15 Distintos aspectos que puede presentar un diagrama bivalente

1. Determinar las medianas de las x (variable colocada en el eje horizontal) y de las y (variable colocada en el eje vertical).
2. Trazar ambas medianas en el diagrama bivalente. De esta forma, el diagrama queda dividido en cuatro cuadrantes, que son notados como I, II, III y IV, a partir del extremo superior derecho y en sentido contrario a las agujas del reloj.
3. Contar los puntos que quedan en cada cuadrante excluyendo los que están situados sobre las medianas. Determinar la suma de puntos en los dos cuadrantes opuestos (I y III o II y IV) que presenten la suma menor. Este número se denomina "valor de prueba".
4. Comparar el valor de prueba en la tabla 2.8. Si el valor de prueba obtenido es igual o inferior a la cantidad límite que se da en la tabla, puede decirse que existe correlación con una probabilidad de error igual o menor al 5 %. La justificación teórica de las cantidades límite de la tabla requiere el uso del modelo binomial que se estudia en el capítulo 4.

NÚM. DE PUNTOS	LÍMITE DEL VALOR DE PRUEBA	NÚM. DE PUNTOS	LÍMITE DEL VALOR DE PRUEBA
20	5	56	20
21	5	57	20
22	5	58	21
23	6	59	21
24	6	60	21
25	7	61	22
26	7	62	22
27	7	63	23
28	8	64	23
29	8	65	24
30	9	66	24
31	9	67	25
32	9	68	25
33	9	69	25
34	10	70	26
35	10	71	26
36	11	72	27
37	12	73	27
38	12	74	28
39	12	75	28
40	13	76	28
41	13	77	29
42	14	78	29
43	14	79	30
44	15	80	30
45	15	81	31
46	15	82	31
47	16	83	32
48	16	84	32
49	17	85	32
50	17	86	33
51	18	87	33
52	18	88	34
53	18	89	34
54	19	90	35
55	19		

Tabla 2.8 Límites del valor de prueba para el test de correlación de Ishikawa

CUADRANTE	PUNTOS
I	18
II	5
III	18
IV	5

En el diagrama temperatura-rendimiento (figura 2.16), los puntos que se obtienen en cada cuadrante son:

Por tanto, en este caso el valor de prueba será 10 (número de puntos en los cuadrantes II+IV). El número de puntos a considerar es de 46, ya que del total se restan los que caen sobre las medianas (cuatro en este caso). El valor límite que da la tabla para $N=46$ es 15, y como $10 < 15$, podemos afirmar con una probabilidad de equivocarnos menor del 5 % que existe correlación entre temperatura y rendimiento. (Ver figura 2.16.)

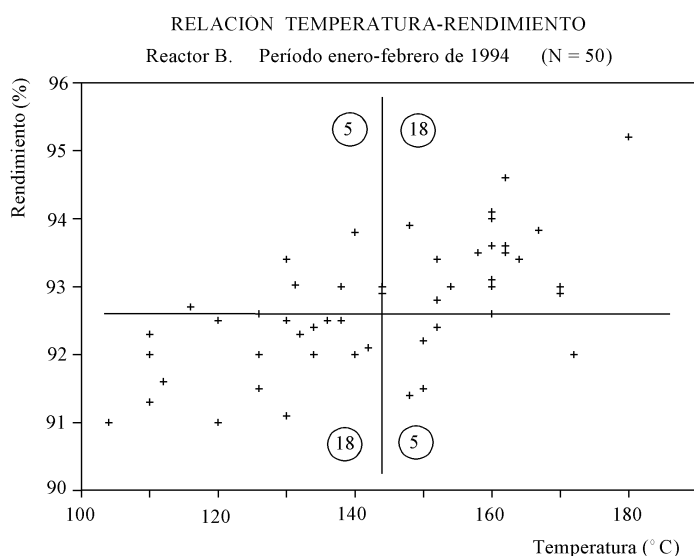


Fig. 2.16 Test de correlación de Ishikawa sobre los datos de la tabla 2.7

Respecto a la construcción de este tipo de diagramas, cabe hacer las siguientes recomendaciones:

1. Representar los datos con distinto símbolo según su origen (estratificar).

Observe la figura 2.17. El diagrama de la derecha representa la relación entre la humedad final de un producto tras un proceso de secado y el tiempo de molturación a que fue sometido previamente. Del análisis de este diagrama parece deducirse la inexistencia de correlación. Sin embargo, no se ha considerado que las medidas han sido tomadas por dos aparatos distintos, y teniendo este hecho en cuenta, se ha representado el diagrama de la derecha.

