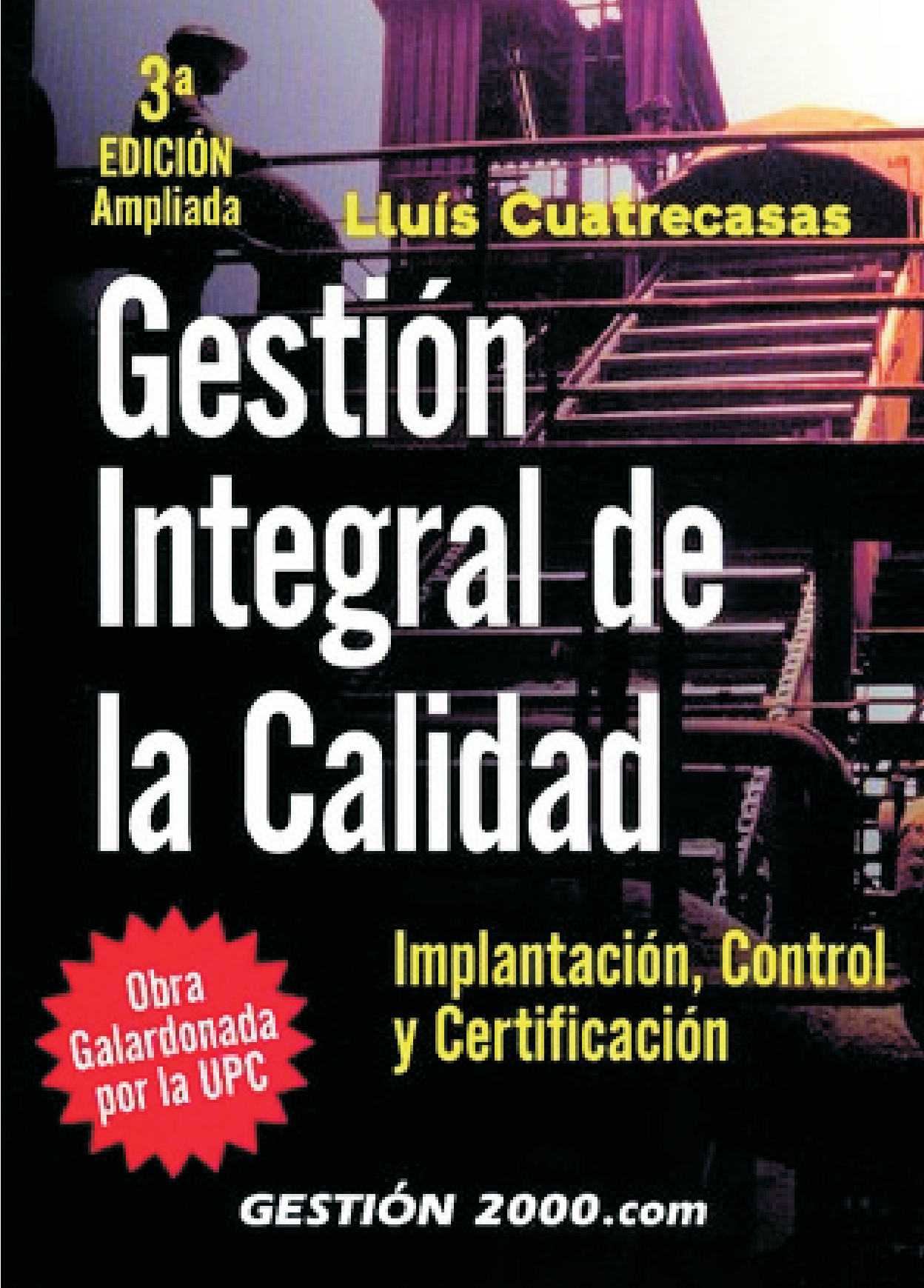


3ª EDICIÓN Ampliada

Lluís Cuatrecasas

Gestión Integral de la Calidad

Implantación, Control y Certificación

Obra Galardonada por la UPC

GESTIÓN 2000.com

Gestión Integral de la Calidad

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Si está interesado en recibir información sobre libros empresariales, envíe su tarjeta de visita a:

Gestión 2000
Departamento de promoción
Av. Diagonal, 662-664, 2ª B
08034 Barcelona
Tel. 93 492 69 70
Fax 93 492 69 75
e-mail: info@gestion2000.com

y la recibirá sin compromiso alguno por su parte.

VISITE NUESTRA WEB
www.gestion2000.com

Gestión Integral de la Calidad:

Implantación, Control y Certificación

Lluís Cuatrecasas

GESTIÓN 2000

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *Copyright*, bajo las sanciones establecidas en las Leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

© Ediciones Gestión 2000
Planeta DeAgostini Profesional y Formación, S.L., Barcelona, 2005

Depósito legal: M 16.615-2005
ISBN: 84-96426-38-6
Fotocomposición: gama, sl
Diseño cubierta: Jordi Xicart
Impreso por Rotapapel
Impreso en España - *Printed in Spain*

Agradecimientos

Al equipo de profesionales de la calidad con quien tengo el placer de colaborar desde hace años desde la Universitat Politècnica de Catalunya: Manuel Navarro, Ramón Martos, Ricard Castillejo, Francesc Blanch, Guillermo Fernández, Jaume Camins y Jordi Vinaixa.

Asimismo, un agradecimiento especial al equipo de colaboradores que me han dado soporte en este libro: Daniel Beltrán, Jesús Gómez y Toni Casas.

Finalmente, mi agradecimiento a Gestión 2000 y a su director general, Alexandre Amat, por la confianza depositada en esta obra.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Estas economías [derivadas de evitar defectos de calidad controlando el proceso] son tan importantes y pueden lograrse de una forma tan sencilla, que nos preguntamos cada día cómo es que no lo hicimos antes.

TAIICHI OHNO

Sin embargo, el control del proceso no puede por sí mismo dar una garantía de calidad satisfactoria; por mucho que se controle un proceso, es imposible garantizar la calidad o la fiabilidad (en un sentido más amplio) de un producto que esté mal diseñado o de un producto fabricado con materiales mal elegidos.

KAORU ISHIKAWA

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Índice

Introducción 15

1. La Gestión de la Calidad Total 19
Evolución del concepto de calidad 20
Evolución histórica de la calidad y su gestión 24
Los grandes «gurús» de la calidad 25
La calidad y su gestión 27
El CWQC (C*ompany Wide Quality Control)* 30
Características determinantes de la calidad y su gestión 33
Los cuatro pilares de la Calidad Total 36
Costes de la calidad y de la no-calidad 37
Costes de la calidad 39
Costes de prevención 39
Costes de evaluación 40
Costes de no-calidad 40
Costes internos de calidad 41
Costes externos de calidad 41
La gestión de los procesos orientados al cliente. Voz del cliente 42
La calidad en los servicios 46
Diferencias entre la producción de servicios y la de productos 46
Características de la calidad en los servicios 47
Criterios generales de evaluación de los servicios 49
Deficiencias en los servicios y sus causas 50

2. La gestión de la calidad y su mejora. Herramientas 53
La Gestión de la Calidad Total: planificación, implantación y control . . . 55
Implantación de la calidad 56
Mejoras resultantes de la implantación del TQM 59

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La mejora continua (*kaizen*) 60
El ciclo de Deming y el ciclo PDCA 61
Las siete herramientas básicas de la calidad 63
Diagrama de causa-efecto 64
Diagrama de Pareto 66
Histogramas 68
Diagrama de Dispersión 70
Hoja de Recogida de Datos 74
Gráfico de Control 76
Estratificación de Datos 77
Brainstorming 78
Las siete herramientas de gestión 78
Diagrama de Afinidades 79
Diagrama de Relaciones 79
Diagrama de Árbol 80
Diagrama de Matriz 80
Diagrama de Análisis de Matriz-Datos 81
Diagrama PDPC 81
Diagrama de Flujo 81
Círculos de calidad 82
Benchmarking 83
Filosofía del *Benchmarking* 85
Tipos de benchmarking 86
Etapas básicas del proceso de *Benchmarking* 87
Reingeniería 89
Fases 90

3. Planificación y diseño para la calidad 93
La gestión de la calidad en el diseño: planificación de productos y procesos 95

4. El Despliegue Funcional de la Calidad: QFD 99
El diseño para la calidad: evolución histórica 99
QFD: su importancia 100
QFD: concepto y características 104
Beneficios derivados de la aplicación del QFD 105
Metodología para la aplicación del QFD 106
Planificación del producto o servicio 107
Etapa de despliegue de la calidad demandada («*qués*») 107
Etapa de diseños alternativos para la calidad («*cómos*») 109
El «gráfico de calidad» y la matriz de relaciones 112
Características de la evaluación del gráfico de calidad 120

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Diagnóstico a partir del QFD 127
Despliegue de componentes 134
Planificación del proceso 137
Planificación de la producción 138
Actividades futuras 139
Despliegue funcional de la Calidad: Caso práctico 141

5. Análisis Modal de Fallos y Efectos. AFME 149
Evolución histórica 150
Principios y objetivos 151
Elaboración de un AMFE 151
Elementos de información general 154
Modos de fallo, efectos y causas 154
Controles a llevar a cabo 158
Dimensionado de los modos de fallo: Índice de Prioridad de Riesgo . . 158
Coeficiente de Frecuencia (F) 159
Frecuencia y capacidad de procesos 160
Coeficiente de Gravedad (G) 163
Coeficiente de Detección (D) 165
Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) 166
Análisis y mejora de diseños con el AMFE 168
Características y ventajas de la metodología AMFE 170
Tipos de AMFE 171
AMFE de Diseño 171
AMFE de Proceso 171
AMFE de Medios 173
Análisis modal de fallos y efectos: Caso práctico 175
Tablas de valores para los coeficientes del AMFE 177
Realización del documento AMFE 179

6. Optimización del diseño: Diseño Estadístico de Experimentos (DEE) . 185
Características del Diseño Estadístico de Experimentos 186
Relación entre el DEE y el Control Estadístico de Procesos 187
La experimentación 189
Terminología de la experimentación en el DEE 191
Diferencia entre el Diseño Estadístico de Experimentos tradicional y los métodos de Taguchi 192
El Diseño Estadístico de Experimentos tradicional 193
Métodos de experimentación 193
Diseño factorial completo 196
Otro método de cálculo de los efectos: Algoritmo de Yates 203
Importancia de los efectos y de las interacciones 205

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Método de Daniel 205
Método basado en la repetición de los experimentos 208
Bloqueo en un diseño factorial completo 211
Diseños factoriales fraccionales 215
Diseños factoriales fraccionados saturados 222
Métodos de Taguchi 223
Función de pérdida 223
Matrices ortogonales 226
Grados de libertad 229
Flujograma del proceso de asignación 229
Análisis regular 230
Análisis regular sin interacciones 230
Análisis regular con interacciones de segundo orden 233
Diseño de Parámetros 235
Planificación integrada del diseño para la calidad 240

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Introducción

Existe en la actualidad una preocupación muy acentuada por todo lo referente a la calidad y su implantación en los sistemas productivos. Ello es así debido a que en estos momentos los productos, sean industriales o de servicios y sus procesos, se ven forzados a incluir lo que se denomina la «calidad asegurada», dado que:

1. La fuerte competitividad en todos los sectores exige un elevado nivel de calidad en los productos y servicios para que tengan salida al mercado.

   Ello supondrá ***organizar*** **y gestionar** los sistemas productivos y todos los procesos de la empresa con el objetivo de asegurar la calidad (en la línea de lo que se denomina Gestión de la calidad total o TQM) e ***implantarla*** **de forma correcta y adecuada**.

2. La calidad no es suficiente con asegurarla ya que debe obtenerse a bajo coste, lo que exige que los procesos la garanticen a la primera y con el mínimo control ulterior del proceso.

   Ello supondrá aplicar las técnicas que conducen al ***diseño*** y ***optimización*** de productos y procesos que eleven al máximo la relación calidad/coste y los planes de control más adecuados para los mismos.

3. El mercado al cual van dirigidos nuestros productos exige calidad contrastada, en cuyo caso será muy conveniente que la misma esté homologada y certificada frente a los consumidores potenciales.

   Ello supondrá, pues, proceder a la ***evaluación*** y ***certificación*** de la calidad derivada de los procesos que tienen lugar en la empresa y su sistema productivo, para lo que puede someterse el sistema de calidad a la auditoría que conduce a la certificación vía normas ISO-9000.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Así pues, la gestión que conduce a aplicar la calidad a todos los niveles de acuerdo con los sistemas de gestión y técnicas actuales tiene una amplia variedad de aspectos incluidos que nos hemos propuesto exponer en la medida de lo posible. Asimismo trataremos de clarificar de forma suficientemente completa el significado y la relación existente entre los diferentes conceptos que abarca el ámbito de la calidad. Todo ello llevará implícito, además, desarrollar el concepto de Gestión de la Calidad Total o TQM (*Total Quality Management*) como una nueva filosofía de gestión empresarial basada en la calidad a nivel de toda la empresa, su organización y el equipo humano que la compone.

Para ello, esta obra comienza con una introducción, en el primer capítulo, sobre los conceptos básicos relacionados con la calidad, tal y como se la conoce actualmente, y las etapas históricas por la que ha pasado hasta llegar a la actualidad.

A continuación, esta obra abordará de forma más precisa la nueva filosofía de la Gestión de la Calidad Total (TQM), los conceptos que la sustentan y su implantación. También se desarrollan temas relacionados con el importante concepto de «mejora continua», basada en el ciclo *Deming*, así como el *Brainstorming*, los círculos de calidad, las siete herramientas básicas y las siete herramientas de gestión; asimismo se abandonarán diversas estrategias posibles dentro del marco de gestión como son el *Benchmarking* y la Reingeniería. La Gestión de la Calidad Total representa el eje fundamental de la obra y de ella se derivan el resto de los aspectos de gestión, herramientas y técnicas actualmente desarrolladas y que se tratarán a continuación.

Por ello, en los capítulos que siguen a continuación se describen las más importantes técnicas empleadas actualmente para la planificación, la optimización y el control de la gestión de la calidad. Las herramientas que se describen son el QFD (*Quality Function Deployment*) o Despliegue Funcional de la calidad, el AMFE o Análisis Modal de Fallos y Efectos, el DEE o Diseño Estadístico de Experimentos (en su versión más tradicional y mediante los métodos de *Taguchi*) y, por último, el SPC (*Stadistical Process Control*) o Control Estadístico del Proceso.

Lo que se pretende es realizar una introducción sobre cada una de las herramientas, explicando principalmente su definición y función, la filosofía que persigue y una descripción que aunque no tendrá la profundidad que se podría encontrar en las obras especializadas en cada uno de los temas, supondrá una aproximación suficiente para su comprensión y modos de aplicación. Se incluyen ejemplos sencillos con la intención de facilitar la comprensión de las mismas.

En el último capítulo de esta obra se trata el tema de la evaluación y auditorías de los sistemas de calidad respecto a las normas de la serie ISO 9000. La certificación tiene una importancia creciente en la actualidad y, por tanto, hemos creído importante tratarla adecuadamente en esta obra que contempla todos los aspectos relevantes de la gestión de la calidad. En este capítulo se tratan aspectos

Copyright Ediciones Deusto S.L.

relacionados con los sistemas de calidad, su certificación y la clasificación de las principales normas ISO 9000 empleadas a tal efecto. En particular, se trata en profundidad la norma ISO 9001, que constituye la norma más completa.

Finalmente, hacemos constar que esta obra trata de exponer los conceptos, herramientas de gestión y técnicas relacionadas con la calidad, su gestión, optimización, implantación, control y certificación, de forma rigurosa y exhaustiva, pero en un lenguaje sencillo de comprender para el lector no introducido en esta materia, exponiendo todo ello de una forma progresiva en cuanto al tratamiento de los diferentes aspectos.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

1

La Gestión de la Calidad Total

La calidad puede definirse como *el conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario.* La calidad supone que el producto o servicio deberá cumplir con las funciones y especificaciones para los que ha sido diseñado y que deberán ajustarse a las expresadas por los consumidores o clientes del mismo. La competitividad exigirá, además, que todo ello se logre con rapidez y al mínimo coste, siendo así que la rapidez y bajo coste serán, con toda seguridad, requerimientos que pretenderá el consumidor del producto o servicio.

Atendiendo a las definiciones de interés que pueden encontrarse acerca del concepto de calidad, exponemos a continuación algunas de ellas:

Según la norma ISO 8402 la calidad es «*la totalidad de características de un ente que le confieren la aptitud de satisfacer necesidades implícitas o explícitas*». El concepto de ente engloba una variedad extensa de actividades, situaciones u objetos tales como productos, servicios, sistemas, procesos, personas, organizaciones, etc.

La norma DIN establece que «*la calidad en el mercado significa el conjunto de todas las propiedades y características de un producto, que son apropiados para satisfacer las exigencias existentes en el mercado al cual va destinado*».

Además, los más importantes «gurús» de la gestión de la calidad, hacen referencia expresa a diferentes significados como «*Adecuación al uso y ausencia de defectos*» (J.M. Juran), «*Cumplimiento de las especificaciones*» (P.B. Crosby), o algunos tan originales como la denominada «función de pérdida» de Taguchi, expresada como «*La mínima pérdida que el uso de un producto o servicio causa a la sociedad*» (G. Taguchi).

Por otra parte, existen algunos conceptos que hay que tener en cuenta a la hora de definir la calidad, y que no están incluidos de forma explícita en las anteriores definiciones. La satisfacción plena de los clientes implica no tan sólo a los consumidores habituales de un bien, sino que también se consideran todos aquellos empleados, operarios, directivos, proveedores, accionistas, propieta-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

rios, etc., que aparezcan involucrados en la calidad. La calidad debe representar un coste social mínimo para la sociedad, es decir, debe reducir los costes derivados de las reparaciones o desperfectos creados al consumidor, los perjuicios medioambientales, etc. A ello hace referencia expresa la ya citada función de pérdida de Taguchi.

Todavía perduran hoy día aspectos erróneos acerca de la calidad como que es cara, intangible, no medible o que representa necesariamente lujo, peso, brillo, tamaño o prestaciones. La calidad bien entendida y aplicada en consecuencia, resulta económica y rentable, aunque requiera tiempo, inversión y esfuerzos de forma continua.

Evolución del concepto de calidad

El concepto de calidad ha ido evolucionando a lo largo de los años, ampliando objetivos y variando la orientación (figura 1.1.). Se puede decir que su papel ha tomado una importancia creciente al evolucionar desde un mero control o inspección a convertirse en uno de los pilares de la estrategia global de la empresa. En sus orígenes, la calidad era costosa porque consistía en rechazar todos los productos defectuosos, lo que representaba un primer coste, y después recuperar de alguna forma dichos productos, si era posible, lo que representaba otro coste adicional. La calidad era responsabilidad exclusiva del departamento de inspección o calidad.

Posteriormente se comienzan a aplicar técnicas estadísticas de muestreo para verificar y controlar los productos de salida. Suponía un avance en la inspección de todos los productos de salida.

El concepto de calidad sufre un evolución importante, pasando de la simple idea de realizar una verificación de calidad, a tratar de generar calidad desde los orígenes. Se busca asegurar la calidad en el proceso de producción para evitar que este dé lugar a productos defectuosos.

Con la Gestión de la Calidad Total, la calidad sigue ampliando sus objetivos a todos los departamentos de la empresa, involucrando a todos los recursos humanos liderados por la alta dirección y aplicándose desde la planificación y diseño de productos y servicios, dando lugar a una nueva filosofía de la forma de gestionar una empresa; con ello, la calidad deja de representar un coste y se convierte un modo de gestión que permite la reducción de costes y el aumento de beneficios.

Consecuentemente, se pueden establecer cuatro etapas de la evolución del concepto de calidad, cuyas características principales se resumen en la tabla 1.1.

1. **Inspección:** Verificación de todos los productos de salida, es decir, después de la fabricación y antes de que fueran distribuidos hacia los clientes. Aquellos productos que no cumplen las especificaciones, no se encuentran entre los márgenes de tolerancia o simplemente son defectuosos, deben ser rechazados. Se realiza una labor de filtrado de todos los productos para garantizar que sólo ac-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

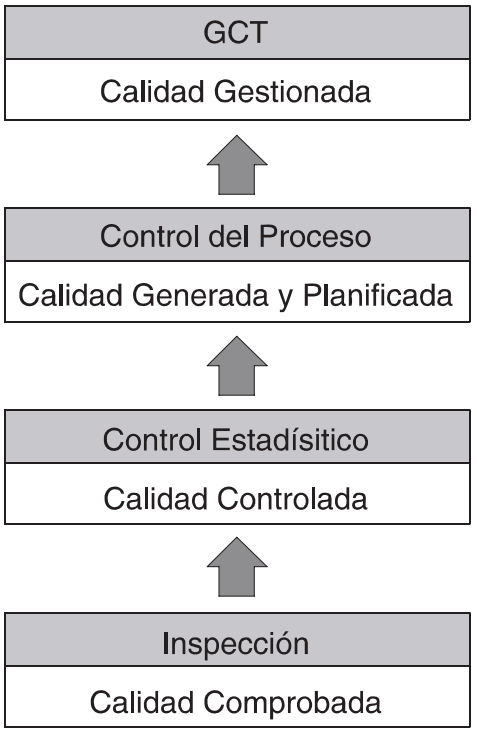


Figura 1.1.

cedieran al mercado aquellos en perfectas condiciones. La inspección empleada como único instrumento de calidad genera un nivel bajo, pero supone coste elevado, lo que ocurría en la etapa en que este era el único instrumento para obtener la calidad exigida.

2. **Control del producto:** La aplicación de los conceptos estadísticos para el control y verificación de los productos ya fabricados supuso un avance considerable que permitió la reducción de la inspección. Este tipo de control emplea técnicas basadas en el muestreo de los productos salientes. Aunque supone una reducción de las tareas de inspección, no deja de ser un simple control de los productos de forma estadística. Los defectos siguen existiendo y de lo único que se trata es de detectarlos antes de que lleguen a los consumidores, mediante una verificación de las muestras seleccionadas. La calidad obtenida en la etapa en que no se utilizaban otros instrumentos seguía siendo costosa, para un nivel bajo, al menos con relación al total del volumen producido.

3. **Control del proceso:** El paso del control del producto al control ejercido sobre el proceso es el primer paso importante hacia una calidad auténticamente controlada y a un coste aceptable. En esta etapa la calidad de los productos ya no

Copyright Ediciones Deusto S.L.

	Objetivos	Orientación	Implicación	Métodos
Gestión de la Calidad Total	Impacto estratégico	Satisfacción plena del cliente	Toda la organización	Planificación estratégica
Control del Proceso	Organización y coordinación	Aseguramiento y prevención	Dep. de Calidad, Producción, I+D...	Sistemas, técnicas y programas
Control del Producto	Control de productos	Reducción de inspecciones	Departamento de Calidad	Muestreo y estadística
Inspección	Detección de defectos	Orientación al producto	Departamento de Inspección	Medición y verificación

Tabla 1.1.

se controla únicamente al final del proceso, sino que éste se verá sometido a un control a lo largo de dicha cadena de producción para evitar los defectos o el incumplimiento de las especificaciones de los productos. Se trata de controlar la calidad generada por el proceso de producción para asegurar la obtención de la misma. De esta forma, la calidad pasa a ser una característica del producto: no sólo cumple las especificaciones, sino que además satisface las expectativas de los clientes. La calidad, en esta etapa, no sólo es competencia del departamento de calidad, sino que además participan otros departamentos como producción, I+D, compras y marketing. Precisa incluso la implicación de los proveedores. Los procesos de inspección y control de salida se reducen considerablemente debido a que la calidad se planifica desde el diseño, lo que disminuye drásticamente el número de fallos y defectos.

4. **Gestión de la Calidad Total:** La calidad se extiende a toda la empresa en su crecimiento conceptual y en sus objetivos. No se considera sólo como una característica de los productos o servicios, sino que alcanza el nivel de estrategia global de la empresa. La calidad se convierte en «calidad total» que abarca no sólo a productos, sino a los recursos humanos, a los procesos, a los medios de producción, a los métodos, a la organización, etc., en definitiva se convierte en un concepto que engloba a toda la empresa y que involucra a todos los estamentos y áreas de la empresa, incluyendo a la alta dirección cuyo papel de líder activo en la motivación de las personas y consecución de los objetivos será fundamental. Bajo este entorno surge la Gestión de la Calidad Total como una nueva revolución o filosofía de gestión en busca de la ventaja competitiva y la satisfacción plena de las necesidades y expectativas de los clientes. Se ponen en práctica aspectos como la mejora continua, círculos de calidad, el trabajo en equipo, la fle-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

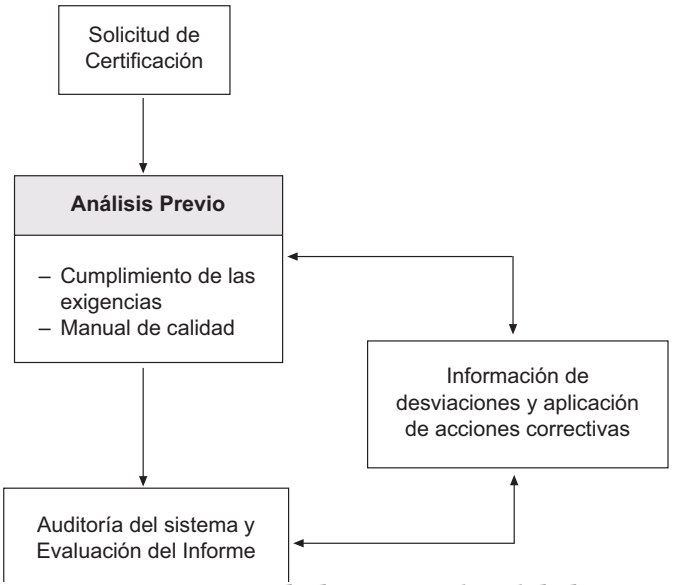


Figura 1.2. Técnicas de diseño para la calidad y su interrelación

xibilidad de procesos y productos, automantenimiento, etc. La calidad se convierte en uno de los factores estratégicos para la gestión de una empresa.

En los desarrollos más recientes correspondientes a esta etapa (años noventa) aparecen técnicas que permiten introducir la calidad antes de llevar a cabo el proceso: en la etapa de diseño y desarrollo de productos y del propio proceso, lo que permitirá alcanzar un elevado nivel de calidad a costes muy bajos. Destacan las técnicas QFD y AMFE y constituyen las herramientas de la calidad del futuro (porque actúan para procesos que se desarrollarán en el futuro y no en el momento actual).

El diseño y desarrollo del producto parte de las expectativas del cliente y su influencia se extiende hasta la salida del producto acabado. Por tanto, hay que traducir las necesidades del cliente en especificaciones internas para las distintas funciones.

El QFD, también conocido como *Despliegue de las Funciones de Calidad*, es una herramienta de diseño de productos para la calidad y máxima satisfacción del consumidor que puede ser de gran utilidad como método de planificación y aseguramiento de la calidad en todas las fases de diseño, pues ofrece un método para traducir estas expectativas del cliente en especificaciones y transmitirlas a todas las funciones involucradas.

En la determinación de los valores óptimos de los requerimientos de diseño, tanto de producto como de proceso, existen dos herramientas muy poderosas: se trata del DEE (*Diseño Estadístico de Experimentos*) y del AMFE (*Análisis Modal de Fallos y Efectos*).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

El DEE es una herramienta de optimización de diseños que nos permite reducir la variabilidad de los factores que intervienen en el diseño del producto y del proceso, por lo que obtendremos productos de gran robustez y procesos capaces y controlables.

El AMFE es una herramienta de prevención de fallos derivados de un diseño, pues evalúa de forma sistemática todos los posibles modos y causas de fallo y sus consiguientes efectos, aplicable al diseño de producto y de proceso, y nos asegura la calidad en los distintos puntos de las etapas de desarrollo del producto.

Debido a la importancia de estas tres herramientas de diseño optimizado y sin fallos llevaremos a cabo en esta obra un estudio detallado de las mismas, incluyendo dentro del diseño estadístico de experimentos la metodología de Taguchi, debido al auge que experimenta en la actualidad.

Evolución histórica de la calidad y su gestión

La calidad es un concepto que ha ido evolucionando en su significado a lo largo de la historia. Con anterioridad a los tiempos recientes en que se ha desarrollado profundamente este concepto, fueron apareciendo algunos conceptos que pueden considerarse como la «prehistoria» de la calidad y su gestión. Así, por ejemplo, durante la Revolución Francesa (1794) se crea un Taller Nacional de Calibres cuyo objetivo era lograr la estandarización de las municiones para su empleo en diferentes tipos de fusiles, donde ya se aplicaron conceptos de inspección y control de fabricación. A lo largo de la historia actividades como esta contribuyeron a la aparición de la idea moderna de calidad, tal como se conoce en la actualidad.

Se puede establecer la aparición del concepto moderno de la calidad en torno a los años 1920, en Estados Unidos, impulsada por grandes compañías como *Ford Motor Company*, *American Telephone & Telegraph*, *Western Electric*, etc., que comienzan a implantar el criterio de calidad de diversas formas.

En esta etapa (1920) Ronald Fisher comienza a aplicar el Diseño Estadístico de Experimentos (DEE), aplicado a la mejora de la productividad de algunos cultivos. También se desarrolla en este período el Control Estadístico de la Calidad (SPC), en manos del considerado padre de la calidad, Walter A. Shewhart.

La Segunda Guerra Mundial (1939-1945) constituyó el detonante fundamental para un notable desarrollo del Control Estadístico de Procesos (SPC), así como del interés general por todos los temas relacionados con la calidad. Durante esta época, importantes maestros de la calidad como Walter E. Deming o Joseph M. Juran desarrollan el programa de gestión de la calidad. Durante el conflicto se avanza de forma considerable en los diferentes aspectos de la calidad.

También en esta época, Armand V. Feigenbaum comienza a desarrollar un nuevo concepto: «el control de la calidad total.» En él se incluye una gestión de la

Copyright Ediciones Deusto S.L.

calidad más extensa que abarca todas las áreas de la empresa y que persigue la satisfacción plena de los clientes. Se puede considerar como el origen de lo que hoy se denomina la Gestión de la Calidad Total (GCT).

Una vez concluida la guerra, se produce un trasvase de ideas y conceptos hacia Japón. Los japoneses aprenden las técnicas de Control Estadístico de Proceso adoptándolas de forma rápida, en principio como mera inspección, estableciendo tolerancias de calidad en los productos, para pasar, en una segunda fase, a controlar el proceso evitando los fallos en el producto final. A ello contribuyeron una serie de conferencias y seminarios que fueron impartidos en Japón sobre esta temática por los maestros Deming y Juran.

Coincidiendo con el auge de la calidad en Japón, la industria Americana sufre un estancamiento en su evolución. No se incentivaba la aplicación de las técnicas de calidad debido a la falta de competidores cualificados y sólo se puso interés en producir y vender bienes para abastecer al mercado mundial. Este fenómeno coincide con un aumento paulatino de las prestaciones, fiabilidad y calidad de los productos japoneses, más preocupados por la mejora continua y por una constante evolución, alentados por las ideas que les inculcó *Deming* y *Juran*. Con este panorama, Japón aprovecha el encasillamiento americano para lanzarse a su conquista.

Será durante la década de los ochenta cuando la calidad experimenta una evolución en la industria norteamericana, pasando a considerarse como un elemento estratégico fundamental. Philip B. Crosby introdujo el programa de mejora tratando de concienciar a las empresas para que centraran sus esfuerzos en la necesidad de obtener calidad. El objetivo consistía en suprimir gran parte de las inspecciones haciendo las cosas bien desde el principio, es decir, «a la primera».

El concepto de calidad evoluciona hacia la Gestión de la Calidad Total como nueva filosofía. La calidad se considera como algo global presente en todos los departamentos de la empresa, liderada por la alta dirección y con la participación e involucración de todos los recursos humanos. Esta nueva filosofía engloba e integra técnicas que se venían practicando, como el Control Estadístico de Procesos, el Diseño Estadístico de Experimentos, con otras herramientas de más reciente incorporación como el Análisis Modal de Fallos y sus Efectos, o el moderno Despliegue Funcional de la Calidad. Estas y otras técnicas se emplean de forma integrada y complementaria en la planificación, optimización y control de la calidad de productos y servicios.

Los grandes «gurús» de la calidad

La evolución histórica de la gestión de la calidad ha estado jalonada de desarrollos de sistemas de gestión, herramientas y técnicas, impulsadas por grandes

Copyright Ediciones Deusto S.L.

personajes (gurús) que han sido por ello determinantes en el importante avance que todo ello ha supuesto. Destacaremos especialmente los que siguen:

***Walter A. Shewhart*:** Considerado como el padre del Control Estadístico de Procesos (SPC). Fue el primero en realizar estudios sistemáticos sobre la calidad desarrollando métodos estadísticos. Empezó a implantar en la Bell Telephone Company el Control Estadístico de Procesos en el año 1924. Consiguió reducir el porcentaje de defectos en la empresa. Describe su teoría en el libro *Economic Control of Quality of Manufactured Products.*

***W. Edwards Deming*:** Discípulo de Shewhart y consultor eminente, nace en 1900 en Wyoming (Estados Unidos). Profundo conocedor de la estadística. En 1950 la unión de ingenieros y científicos japoneses le invitan a preparar una serie de conferencias sobre el uso de la estadística en el control y mejora de la calidad. Deming les inculcó sus ideas, calando tan hondo que en su homenaje se estableció en Japón un premio en su honor, el *Deming Prize*, en el año 1951. Ignorado en su propio país, hasta que en 1980, durante un documental televisivo realizado por Lloyd Dobyns titulado *«Si Japón puede, ¿por qué no podemos nosotros?*, se hace referencia a las ideas del doctor Deming. Es conocido por sus 10 puntos para la competitividad de la empresa y por el ciclo Deming,[1] que establece una espiral de acciones para la mejora continua: planificación, realización, comprobación y actuación.

***Joseph M. Juran*:** Nacido en Rumanía en 1904, contemporáneo de Deming, se trasladó a vivir a Estados Unidos en 1912. En el año 1954 visita Japón como consultor, realizando, al igual que Deming, conferencias y seminarios. Conocido por desarrollar la trilogía de la calidad: planificación, control y mejora de la calidad. En 1945, Juran ya trata de inculcar en la Western Electric un nuevo enfoque de la calidad que persigue una mentalización de las personas, de todos los miembros, más allá de la simple inspección.

***Armand V. Feigenbaum*:** Trabajó en la General Electric de Nueva York, en donde desarrolla en los años cuarenta el concepto de la calidad total ampliando el concepto de «gestión» de la calidad a los ya existentes desde el punto de vista técnico y estadístico. Se puede considerar el precursor de la moderna Gestión de la Calidad Total. Publicó diversos artículos, así como diversos libros expresando sus ideas: 1951, *El Control de la Calidad Total* y en 1961, *Control de la calidad total: ingeniería y gestión*, en los que promulgaba la participación de todos los estamentos y departamentos de la empresa en busca de la calidad en todas las actividades y de esta forma alcanzar la máxima satisfacción de los clientes.

1. Véase «Ciclo de Deming» más adelante.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Kaoru Ishikawa: Experto y pionero en el control de calidad en Japón, es conocido por el desarrollo de los «círculos de calidad»[1] en el año 1960. Considera la calidad como la principal característica para obtener el éxito a largo plazo. Trabajo como profesor en la universidad de Tokio y fue miembro de la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses. Creador, en 1943, del diagrama que lleva su nombre –Diagrama de *Ishikawa*- también llamado de «espina de pez» o diagrama de causa-efecto,[2] considerado como una de las siete herramientas básicas de la calidad. Obtuvo el *Deming prize* por las teorías sobre control de calidad.

***Philip B. Crosby*:** En los años sesenta lanza el concepto de *cero defectos*, aplicándolo en la ITT, donde estuvo catorce años de director de calidad, logrando reducir gran cantidad de inspecciones. Propone un programa de 14 puntos para la gestión de la calidad. Preocupado por la prevención de la calidad, la mejora continua, y por los costes de la ausencia de calidad. En 1962, cuando era director de producción de la empresa Martin Company que fabricaba los misiles *Pershing*, comienza a ofrecer incentivos a los trabajadores si se reducían los defectos.

En 1980 introduce el programa de mejora de la calidad.

A continuación, y en página aparte, adjuntamos un esquema con las características más importantes relacionadas con el concepto de calidad y su gestión, de acuerdo con los principios del TQM y, por tanto, tal como se entiende en la actualidad.

Las diferentes metodologías de gestión y mejora, y las herramientas y técnicas desarrolladas a lo largo de la evolución histórica descrita se pueden observar igualmente en el esquema de bloques. La implantación de tales herramientas o técnicas se aplica en orden inverso al que se han desarrollado, por la razón de que cada nueva técnica se implanta en un momento del tiempo anterior a la precedente (por ejemplo, las técnicas para el diseño de productos se aplican antes que las que pretenden controlar el proceso, aunque estas se desarrollaron anteriormente).

La calidad y su gestión

La correcta gestión de todos los aspectos relacionados con la calidad supone la planificación, diseño y desarrollo de productos y procesos en el marco de una organización y gestión de los recursos humanos para la calidad, así como la adecuada implantación y control de calidad y su certificación final. Todo ello supondrá una gestión de la empresa, sus productos y procesos, basada en la calidad, y llevará a la misma a obtener el máximo de ventajas competitivas y la satisfacción total de los clientes mediante la identificación, aceptación y satisfac-

1. Véase «Círculos de Calidad» más adelante.
2. Véase «Diagrama de Causa-Efecto» más adelante.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

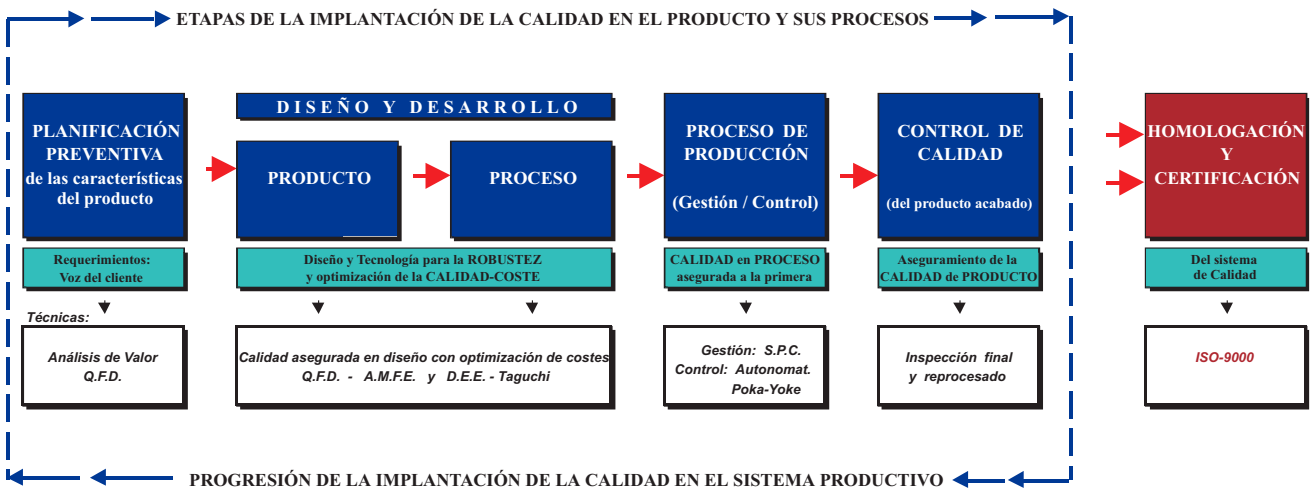
Calidad es la totalidad de funciones y características de un producto y su capacidad de satisfacción de las necesidades del usuario

El TQM en la actualidad va más allá :

Sistema de gestión de los PROCESOS desarrollados en TODAS y cada una de las ÁREAS o departamentos de una empresa que comprende y compromete a la estructura ORGANIZATIVA y a la DIRECCIÓN de la misma, con el objetivo de obtener una PRODUCCIÓN de bienes o servicios tales que:

- ***1) Se obtengan productos FUNCIONALMENTE CORRECTOS en características y utilización.***
- ***2) Su producción sea al MÍNIMO COSTE para lo que es necesario que se obtengan bien a la primera y con el mínimo control.***
- ***3) Satisfagan las necesidades y requerimientos de los USUARIOS, incluyendo la minimización de plazos de tiempo (lead time).***

LA OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DEL NIVEL DE CALIDAD, DE LOS COSTES Y DE LOS TIEMPOS DETERMINARÁ EL NIVEL DE *COMPETITIVIDAD*.



Copyright Ediciones Deusto S.L.

ción de todas sus expectativas y necesidades a través de los procesos, productos y servicios. Cuando se mencionan las expectativas de los clientes, no sólo se refiere a aquellas necesidades definidas de forma explícita por el cliente, sino a todas aquellas que potencialmente puedan satisfacerle.

Clientes podrán ser los receptores del producto o servicio que se esté entregando fruto de un proceso, por lo que igual puede ser el mercado, a que otro proceso productivo. Por ello diferenciaremos dos clases de clientes: clientes externos y clientes internos. El ***cliente externo*** corresponde a la acepción que normalmente se emplea de consumidor del bien o servicio, en el que se incluyen las personas, las empresas o el mercado en general y que tiene la característica de ser independiente a la empresa; es el destinatario del producto o servicio que producimos. Por otra parte, los ***clientes internos*** representan el área, departamento, sección, personal, etc. que emplean o consumen los productos obtenidos, pero con la característica particular de que pertenecen al conjunto de la empresa. De esta forma, dentro de la empresa todos se convierten en clientes y proveedores a la vez. Si para los clientes externos se busca la satisfacción plena de sus necesidades, para los clientes internos se persigue el mismo trato, de tal forma que todos los *inputs* que reciban o consuman deben cubrir todas las necesidades y cumplir con las especificaciones, satisfaciendo plenamente todas sus expectativas.

Como consecuencia del aumento de la calidad se produce un incremento de la productividad. La calidad y la productividad no están reñidas, en contra de lo que se pueda pensar. La idea es sencilla: la productividad y con ella la rentabilidad, aumenta porque disminuyen las reparaciones de aquellos productos que salen defectuosos o no cumplen las especificaciones que deben pasar a una fase que resuelva el problema, con el consiguiente coste en tiempo y dinero que conlleva.

La calidad reduce costes y aumenta los beneficios. Aunque la obtención de calidad represente por sí misma una inversión determinada, la disminución de los enormes costes de control, inspecciones, recuperaciones, pérdida de facturación, etc., que surgen por falta de calidad, son tan importantes que permiten rentabilizar la inversión realizada. Esta reducción de costes totales trae consigo un aumento de los beneficios que favorecerán las inversiones, la repartición de dividendos, etc. Pero con la calidad no sólo se obtienen beneficios económicos, también se consigue el aumento de prestigio de la empresa, la satisfacción de los clientes, la imagen de marca, etcétera.

Logrado este primer objetivo, se puede optar por dos opciones distintas, bien por seguir una estrategia basada en la disminución de los precios para captar mayor cuota de mercado, fruto del aumento de productividad y con ello la disminución de costes a nivel interno; o bien, aprovechando la satisfacción de los clientes con el aumento de calidad y prestigio de marca, optar por una estrategia de aumentar los precios. En ambos casos, el resultado conlleva el aumento de beneficios, como se puede apreciar en la figura 1.3.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

No obstante, no hay que caer en el error de seguir una estrategia basada exclusivamente en la reducción de costes. Es conveniente emplear una estrategia centrada en la obtención de calidad y como consecuencia de ello, los costes se reducirán. Es decir, la disminución de los costes será el resultado del aumento de calidad, que es el objetivo fundamental.

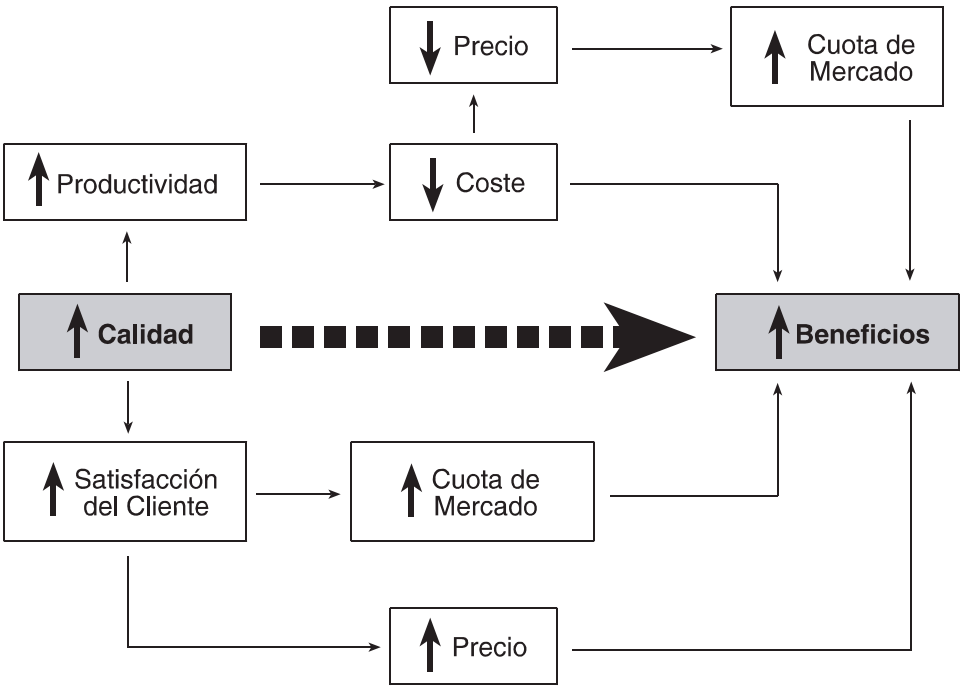


Figura 1.3.

El CWQC (*Company Wide Quality Control)*

En el Japón, país en el que los desarrollos en materia de calidad han ido tradicionalmente por delante del mundo occidental desde hace más de tres décadas (aunque en la actualidad los niveles tienden a igualarse), se ha desarrollado desde la década de los sesenta, la calidad «a todo lo ancho de la compañía» o CWQC (*Company Wide Quality Control)* como sistema de gestión en el que se compromete realmente a toda la empresa en la implantación de la calidad. Con el CWQC se desarrollan por igual nuevas herramientas de gestión y técnicas

Copyright Ediciones Deusto S.L.

para su implantación, pero es de destacar el papel preponderante de los recursos humanos, desde los conocidos *círculos de calidad* de Ishikawa en los años sesenta. El CWQC supone la integración de la calidad de la dirección, recursos humanos, operaciones, ambiente de trabajo, producto y servicio, en este orden. El cuadro que sigue recoge los siete aspectos que paulatinamente incorpora el CWQC, indicando con TQC (*Total Quality Control*), lo que para los japonenes ha sido durante muchos años el límite de la gestión de la calidad occidental: Calidad en el producto, calidad incorporada en el proceso y calidad en todo el sistema empresarial.

ETAPAS DE LA IMPLANTACIÓN DEL CWQC

ETAPA	*ORIENTACIÓN*	CARACTERÍSTICAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
1	PRODUCTO	Inspección - Comprobación DESPUÉS de la producción. Utilización del muestreo estadístico, curvas, características y sus tablas de niveles de aceptación de calidad (AQL).
2	PROCESO	Implantación de la calidad DURANTE el proceso. Utilización del control estadístico de procesos (SPC) para eliminar o reducir la variabilidad de la respuesta de cada proceso. Problemas: Necesaria formación y uso adecuado del SPC. Orientación: No debe ser tanto una herramienta para mantener el proceso dentro de unos límites, sino una potente herramienta para encontrar las causas de defectos.
3	SISTEMA	Implantación de la calidad a nivel de todos los departamentos fucionales de la empresa (Objetivo: TQC).
límite TQC		Importante: Política de la Dirección y reestructuración organizativa.
4	RR.HH.	Formación y capacitación. Adquirir entrenamiento y experiencia.
5	OPTIMIZACIÓN	Diseño de productos y procesos optimizado (Robustez) para asegurar alta calidad a bajo coste >> D.E.E. y TAGUCHI: Fases: – Plantean la mejora: Más calidad de producto a menor coste. – Diseño del sistema, de parámetros y de tolerancias. – Aplicación de los métodos de cálculo por matrices (DEE). – Obtención de producto funcional, robusto y competitivo (mejorable a su vez en sucesivos requisitos y diseños).
6	COSTE	*Función de pérdida de Taguchi:* Pérdida económica para la sociedad por la calidad del producto tanto si el producto es defectuoso como si no. Consecuencias para: *Empresa: Mejora contínua de calidad/coste de todos los productos.* *Entorno: Cumplir igual las especificaciones no supone igual pérdida.*
7	CONSUMIDOR	Objetivo principal y final de la gestión de la calidad en la actualidad. Voz del cliente >> Requisitos de diseño de producto y proceso: Herramienta: Q.F.D.: Requisitos se trasladarán a etapas anteriores: ➔ Mejora calidad de diseño, formación personal, proceso y producto.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

El CWQC añade, como puede verse, la calidad en la gestión de los recursos humanos, las herramientas de planificación y optimización (todavía hoy más ampliamente utilizadas en Japón), y la preocupación por el coste y el consumidor y sus requerimientos como punto de arranque de la calidad que realmente importa.

La calidad es un concepto dinámico y vivo, y depende de muchos factores como los gustos y motivaciones del consumidor, la competencia, etc. La calidad evoluciona y es necesario estar pendiente en todo momento, anticipándose a los diferentes cambios y reaccionando de forma rápida y flexible. La calidad no es un proceso que se acaba cuando se alcanza un determinado nivel, sino que requiere una mejora y superación continua, pensando a medio y largo plazo con el objeto de evolucionar constantemente.

Actualmente, las empresas persiguen una certificación que testifique que los sistemas de calidad que han implantado se ajustan a unas determinadas normas. La certificación debe entenderse no como una meta final, sino como un inicio o un buen punto de partida que permita mejorar día a día la calidad y conseguir la excelencia como objetivo o última meta de la empresa.

En la gestión orientada hacia la calidad es el propio cliente el que determina el grado de calidad que precisa. Escuchar, entender y asimilar la «voz del cliente» es el método más rápido y útil para satisfacer de forma plena sus necesidades. Pero una cosa es lo que el cliente desea (calidad requerida) y otra la que entiende que se la entrega (calidad percibida). Se puede establecer un enfoque de la calidad desde diferentes puntos de vista (figura 1.4.):

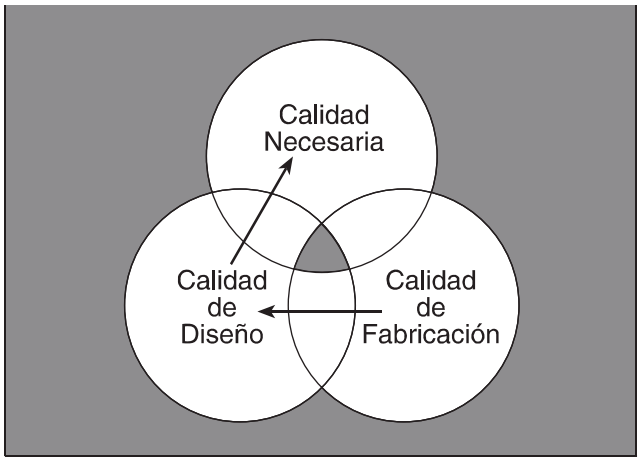


Figura 1.4.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- *Calidad necesaria o concertada*: Representa la calidad que desea el cliente para satisfacer sus necesidades y está relacionada con las diferentes características que aportan calidad al producto.
- *Calidad de diseño o programada*: Es la calidad que la empresa diseña, planifica y quiere llegar a producir para responder a las necesidades que el cliente calcula o prevé que quiere satisfacer. Es la calidad prevista.
- *Calidad realizada o de producción*: Tiene que ver con el grado de cumplimiento de las características de calidad de un producto o servicio y de las especificaciones de diseño. Es la calidad resultante del proceso de producción.