Éste no es un caso raro, puesto que, cuando se toman medidas con dos aparatos distintos, éstos pueden estar calibrados de forma distinta y conviene distinguir los puntos que han sido obtenidos con uno u otro aparato.

Lo mismo podríamos decir si los datos hubieran sido tomados por dos (o más) operarios, de varios turnos, de varias máquinas, de materias primas de distinto origen, etc.

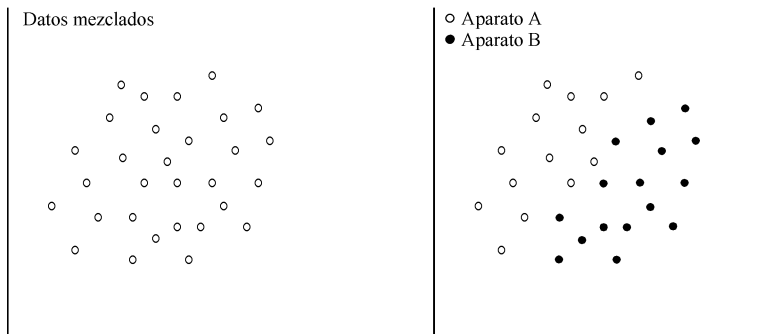


Fig. 2.17 Diagrama bivalente con los datos sin estratificar y estratificados

2. Aunque los datos históricos de que se dispone no indiquen la presencia de correlación, no significa que ésta no exista.

Quizá los datos de que se dispone, sobre el factor cuyo efecto se estudia, se mueven en un rango de variación demasiado pequeño para poner de manifiesto la correlación existente, tal como pone de manifiesto la figura 2.18.

3. La existencia de correlación no implica una relación causa-efecto.

Se ha comprobado que existe una alta correlación entre la temperatura media de un mes y el número de matrimonios que durante ese mes se celebran. Sin embargo, no cabe esperar que una ola de calor en el mes de febrero aumente el número de matrimonios ese mes. Esta relación es debida a otras variables interpuestas (en este caso, quizá: calor \rightarrow vacaciones, vacaciones \rightarrow matrimonio). Es necesario, por tanto, ser prudente a la hora de sacar conclusiones ante un diagrama que presenta una clara correlación.

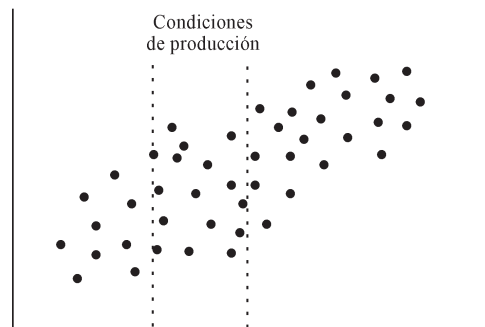


Fig. 2.18 Aunque los datos de que se dispone no indiquen la presencia de correlación, no significa que ésta no exista

2.6 Estratificación

La estratificación es también una de las siete herramientas básicas que propone Ishikawa. En realidad, no es una técnica nueva, sino que es una metodología que conviene incorporar a cada una de las herramientas que ya hemos visto.

Así, las plantillas para la recogida de datos deben pensarse para que posteriormente pueda realizarse los análisis dividiendo los datos según su origen. En el caso de los histogramas, los diagramas de Pareto o los diagramas bivalentes, una correcta estratificación permite obtener una información de gran importancia que, de otra forma, no se pondría de manifiesto.