La gestión de la calidad tiene como objetivo básico conseguir plenamente la calidad necesaria expresada por los clientes. Para ello ha de procurar que los dos círculos que dependen de la empresa y que representan la calidad de producción y la calidad de diseño, coincidan al máximo hacia el que determina la calidad necesaria definida por el cliente, de tal manera que los tres círculos lleguen a ser concéntricos; en la figura 1.4., se puede observar la tendencia correcta que debe seguirse y cómo, de hecho, los tres círculos sólo acaban coincidiendo parcialmente.

Características determinantes de la calidad y su gestión

A continuación exponemos algunos aspectos relacionados con la gestión de la calidad, que deben establecerse como características del sistema de calidad, pautas de actuación u objetivos a alcanzar:

1. Establecimiento de la calidad y su nivel

Ante todo, el nivel de calidad y los requerimientos del producto o servicio los establece y define el cliente. El que decide si el producto o servicio es adecuado y verifica si el cumplimiento de las características satisface sus necesidades es el propio cliente. Por tanto, la empresa ha de captar su confianza ofreciéndole la calidad que desea. Se debe tratar de comprender y determinar los criterios y valoraciones que tiene el cliente, saber escucharle en todo momento y actuar en consecuencia.

2. Información, educación y motivación

No se puede exigir una implicación activa de todos los recursos humanos sin una adecuada información y educación sobre los conceptos de calidad, los objetivos que persigue la empresa, las mejoras que se obtienen y sobre todo, la forma práctica y efectiva de cómo aplicar las ideas de calidad. La información y educa-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ción llevan asociado otro concepto importante: la motivación. La información y la formación son la base, la motivación es la acción o actitud que involucra a las personas, fomentando la participación activa, la aportación de ideas y mejoras. De nada servirá aplicar las técnicas y procesos más avanzados para la mejora de la calidad sin una motivación importante de los recursos humanos.

La información también implica la comunicación a los clientes del nivel de calidad proporcionado, procurando conseguir una asociación de la empresa con el concepto de calidad, resaltando aquellos aspectos o características de los procesos, productos o servicios que diferencian a la empresa del resto de los competidores.

3. El liderazgo activo de la dirección

La aportación de la dirección es fundamental en la implantación efectiva de la calidad. La gestión de la calidad debe contar con todo el apoyo y liderazgo de la alta dirección y ésta, a su vez, debe implicarse practicando con el ejemplo en la consecución de los objetivos de la calidad de forma activa y constante. En el marco de este liderazgo es aconsejable un estilo de gestión participativa que promueva un consenso en la toma de decisiones, con la implicación de todos los participantes.

4. Ventaja competitiva

La calidad constituye un factor básico para obtener ventaja competitiva. La empresa debe adoptar una estrategia que persiga la calidad en todos sus productos, procesos y servicios, que la diferencie del resto de la competencia y le permita afrontar los nuevos retos desde una posición de privilegio. La consecución de esta ventaja es fundamental para el crecimiento de la empresa y es uno de los objetivos principales de cualquier empresa en la actualidad.

5. Implicación de todos los recursos humanos

Para aplicar una gestión estratégica basada en la calidad es necesario que toda la organización, comenzando desde la alta dirección y terminando por el último operario, esté involucrada y participe del proyecto común. Por este motivo, los recursos humanos representan un papel esencial en el desarrollo y obtención de los objetivos de calidad. Será imposible llevar a cabo tales objetivos de calidad marcados si no existe una clara motivación de todos los estamentos que forman la organización de la empresa, con entusiasmo y con la convicción plena de que

Copyright Ediciones Deusto S.L.

es la mejor forma para satisfacer plenamente a todos los clientes y alcanzar el grado de excelencia.

La idea de que la calidad sólo es tarea del departamento de calidad queda en desuso. La calidad es tarea de todos y su implicación va a depender de una correcta selección del personal que, mediante un proceso de formación adecuado, trabaje con criterios acordes con la «cultura de la calidad».

6. Los proveedores

El papel que desempeñan los proveedores resulta fundamental para que la aplicación de la calidad llegue a realizarse de forma efectiva. Los proveedores constituyen el primer eslabón de la cadena y sobre ellos habrá que actuar para obtener la calidad desde el origen. Debe existir un compromiso de calidad para que los objetivos sean comunes. La calidad de nuestros productos no depende exclusivamente de nuestra organización, sino que vendrá supeditada al nivel que presente la misma en los suministros de los proveedores. Es muy importante trabajar conjuntamente con ellos de forma que asuman la responsabilidad de proporcionar los niveles de calidad que tenga por objetivo nuestra empresa o nuestros clientes. Cada día es más frecuente que dichas empresas exijan a sus proveedores la certificación de sus sistemas de calidad de acuerdo a las normas ISO 9000, o normas equivalentes, como las UNE 66900 o las EN 29000.

7. Ética de la calidad

Existen una serie de preceptos o actitudes positivas que constituyen la ética de la calidad, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- Hacerlo bien desde el principio. Es el camino más rápido, efectivo y económico para lograr la calidad.
- Prevenir la aparición de los fallos. Se han de analizar las causas de los defectos antes de que lleguen a producirse, con lo cual disminuyen los costes y esfuerzos para tratar de solucionarlos.
- Apreciar y resaltar el aspecto positivo y educativo que aportan los defectos como forma de aprender y avanzar. Hay que evitar buscar culpables y dedicarse a buscar la forma de que no vuelvan a ocurrir tales defectos.
- Ante los errores repetitivos, resulta más efectiva una información adecuada y objetiva que una amonestación o crítica.
- La calidad persigue la satisfacción plena de los consumidores. Un exceso de calidad sobre el nivel requerido puede no ser apreciado y resultar costoso.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- La calidad debe implicar un clima de sensibilidad y preocupación en la empresa por el entorno social y medioambiental.

Los cuatro pilares de la Calidad total

La gestión de la calidad total (TQM), el enfoque de gestión eficiente de la calidad por excelencia, en la actualidad, está basado fundamentalmente en una adecuada organización y la correcta gestión de los recursos materiales y humanos que la integran, de forma que todos ellos estén absolutamente involucrados (de ahí la expresión «total» de las siglas del TQM).

En los epígrafes anteriores hemos estado analizando diversos aspectos de la organización y gestión para la calidad; destacaremos ahora los cuatro que constituyen la base de la gestión de la calidad total:

1. Ajustarse a los requerimientos del consumidor.
   De forma que toda la actividad de la organización implicada, esté orientada a satisfacer al destinatario del producto o servicio.
2. Eliminación total de los despilfarros.
   Que asegure realizar los procesos con el mínimo de actividades y consumo de recursos en general, con lo cual el coste y el tiempo de entrega también serán mínimos.
3. Mejora continua.
   Que permita que la organización, los procesos y el consumo de recursos mejoren contínuamente y la calidad obtenida aumente constantemente.
4. Participación total de todas las personas que integran la organización como único camino para que los tres pilares anteriores alcancen sus objetivos de forma óptima.
   La mayor o menor implantación de estos cuatro pilares se verá favorecida por una adecuada estructura organizativa; actualmente las estructuras planas enfocadas a los procesos, son las que permiten un resultado óptimo.

Costes Totales de Calidad	Porcentaje Aproximado
Costes de Prevención	Menor del 5 %
Costes de Evaluación	10 % a 50 %
Pérdidas Externas	20 % a 40 %
Pérdidas Internas	25 % a 40 %

Tabla 1.2.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Costes de la calidad y de la no-calidad

La implantación de la calidad supone unos costes que deben afrontarse, al tiempo que otros deberán evitarse. Es por ello que en relación a los costes globales o totales la de calidad hay que diferenciar claramente dos tipos: *costes de calidad* y *costes de no-calidad*. Los costes de calidad se pueden considerar como costes producidos por la obtención de la calidad. Los costes de no-calidad se consideran aquellos derivados de la falta o ausencia de calidad, de la no conformidad o no cumplimento de las necesidades de los clientes o, simplemente, de no alcanzar los niveles de calidad requeridos. Basándose en la clasificación de J.M. Juran, por una parte los costes de calidad se dividen en costes de evaluación y costes de prevención. Por otra, los costes de no-calidad se diferencian como costes internos y costes externos.

La estrategia más conveniente podría ser la que denominamos de prevención de la calidad, cuyos costes (tabla 1.2.) representan una parte muy pequeña del porcentaje de costes totales de calidad. De esta forma y como consecuencia se reducirán los «costes de no-calidad». El incremento de la calidad general también disminuirá los «costes de calidad» provocados por la evaluación o inspección, ya que se reduce el número de controles. Los costes debidos a la no-calidad y a la evaluación suelen representar el mayor porcentaje sobre los costes totales, como también se aprecia en la tabla 1.2. En definitiva, así se invierte proporcionalmente poco, pero en la dirección más efectiva, logrando reducir los costes en los aspectos más caros y poco eficientes, además si aumenta la calidad se lograrán mayores beneficios y cuota de mercado, reduciendo de forma global los costes totales de calidad.

En la situación actual de gran competencia, una mala imagen debido a la falta de calidad puede provocar la pérdida de clientes. Los clientes insatisfechos pueden incidir sobre otros clientes potenciales, extendiéndose la mala imagen de la empresa, con las graves consecuencias que ello pueda acarrear. Conseguir recuperar la imagen perdida puede llegar a ser muy complicado y costoso en tiempo y dinero. Por tal motivo es imprescindible mejorar, controlar y, sobre todo, prevenir la calidad evitando en lo posible que las no conformidades puedan llegar a los clientes. La prevención requiere una inversión relativamente pequeña, pero suficientemente rentable en términos de disminución de los «costes de no-calidad» y de los «costes de calidad» relacionados con la evaluación.

Los «costes de no-calidad» tienen el inconveniente de que son difíciles de evaluar. Existen una serie de costes evidentes de no-calidad que representan la punta de un iceberg de problemas que se identifican fácilmente, pero por debajo de ellos existen otros costes como consecuencia de los problemas de no-calidad, de difícil control, normalmente intangibles y por ello difíciles de reconocer, y que es necesario tenerlos en cuenta. Los costes intangibles son siempre complica-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

dos de evaluar, y obligan a la aplicación de nuevos criterios con el objeto de poder cuantificar de alguna forma su impacto para tenerlos en cuenta en el cálculo total. Conviene no modificar los criterios aplicados para que el resultado sea homogéneo y se puedan establecer comparaciones. Ejemplos típicos de costes intangibles son los provocados por la desmotivación de la plantilla, la subactividad, la pérdida de imagen, etc. Los costes tangibles, en cambio, se pueden evaluar bajo criterios contables y suponen un coste a desembolsar o una pérdida cuantificada.

La evolución de los costes globales de calidad puede apreciarse en la figura 1.5. en donde se observa que invirtiendo en obtención y prevención de calidad, los costes totales disminuirán con el tiempo. También se afronta en dicha figura cómo el esfuerzo o inversión en prevenir la calidad provoca un aumento de «los costes de calidad» a corto plazo que se corresponde con la disminución paulatina de «los costes de no-calidad». A largo plazo, la reducción de ambos tipos de coste es evidente.

El objeto de una gestión encaminada hacia la calidad es la obtención de beneficios en base a la misma y no ha de basarse en una estrategia de costes. Aun así, se puede controlar y cuantificar la evolución de los costes para obtener una serie de conclusiones. Por ejemplo, en la figura 1.6. se puede apreciar cómo existe una zona óptima en la que los costes globales son mínimos para un determinado nivel de calidad. No obstante, queremos insistir en que la actitud de las empresas se debe encaminar a la aportación del nivel de calidad requerido por los clientes como mejor sistema de obtención de beneficios y no el que propocione el mínimo coste. Sin embargo, también es cierto que como consecuencia del aumento de la calidad, los costes se reducirán de forma indirecta.

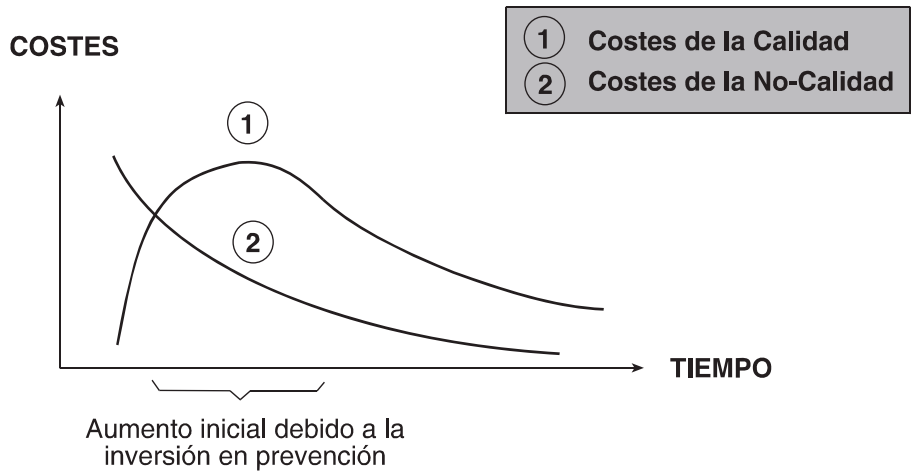


Figura 1.5.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

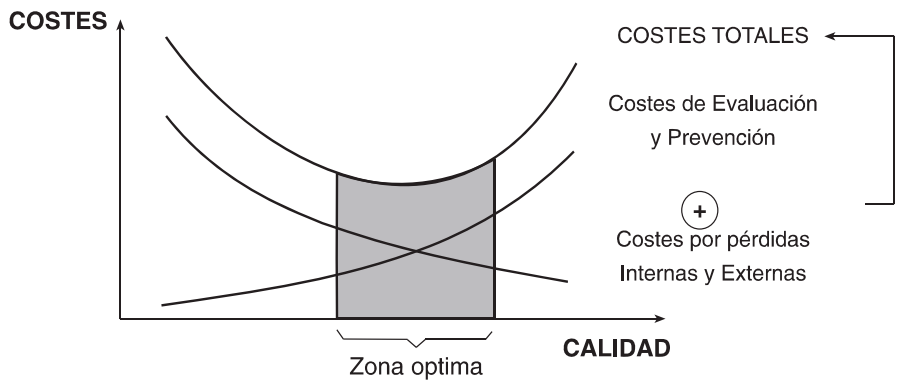


Figura 1.6.

Costes de la calidad

Los costes de la calidad son los derivados de la consecución del nivel de calidad asumido. Surgen como consecuencia de la implantación de la calidad. Se dividen fundamentalmente en costes de evaluación y en costes de prevención. Son por lo general costes previsibles y controlables, y dependen en gran medida del grado de inversión en calidad que la empresa está dispuesta a llevar a cabo.

Costes de prevención

Son aquellos que resultan de evitar o reducir errores y problemas de calidad en cualquier proceso, función o actividad de la empresa, mediante una planificación preventiva de la calidad. Invertir en la prevención de la calidad es rentable porque con poco esfuerzo se reducen notablemente los costes totales.

Abarcan una gran variedad de aspectos posibles. Algunos de los costes más significativos son:

- Costes derivados del departamento de calidad: formación y adiestramiento del personal en temas de calidad, equipamiento, consultores externos, etc.
- Mantenimiento preventivo: personal encargado, amortizaciones.
- Ingeniería y revisión de diseño del producto o servicio.
- Costes derivados de los medios de control y herramientas como útiles, calibres de medición, etcétera.
- Revisión, orientación y evaluación de proveedores, así como del proceso de aprovisionamiento y las instalaciones correspondientes.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Otros costes de tipo administrativo, de gestión, financieros, de estudios de mercado, de estudio de causas y fallos, de manuales de calidad, revisiones de los procesos de fabricación y comercialización, programas *cero defectos*, etcétera.

Costes de evaluación

En este apartado se incluyen los costes de medición, análisis, inspección y control de los servicios o productos ya elaborados, así como de los productos en recepción y en proceso de fabricación o semielaborados.

La evaluación o valoración, por sí misma no crea calidad, sino que se limita a una labor informativa sobre el nivel de calidad que se posee. Actúa como un filtro que permite el paso de los productos o servicios que cumplen con las tolerancias o especificaciones, pero no evita que aparezcan los problemas por falta de calidad, tan sólo evita que salgan productos defectuosos, por lo que la calidad que se deriva de la evaluación es costosa.

Algunos de los costes de evaluación que se pueden considerar son:

- Auditorías de calidad para medir la conformidad de todas las funciones bajo unos criterios y procedimientos establecidos.
- Costes de inspección en recepción, fabricación y producto final, de todo el personal relacionado con la evaluación, así como costes de formación, de equipos y herramientas para la inspección y control, etcétera.
- Homologaciones y certificaciones.
- Estudios y ensayos de fiabilidad y metrología, reajuste de equipos, prueba de prototipos, etcétera.

Costes de no-calidad

Son aquellos que se derivan de la ausencia de calidad y, por tanto, de los fallos y errores en el diseño, desarrollo y producción, y que puedan trascender o no hasta el cliente o consumidor. También se incluyen los costes por falta de un adecuado servicio al cliente: posventa, garantía, reparaciones, etc., que provocan una insatisfacción en las expectativas y necesidades que tiene el cliente. Como consecuencia de no alcanzar el nivel de calidad deseado, el cliente puede optar por productos o servicios de la competencia, arrastrando consigo a otros clientes potenciales.

Dentro de este grupo diferenciamos los costes internos y externos. Más que costes deberían considerarse como pérdidas por fallos.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Costes internos de calidad

Este tipo de costes es el que llega a detectarse antes de que el producto acceda al consumidor externo, es decir, aquellos que se producen, y de detectar dentro del sistema de producción. Representan un coste relativamente menor dentro de los costes de no-calidad al no trascender al exterior y no alcanzar a los clientes. En el caso contrario, es decir cuando los defectos trascienden a los clientes, el coste de los mismos adquiere unas dimensiones superiores. Por tanto, resulta esencial detectar los fallos y defectos a nivel interno.

Se pueden considerar como costes o pérdidas internas los siguientes aspectos:

- Acciones correctivas, tanto de mano de obra como de material y máquinas, de producto desechado o reprocesado, así como la pérdida de valor o depreciaciones de productos de peor calidad.
- Pérdidas de tiempo y subactividad por paro de la producción, retrasos sufridos debidos a reparaciones, accidentes, reajustes y correcciones de diseños y procesos, etcétera.
- Aceleraciones de la producción, fruto de los retrasos, mediante horas extras, transportes extras y de carácter urgente, etcétera.
- Variaciones en la planificación de producción.
- Recuperaciones del material defectuoso proporcionado por los proveedores.
- Reinspecciones y reensayos de los productos reprocesados.
- Otros como desmotivación de los operarios y personal diverso, costes financieros, absentismo, etcétera.
- Escaso aprovechamiento de los recursos: *stocks*, plantas de producción, personal, etc., debido a la subactividad, originándose un problema de sobredimensionado.

Costes externos de calidad

Constituyen el tipo de costes originados una vez que el producto o servicio trasciende al cliente o consumidor. Los fallos o defectos no detectados a tiempo, antes de que lleguen a los clientes, originan este tipo de costes, difíciles de evaluar y de una trascendencia realmente importante para las empresas.

Los fallos detectados fuera de la empresa representan como mínimo un coste de una magnitud equivalente al mismo fallo a nivel interno. A partir de aquí, el coste puede incrementarse de manera ostensible, dependiendo de la trascendencia que haya tenido en los clientes, originando quejas, reclamaciones, pleitos, pérdida de imagen, etcétera.

Algunos de los numerosos y más comunes costes o pérdidas externas que puede sufrir una compañía se enumeran a continuación:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Costes del servicio posventa, como asistencia técnica, transportes extras, comprobación y certificación de defectos, mano de obra y materiales.
- Pérdida de imagen de calidad como empresa, con el consiguiente peligro de pérdida de ventas, fidelidad de los clientes, etcétera.
- Reparaciones y sustituciones en garantía, tratamiento de reclamaciones y quejas, indemnizaciones, gastos de pleitos y abogados.
- Costes administrativos adicionales, como reelaboración de documentos, de facturas, de albaranes.
- Costes en recuperar la imagen perdida mediante campañas de marketing, publicidad, promociones, etcétera.
- Aumento de la morosidad por el impacto negativo y la falta de confianza de los clientes.

La gestión de los procesos orientados al cliente. Voz del cliente

La correcta gestión de la empresa orientada a la calidad, a la eficiencia, a la rapidez y a los bajos costes, supondrá *tomar como punto de partida de toda la actividad empresarial y sus procesos el cliente final de los productos y servicios de la empresa y sus requerimientos*, y disponer la organización adecuada para que toda esta actividad esté directamente encaminada a satisfacerlos rápida y eficientemente.

Ello supone operar con estructuras organizativas «planas» y orientadas a los procesos (organización denominada «horizontal»). En efecto, un organigrama con pocos escalones jerárquicos (plano) facilitará la conexión «horizontal», de acuerdo con la cual una persona o departamento no dependerá sólo de su superior jerárquico, sino que estará en conexión horizontal con las personas o departamentos que conectan las actividades de los procesos que conducen desde la recepción de la orden de compra y requerimientos del cliente, pasando por el diseño y desarrollo de productos y procesos, hasta la distribución y servicio al cliente, etapa final de todo el proceso.

Es evidente que todo ello se llevará a cabo con más rapidez y eficiencia con la conexión directa de todos los elementos que intervienen en el proceso, que en una estructura jerárquica esencialmente «vertical». En efecto, en esta, cada persona o departamento recibe su carga de trabajo de su superior jerárquico, muchas veces sin saber para qué sirve y sin conexión con otros elementos de la cadena de suministro al cliente.

La figura 1.7. recoge en forma de esquema las características, ventajas e inconvenientes de las organizaciones empresariales enfocadas a la jerarquía (verticales) y las enfocadas a los procesos (horizontales), y cómo de estas últimas se deriva una mayor eficiencia y se mejoran los distintos aspectos de la calidad implantada.

Por su parte, el destino final de todos los procesos de la empresa, el cliente y sus requerimientos (*voz del cliente*), es en realidad el punto de arranque de los en-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

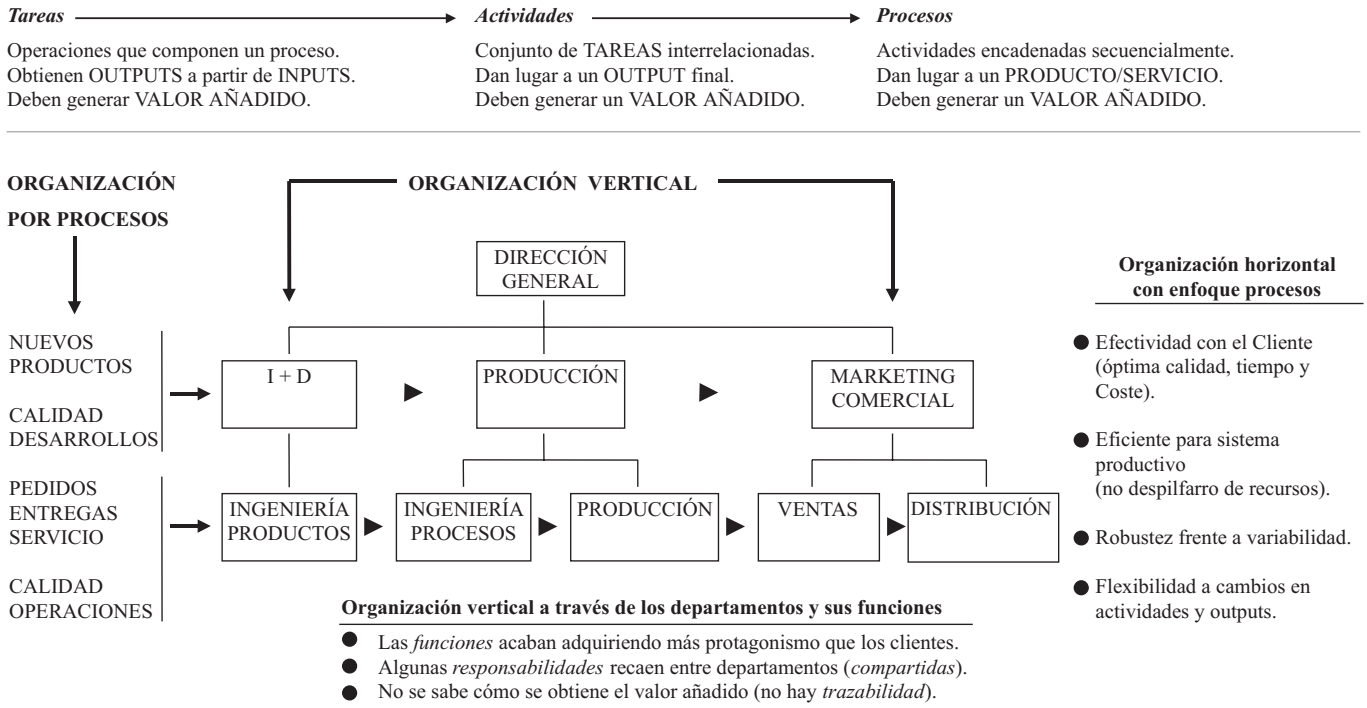


Figura 1.7. Estructuras organizativas y comparación entre el enfoque vertical (jerárquico) y horizontal (procesos)

Copyright Ediciones Deusto S.L.

foques de los procesos y sus mejoras, puesto que toda la actividad que se desarrolla en ellos debe estar realmente enfocada al cliente.

La calidad resultante de los procesos dirigidos al cliente, en todos los aspectos que emanan de sus requerimientos, debe ser evaluada en tres aspectos:

- Calidad *requerida por el mercado* potencial de la empresa y sus procesos.
- Calidad *requerida por los clientes* reales de la empresa y sus procesos.
- Calidad *percibida* por los clientes actuales de los productos de la empresa.

Esta última debería coincidir con la que la empresa cree que suministra al cliente, pero con frecuencia, la *percepción* que tiene el mismo de la calidad que se le suministra es diferente.

Como elementos de importancia a tener en cuenta para la evaluación de estas tres calidades, podremos considerar:

- Elementos a determinar para la evaluación de la calidad y ponderación que otorgan los clientes o mercado.
- Criterios para la evaluación y ponderación.
- Nivel de satisfacción que requiera el cliente o mercado.
- Nivel de satisfacción que otorga la empresa y su comparación con el de empresas competidoras.

Como consecuencia de ello conviene identificar las deficiencias que presenta el sistema empresarial en cuestión y determinar las áreas de actuación para mejorar la calidad percibida por el cliente.

De hecho, sin una investigación específica, el nivel de calidad percibido por nuestros clientes sólo llegamos a conocerlo en una proporción mínima (es como la punta de un iceberg). Será bueno recordar en este sentido que, en general y por término medio:

- Sólo **uno de cada 25** clientes insatisfechos efectúan una **reclamación.**
- Sólo **uno de cada 10** clientes insatisfechos **vuelve a adquirir** nuestros productos.
- Pero **cada cliente insatisfecho** comunica a **otros 10** su insatisfacción.
- Captar un **nuevo cliente cuesta cinco veces más** que mantener un cliente actual.

Una forma de llevar a cabo un estudio interesante de la calidad en sus diferentes aspectos y objetivos, es la de efectuar una tabla de «perfiles de calidad», en la que pueden compararse las calidades resultantes de distintos procesos de la empresa (más allá incluso de la producción) con la requerida por el mercado y con la de una empresa del sector (que puede ser la líder).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

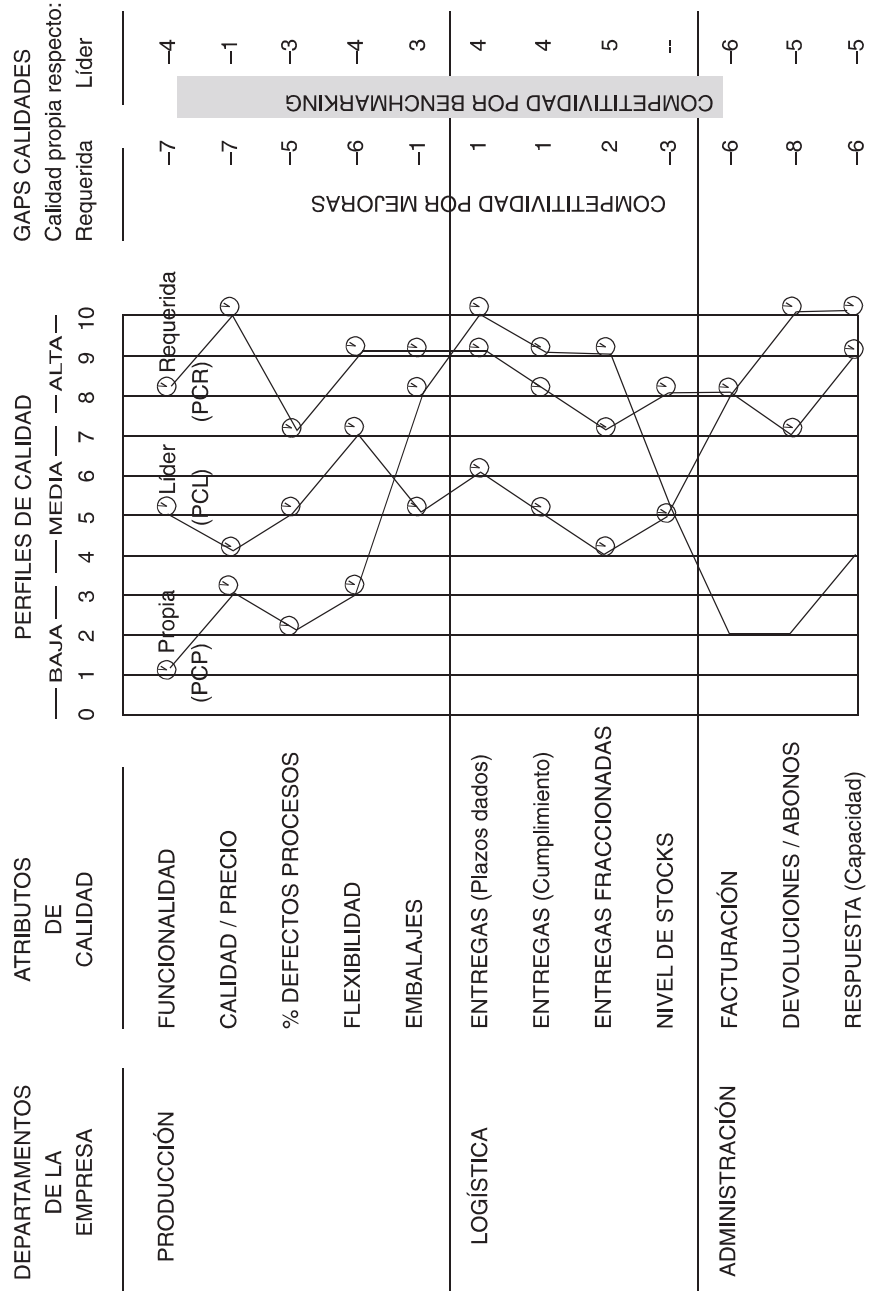


Figura 1.8.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La figura 1.8. de la página anterior, representa una evaluación de la calidad de los distintos procesos de una empresa respecto a diferentes requerimientos del mercado, vía perfiles de calidad. De la comparación de los distintos perfiles podemos obtener conclusiones respecto de aquellos aspectos en los que puede mejorarse y en qué medida hacerlo.

La calidad en los servicios

Las empresas que fabrican bienes de consumo también cuentan con un servicio al cliente (de entrega, de asistencia técnica, de reclamaciones etc.), que según acabamos de ver resulta de una importancia decisiva para la competitividad, dado que se trata de una atención directa al cliente, a su calidad percibida y a sus reclamaciones.

Además, existen muchas empresas cuya actividad entra de lleno y de forma exclusiva en el servicio al cliente. Son las *empresas de servicios*, que representan, actualmente y en la mayoría de los países desarrollados, un elevado porcentaje de los empleos globales que puede alcanzar fácilmente el 70-75% de los mismos, en detrimento de los empleos industriales (en el caso de los menos desarrollados, el mayor o menor peso de los sectores primarios, agricultura, ganadería, pesca, etc., hace que el porcentaje de empleos dedicados a servicios, no sea tan importante).

Así pues, entre las actividades de las empresas plenamente dedicadas a los servicios y los servicios que prestan las empresas con actividad industrial, el servicio al cliente está presente en una muy importante proporción de actividades empresariales; por otra parte y dado que en los servicios el centro de atención está directamente relacionado con el cliente, podemos comprender fácilmente que la calidad adquiere, si cabe, mayor importancia. Recordemos que siempre identificamos la calidad con la satisfacción del cliente. Para ello será necesaria la interacción armónica de tres factores:

- Responsabilidad de la *Dirección*.
- *Recursos humanos y materiales*.
- *Sistema de Calidad* estructurado.

Diferencias entre la producción de servicios y la de productos

Es evidente que deben existir características diferenciales entre la producción de servicios, la de productos; estas diferencias podemos resumirlas fundamentalmente en tres aspectos que hacen referencia al tipo de producto y su producción, cómo son consumidos y cómo son evaluados:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Intangibilidad de los servicios

Se puede afirmar que los servicios son prestaciones y experiencias en contraposición con los objetos. Esto comporta que sea más complicado establecer las especificaciones precisas para su elaboración. Es decir, que para definir los requisitos se requiere un proceso más laborioso.

Contrariamente a lo que sucede en los productos tangibles, como, por ejemplo, impresoras o disquetes, en el asesoramiento informático o servicios de comunicaciones el resultado no podrá ser previsto, medido y verificado para garantizar la calidad antes de la ejecución.

Heterogeneidad de los servicios

Aquellos servicios que requieren mucha colaboración humana hacen que su prestación varíe de un día a otro debido a la variabilidad de los factores intrínsecos humanos de los usuarios o clientes del servicio, y de los proveedores.

Inseparabilidad de la elaboración y el consumo

En los productos tangibles, primero se pasa por una fase de producción y posteriormente el cliente consume el producto. En el mundo de los servicios el producto se produce al mismo tiempo que el cliente lo consume. La calidad de los servicios se califica durante su prestación. Los usuarios no sólo evalúan el servicio por el resultado final sino también por el proceso de recepción del mismo.

El conjunto de estos tres factores hace que el usuario o cliente evalúe el servicio de una manera diferente a los productos, haciendo que para la empresa suministradora sea más difícil comprender los criterios de evaluación que utilizan los usuarios.

Por ejemplo, la forma en que una secretaria evalúa al departamento de microinformática cuando no puede recuperar un documento y pide ayuda es diferente a cómo evalúa la función del teclado de un PC, ya que entonces intervienen factores de relación humana.

Características de la calidad en los servicios

Según las normas ISO, varias son las razones para prestar una especial atención a la calidad del servicio, entre las que se cuentan:

- Mejorar la prestación del servicio y la satisfacción del cliente.
- Mejorar la productividad, la eficacia y reducir costes.
- Mejorar el mercado.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Ello supondrá realizar un esfuerzo especial para *gestionar los procesos* sociales del servicio, considerar las *interacciones humanas* como un elemento esencial de la calidad del servicio, *desarrollar las competencias y aptitudes* del personal y *motivar al personal* a la mejora de la calidad y a alcanzar las expectativas del cliente, sin olvidar lo ya comentado anteriormente acerca del reconocimiento de la importancia de la *percepción del cliente*, de la imagen de la cultura y de las prestaciones de la organización de servicios.

En cuanto a los **requisitos** (recordemos que calidad es cumplir con los requisitos), que son las características que han de cumplir los «outputs» de manera que el cliente quede satisfecho, también existen diferencias entre los productos y los servicios, puesto que *en los productos* estos requisitos se discuten con el cliente y se llega a definir cómo ha de ser el resultado o salida, mientras que *en los servicios*, para definir estos requisitos no siempre se puede hablar previamente con el cliente. Claro que siempre habrán unos requisitos que el cliente espera y no nos comunica. Este conjunto de requisitos del servicio son las expectativas del cliente, y para cumplirlas se ha de igualar o superar aquello que el cliente espera del servicio.

Podemos concluir, pues, que la calidad del servicio estará muy orientada a «*igualar o sobrepasar las expectativas que tiene el cliente respecto al servicio*».

Así, por ejemplo, si al reparar un teclado que no funciona el servicio técnico de una empresa informática además de arreglarlo explica al cliente por qué se ha estropeado y qué ha de hacer para que no vuelva a pasar, seguramente está cumpliendo y superando las expectativas del cliente, que eran que le reparasen el teclado. Se habrán cumplido todos los requisitos y, por tanto, el cliente podrá decir que aquel servicio era de calidad.

Por eso, el incumplimiento en los servicios podrá equipararse con la amplitud de la diferencia que exista entre las expectativas del cliente y lo que reciba realmente.

Para comprender estos nuevos requisitos será interesante analizar cuáles son los factores que influyen en las expectativas de los clientes.

Comunicación cliente-cliente

Constituye uno de los factores potenciales en la determinación de las expectativas. Es la información que transmite un cliente antiguo a un cliente potencial al comunicarle sus experiencias sobre un determinado servicio.

En función del grado de satisfacción del cliente se pueden generar nuevos clientes o perder muchos otros.

Necesidades personales

Lo que desea el cliente para satisfacer sus necesidades, también condiciona las expectativas. Los deseos varían de un cliente a otro, ya que uno puede valorar más que el servicio sea comprensible y otro que le ofrezca gran cantidad de posibilidades.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Experiencias anteriores

Las experiencias anteriores en un mismo servicio provocan que se modifiquen las expectativas. Si se contrata de nuevo un servicio las expectativas serán más altas, por ejemplo, en el trato, amabilidad y cortesía, que si no se conoce el servicio y lo que interesa son los buenos resultados.

Comunicación externa

Es la comunicación que ofrecen las empresas a los clientes. Puede ser recibida mediante mensajes directos o indirectos. La publicidad sobre el servicio en un medio de comunicación sería un mensaje directo. La apariencia de las oficinas o el formalismo en la manera de contratar el servicio serían mensajes indirectos.

El precio del servicio es una característica que complementa cada uno de los otros factores. El cliente valorará este precio en función de la tarifa y las expectativas que se le ofrecen.

Criterios generales de evaluación de los servicios

Los servicios tienen sus propios criterios de evaluación y en ello, como en ningún otro caso, cuentan los requisitos o expectativas que utiliza el cliente para juzgar el servicio. Vamos a resumir estos en los diez que siguen:

1. *Elementos tangibles:* Apariencia de las instalaciones físicas, oficinas, equipos, personal y materiales de comunicación.
2. *Fiabilidad:* Habilidad del proveedor para realizar el servicio prometido de forma fiable y adecuada.
3. *Capacidad de repuesta:* Disposición de ayudar a los clientes y proveerlos de un servicio rápido.
4. *Profesionalidad:* Posesión de las capacidades requeridas y conocimiento de la realización del servicio.
5. *Cortesía:* Atención, consideración, respeto y amabilidad del personal que trata el cliente.
6. *Credibilidad:* Veracidad, creencia y honestidad en el servicio que se provee.
7. *Seguridad:* Inexistencia de peligros, riesgos o dudas.
8. *Accesibilidad:* Capacidad de un servicio de ser accesible y facilidad para establecer contacto.
9. *Comunicación:* Mantener a los clientes informados utilizando un lenguaje que puedan entender, así como saber escucharlos.
10. *Comprensión del cliente:* Esfuerzos realizados para conocer al cliente y sus necesidades.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Deficiencias en los servicios y sus causas

Los incumplimientos con el cliente son el elemento distorsionador más importante en la prestación de servicios. En estos se considera un incumplimiento cuando el cliente no resulta satisfecho; es decir, siempre que no se cumplan sus expectativas. Las causas que llevan al incumplimiento se denominan deficiencias.

La deficiencia general es la diferencia entre lo que el cliente espera y lo que recibe y se puede distribuir en cuatro clases de deficiencias internas. Estas deficiencias corresponden a las percepciones que tienen los directivos sobre la calidad de los servicios y las tareas asociadas por la prestación de los mismos:

Discrepancia entre las expectativas de los usuarios y las percepciones de los directivos

La deficiente comprensión de los directivos respecto a las expectativas y preocupaciones auténticas de los usuarios, provoca un servicio que no satisface plenamente las expectativas del cliente.

Un paso imprescindible para la mejora de la calidad de los servicios consiste en que la dirección de la empresa se informe suficientemente sobre las expectativas de los clientes para disminuir las deficiencias ocasionadas por esta discrepancia.

Discrepancia entre las percepciones de los directivos y los requisitos definidos

La correcta percepción de las expectativas de los clientes por parte de los directivos es necesaria, pero insuficiente para conseguir calidad en los servicios.

Es necesario que la dirección establezca claros requisitos que reflejen sus percepciones sobre las expectativas de los usuarios.

Esto permitirá que los procedimientos utilizados por los empleados en sus procesos, también cumplan con las expectativas de los clientes.

Algunos factores que causan esta discrepancia son:

- El compromiso insuficiente que asume la dirección con el sistema de Calidad.
- La percepción de inviabilidad respecto a poder cumplir con las expectativas del cliente.
- Errores en establecer los requisitos, haciendo que sean poco claros.
- Ausencia de objetivos que permitan la mejora continua.

Discrepancia entre los requisitos definidos y la prestación del servicio

A pesar de que los requisitos y los procedimientos de actuación sean claros, no siempre se cumplen con exactitud y ello provoca que el servicio entregado no sea el que se había definido.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La mayoría de incumplimientos con los requisitos son causados por:

- Formación insuficiente del personal que trata con el cliente. La formación es tan necesaria en el proceso a desarrollar como el trato con el cliente.
- Falta de recursos para llevar a buen término los procesos según los requerimientos. Afecta tanto a los de recursos técnicos como de personal.
- Falta de interés del personal.

Discrepancia entre la prestación del servicio y la comunicación externa

La promesa que hacen algunas empresas de servicios en la publicidad de los medios de comunicación, en los mensajes que transmiten en la red de ventas y en otras comunicaciones externas, incrementan las expectativas del cliente. Esto resulta positivo si se cumplen estas expectativas, pero puede resultar doblemente negativo si no se cumplen, ya que un cliente defraudado es un cliente perdido, a la vez que una publicidad negativa.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

2

La gestión de la calidad y su mejora. Herramientas

La evolución más avanzada de los conceptos relacionados con la calidad nos conducen inexorablemente a la denominada ***Gestión de la Calidad Total*** tal y como se entiende en la actualidad y que se corresponde con el concepto ampliamente implantado del ***TQM*** o ***Total Quality Control***. Este concepto de calidad total se puede considerar como una última evolución del mismo, que persigue la satisfacción plena de todos los entes relacionados con la organización y la mejora continua de todas las actividades para obtener la excelencia de la empresa.

Kaoru Ishikawa, uno de los más importantes maestros, definía el objetivo de la calidad total de la forma siguiente: «*Mediante la calidad total y con la participación de todos los empleados, incluido el presidente, cualquier compañía puede crear mejores productos o servicios a menor coste, aumentar las ventas, mejorar beneficios, convirtiéndose así en una organización mejor*.»

La idea que aglutina la filosofía básica de la calidad total es «hacer las cosas bien a la primera», es decir, hacer lo que se debería, de forma que el resultado sea satisfactorio sin necesidad de repetirlo. Esta filosofía proporciona una serie de beneficios importantes, como el ahorro de tiempo y dinero. Es preferible invertir más en hacer las cosas bien que tener que repetirlas, con el coste añadido que ello conlleva.

Dentro de toda la empresa, cada uno de los entes que la configuran, es decir, personas, procesos, proveedores, departamentos, etc., se consideran a la vez como clientes y proveedores. La calidad total persigue la satisfacción total de todos los clientes, tanto internos como externos. La generación de la calidad se produce por la acción de todos los diferentes elementos que intervienen en los procesos, de tal forma que cada actividad desarrollada tiene uno o varios clientes a nivel interno a los que hay que satisfacer de forma plena.

La calidad total es una estrategia de carácter global que implica a todos los departamentos, procesos y personas que forman la organización, y cuya aplicación

Copyright Ediciones Deusto S.L.

es tarea de la dirección. Algunos de los aspectos que caracterizan a la calidad total son:

- Orientación clara a la satisfacción de los clientes.
- Trabajo en grupo.
- Formación y educación sobre la calidad.
- Énfasis en la prevención de los defectos y problemas mediante el análisis de las causas. Enfoque «proactivo» frente al «reactivo».
- Gestión basada en la mejora continua de la calidad.
- Participación e implicación de todos los estamentos de la empresa mediante un esfuerzo integrado.
- Aplicación de sistemas de calidad que persiguen su aseguramiento mediante una adecuada planificación, optimización y control.
- Liderazgo activo y ejemplar de la dirección.

Los productos y servicios que persiguen la calidad total no sólo basan ésta en la ausencia de fallos y defectos y el cumplimiento de las especificaciones, sino que buscan satisfacer las necesidades tanto explícitas como implícitas. La calidad total no sólo considera la calidad de productos y servicios, sino que se trata de un concepto más amplio y global que implica a las personas, la organización, los procesos, los proveedores, etc. Por tanto, ya no será competencia exclusiva del departamento de calidad, sino que deberá ser asumida y promovida por todos los diferentes departamentos y, sobre todo, liderada de forma activa por la dirección, como ya se ha comentado.

Los efectos de la aplicación de la calidad total no serán inmediatos. La mejora continua es algo que evoluciona de forma lenta, pero constante, y los efectos y resultados tardan en aparecer. Se puede afirmar que es una carrera de fondo que a la largo plazo produce beneficios lo suficientemente importantes como para que merezca la pena el esfuerzo. Algunos de los beneficios que conlleva se enumeran a continuación:

- Mayor productividad, menor coste y mayores beneficios económicos.
- La satisfacción total de los clientes, logrando su fidelidad.
- Mayor cuota de mercado.
- Incremento general de la calidad de productos, servicios, procesos y en general de toda la organización.
- Aumento de la imagen externa de calidad y seriedad de la empresa, y mayor prestigio social.
- Incremento de la motivación de los recursos humanos.
- Aumento de la ventaja competitiva.
- Preocupación y eficacia en el cuidado del medio ambiente, eliminando los efectos nocivos.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La Gestión de la Calidad Total: planificación, implantación y control

La Gestión de la Calidad Total, CGT o TQM, como ya hemos indicado que se la conoce, comporta una forma de gestión de toda la organización y sus procesos, a largo plazo y basada fundamentalmente en la calidad. Precisa de la participación de toda la mencionada organización y persigue la satisfacción total de los clientes, de la propia empresa y de la sociedad. El concepto de «gestión» incluirá diferentes aspectos como el aseguramiento, control, prevención, mejora, planificación y optimización de la calidad, etc. Soin Singh define la Gestión de la Calidad Total como: «*Un esfuerzo de mejora continua de la calidad de todos los procesos, productos y servicios, mediante la participación universal, que resulte en un crecimiento de la satisfacción y la lealtad del cliente y una mejora de los resultados de la empresa*.»

El TQM no constituye un método alternativo de dirección, una actividad adicional o un simple control de calidad, sino una forma de gestionar orientada a obtener la calidad total de todos los recursos organizativos, técnicos y sobre todo, humanos, y que engloba una serie de ideas como la gestión participativa, satisfacción de los clientes, motivación y formación, mejora continua, etcétera.

Los recursos humanos adquieren una importancia vital en la GCT. Las ideas y las técnicas complementarias sirven de poco sin la implicación activa de las personas. Esta implicación debe comenzar con la información, educación y formación y, por último, motivación de las personas para que participen y se impliquen en el desarrollo y en la realización de las diferentes ideas y técnicas que engloba la GCT. El hecho de hacer a todos los miembros partícipes y corresponsables de los planes y objetivos sobre la calidad se traduce en una serie de aspectos positivos en los recursos humanos:

- Crecimiento a nivel personal.
- Reconocimiento por el trabajo realizado y las metas alcanzadas.
- Satisfacción por el trabajo bien hecho.

A continuación se describen algunos de los diversos aspectos que son tratados por la Gestión de la Calidad Total:

- La mejora continua de toda la organización: personas, procesos, productos y servicios, etc. Es un concepto esencial y la idea que persigue es la mejora progresiva y constante que sirva de complemento a otros avances importantes fruto de la inversión en innovación tecnológica.
- Los clientes y no sólo los clientes externos, independientes de la empresa, sino también los clientes internos que forman la compañía. La empresa debe escuchar a todos los clientes y comprender sus necesidades y expectativas actuales y potenciales.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- La importancia en sí de los procesos es vital para lograr resultados predecibles y con la misma variabilidad. La mejora de los procesos a través de la gestión y control es una forma de asegurar la calidad.
- La formación y educación, no sólo de las personas; toda la organización debe aprender y evolucionar para obtener efectividad y resultados óptimos en la resolución de problemas y en la mejora de los procesos.
- La toma de decisiones ha de estar basada en hechos y no en intuiciones.
- El empleo de normas comprobadas y constatadas para evitar la aparición de problemas.
- El impacto social: la GCT persigue la satisfacción de la sociedad en aspectos como la protección del medio ambiente y los recursos naturales.
- La integración de los proveedores implicándoles en los planes y objetivos de calidad.

En la tabla I., se expone una relación comparativa de aspectos diferenciales entre el enfoque actual de la GCT y el del control de calidad clásico.

Implantación de la calidad

La calidad y más aún la GCT, puede resultar un modelo de gestión de difícil implantación, por cuanto supone de cambio de mentalidad y enfoque de gestión, lo que a su vez implica vencer una serie de resistencias y problemas que pueden plantearse. Las propias compañías tienen sus reservas a la hora de aplicar la GCT como modelo de gestión porque implica la aceptación de nuevas ideas, actitudes, enfoques y herramientas, sobre todo en los casos en que la compañía funciona bien con el modelo de gestión que aplica. También resulta complicado el cambio de actitud de las personas, que deben asimilar conceptos nuevos y cambiar de mentalidad. La organización debe entender que la cultura de la GCT tiene unas ventajas suficientemente importantes como para rentabilizar el esfuerzo realizado, culminando en la consecución de una ventaja competitiva y de la excelencia como empresa.