Ejercicios

- 2.1** Durante una semana, se ha medido diariamente el contenido de humedad correspondiente a 24 paquetes de un determinado producto, tomados al azar a la salida de una línea de envasado. Los resultados obtenidos son:

LUNES	8.20	8.05	8.53	8.48	8.15	8.79
	8.36	8.76	8.64	8.34	8.15	8.91
	8.37	8.51	8.83	8.51	8.68	8.32
	8.52	8.18	8.35	8.08	8.79	8.49
MARTES	8.61	9.30	8.59	8.32	9.08	8.43
	9.14	8.58	8.66	8.33	9.13	8.66
	8.52	8.81	8.70	8.41	8.69	9.17
	9.20	8.68	9.08	9.07	8.46	8.56
MIÉRCOLES	9.43	9.28	9.59	8.86	9.19	9.22
	8.85	9.14	9.15	9.28	9.12	8.85
	8.66	9.41	8.75	8.50	9.20	8.56
	8.89	9.34	9.18	9.19	8.80	9.46
JUEVES	8.97	9.21	8.86	8.76	9.55	9.38
	9.02	9.53	8.75	9.21	9.50	9.58
	9.61	9.28	9.64	8.76	9.48	9.09
	9.15	9.28	9.05	9.40	9.58	9.46
VIERNES	8.46	8.17	8.97	8.64	8.40	8.17
	8.00	8.60	8.20	8.81	8.60	8.11
	8.32	8.48	8.33	8.73	8.47	8.05
	8.91	8.65	8.26	8.73	8.10	8.89

42

Indicar qué conclusiones se pueden obtener a partir de estos datos.

- 2.2** Construir los diagramas causa-efecto para los siguientes efectos:
- llegar tarde al trabajo,
 - suspender un examen,
 - derrota en una competición deportiva.
- 2.3** En un diagrama causa-efecto aparece la temperatura de la matriz de una prensa como posible causa de la aparición de poros en el producto. Para confirmarlo, se recogen datos de 50 prensadas y se realiza un diagrama bivalente entre la temperatura (T) y el número de poros obtenidos (P).
Indique cuáles serían las conclusiones obtenidas al realizar el test de correlación de Ishikawa, en cada uno de los siguientes casos.

	A	B	C	D
CUADRANTE 1	19	10	5	8
CUADRANTE 2	4	12	20	21
CUADRANTE 3	20	11	5	8
CUADRANTE 4	5	10	20	13

2.4 Los datos que figuran a continuación corresponden a una característica de calidad de cierto producto (y), y los valores de cuatro factores de producción (x_1, x_2, x_3, x_4), que se considera que pueden influir en ella.

NÚM.	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	NÚM.	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
1	18.96	6.39	8.34	5.25	9.99	16	25.27	7.01	9.58	3.96	10.28
2	12.81	5.54	6.90	6.03	9.23	17	15.04	5.89	7.46	5.82	9.58
3	11.15	5.24	6.44	6.10	8.89	18	20.65	6.57	8.69	4.94	10.10
4	19.38	6.44	8.43	5.17	10.02	19	11.15	5.24	6.44	6.10	8.89
5	18.41	6.33	8.22	5.34	9.94	20	18.53	6.34	8.25	5.32	9.95
6	13.00	5.57	6.95	6.02	9.27	21	23.55	6.86	9.26	4.34	10.23
7	10.37	5.08	6.21	6.11	8.70	22	11.81	5.36	6.63	6.08	9.04
8	15.39	5.94	7.54	5.78	9.63	23	23.51	6.86	9.25	4.35	10.23
9	11.90	5.38	6.65	6.08	9.06	24	25.74	7.05	9.67	3.85	10.28
10	21.50	6.66	8.86	4.77	10.15	25	12.64	5.51	6.85	6.04	9.20
11	11.45	5.29	6.53	6.10	8.96	26	25.45	7.03	9.61	3.92	10.28
12	18.04	6.28	8.14	5.40	9.91	27	18.26	6.31	8.19	5.37	9.93
13	10.63	5.13	6.29	6.11	8.76	28	10.56	5.12	6.27	6.11	8.75
14	17.39	6.20	8.00	5.50	9.85	29	15.46	5.95	7.56	5.77	9.64
15	13.27	5.62	7.02	6.00	9.31	30	10.98	5.20	6.39	6.11	8.85

Realizar diagramas bivariantes e indicar qué conclusiones se pueden obtener con estos datos.