Hay dos premisas fundamentales para lograr que la implantación de la GCT tenga éxito: contar, por un lado, con el compromiso activo de la dirección, y por otro, con la gestión adecuada de los recursos humanos, mediante educación y motivación. Si no se dan estas dos premisas básicas, difícilmente lograremos nuestros objetivos. El liderazgo de la dirección implicará una adecuada gestión de los recursos, el establecimiento de políticas y estrategias orientadas hacia la calidad total y la disposición de los suficientes medios financieros, tecnológicos y humanos para tales fines. La implicación de la dirección servirá como estímulo y motivación para el resto de la organización. Otro aspecto que debe de tenerse en cuenta es contar con los mecanismos o medios necesarios para obtener informa-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL (TQM)

Cuadro comparativo de los aspectos relevantes de la calidad como INSPECCIÓN y como GESTIÓN TOTAL

ASPECTOS	CONTROL DE CALIDAD	GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL
Definición	Orientación al producto	Orientación al cliente
Prioridades	El coste y los resultados	En la calidad del proceso
Decisiones	Énfasis a corto plazo	Equilibrio entre corto y largo plazo
Objetivo	Detección de errores	Prevención de errores
Costes	La calidad aumenta el coste	La calidad reduce costes y aumenta productividad
Errores debidos a:	Causas especiales producidas por trabajadores	Causas comunes, originadas por la dirección
Resposabilidad de la calidad	Inspección y departamento de control de calidad	Implica a todos los miembros de la organización
Cultura organización	Metas de cantidad, los trabajadores pueden ser incentivados por sus errores	Mejora continua y trabajo en equipo
Estructura organizativa y flujo de información	Burocrática, rígida, flujo restringido	Enfoque horizontal, información en tiempo real, flexible
Toma de decisiones	Enfoque arriba-abajo	Enfoque de equipo
Mantenimiento	Solo corresponde al dpto. mantenimiento	El operario de producción practica automantenimiento. Mantenimiento total
Logística	Stock elevado	Tendencia a cero stock. Justo a tiempo. KANBAN. Cambio rápido de útiles.
Organización calidad industrial	Detección. Atención sólo en inspección. Sólo corresponde al dpto. de Calidad	Prevención. Aseguramiento de la calidad. Autocontrol
Normalización	Normas de especificación. Parámetros físicos	Normas de gestión de calidad.
Organización del trabajo	Taylorismo	Dirección participativa

Tabla I.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ción minuciosa, fiable y actual sobre cualquier actividad o problemática interna de los procesos, productos, departamentos, etc., así como de las actividades externas, a partir de estudios de mercado, la «voz del cliente», la coyuntura económica, etc.

Dentro del marco de la implantación de la GCT existe una serie de técnicas y herramientas que permitirán de forma complementaria la planificación y optimización de la calidad de productos, procesos y servicios, con el objeto de reducir en la medida de lo posible los controles e inspecciones para detectar fallos y desviaciones. Algunas de las técnicas más importantes que se utilizan dentro de la cultura de la calidad y que veremos con mayor profundidad en capítulos posteriores, son:

a) *Planificación:*

QFD[1] o *Despliegue Funcional de la Calidad:* Permitirá de forma estructurada planificar el diseño del producto o servicio, captando las necesidades de los clientes y trasladándolas a lo largo de los procesos de diseño, desarrollo, fabricación y producción.

b) *Diseño optimizado:*

1. Previsión de resultados en forma de fallos potenciales:

AMFE o *Análisis Modal de Fallos y sus Efectos*: Estudia las posibles causas, los modos de fallos y sus efectos potenciales, que, analizados a la luz de la experiencia y otras fuentes de información, permitirán predecir y prevenir dichos fallos y defectos, así como problemas existentes en el diseño, en la producción y en los medios de producción de productos y servicios.

2. *Optimización de las características funcionales del producto:*

DEE o *Diseño Estadístico de Experimentos*: Realiza una evaluación objetiva de los parámetros o factores que intervienen o **determinan** la calidad de los procesos, productos o servicios, estableciendo el grado de importancia de cada uno de ellos y actuando en consecuencia. Genichi Taguchi ha desarrollado una variante basada en la reducción de los efectos causados por la variabilidad y, de esta manera, lograr la robustez de procesos, productos y servicios.

c) *Control:*

SPC[2] o *Control Estadístico del Proceso:* El control de calidad de los procesos y los productos se puede llevar a cabo por medio de técnicas estadísticas para controlar su evolución eliminando o reduciendo en lo posible las causas que originan la variabilidad de las características de calidad, con el fin de obtener procesos en «estado de control».

1. Normalmente se emplean las siglas en inglés, procedentes de Quality Function Deployment.

2. De igual manera ocurre con las siglas de Statistical Process Control.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La obtención de un elevado nivel de calidad gracias a la implantación de la GCT permitirá a la empresa la futura aplicación de sistemas de gestión de la producción JIT[1] que integran el binomio cliente-proveedor en términos de cumplimiento de las especificaciones de calidad, plazos establecidos y cantidad de producto o análogas condiciones a nivel de servicio. El entorno JIT «justo a tiempo», permite una producción flexible que se adapta de forma rápida a los cambios en los gustos y modos, al entorno socio-económico o a las oportunidades de mejora, y reduce despilfarros por *stocks*, esperas, exceso de producción, rechazos, etcétera.

Mejoras resultantes de la implantación del TQM

La empresa, los procesos que se desarrollan en la misma y los productos que son objeto de su producción, obtienen importantes mejoras en eficiencia y resultados que los hacen más competitivos. Tales mejoras se despliegan en un amplio abanico de resultados, de entre los que destacaremos:

- *Incremento general del nivel de calidad:* Se consigue asegurar la calidad en el origen. La mejora continua, el control de los procesos y la prevención de fallos y defectos permite el aumento de los niveles de calidad de los productos y servicios y la disminución de los porcentajes defectuosos en los controles de producto acabado. La consecuencia de todo ello será el aumento de la fiabilidad y la satisfacción total de los clientes, y por otra parte disminuirán las quejas, reclamaciones, indemnizaciones, etcétera.
- *Disminución de costes:* La reducción de costes se produce a medio y largo plazo por el aumento generalizado de la calidad. La idea de «hacer las cosas bien a la primera» contribuye de manera importante en este sentido. La reducción de costes afecta a los «costes de no-calidad» (los costes internos y los costes externos) y a los «costes de calidad» debidos a la evaluación. Los únicos costes que aumentan, pero de forma rentable, son los «costes de calidad» empleados en la prevención de fallos y defectos. El aumento es muy pequeño proporcionalmente, considerando la reducción drástica del resto de costes que se obtiene.
- *Mejora de la productividad:* Con la disminución de gastos, el coste unitario disminuye. Se ahorra tiempo y dinero al reducir el trabajo malgastado en recuperaciones, reprocesado de productos, reinspecciones, etc. La prevención de los fallos y defectos potenciales hace disminuir la resolución de problemas, ahorrando trabajo y costes en este sentido.

1. Siglas en inglés de *Just in Time*.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- *Las relaciones a nivel humano mejoran:* Se favorece la comunicación interdepartamental y el entendimiento. La motivación de los recursos humanos crece por las responsabilidades otorgadas, la implicación activa de la dirección, el aumento de productividad y calidad, la mejora continua de la organización, etc. El trabajo, el esfuerzo y las ideas aportadas se traducen en el desarrollo de la autoestima personal, del respeto mutuo y de la implicación de las personas.
- *La organización se vuelve más efectiva y ágil:* La mejora de la comunicación y la implicación de todos los estamentos en el mismo objetivo influye de manera determinante. Se logran desarrollar de forma más rápida productos y servicios y se mejoran los procesos, con lo que, en definitiva, aumenta la eficacia de la organización.

La mejora continua (*Kaizen*)

La mejora continua es uno de los pilares fundamentales sobre los que se asienta la calidad total. Procede del termino japonés *kaizen,* que quiere decir «hacer pequeñas cosas mejor» y que se dio a conocer con la difusión del libro *The Key to Japan's Competitive Success,* cuyo autor es Masaaki Imai.

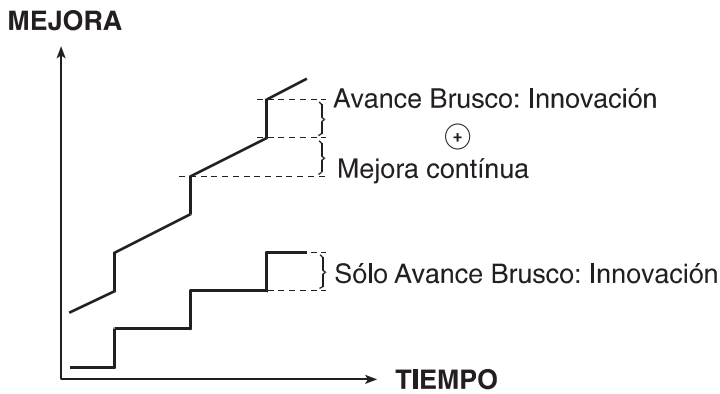


Figura 2.1.

La mejora genérica (figura 2.1.) presenta dos niveles posibles de avance: avance brusco y avance continuo. El avance por mejora brusca será consecuencia de la innovación a nivel de tecnología, de la inversiones en I+D, en equipos, etc., y constituye un avance muy grande en poco tiempo. El avance por mejora continua constituye la mejora lenta, pero constante, del entorno que nos rodea, del ambiente, del puesto de trabajo, y logro de pequeñas mejoras en procesos, departa-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

mentos, personas, etc. Es una evolución que no aporta grandes cambios, pero que resuelve constantemente pequeños problemas, marcando y consiguiendo hitos cada vez más altos. Esta idea es la que persiguen los «círculos de calidad»,[1] en busca de la resolución de los problemas del entorno de trabajo por los propios operarios.

La mejora continua se puede plantear y gestionar a través del *ciclo de Deming* o su versión mejorada, el ciclo *PDCA,* que será objeto de nuestra atención seguidamente. Para llevarlo a cabo se pueden utilizar una serie de herramientas de la calidad que usualmente se emplean para la identificación y resolución de problemas, así como el análisis de las causas y la aportación de soluciones para lograr la mejora continua; estas herramientas también serán objeto de nuestra atención seguidamente, aunque a continuación enumeramos las que más directamente pueden ser de utilidad en la mejora continua:

- Las denominadas siete herramientas básicas: diagrama de causa-efecto o de *Ishikawa*, gráfico de control, histograma, diagrama de *Pareto*, diagrama de dispersión o correlación, hoja de recogida de datos y la estratificación de los datos.
- Diseño Estadístico de Experimentos (DEE).
- *Brainstorming* o «tormenta de ideas».
- Las siete nuevas herramientas de gestión: diagrama de afinidades, diagrama matricial, diagrama de conexiones o relaciones, diagrama de árbol, diagrama de proceso de decisión o PDPC,[2] diagrama de análisis de matriz-datos y diagrama de flujo.
- Control Estadístico de Procesos (SPC: *Statistical Process Control*).

El ciclo Deming y el ciclo PDCA

El ciclo *Deming* o ciclo de mejora (figura 2.2.) actúa como guía para llevar a cabo la mejora continua y lograr de una forma sistemática y estructurada la resolución de problemas. Está constituido básicamente por cuatro actividades: planificar, realizar, comprobar y actuar, que forman un ciclo que se repite de forma continua. También se le conoce como ciclo PDCA, siglas en inglés de *Plan*, *Do*, *Check*, *Act*. Dentro de cada fase básica pueden diferenciarse distintas subactividades:

1. **Planificar (*Plan*):** En esta primera fase cabe preguntarse cuáles son los objetivos que se quieren alcanzar y la elección de los métodos adecuados para lograrlos. Conocer previamente la situación de la empresa mediante la recopilación de todos los datos e información necesaria será fundamental

1. Véase tema «Círculos de Calidad».
2. Siglas en inglés de *Process Decission Program Chart.*

Copyright Ediciones Deusto S.L.

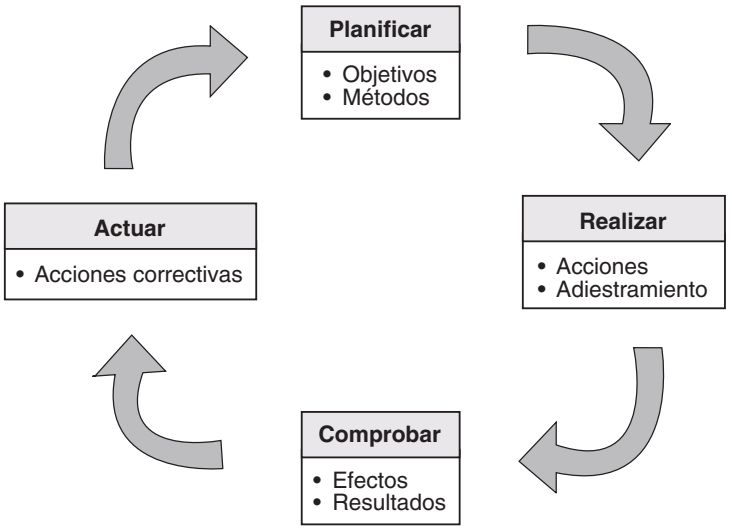


Figura 2.2.

para establecer los objetivos. La planificación debe incluir el estudio de causas y los correspondientes efectos para prevenir los fallos potenciales y los problemas de la situación sometida a estudio, aportando soluciones y medidas correctivas.

2. **Realizar (*Do*):** Consiste en llevar a cabo el trabajo y las acciones correctivas planeadas en la fase anterior. Corresponde a esta fase la formación y educación de las personas y empleados para que adquieran un adiestramiento en las actividades y actitudes que han de llevar a cabo. Es importante comenzar el trabajo de manera experimental, para, una vez que se haya comprobado su eficacia en la fase siguiente, formalizar la acción de mejora en la última etapa.

3. **Comprobar (*Check*):** Es el momento de verificar y controlar los efectos y resultados que surjan de aplicar las mejoras planificadas. Se ha de comprobar si los objetivos marcados se han logrado o, si no es así, planificar de nuevo para tratar de superarlos.

4. **Actuar (*Act*):** Una vez que se comprueba que las acciones emprendidas dan el resultado apetecido, es necesario realizar su normalización mediante una documentación adecuada, describiendo lo aprendido, cómo se ha llevado a cabo, etc. Se trata, al fin y al cabo, de formalizar el cambio o acción de mejora de forma generalizada introduciéndolo en los procesos o actividades.

Para llevar a cabo cada una de estas etapas básicas se utilizan normalmente las diferentes técnicas y herramientas de mejora continua enumeradas en el capítu-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

lo anterior, y que sirven como soporte y apoyo para la consecución de las diferentes acciones. El ciclo PDCA consigue implementar de una forma sistemática y mediante la utilización de las herramientas adecuadas, la prevención y resolución de problemas. Es un proceso que se repite una vez que termina, volviendo a comenzar el ciclo y formando una espiral: la mejora continua.

El ciclo *Deming* no es ni más ni menos que aplicar la lógica y hacer las cosas de forma ordenada y correcta. Su uso no se limita exclusivamente a la implantación de la mejora continua, sino que se puede utilizar, lógicamente, en una gran variedad de situaciones y actividades.

El ciclo de Deming se utiliza en la actualidad en una versión más completa, el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), en la que cada una de estas cuatro fases, las básicas de Deming, están constituidas a su vez por varias subetapas:

1. Planificar: *a) Seleccionar la oportunidad de mejora.*
   b) Registrar la situación de partida.
   c) Estudiar y elegir las acciones correctivas más adecuadas.
   d) Observar (a nivel de ensayo o simulación) el resultado.

2. Realizar: *Llevar a cabo la acción correctora aprobada.*
3. Comprobar: *Diagnosticar a partir de los resultados. De no ser los deseados volver a etapa 1.*
4. Actuar: *a) Confirmar y normalizar la acción de mejora.*
   b) Emprender una nueva mejora (o abandonar).

Las siete herramientas básicas de la calidad

La mejora continua y su implantación por medio del ciclo PDCA, se lleva a cabo utilizando herramientas adecuadas para cada etapa. Catorce son las herramientas tipificadas para la implantación de la calidad y su mejora: las denominadas siete herramientas básicas, y otras siete, denominadas herramientas de gestión. No obstante, la utilización de estas técnicas básicas no se limita sólo a este ámbito descrito. También son aplicadas en todas aquellas actividades o funciones relacionadas con la gestión y mejora de la calidad, así como en otras situaciones como la toma de decisiones, definición de estrategias, optimización de recursos, etc.

Se caracterizan por su fácil comprensión y sencilla aplicación. No es necesario tener conocimientos amplios de estadística o matemáticas para su utilización. Por este motivo son herramientas que se emplean de forma asidua en los niveles intermedios e inferiores de la organización.

Un aspecto importante que tienen estas herramientas es la capacidad de integración entre sí, facilitada por su compatibilidad, lo que nos lleva a multiplicar

Copyright Ediciones Deusto S.L.

los resultados. La utilización conjunta de aquellas que creamos necesarias, dependiendo de los objetivos perseguidos, incrementa de forma notoria los beneficios de su aplicación.

Algunas de las mejoras de carácter genérico que aportan y que son de gran ayuda en la mejora continua, se enumeran a continuación:

- Identificación y selección de problemas generados, analizando las causas y efectos.
- Búsqueda de soluciones eficientes a los problemas generados.
- Análisis de las causas generadoras de la falta de calidad, facilitando su control y supervisión.
- Establecimiento de actividades prioritarias, en base a los efectos o consecuencias que las causas pueden acarrear.
- Facilitar el control de procesos y funciones, advirtiendo de posibles irregularidades o desviaciones detectadas.
- Ordenación de las necesidades o expectativas de los clientes, tanto internos como externos.

Dependiendo de los diferentes autores existen ligeras variaciones en la clasificación, e incluso se describen las mismas herramientas de distintas formas. La clasificación, usualmente aceptada, de las denominadas siete herramientas básicas es la siguiente:

1. *Diagrama de Pareto.*
2. *Diagrama de Causa-Efecto o de Ishikawa.*
3. *Histograma.*
4. *Gráfico de Control.*
5. *Diagrama de Correlación o Dispersión.*
6. *Hoja de Recogida de Datos.*
7. *Estratificación de Datos.*

A continuación se describen cada una de ellas por separado.

Diagrama de Causa-Efecto

También conocido como diagrama de *Ishikawa* en honor a Kaoru Ishikawa que lo desarrolló. También se le denomina, por la similitud que existe, como diagrama de «espina de pez».[1]

1. Procede de la expresión inglesa *Fishbone Diagram.*

Copyright Ediciones Deusto S.L.

El diagrama de *Ishikawa* analiza de una forma organizada y sistemática los problemas, causas, y las causas de estas causas cuyo resultado en lo que afecta a la calidad se denominará efecto. Existen dos aspectos básicos que definen esta técnica: ordena y profundiza. Describir las causas evidentes de un problema puede ser más o menos sencillo, pero es necesario ordenar dichas causas, ver de dónde provienen y profundizar en el análisis de sus orígenes con el objetivo de solucionar el problema desde su raíz.

El problema está identificado y queremos resolverlo. En este sentido este diagrama nos ayudará a determinar el porqué de ese problema o efecto. El número de factores que influyen en un determinado efecto son numerosos y representarlos todos sería complejo. Por tal motivo se debe seleccionar un grupo representativo de factores para cada problema. Es frecuente utilizar unas causas primarias de tipo genérico, denominadas como las *6M'S*: mano de obra, materiales, métodos, medio ambiente, mantenimiento y maquinaria. Estos factores primarios, que dependiendo de la situación pueden variar, formarán las espinas principales del diagrama (figura 2.3.) y a continuación se irán añadiendo las causas secundarias, terciarias, etc., que representan las causas de las causas y que permiten profundizar en los orígenes jerarquizados del problema.

Es una herramienta aconsejable para ser elaborada por un grupo de trabajo que facilite la aportación de ideas y datos de forma abundante y contrastada. Se pueden establecer una serie de fases para su realización:

1. *Definir y determinar de forma clara el problema que queremos resolver*. Dicho problema, causante de la falta de calidad en nuestros procesos, se describirá en el extremo de la columna principal en forma de flecha que constituye la «espina dorsal» del diagrama.
2. *Identificar los factores más relevantes* que influyen en el problema a resolver. Aparecerán en los extremos de lo que podríamos definir como «espinas» principales o primarias. Es frecuente el uso en los procesos productivos de las *6M'S*, mencionadas anteriormente. No obstante y dependiendo de la situación, se incorporarán o sustituirán los factores que se juzguen convenientes.
3. *Determinar y analizar de una forma ordenada y estructurada las causas* y las causas de las causas, o subcausas, que originan el efecto, de acuerdo con los factores más importantes que hayamos seleccionado. Una técnica que puede ser de gran ayuda es la realización de un *Brainstorming*[1] de las posibles causas, con la participación de todo el grupo de trabajo. Es aconsejable comenzar con el estudio de uno de los factores

1. Véase tema «Brainstorming».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

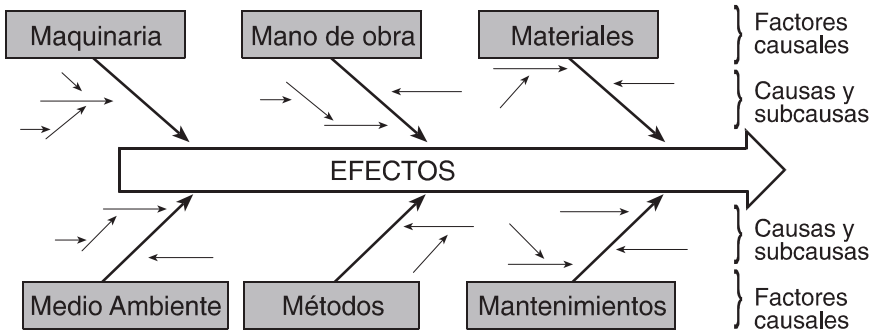


Figura 2.3.

y profundizar en su análisis, antes de realizar el mismo proceso con los siguientes. De esta manera se van formando las sucesivas ramificaciones que profundizan en el detalle y origen de las causas.

4. Una vez concluido el análisis y estudio de causas es aconsejable realizar una reflexión para *evaluar si se han identificado todas las causas* (sobre todo si son relevantes) y comprobar que hemos utilizado los factores correctos. En caso contrario se añadirán las causas y factores que falten o sean necesarios.
5. *Toma de datos acerca de las diversas causas del problema*, valorando el grado de incidencia global que tienen sobre el efecto. Esto permitirá sacar unas conclusiones finales y aportar las soluciones más aconsejables para resolver y controlar el efecto estudiado.

Por tanto, el diagrama de *Ishikawa* ayuda en la identificación de las causas de un problema, lo que permite determinar el origen y llevar a cabo las acciones adecuadas para poder resolverlo de raíz. El hecho de ser una herramienta normalmente realizada por un grupo de trabajo fomenta el pensamiento creativo, prolífico y divergente, con un nivel común de comprensión del problema y una visión más contrastada de las causas.

Diagrama de Pareto

El diagrama de *Ishikawa* puede llegar a identificar muchas causas de defectos, sobre todo si se tienen en cuenta las causas de éstas y así sucesivamente; el resultado puede ser que no sepamos «por dónde empezar». Para ayudar a dilucidar cuáles son los problemas a atajar con prioridad, e incluso en qué orden, se dispone del diagrama de *Pareto;* se trata de una herramienta para tomar decisiones sobre

Copyright Ediciones Deusto S.L.

qué causas hay que resolver prioritariamente para lograr mayor efectividad en la resolución de problemas. La regla de este economista italiano consistía en que aproximadamente el 80 % de los problemas se deben a tan sólo un 20 % de causas. Es decir, un mínimo porcentaje de causas originan un gran porcentaje de problemas. El diagrama de *Pareto* permite identificar ese pequeño porcentaje de causas más relevantes sobre las que se debe actuar primero.

Para su realización se emplea un diagrama de barras. Cada una de las barras representa una de las causas diferentes que provocan fallos. La amplitud vertical indicará el número de fallos o de problemas que origina la causa que representa.

Con objeto de seleccionar las causas más relevantes se ordenan las barras por amplitud, situándolas de mayor a menor a partir de la izquierda (figura 2.4.). También se representa una curva que establece, para cada causa, el porcentaje acumulado de fallos sobre el total, donde se aprecia en mayor o menor medida la regla anterior de *Pareto*.

Para poder establecer las prioridades de causas sobre las que actuar es importante realizar otro diagrama de *Pareto*, paralelo y concebido de forma similar, pero relacionado con los costes de los fallos originados. De esta forma se pueden establecer las prioridades sobre el número de fallos originados y sobre el coste de dichos fallos, y en base a ellos decidir sobre qué actuar.

Las diferentes etapas para llevar a cabo un diagrama de *Pareto* se enumeran a continuación:

1. Definir claramente las variables que van a ser estudiadas, es decir, respecto a qué problema o en base a qué característica de calidad se va a realizar el estudio. Se debe analizar qué tipo de datos van a ser necesarios, cómo se obtendrán y establecer el alcance en tiempo del estudio.

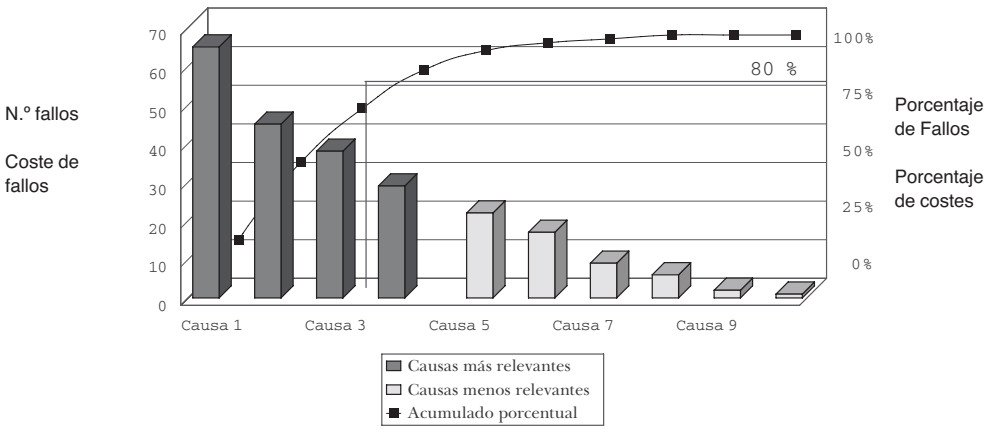


Figura 2.4.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

2. Proceder a la obtención o recogida de los datos necesarios. Será de gran utilidad el empleo de tablas estructuradas para la recopilación de dicha información y el cálculo de acumulados.
3. Elaboración de los dos diagramas de *Pareto*, tabulando de forma adecuada las cantidades que aparezcan. En el eje vertical izquierdo figurará: la frecuencia de fallos / (figura 2.4.) coste de los fallos. En el eje vertical derecho el porcentaje acumulativo sobre el total: de fallos / de coste de fallos. En el eje horizontal y de forma ordenada por frecuencia/coste descendente, las diversas causas. Podemos apreciar en este diagrama que tres causas son las responsables del 80 % de los problemas.

El diagrama de *Pareto* es una representación gráfica que pone de manifiesto la importancia relativa de las diferentes causas, seleccionando las más relevantes, y que ayuda a decidir la línea de actuación frente a una situación. El uso continuo de los diagramas de *Pareto* permitirá supervisar y verificar la eficacia de las soluciones para la resolución de los problemas.

Histogramas

El histograma representa, de una forma gráfica (figura 2.5.), la variabilidad que puede presentar una característica de calidad. Es decir, muestra qué tipo de distribución estadística presentan los datos.

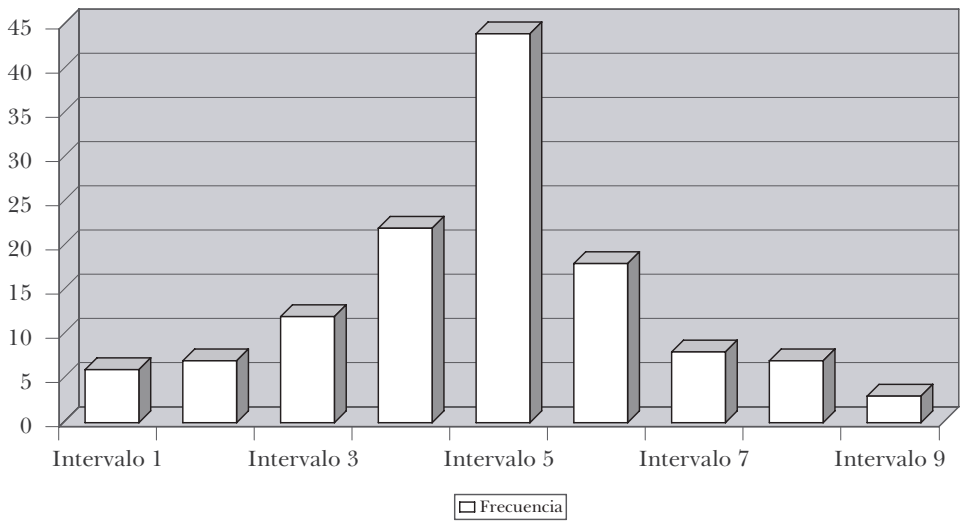


Figura 2.5.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Número de Datos	Número de Intervalos
Inferior a 50	5 a 7
50 - 100	6 a 10
100 - 250	7 a 12
Superior a 250	10 a 20

Tabla 2.1.

Para ello también adopta el diagrama de barras como representación gráfica. En el eje horizontal se representa el rango[1] posible de valores que abarca la variable, dividido en un número determinado de intervalos. El número de intervalos dependerá del número total de datos que tenemos de la variable, tal y como se describe en la tabla 2.1.

Cada intervalo estará representado por una columna o barra. Normalmente la anchura de los intervalos es idéntica y corresponde al rango de la variable dividido por el número de intervalos correspondiente. En el eje vertical se representa la frecuencia o número de datos que existen en cada intervalo.

El proceso para realizar el histograma comprende una serie de etapas:

1. Obtención de los datos necesarios.
2. Recuento de datos y cálculo de máximo y mínimo globales de la variable.
3. Cálculo del rango de valores entre los que se mueve la variable.
4. Cálculo del número de intervalos, para lo que puede ser ilustrativa la tabla 2.1., y de la anchura de cada intervalo. Los límites de intervalos deben quedar perfectamente definidos.
5. Elaborar el resto del histograma. Para facilitar esta tarea es aconsejable rellenar previamente una tabla de frecuencias en la que figuren los intervalos y el número de datos para cada uno de ellos.

Dependiendo de la distribución estadística de los datos o la variable estudiada, pueden aparecer histogramas *gaussianos*, exponenciales, etc., lo que facilitaría enormemente su análisis por ser distribuciones muy conocidas.

1. Rango = Valor Máximo - Valor Mínimo.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

No obstante, no tiene porqué ser así, pudiendo aparecer cualquier tipo de distribución no conocida.

Los histogramas son muy útiles para controlar la efectividad de los cambios introducidos, comparando la evolución temporal y comprobando que se verifican las especificaciones de los límites establecidos. Mostrar la distribución permitirá introducir los cambios necesarios para modificarla, centrarla si no se ajusta a lo que se desea, o realizar un control periódico sobre ella.

Diagrama de Dispersión

También se le conoce como diagrama de correlación o bivariante. La idea principal que persigue es poner de manifiesto la relación que pueda existir entre dos variables características de calidad en función de los valores medidos, al variar ambas en una determinada situación. De esta forma se aprecia gráficamente el comportamiento o correlación existente entre ambas variables o, por el contrario, comprobar su independencia o no correlación.

Para llevar a cabo el diagrama se utiliza un gráfico de ejes cartesianos. En cada uno de los ejes se representa una de las variables con la escala de valores adecuada al rango que abarca. Para cada valor que adopte una de las variables se determina el que corresponde a la otra y se representa el par de valores por un punto del gráfico. Por ejemplo, la temperatura que obtenemos en una estancia con una placa solar, podrá medirse para cada valor de potencia en watios de la placa y

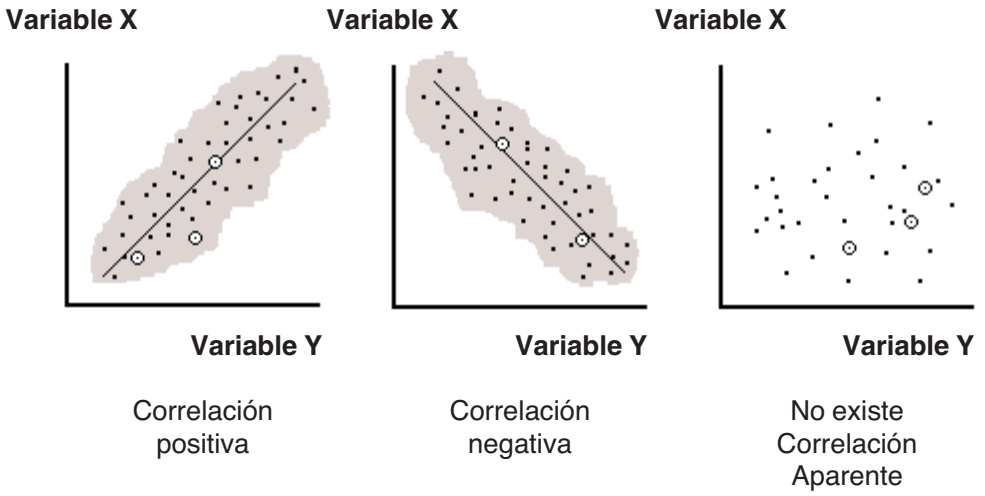


Figura 2.6.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

formar así pares de valores temperatura-potencia. Para cada par de datos se irán estableciendo los puntos de corte en el plano, lo que permitirá apreciar la evolución de una sobre la otra, obteniéndose una nube de puntos (figura 2.6.). Mediante el análisis de dicha nube de puntos representada se puede discernir si existe o no, correlación.

Los pasos a seguir para realizar el diagrama de dispersión se detallan a continuación de forma ordenada:

1. Recoger muestras o pares de datos referentes a las dos variables del estudio en un número suficiente (50 a 100) mediante una tabla. Es muy importante determinar en qué situación se recogen los datos. Asimismo, es necesario mantener de forma constante el resto de parámetros o variables que participan en el proceso, con la intención de no distorsionar la medición (por ejemplo, en el caso de la placa solar, el volumen y ventilación de la habitación a caldear deben mantenerse constantes).
2. Establecer el rango de valores de ambas variables con el objeto de decidir las escalas adecuadas para la representación en los ejes.
3. Elaborar el diagrama marcando los puntos de intersección en el plano de los pares de datos, remarcando de alguna forma la posible coincidencia de dos o más puntos. Por ejemplo, mediante círculos concéntricos (figura 2.6.).
4. Una vez elaborado el diagrama de correlación, hay que realizar el análisis o interpretación de los resultados.

Como consecuencia del análisis surgen algunas situaciones muy comunes:

- La nube de puntos sigue una recta de pendiente positiva. Si aumenta una variable aumenta la otra: *correlación positiva.*
- La nube de puntos sigue una recta de pendiente negativa. El aumento de una provoca la disminución de la otra: *correlación negativa.*
- La nube de puntos no presenta ninguna relación aparente: *no hay correlación.*

No obstante, la mayor o menor dispersión de puntos alrededor de la recta que forman indica si existen otras causas o variables que influyen de forma dependiente sobre alguna de las variables sometidas a estudio.

El diagrama de dispersión o correlación permitirá apreciar la relación entre dos variables. Es muy útil para comprobar cómo la aplicación de una serie de mejoras en un sentido se corresponden con otras apreciadas en otra variable. Como ejemplo, se puede emplear en la demostración de la relación existente entre las causas y efectos del diagrama de *Ishikawa.*

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Características de calidad:

X: Potencia efectiva de la placa solar en cada ensayo (watios)

Y: Temperatura de la estancia a caldear resultante de cada ensayo

Temperatura de la estancia

	Xi	Yi		xi=Xi–Mx	yi=Yi–My	xi^2	yi^2	REGRESIÓN Y	REGRESIÓN X
1	504	18	1	6,0	1,1	36	1,2	17,4	17,5
2	490	16,4	2	–8,0	–0,5	65	0,2	16,2	16,1
3	485	16	3	–13,0	–0,9	170	0,8	15,8	15,6
4	499	16,5	4	1,0	–0,4	1	0,2	17,0	17,0
5	506	18,3	5	8,0	1,4	63	2,0	17,5	17,7
6	503	18,1	6	5,0	1,2	25	1,5	17,3	17,4
7	488	15,8	7	–10,0	–1,1	101	1,2	16,1	15,9
8	510	17,8	8	12,0	0,9	143	0,8	17,8	18,1
9	506	18	9	8,0	1,1	63	1,2	17,5	17,7
10	490	16	10	–8,0	–0,9	65	0,8	16,2	16,1
11	512	17,6	11	14,0	0,7	195	0,5	18,0	18,3
12	499	17	12	1,0	0,1	1	0,0	17,0	17,0
13	479	14,7	13	–19,0	–2,2	363	4,8	15,4	15,0
14	505	17,2	14	7,0	0,3	48	0,1	17,4	17,6
15	481	15,5	15	–17,0	–1,4	290	1,9	15,5	15,2
16	510	17,5	16	12,0	0,6	143	0,4	17,8	18,1
17	514	18	17	16,0	1,1	255	1,2	18,2	18,5
18	500	17,5	18	2,0	0,6	4	0,4	17,0	17,1
19	484	16	19	–14,0	–0,9	197	0,8	15,8	15,5
20	478	15,8	20	–20,0	–1,1	402	1,2	15,3	14,9
21	496	16,4	21	–2,0	–0,5	4	0,2	16,7	16,7
22	502	17	22	4,0	0,1	16	0,0	17,2	17,3
23	504	17,1	23	6,0	0,2	36	0,0	17,4	17,5
24	497	16,5	24	–1,0	–0,4	1	0,2	16,8	16,8
25	509	17,5	25	11,0	0,6	120	0,4	17,8	18,0
Medias	**498,0 (Mx)**	**16,9 (My)**	**Total:**	**–0,0**	**0,0**	**2.805**	**22,0**	**r = 0,90**	

Figura 2.7. Tablas para el cálculo de la correlación

Una posibilidad alternativa es utilizar el diagrama de dispersión estratificado para poder determinar la posible correlación que no se percibe sin la estratificación[1] o separación de datos en grupos o categorías.

Veamos ahora con un ejemplo relacionado con el caso de la placa solar al que ya nos hemos referido, cómo se encuentra realmente la función (lineal) que rela-

1. Véase tema «Estratificación de Datos».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ciona dos características de calidad corelacionadas, así como el nivel de correlación que exista entre ambas, dado que puede ser más o menos fuerte según la dispersión de los puntos alrededor de la recta.

Supongamos, pues, una prueba de 25 ensayos en los que determinamos la potencia efectiva real que está dando un placa solar (caracerística X) y la temperatura que se obtiene en la estancia (característica Y).

En la tabla de la figura 2.7., podemos ver los 25 pares de valores $X_i - Y_i$.

La tabla que se encuentra a continuación, en donde se calculan los valores x_i, y_i, x_i^2 e y_i^2, nos permitirá obtener estos cuatro valores para los 25 ensayos, los cuales serán necesarios para determinar la función lineal que representa la correlación, que se denomina recta de regresión. Esta trata básicamente de evaluar las desviaciones en el sentido de las ordenadas de los puntos obtenidos respecto a la recta buscada, elevarlas al cuadrado para que no influya el sentido de la desviación y luego sumar. Así obtendríamos la regresión de Y en X. Procediendo de forma similar con las desviaciones en sentido de las abscisas, obtendremos la regresión de Y en X. Procediendo de forma similar con las desviaciones en sentido de las abscisas, obtendremos la regresión X en Y, que será otra recta más o menos distinta; en la medida que estas dos rectas no se aparten una de la otra, la correlación entre las dos características X e Y será más estrecha; ello nos lo medirá un coeficiente, que se indica con una ***r*** y que en nuestro caso es de 0,9 (véase la citada figura 2.7.).

Las expresiones que nos permitan calcular las dos rectas de regresión son:

Recta de regresión de Y en X: $My = \frac{\sum x_i \sum y_i}{\sum x_i^2} (x - M_x)$

Caso placas solares: **»»» Y –16,9 = 0,1 Δ(X – 498,0)**

Recta de regresión de Y en X: $My = \frac{\sum y_i^2}{\sum x_i \sum y_i} (x - M_x)$

Caso placas solares: **»»» Y –16,9 = 0,1 Δ(X – 498,0)**

Con estas expresiones determinadas, podemos representar gráficamente la correlación, con los puntos y las dos rectas de regresión (figura 2.8.).

El coeficiente ***r*** que permite conocer el grado de correlación existente entre la potencia y la temperatura puede obtenerse de la expresión:

$$r = \frac{\sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}}$$

Copyright Ediciones Deusto S.L.

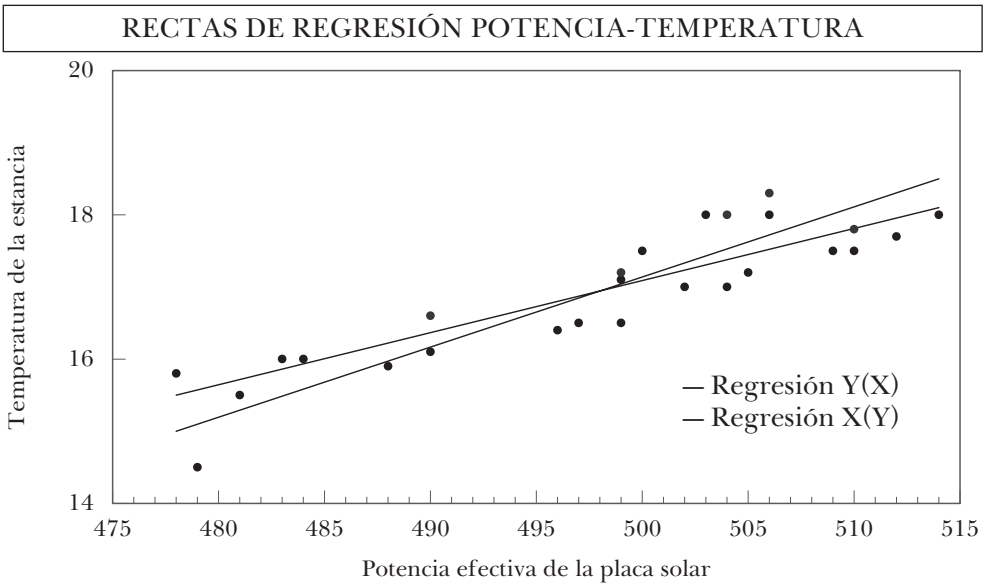


Figura 2.8. Puntos y rectas de correlación potencia-temperatura

Que en nuestro caso, según ya hemos comentado, tiene un valor de 0,9. Este valor es indicativo de una correlación muy fuerte, lo que también se aprecia por lo próximas que están las dos rectas de regresión, según también hemos expuesto. En realidad, cuanto más cerca de uno se halle este coeficiente, más fuerte es la correlación; por el contrario, cuanto más cerca de cero se halle el coeficiente ***r***, menor será el nivel de correlación.

Para valores del coeficiente ***r*** entre cero y menos uno vuelve a aumentar el grado de correlación, pero ahora se tratará de una correlación negativa y la pendiente de las rectas de regresión será asimismo negativa. En este caso, a mayor valor de una característica, menor será el de la otra, lo que suele llevar aparejada la idea de que mejorando una característica se empeora la otra. Esto será muy peligroso y hará difícil diseñar un producto o servicio cuya calidad dependa de dos características que tengan una correlación negativa; habrá que buscar una solución de compromiso o rediseñar el producto; hablaremos nuevamente de ello, a propósito del diseño de productos para la calidad y el papel que juegan las correlaciones.

Hoja de Recogida de Datos

También conocida como hoja de registro o verificación. Como indica su nombre, su función consiste en la recopilación ordenada y estructurada de toda la información importante y útil que se genera en los procesos y sus actividades.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Figura 2.9.

Los formatos posibles de recogida de datos son numerosos: gráficos, numéricos, por símbolos, etc. Una de las fórmulas más utilizadas consiste en la plantilla o tabla predefinida. Para elaborar este tipo de formulario se ha de conocer previamente el tipo de datos que se recogerán, de acuerdo con la situación o actividad a controlar, cómo los vamos a recoger y almacenar, y los puntos de recogida. Los datos deben obtenerse de forma simple, clara y ordenada, huyendo de la ambigüedad, evitando los posibles errores o malas interpretaciones, con el objeto de facilitar el análisis posterior. Se debe recoger sólo aquello que realmente interese y no recopilar datos de forma indiscriminada que dificulten el proceso, provoquen perdidas de tiempo y compliquen la visualización de la información útil.

Es muy importante que en cada plantilla figure un apartado de información complementaria sobre aspectos referentes al tipo de proceso descrito, lote considerado, operario que lo realiza, fecha, hora, número de muestras totales y parciales, etc. También es aconsejable reservar un espacio para anotar posibles comentarios o incidencias que pueden surgir, incluyendo cualquier información

Copyright Ediciones Deusto S.L.

adicional que sea de utilidad para el análisis posterior de los datos obtenidos.

Una vez recopilada toda la información se realizará, como ya se ha dicho, un análisis o valoración de la información obtenida para poder determinar tendencias, controlar procesos, analizar problemas o decidir acciones prioritarias a realizar, entre otras posibilidades.

La Hoja de Recogida de Datos es de gran utilidad por diversos motivos:

- Recoge la información que es básica para el control de procesos y que sirve como soporte de otras técnicas o herramientas que se nutren de ella.
- Facilita la recogida de dicha información de forma homogénea y uniforme, independientemente de las diferentes personas que participen.
- Facilita el análisis y control de los datos sobre procesos. Permite observar el grado de cumplimiento de determinadas funciones, actividades, especificaciones o estándares.

Gráfico de Control

Los gráficos o diagramas de control se utilizan para analizar, supervisar y controlar la estabilidad de los procesos, mediante el seguimiento de los valores de las

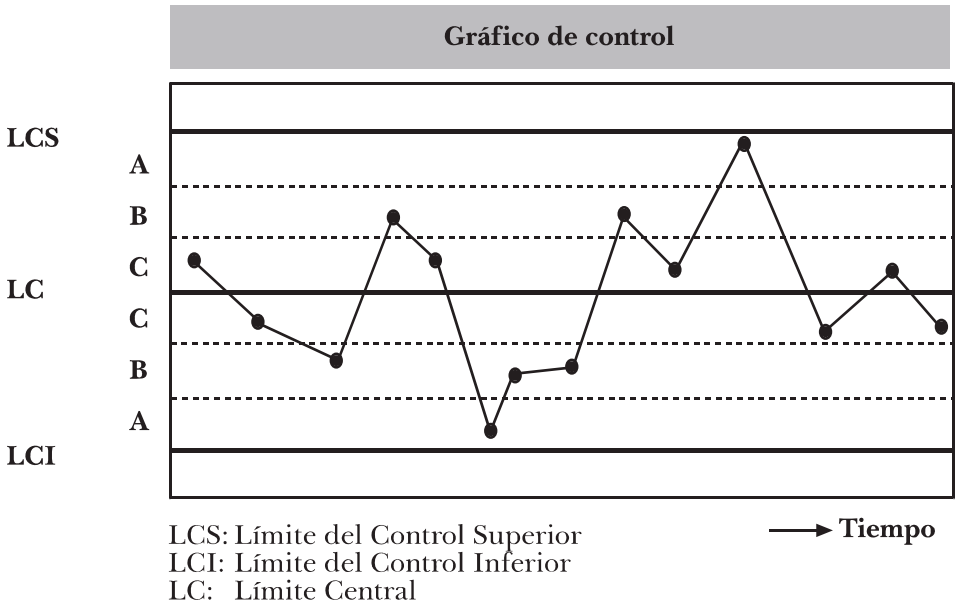


Figura 2.10.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

características de calidad y su variabilidad. Es una herramienta básica para el Control Estadístico de Procesos, o SPC.[1]

Para elaborar el gráfico de control se emplea el diagrama de líneas. En base a los datos se calculan unos límites de control superior LCS, e inferior LCI, entre los que variará la mayor parte de valores de la variable sometida a control. Los márgenes o bandas fuera de los límites de control servirán para tener controlada la variabilidad del proceso y apreciar aquellos valores que salen fuera de la zona establecida, problema este que habrá que resolver para tener dominado o controlado el proceso.

Mediante el Gráfico de Control se puede observar la evolución del proceso, determinando si las variaciones posibles son de tipo puntual cuando sólo existe alguna que otra muestra de la variable que se sale de los límites, o por el contrario, si representa un fenómeno continuo, lo que indicará un cierto desajuste en el proceso sobre el que se tendrá que actuar.

Existe la posibilidad de representar los datos de forma individual o agrupándolos en pequeños subgrupos. Si se emplea esta última técnica, lo que se representará es la media, la varianza, la desviación típica o el rango de cada grupo de datos, dando lugar a diferentes tipos de gráficos de control.

Los gráficos de control se emplean en el Control Estadístico de Procesos como herramienta para analizar la variabilidad de los procesos con el tiempo, ayudando a identificar las posibles causas de la variación o desviación. Posteriormente se aplicarán las medidas correctivas y ajustes necesarios para mantener el proceso centrado y dentro de los límites de control. El proceso quedará estabilizado cuando no aparezcan valores fuera de los límites y permanezca centrado respecto al límite central LC. Se puede seguir considerando el proceso como estable, aunque aparezca alguna anomalía de carácter puntual.

Estratificación de Datos

La Estratificación de Datos consiste básicamente en la clasificación y separación de los mismos en grupos o categorías con el objeto de realizar un análisis más profundo y exacto de las causas, indagar sobre problemas o comprobar que las acciones correctivas y de mejora son eficientes.

Es un tipo de técnica que por sí sola no representa una herramienta de mejora, pero sirve de inestimable ayuda en la elaboración de otras herramientas como el diagrama de *Pareto* o el diagrama de dispersión. En este último caso, puede ocurrir que mediante la estratificación de los datos se aprecien algunas correlaciones no visibles si se consideraran todos los datos de forma conjunta.

1. Véase más extensamente en el capítulo 7 dedicado al SPC.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Facilita el estudio de los datos, el análisis de los problemas y sus causas y, sobre todo, consigue apreciar situaciones anómalas o tendencias no evidentes que requieran una investigación y ajuste posterior. Además, la causa de estas situaciones puede quedar evidenciada, en base a qué cambia de un grupo de datos a otro en la estatificación (por ejemplo, la persona que hace la tarea, el lote de material la herramienta, etc.).

Brainstorming

El *Brainstorming* o «tormenta de ideas» es una técnica general que puede utilizarse como soporte de muchas herramientas de gestión, y que persigue la generación de ideas por parte de un grupo de personas reunidas a tal efecto. Se pretende potenciar la creatividad de todas las personas que participan para que expresen sin temor y de una forma espontánea todas las ideas que les vayan surgiendo, sin censura ni crítica. Posteriormente, entre todas las ideas que se hayan recopilado se analizan y seleccionan las más interesantes o viables.

Es una técnica de uso frecuente a lo largo de todo el proceso de mejora que requiere la implicación de las personas y el trabajo en grupo, con el objetivo de aportar ideas para solucionar problemas, averiguar causas, descubrir obstáculos u obtener mejoras.