2.5 Hace unos años, en una revista editada en la Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona (ETSEIB), aparecía una nota de la Dirección de la Escuela en la que se informaba que en el primer parcial de ese curso se había gastado el 75% de todo el papel de examen que se necesitó en el curso anterior. Se incluía también la siguiente tabla:

DEPARTAMENTO	ALUMNOS	HOJAS
Matemáticas	2282	27000
Mecánica	1030	35000
Cons. Arq. Ind.	178	700
Gestión empresarial	682	2700
Ing. Eléctrica	675	8100
Informática	515	2000
Proyectos	173	1000
Téc. Cuant. Gestión	560	5500
Técnicas Exp. Gráf.	1114	---
Transp. y motores	329	3900
Ing. Electrónica	350	4000
Ing. Química	181	2700
Física	1371	9500
Ing. Cibernética	222	1900
Mecánica de fluidos	630	3500
Ing. de materiales	470	5500
Química	1128	8500
Ing. Nuclear	258	1000
Termodinámica	723	4500

Desde el punto de vista de la economía de la escuela y con el único objetivo de disminuir al máximo el consumo de papel, si sólo se pudiera llamar la atención a un departamento, ¿cuál habría escogido usted?

Justifique su respuesta realizando el gráfico que le parezca más adecuado.

- 2.6** El número de piezas defectuosas detectadas en un mes debido a diversas causas es el que se muestra a continuación:

CAUSA	NÚM. DE PIEZAS DEFECTUOSAS
Presión	42
Temperatura	15
Ruido	10
Humedad	6
Otros	12

Se realiza una modificación para intentar reducir el número de piezas defectuosas y se obtienen los siguientes resultados:

CAUSA	NÚM. DE PIEZAS DEFECTUOSAS
Presión	5
Temperatura	11
Ruido	9
Humedad	7
Otros	12

Realice un gráfico que ponga de manifiesto los efectos de la modificación introducida.

Apéndice 2A Datos e información

No es extraño que en una empresa se recojan y archiven gran cantidad de datos y, sin embargo, cuando se pretende solucionar un problema concreto, no se disponga de los datos para realizar un diagnóstico seguro. O los datos son incompletos o, simplemente, no son fiables.

J. M. Juran aclara esta aparente paradoja, distinguiendo claramente entre los conceptos de datos e información.

Los datos pueden definirse como la concreción numérica de hechos o realidades, mientras que la información debe entenderse como la respuesta a preguntas previamente planteadas.

$$\begin{aligned} \text{Datos} &= \text{Hechos, realidades} \\ \text{Información} &= \text{Respuesta a preguntas} \end{aligned}$$

Cuando se plantea un problema, su resolución exige disponer de una cierta información (respuestas a preguntas del tipo, ¿con qué frecuencia se presenta el problema?, ¿en qué circunstancias se presenta?, etc.). Pero, mientras que la buena información siempre está basada en datos, un determinado volumen de datos, por grande que sea, no necesariamente aporta la información que se precisa para resolver el problema.

$$\begin{aligned} \text{La "información" incluye "datos".} \\ \text{Los "datos" no necesariamente incluyen "información".} \end{aligned}$$

Así pues, la clave no está en cómo recoger datos, sino en cómo obtener información que resulte útil.

45

El proceso de generar información puede resumirse en las siguientes etapas:

1. Formular claramente las preguntas que se desea contestar.
2. Recopilar datos relativos a la cuestión planteada.
3. Analizar los datos para determinar la respuesta a la pregunta.
4. Presentar los datos de forma adecuada para poner claramente de manifiesto cuál es la respuesta a la pregunta.

Es importante tener presente cuál es la pregunta que se desea contestar, cuando se planifica la recogida de datos. Unos datos correctos y muy exactos, recopilados mediante un elaborado diseño de muestreo estadístico, son inútiles si no permiten contestar alguna pregunta de interés.