La idea consiste en reunir a un grupo no excesivamente numeroso, de 6 a 8 personas, para que de una forma ordenada y sencilla, sin entrar en explicaciones, aporten ideas originales. Normalmente, estas ideas se apuntan en un lugar visible para todos, lo que favorece la inspiración de otras nuevas. No existe rechazo de ninguna de las ideas ni un debate crítico, simplemente se aportan ideas. Una vez superada esta fase, se analizarán las ideas originadas y se seleccionarán mediante un proceso de depuración aquellas más efectivas y viables para resolver la situación sometida a estudio.

Las siete herramientas de gestión

Son estas, las siete herramientas «nuevas» herramientas que justo a las siete básicas ya descritas, completan las catorce que en total habíamos anunciado. Constituyen un conjunto de técnicas con un carácter más avanzado que las siete herramientas básicas y están orientadas a niveles medios-altos de la escala organizativa. Son herramientas de trabajo en grupo empleadas en la gestión y planificación.

Permiten una aplicación, adaptación y modificación bastante flexible. Se pueden emplear de forma independiente, si bien la integración de algunas de ellas con las herramientas básicas permitirá aumentar la eficiencia de los procesos de mejora continua de la calidad.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Las siete herramientas de gestión son:

1. Diagrama de Afinidades.
2. Diagrama de Relaciones.
3. Diagrama de Árbol.
4. Diagrama de Matriz.
5. Diagrama de Análisis de Matriz-Datos.
6. Diagrama PDPC o de Proceso de Decisión.
7. Diagrama de Flujo.

Diagrama de Afinidades

Se trata de una herramienta dirigida al trabajo en grupo. Consiste en la recogida de datos, ideas y opiniones sobre un problema, organizándolas en forma de grupos según criterios afines. Para cada grupo se definirá el aspecto común de gestión que lo caracteriza.

Permite abordar un problema de forma directa mediante la generación abundante de datos e ideas por parte de todas las personas implicadas. Para ello es aconsejable realizar previamente un *brainstorming* sobre el problema o situación.

El proceso comprende los siguientes puntos:

- Definir los objetivos del estudio.
- Generación y recopilación de los datos e ideas.
- Puesta en común y explicación de los diferentes datos e ideas acerca del problema.
- Organización de los datos en grupos de afinidad bajo el epígrafe común de gestión que los agrupa.

Diagrama de Relaciones

Este diagrama determina de forma gráfica las relaciones o conexiones lógicas existentes entre los diferentes datos e ideas recopilados en el diagrama anterior, respecto a un problema o situación, de tal forma que se establezcan los diversos niveles causales entre ellos.

Representa, por tanto, la misma idea que los diagramas de causa-efecto o de *Ishikawa,* pero con alguna diferencia. En este caso, el formato es libre y no fijo, como en el diagrama de causa-efecto.

Las etapas en que puede llevarse a cabo el mismo son:

- Definir claramente el problema.
- Identificar todas las causas.
- Establecer las relaciones causa-efecto.
- Determinar las causas más relevantes, para establecer prioridades.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Diagrama de Árbol

Se emplea para ordenar de forma gráfica las distintas acciones o gestiones que se deben llevar a cabo para solventar el problema o situación sometido a estudio. Establece el flujo de acciones a emprender para la adecuada resolución de la situación a mejorar, llegando a niveles cada vez más detallados de modos de acción.

Para realizar el diagrama se definirán los objetivos finales que queremos obtener, dividiendo el proceso en etapas o fases. En cada etapa se definirán las actividades necesarias, priorizando las más importantes o urgentes.

Diagrama de Matriz

Mediante el empleo de matrices se definen gráficamente las relaciones que puedan existir entre diferentes factores. En particular, las que puedan existir entre las causas, efectos y soluciones de una situación o problema, como se aprecia en la figura 2.11.

En las casillas de intersección de los factores que se consideran se establecerá el grado de relación o intensidad. Asimismo, se pueden determinar las direcciones de la influencia entre los diferentes aspectos o factores. Más concretamente, permite relacionar las causas de cada efecto y las soluciones que se pondrán en práctica.

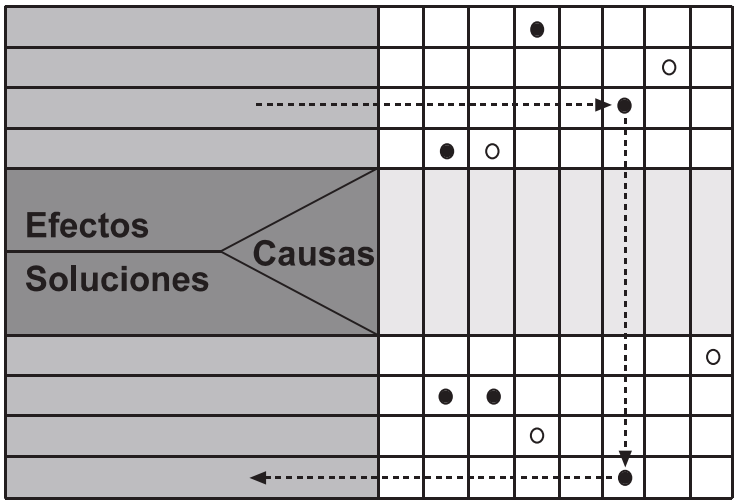


Figura 2.11

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Diagrama de Análisis de Matriz - Datos

Este diagrama analiza la información generada en el diagrama de matriz anterior. Estudia de forma individual cada dato, su importancia, así como las relaciones, para dilucidar el grado de importancia real que poseen. Para ello, se emplean técnicas estadísticas de un cierto grado de complejidad, conocidas con el nombre de «análisis multivarible».

Es una herramienta que necesita un cierto aprendizaje y que normalmente no utiliza representaciones gráficas debido a su carácter eminentemente numérico.

Diagrama PDPC

El diagrama PDPC o *Process Decision Program Chart*, también conocido como diagrama de decisión, implementa las cadenas de *causas-efectos-soluciones*. Permite anticipar las posibles dificultades y desviaciones mediante el desarrollo de determinados controles.

Establece de forma gráfica el árbol de decisiones que se han de tomar. Si existen diferentes decisiones o situaciones con diferentes resultados, se establecerán las diferentes ramas para cada uno de los posibles casos.

Diagrama de Flujo

Este diagrama utiliza una serie de símbolos predefinidos para representar el flujo de operaciones con sus relaciones y dependencias. El formato del Diagrama de Flujo no es fijo; existen diversas variedades que emplean una simbología diferente.

Los diagramas de flujo pueden ser muy útiles cuando se quiere realizar una optimización de procesos, oportunidades de mejora o simples reajustes, empleándose como un punto de partida que visualice globalmente la secuencia de cambios a ejecutar. En este sentido, se utiliza en tareas de *Benchmarking*[11] para apreciar gráficamente cómo se llevan a cabo los diferentes procesos y decidir cuales son los más eficientes.

El proceso de flujograma comienza por establecer los puntos de partida y final. Posteriormente se identifican y clasifican las diferentes actividades que forman el proceso a realizar, la interrelación existente entre todas ellas, las áreas de decisión, etc. Todo este entramado se representa mediante la simbología predefinida según el tipo de diagrama.

11. Véase tema *«Benchmarking»*.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

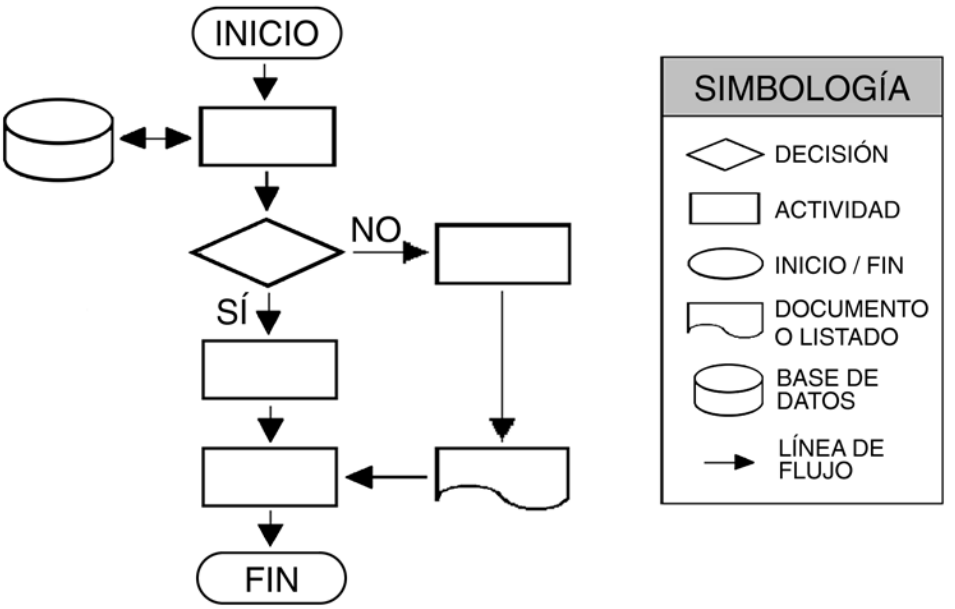


Figura 2.12.

Un aspecto importante antes de realizar el diagrama de flujo será establecer qué grado de profundidad se pretende en la descripción de actividades, procurando mantener siempre el mismo nivel uniforme de detalle.

Este diagrama aporta un conocimiento bastante claro y global del proceso, identificando las actividades básicas, flujo de información y materiales, *inputs* y *outputs*, etc. Un ejemplo sencillo y común de diagrama de flujo es el representado en la figura 2.12. Otro ejemplo de diagrama de flujo es el grafo PERT,[12] que fue desarrollado para optimizar el proyecto de desarrollo del misil *Polaris*, y que representa gráficamente las diferentes acciones y operaciones mediante flechas que unen determinados nodos o puntos de conexión, creando un diagrama que prioriza todas las acciones a realizar.

Círculos de calidad

Con inclusión decidida del factor humano en la gestión de la calidad y en especial en la mejora contínua, surgen los grupos de mejora y muy en especial los

12. Siglas en inglés de *Program Evaluation and Review Technique*.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

denominados *Círculos de Calidad,* propiciados, como ya se ha mencionado, por Kaoru Ishikawa a principios de la década de los sesenta. En la actualidad, su uso se ha extendido a una gran cantidad de países, con diferentes variedades de aplicación.

El concepto inicial de los círculos de calidad se basaba en una reunión voluntaria de una serie de empleados relacionados con un ámbito común de la empresa y que trataban de analizar y solucionar, de una forma continua y participativa, los diferentes problemas de su entorno de trabajo. Este concepto, en principio, no cuajó en Occidente por diversas causas, como la voluntariedad, la falta de formación de los empleados, la mentalidad diferente de los trabajadores y, sobre todo, por la falta de respaldo de la dirección.

Por otra parte, existen también los grupos de mejora que nacieron originariamente como grupos de trabajo cuyo fin era la solución de problemas específicos de calidad y se diferenciaban claramente de los círculos de calidad que, por otra parte, trataban de solucionar los problemas del entorno de trabajo. En la actualidad se tiende a englobar ambos conceptos bajo el mismo nombre.

Los círculos de calidad buscan fundamentalmente la mejora continua en el ámbito de la Gestión de la Calidad Total. Responden a la idea de motivar a todos los empleados, otorgándoles la responsabilidad de solucionar los problemas de los medios de trabajo, de los procesos y de los sistemas que manejan, aportando ideas, sugerencias y proyectos a la dirección. De esta forma, las personas se sienten útiles, no sólo por su capacidad física sino también por su capacidad intelectual, y sus esfuerzos son valorados y reconocidos por la dirección.

Hoy día, los círculos de calidad se aplican de forma continua y a todos los niveles de la organización, no tan sólo con los empleados u operarios de la escala baja, para aprovechar todas las capacidades y experiencia de los recursos humanos y aumentar la competitividad de la empresa. Cuentan con el apoyo activo de la dirección y la formación en técnicas relacionadas con la calidad como garantías de éxito. El concepto de participación voluntaria evoluciona hacia una participación promocionada y remunerada como si de cualquier otro trabajo se tratara, dedicando una serie de horas fijas a la semana para reunión de los grupos.

Los resultados que consiguen los círculos de calidad son diversos: mejora de la calidad de procesos y sistemas, aumento de la productividad, disminución de costes, implicación y motivación de las personas, etcétera.

Benchmarking

La obtención de ventajas competitivas es el objetivo prioritario de la estrategia de las empresas y de la gestión de la calidad total. De hecho, las empresas deberían incorporar la calidad total como estrategia básica para toda su gestión, ya

Copyright Ediciones Deusto S.L.

que la calidad supone hacer las cosas bien hechas, rápidamente y a bajo coste, lo cual, por supuesto, debe ser algo intrínseco de toda gestión empresarial.

Enmarcado dentro de la estrategia empresarial basada en la Gestión de la Calidad Total y con la finalidad de alcanzar la mayor ventaja competitiva posible, se sitúa el *benchmarking* con el objetivo de alcanzar la excelencia como meta para la empresa, tratándose de reflejar en los objetivos y gestión de aquellas empresas que lo hacen.

El concepto de *benchmarking* proviene del termino ingles *benchmark*, que se puede definir como «marca utilizada como referencia». Es decir, se fija un estándar sobre el cual realizar la comparación. De esta forma el *benchmarking* constituye la comparación y aprendizaje respecto a las empresas líderes del sector y que se considerarán como ejemplo a seguir, alcanzar y superar.

Fue la compañía *Xerox Corporation* la que en 1974 comenzó lo que se denominó como *benchmarking competitivo* buscando la reducción de costes. En palabras de su director general, David T. Kearns, el *benchmarking* es «*el proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas entre los competidores más duros o aquellas compañías reconocidas como líderes de la industria*».

Es un proceso que requiere una actualización constante de los datos y un continuo aprendizaje para alcanzar la autosuperación. En el *benchmarking* (figura 2.13.) se consideran dos aspectos básicos: las prácticas o formas de actuar y la medición. Es necesaria la selección de las mejores prácticas mediante un proceso

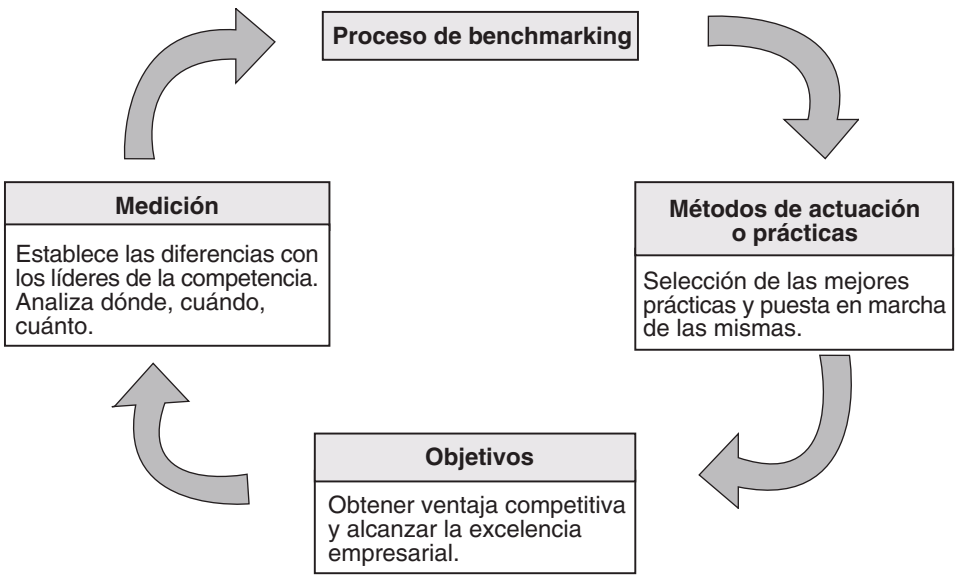


Figura 2.13.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

de investigación, para posteriormente adoptarlas en nuestra empresa. Tanto las prácticas que utilizamos en nuestra empresa como las de las empresas líderes del mercado, serán evaluadas a través de criterios adecuados de medición para analizar las diferencias existentes. El proceso de medición se empleará igualmente en la implantación y desarrollo de las prácticas que se ponen en marcha.

El *benchmarking* es aplicable a cualquier aspecto dentro de la empresa: productos, servicios, métodos, procesos, organización, formas de gestión, etc. El proceso de comparación y la adopción de nuevas prácticas se debe establecer para todas y cada una de las diferentes partes que forman la empresa.

Filosofía del Benchmarking

Sun Tzu en el libro *El arte de la guerra* (500 a.C.) decía: «*Si conoces a tu enemigo y te conoces a ti mismo, no debe preocuparte el resultado de cien batallas.*» Esta frase, junto con el término japonés *Danotsu*, que significa «ser el mejor entre los mejores», reflejan la filosofía que persigue el *benchmarking*.

Existen cuatro aspectos clave que definen la filosofía del *benchmarking* y rigen su forma de actuación:

a) *Conocerse a sí mismo*: Cada empresa debe analizar su forma de operar y estudiar a fondo todos sus procesos y métodos. El objetivo será descubrir los puntos fuertes y, sobre todo, los puntos débiles. De esta manera se conocerán aquellos aspectos que deberán subsanarse mediante la comparación, comprensión y aprendizaje con respecto a las empresas líderes de la competencia.
b) *Conocer a la competencia*: Evaluar y conocer perfectamente a la competencia en lo referente a resultados, formas de operar, prácticas, puntos fuertes, etc. Es necesario seleccionar a las empresas líderes en el sector considerado o en determinados aspectos o funciones en las que destaquen por su excelencia, pasando a considerarlas como referencia en el aprendizaje. Dos aspectos importantes a tener en cuenta serán, por una parte, la fibilidad de los datos de la competencia y, por otra, la actualización constante de todos ellos para conocer en todo momento su estado, su evolución y sus resultados.
c) *Aplicar lo aprendido*: Como resultado del aprendizaje obtenido de las empresas líderes de la competencia se habrá alcanzado unos niveles de conocimiento que se aplicarán e incorporarán a procesos, prácticas y métodos, o a cualquier otro aspecto susceptible de ser mejorado.
d) *Alcanzar la excelencia y liderazgo*: La idea no es llegar a ser tan bueno como la competencia. No es suficiente, las empresas no deben conformarse con eso. Deben aspirar a lo máximo; es decir, a obtener la supe-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

rioridad sobre las demás empresas que, en principio, ocupan los primeros puestos del sector (figura 2.14.).

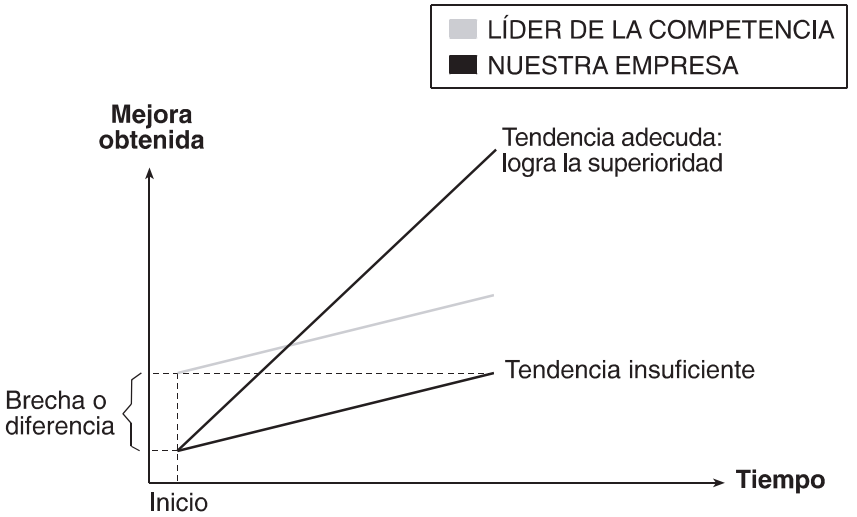


Figura 2.14.

Tipos de benchmarking

El *benchmarking* puede clasificarse en distintos tipos, dependiendo de cuál es el objetivo a analizar por el estudio. Tienen la característica principal de ser complementarios. La aplicación o integración conjunta de los diferentes tipos, cada uno en su ámbito, facilitará la consecución de los objetivos del proceso de *benchmarking*:

- ***Benchmarking Interno*:** Representa la idea de conocerse a sí mismo. Tiene como principal objetivo conocer los puntos fuertes, en los que la empresa destaca y que tratará de extender, en la medida de lo posible, al resto de la compañía y, por otra parte, los puntos débiles que la empresa tratará de fortalecer o mejorar. Tiene una ventaja fundamental: los datos, proporcionados por la propia empresa, están disponibles en todo momento y no hay problemas de falta de fiabilidad.
- ***Benchmarking Competitivo***: Su objetivo es el de conocer a la competencia, a la que se analiza y se compara con nuestra empresa y tratará de averiguar cómo se pueden subsanar los puntos débiles mediante la observación de la forma en que lo consiguen los líderes del mercado. Existe una dificultad importante que radica en el conocimiento del

Copyright Ediciones Deusto S.L.

modo en que la competencia realiza sus procesos, métodos que emplean, datos y resultados fiables, etc. La confidencialidad que mantienen las empresas al respecto dificultará el acceso a la información que nos interesa.

- ***Benchmarking Funcional***: La comparación se realiza entre funciones y no entre empresas. No se buscan líderes de empresas similares, sino líderes de una función específica. Nuestra empresa tratará de analizar y solucionar las deficiencias de esa función específica basándose en aquellas compañías que destaquen en ese aspecto particular. Normalmente, estos líderes funcionales no suelen considerarse como competencia directa de nuestro mercado, por lo que resultará más asequible y sencilla la obtención de datos.
- ***Benchmarking Genérico***: El conjunto de objetivos que abarca es más amplio, no sólo serán funciones las que se comparan. Se centrará más en los procesos de forma global, tratando de investigar todo tipo de prácticas, incluso aquellas que no son utilizadas por nuestra compañía y que podría interesar incorporar. Suele llevarse a cabo de forma conjunta con el *benchmarking funcional*.

Etapas básicas del proceso de Benchmarking

A continuación se describe una clasificación de las principales etapas del proceso de *Benchmarking*, que se repiten de forma continua en forma de ciclo (figura 2.15.). Dentro de cada una de las etapas existen diferentes pasos o fases de desarrollo:

a) ***Planificación***

1. Identificar cuál será el objetivo a estudiar por el *Benchmarking*. Es decir, seleccionar como *benchmark* el proceso, producto, servicio, función, práctica, punto crítico, etc., que será objeto de análisis.
2. Seleccionar las compañías mejores o los líderes funcionales que, tanto si son competencia directa como no lo son, estén considerados como los primeros en el sector fijado como objetivo del *benchmarking*.
3. Establecer y llevar a cabo la recopilación según el método óptimo de recogida de datos, tanto de origen interno como de la competencia.

b) ***Análisis***

4. Determinar y evaluar las diferencias que existen con el líder de la competencia seleccionado. Es decir, dónde estamos y dónde está nuestro *benchmark*, en el aspecto o área que estemos considerando en el estudio.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

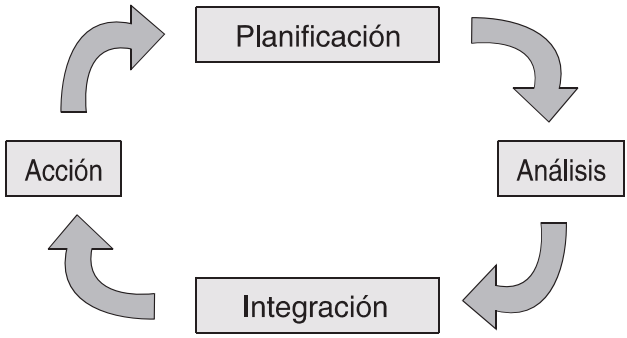


Figura 2.15.

5. Establecer las fases de evolución del modelo de nuestra empresa respecto a la competencia. Se tienen que marcar los plazos y objetivos a cumplir para el aprendizaje e implantación de las nuevas prácticas.

c) ***Integración***

6. Información a la dirección de la empresa de los datos y resultados del análisis anterior con el objeto de que ésta decida su aceptación.
7. Establecer los planes de acción y objetivos funcionales que se van a llevar a cabo y de qué forma. Se tienen que comunicar a toda la organización como primer paso para contar con su complicidad.

d) Acción

8. Desarrollar e implantar los planes de acción previstos. Se llevarán a cabo todas las acciones y estrategias planificadas. Es la fase ejecutiva.
9. Evaluar y controlar el grado de cumplimiento de las acciones que se han implantando. En esta fase se supervisará la evolución de las diferentes acciones, llevando a cabo las correcciones necesarias para controlar y asegurar su adecuada implantación.
10. Actualizar el *benchmark* sobre el cual se realiza el estudio. El esfuerzo es continuo y se han de renovar de forma constante tanto los datos sobre nuestra empresa como sobre todas las empresas de la competencia.

El *Benchmarking* no acaba nunca, siempre hay algo que mejorar, y la competencia evoluciona a la vez que evoluciona nuestra empresa. Por tal motivo, el *Benchmarking* debe ser considerado como una actitud continua con el objetivo de alcanzar el liderazgo sobre el resto de competidores. Pero el esfuerzo no

Copyright Ediciones Deusto S.L.

acaba ahí, la mejora continua debe proseguir mediante la búsqueda y aprendizaje de nuevas prácticas que permitan mantener la posición de privilegio alcanzada.

Reingeniería

Si bien el *benchmarking* está considerado como una estrategia en el contexto de la Gestión de la Calidad Total, la *Reingeniería,* que como veremos es una potente herramienta de mejora, no se encuentra específicamente dentro de las consideradas estrictamente herramientas de la calidad, sino más bien ligada a los cambios que afectan a la organización, sus estructuras y a los procesos que tienen lugar en ellas. Sin embargo, *Benchmarking* y Reingeniería son conceptos que se complementan; en efecto, según podemos recordar, puesto que ya ha sido expuesto anteriormente, las estrategias relacionadas con la organización y sus estructuras pueden dar lugar a una «infraestructura» muy adecuada (o todo lo contrario) para implantar una gestión rápida, eficiente y poco costosa, es decir, basada en la calidad total. Es por esto que es nuestro deseo terminar este capítulo haciendo una referencia rápida a la reingeniería.

Si bien la Calidad Total tiene como objetivo la mejora continua de los procesos ya existentes, la reingeniería busca grandes mejoras y cambios a través de nue-vos procesos.

La Reingeniería (figura 2.16.) se define como la *revisión total y el consecuente rediseño profundo de los procesos, para lograr mejoras espectaculares en aspectos importantes como los costes, calidad, servicio, tiempo, etc*. Hay que incidir en varios aspectos expuestos en la definición anterior:

- *Revisión total:* se ha de cuestionar todo de una forma profunda, abarcando todas las partes y aspectos del proceso. Un error que hay que evitar es «pasar por alto» o «dar por hecho» ciertos aspectos tradicionales por considerar que no admiten ser cuestionados. La idea es evolucionar de cómo se «hacen» las cosas a cómo «se deberían hacer».
- *Rediseño profundo:* con el rediseño no se pretende una simple mejora, modificación o pequeños cambios, sino un «cambio» drástico de estructuras y procesos. Hay que abandonar las prácticas y procesos poco eficientes y evolucionar con nuevas prácticas.
- *Mejoras espectaculares:* el objetivo de la reingeniería no son los pequeños ajustes o retoques. Se persiguen cambios importantes. En este sentido, será de gran ayuda las innovación tecnológica y los procesos informáticos. Se trata de una estrategia ambiciosa.
- *Orientación clara hacia los procesos* en detrimento de la organización, personas u otras estructuras.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

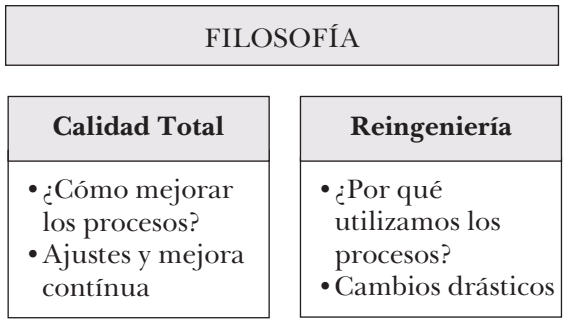


Figura 2.16.

La reingeniería es una estrategia que se puede aplicar a cualquier situación dentro de la empresa y será tan beneficiosa en aquellas empresas que necesitan imperiosamente un cambio para evitar su desaparición, como en aquellas que desean mantener y superar la posición de privilegio que ocupan frente a la competencia. Algunos de los beneficios que se logran con la reingeniería son:

- Cambio positivo a procesos más eficientes. Las cosas se hacen como deben hacerse, de forma más ordenada, siguiendo un orden lógico.
- Comportamiento activo de las personas, que aportan ideas y opiniones, implicándose en la evolución y mejora de los procesos.
- Reducción de controles y verificaciones en los nuevos procesos.
- Se logra la integración de trabajos, varias tareas se combinan en una sola. La reingeniería es contraria a la división del trabajo.
- Se obtiene una mejor organización del trabajo. De los departamentos funcionales, gerentes supervisores y estructuras jerárquicas, se pasa a equipos de proceso, gerentes entrenadores y estructuras planas.

Fases

El proceso para llevar a cabo la Reingeniería (figura 2.17.) está formado por una serie de fases básicas o generales:

1. Conocer y estudiar todas las etapas y aspectos del proceso actual, cómo se lleva a cabo, su estructura, etcétera.
2. Analizar en profundidad el proceso, los puntos fuertes y los débiles, así como evaluar aspectos clave como el coste, la calidad, el tiempo, etc., todo bajo la perspectiva de «qué se tiene» y «qué se debe tener».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

3. Investigación y búsqueda de nuevos procesos que aporten soluciones distintas para aumentar la eficiencia.
4. Diseño y documentación de los nuevos procesos que utilizaremos, estructura, tareas que implica implantación, etcétera.
5. Implementación de los procesos, controlando su puesta en funcionamiento, realizando ajustes o acciones correctivas, verificando los resultados, etcétera.

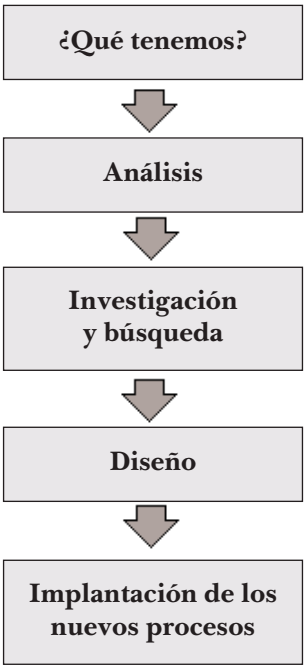


Figura 2.17.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

3

Planificación y diseño para la calidad

La preocupación por incorporar la calidad ya desde el diseño de productos y procesos surge en el Japón de los años 1970, y se basa en que es mucho más sencillo incorporar la calidad en esta etapa que forzar a que la tengan productos con diseños complicados y procesos excesivamente complejos. Especialmente difícil es que éstos alcancen un nivel elevado de calidad a bajo coste, puesto que de esta forma la calidad, si se alcanza, será con toda probabilidad a costes elevados. Por el contrario, un diseño sencillo, pero «robusto», permite alcanzar ambas con mucha más facilidad.

La relación *calidad/coste* fruto de mejoras en la gestión, para aquellas mejoras

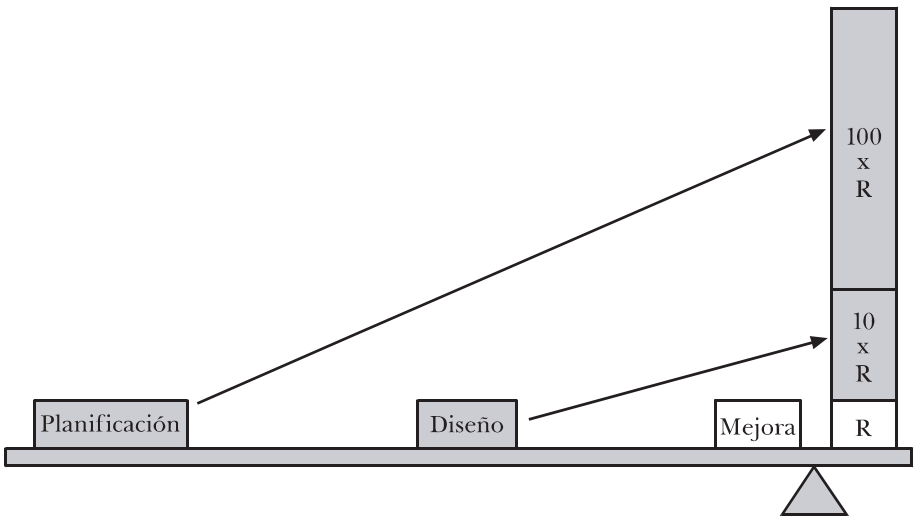


Figura 3.1.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

introducidas sobre el propio proceso, puede dar lugar a un determinado resultado que podemos llamar R. Cuando se introduce la calidad en una etapa anterior a la ejecución del proceso en el diseño del producto-proceso, la relación calidad/coste que puede obtenerse puede llegar a ser muy superior (del orden de 10 veces R), y para la calidad introducida en una etapa aún anterior, la de planificación del producto basada en los requerimientos de diseño del cliente, puede llegar a alcanzar las 100 veces el valor de R.

Ello podemos representarlo simbólicamente como una palanca (véase figura 3.1.) en la que al desplazar en un lado el «peso» de la mejora, situándolo progresivamente en posiciones «anteriores» más alejadas del punto de apoyo, se equilibra con un «peso» progresivamente superior al otro lado de dicho punto de apoyo.

Así pues, dependiendo del momento en que se introduzca la calidad en la gestión, el resultado puede ser mejor (calidad mayor) con un coste inferior, y ello se da en mayor grado a medida que dicho momento es anterior en el tiempo. Ello ha dado lugar a tres enfoques de la gestión de la calidad que han jalonado la evolución histórica de la misma, así como a las técnicas que corresponden a cada una:

- *Calidad del pasado*: Corresponde a la primera etapa en la que la calidad se reducía a la inspección del producto ya obtenido (calidad del pasado: obtenida cuando ya *ha pasado* el proceso de producción).
  Es una calidad de bajo nivel y alto coste, por cuanto los defectos tienen lugar sin acción alguna para evitarlo.

- *Calidad del presente*: Corresponde a la etapa siguiente en que se actúa sobre el proceso para evitar defectos (calidad del presente: gestionar el proceso en el momento en que tiene lugar). Se lleva a cabo por medio del control estadístico de procesos (SPC).
  Resulta un nivel medio de calidad y costes.

- *Calidad del futuro*: Corresponde a la etapa más avanzada y actual en que se introduce la gestión de la calidad ya desde el diseño de productos y procesos, buscando la sencillez y robustez en los diseños (calidad del futuro: se introduce antes del proceso, es decir para procesos a llevar a cabo en el futuro).
  Resulta un nivel elevado de calidad acompañado de costes bajos.

A esta etapa corresponden las técnicas más avanzadas de la calidad y que vamos a desarrollar en los capítulos siguientes. La planificación de productos y procesos se llevará a cabo por medio del ***Despliegue Funcional de la Calidad (QFD)*** con el que se planifica el diseño en base a los requeri-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

mientos de los consumidores y se seleccionan las alternativas de diseño más adecuadas; junto al QFD expondremos el ***Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)*** con el que se validan los diseños en base a los fallos potenciales que pueden presentar y su corrección, y finalmente se expondrá el ***Diseño Estadístico de Experimentos (DEE)*** que permite optimizar los diseños en base a las variables que los configuran para obtener la calidad más elevada al mínimo coste.

La introducción de los tres enfoques citados de la gestión de la calidad y sus técnicas correspondientes se ha ido produciendo con el tiempo, pero de una forma desigual, ya que en el Japón las etapas que suponían un avance se han ido produciendo antes que en el mundo occidental y los Estados Unidos en particular. La figura 3.2., que sigue, ilustra cómo han ido avanzando progresivamente

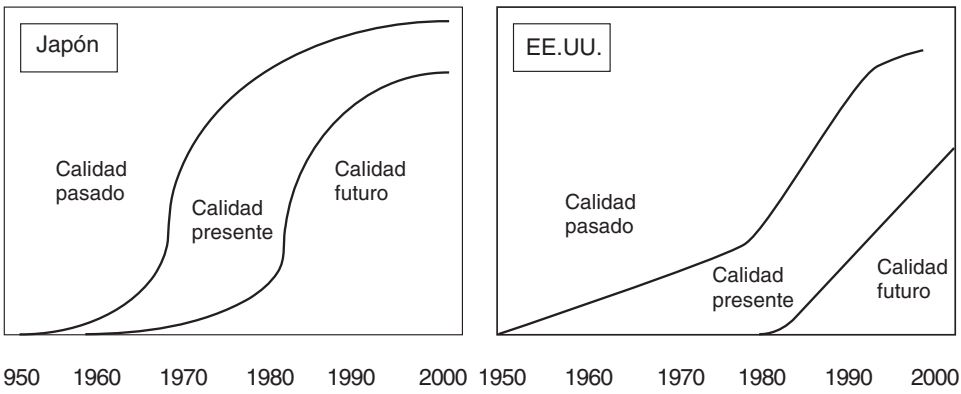


Figura 3.2.

las tres etapas en ambos mundos, en base al porcentaje de penetración por parte de las empresas, en la segunda mitad del siglo XX.

La gestión de la calidad en el diseño: planificación de productos y procesos

El diseño de productos y procesos en base a la gestión de la Calidad Total tratará de obtener diseños sencillos y robustos, en los que se optimicen y controlen los parámetros más adecuados y se consiga la máxima calidad al mínimo coste; basándonos esencialmente en los tres grupos de técnicas desarrollados al efecto que hemos mencionado: QFD, AMFE y DEE.

El plan general de diseño y desarrollo de productos y procesos que permite alcanzar los objetivos citados, constituirá lo que denominaremos *planificación de productos y procesos para la calidad*, que incluye las etapas que permitirán la aplica-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ción de las herramientas citadas y que se expondrán en los capítulos que siguen. A todo ello seguirá la etapa de desarrollo del proceso de producción y su control, el cual debe ajustarse al plan de control que se habrá elaborado en la planificación anterior, de acuerdo con el diseño y los parámetros elegidos y sus tolerancias, para desembocar finalmente en la implantación del proceso. El plan global de planificación puede verse esquematizado en la figura 3.3.

En ella se aprecian cuatro etapas, según sigue:

- ***Planificación*** en la que aplicaremos sucesivamente:
  - *Q.F.D.* (Diseño en base a requerimientos).
  - *A.M.F.E.* (Prevención de errores potenciales en el diseño y su corrección).
  - *Plan de Control Dimensional* que surge del AMFE y sus exigencias para prevenir los posibles errores detectados.

- ***Optimización*** en la que se materializará el diseño óptimo:
  - *Diseño de parámetros* (elección de los parámetros que condicionarán el diseño).
  - *Diseño de experimentos (DEE)* etapa en la que se optimiza el diseño en base a los parámetros de que depende el mismo.
  - *Función de pérdida,* etapa en la cual se evaluará el diseño obtenido en cuanto a sus resultados para con el consumidor y la sociedad en general. La función de pérdida, definida por G. Taguchi, trata de evaluar los resultados en coste de la no-calidad de un producto en función del destino que se le dé (no resulta lo mismo un fallo de un motor eléctrico de un molinillo de café que en un alerón de un avión), incluyendo todos los aspectos que pueda llegar a afectar (y, por tanto, no sólo al adquirente, sino a terceros y la sociedad en general).

- ***Control***, fase en la cual se procede a establecer el control del proceso que asegure la «*capacidad*» exigida, a fin de limitar los defectos de calidad que puedan producirse; actualmente, con las elevadas capacidades a las que se tiende los defectos se están ya midiendo en *ppm*, es decir partes por millón. La herramienta para esta etapa será el *Control Estadístico de Procesos (SPC).*

- ***Implantación del proceso de producción***, etapa en la que se implanta el proceso con las herramientas clásicas para ello, que pueden apreciarse en el esquema de la citada figura 3.3. que estamos comentando.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

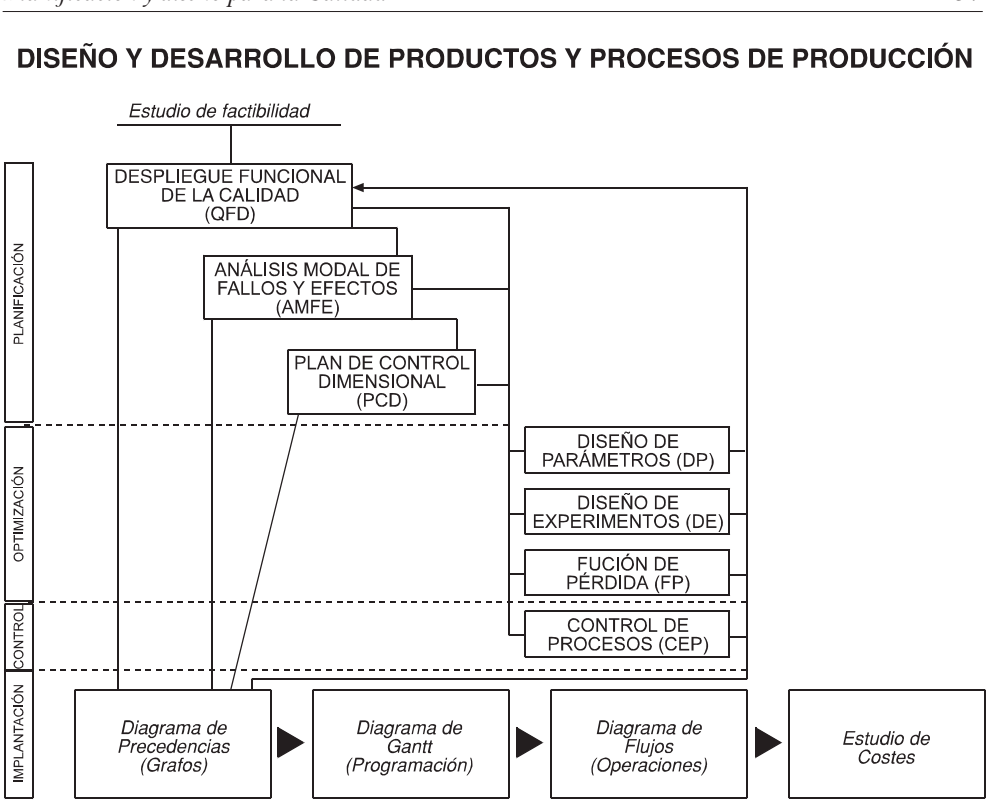


Figura 3.3.

Al final, con el producto ya obtenido se procederá a llevar a cabo el control de calidad sobre el mismo que asegure que puede entregarse al cliente; sin embargo, con la implantación de gestión basada en la calidad ya desde el diseño que hemos expuesto, normalmente el control sobre el producto podrá reducirse al mínimo, lo que a su vez permitirá reducir aún más el coste.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

4

El Despliegue Funcional de la Calidad: QFD

El diseño para la calidad: evolución histórica

Tal y como ya hemos expuesto, la calidad introducida en las etapas de planificación y diseño supone la más reciente aportación en técnicas para la gestión de la calidad y también la que permite obtener mayor eficiencia en base a una calidad elevada a bajo coste. Aunque las herramientas más avanzadas de introducción de la calidad en el diseño son de desarrollo reciente, la preocupación por obtener diseños sencillos y robustos, base del «secreto» de la mayor eficiencia de la calidad introducida en el diseño, comienza en el Japón en los años setenta y tiene como antecedente inmediato la *teoría del valor de* L.T. Miles. En Estados Unidos no se introduce hasta los años ochenta.

En el Japón, la introducción de la calidad en los procesos de producción comenzó ya en los años cincuenta y sesenta, y ya desde entonces tuvo lugar una auténtica fiebre por alcanzarla; como sabemos, ya a inicios de los años sesenta se extendió a la formación y actuación de los recursos humanos con los círculos de calidad de Ishikawa. Resultaba claro a fines de los sesenta, que la calidad de diseño tenía que mejorarse también. Inicialmente, se utilizaron los gráficos de espina de pez (gráficos de Ishikawa) para identificar las demandas del cliente y establecer la calidad de diseño. Alrededor de 1966, el doctor Akao empezó a expresar la necesidad de que los puntos críticos para garantizar la calidad se manejasen a través del diseño y de la fabricación. Más tarde, estas ideas se formalizaron y dieron como fruto el QFD (*Quality Funtion Deployement*).

La primera documentación de despliegue de calidad apareció en 1972, en un artículo titulado «*Development and Quality Assurance of new products: a system of Quality Deployement»,* en la revista mensual *Standardization and Quality Control*. Algo después, con la ayuda de los doctores Mizuno y Furukawa, el astillero Kobe, de Mitshubishi Heavy Industries, desarrolló una matriz de demandas del cliente y características de calidad. Dos años más tarde, el doctor Akao fundó y presidió el

Copyright Ediciones Deusto S.L.

comité de investigación de la JSQC[1] para el despliegue de las funciones de calidad. Como presidente, ayudó a promover el desarrollo del QFD como una técnica para mejorar la transición desde el diseño a la fabricación a fines de los años setenta.

En 1978, los doctores Akao y Mizuno coeditaron un libro de artículos titulado *Quality Function Deployment: An aproach to Total Quality Control,* que sistematizaba las ideas y temas básicos del QFD. Esto demuestra que el concepto de despliegue de la calidad se había estado utilizando en las industrias desde 1972.

En octubre de 1983, Yoji Akao introdujo el Despliegue de Funciones de Calidad (QFD) en Estados Unidos en un breve artículo que apareció en *Quality Progress,* revista mensual de la American Society for Quality Control (ASQC). A raíz de esto, en 1984, el doctor Clausing introduce el QFD en la Ford Motor Company. En Europa Occidental se empieza a oír hablar de QFD hacia 1986.

Su desarrollo en tan pocos años ha sido notable. La idea se ha introducido con resultados probados en cada aspecto del desarrollo de nuevos productos y tecnologías. Con la reciente y fuerte promoción del TQC, la gama de aplicaciones del despliegue de calidad incluye la fabricación y la construcción y también los sectores de servicios y *software.* Las técnicas de despliegue de funciones de calidad se han introducido con gran éxito en la industria del automóvil.

Actualmente, el QFD es una herramienta de una potencia muy considerable en el esfuerzo por obtener la más elevada calidad a bajo coste ya desde el diseño.

QFD: su importancia

Para conocer las posibilidades de un producto nuevo o mejorado en el mercado es tradicional acudir a las herramientas de marketing. Teniendo en cuenta el plazo debido a la fase de desarrollo, por un lado, y al carácter evolutivo de las necesidades del mercado, por otro, las expectativas a identificar pueden no ser las del momento, sino las que se harán sentir en el instante en el que el producto sea introducido en el mercado. Se intenta entonces programar, concebir, desarrollar y producir un artículo que responda a las expectativas del cliente, además de ciertos objetivos estratégicos, comerciales, financieros y técnicos. Este es actualmente un proceso clásico y conocido.

El proceso de desarrollo del producto comienza, pues, con las expectativas del cliente y concluye con la salida del producto acabado. Por tanto, el papel del proceso de desarrollo consiste en traducir las expectativas del cliente en especificaciones internas de la empresa y transmitir fielmente dichas especificaciones a las distintas funciones implicadas.

1. Japan Society for Quality Control.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La traducción de las expectativas del cliente en especificaciones y la transmisión de dichas especificaciones a las distintas funciones se llevan a cabo no sin dificultades y se tropiezan con numerosos obstáculos debido a la estructura y a

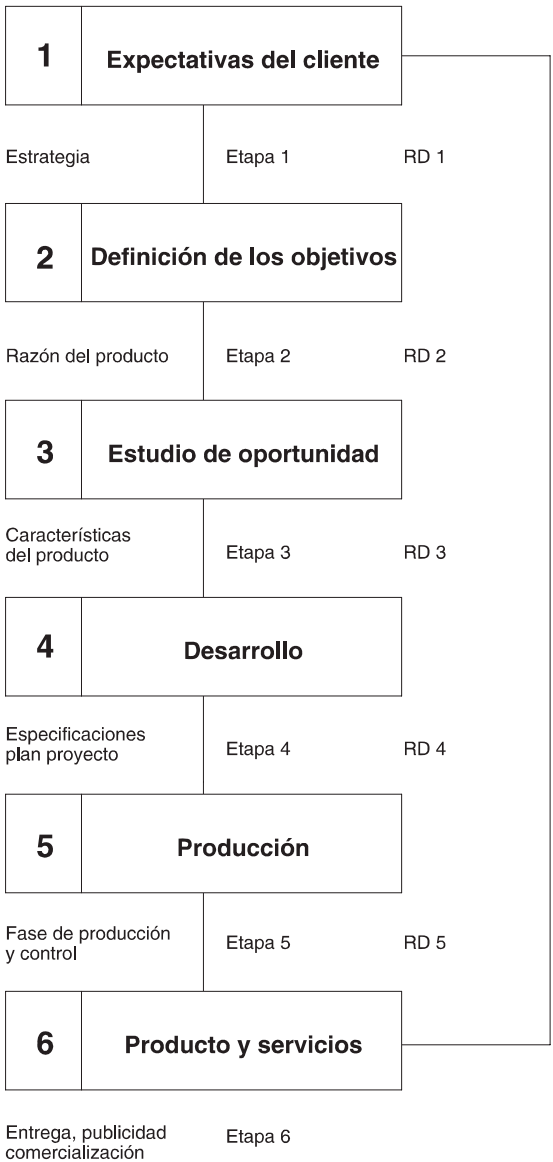


Figura 4.1. Etapas del procedimiento del ciclo de vida de los productos

Copyright Ediciones Deusto S.L.

los modos de funcionamiento de la empresa, por un lado, y a la naturaleza misma del proceso de desarrollo, por otro.

Las expectativas del cliente, punto de partida del ciclo y del proceso de desarrollo, se verán deformadas y retrasadas antes de llegar a aquellos que tengan que convertirlas en tareas concretas para realizar el producto acabado.

Hay que saber que existen muchos más productos fracasados y muchas más quiebras de empresas debido a productos mal adaptados, al mercado, aunque bien fabricados, que debido a productos bien adaptados, pero mal fabricados.

La transmisión integral de la información asociada al producto, la rapidez de su circulación y la colaboración sin reservas de todas las funciones de la empresa con un mismo objetivo y en un mismo instante, son factores que dan una medida de la agilidad y la reactividad de una empresa; todos sabemos que hoy en día la reactividad es un criterio primordial para la empresa, pero no sabemos tan bien que el origen de dicha reactividad se halla en las estructuras, en los modos de funcionamiento y en la comunicación.

Por supuesto, este problema no es nuevo. Para limitar los riesgos debidos a ello; hacia principios de los años cincuenta A.V. Feigenbaum desarrolló y aplicó un procedimiento conocido con el nombre de Procedimiento del Ciclo de Vida de los productos (PCVP), cuyo objetivo consiste en controlar el ciclo de desarrollo de los productos en todas sus etapas; se trata de un procedimiento interno. Debido a ello las modalidades de su aplicación se adaptan a cada empresa, según su tamaño, su estructura, su modo de funcionamiento, sus productos, etcétera.

Veamos de una manera muy esquemática el Procedimiento del Ciclo de Vida de los Productos:

- *Las expectativas del cliente se traduzcan en especificaciones* de objetivos para la empresa.
- *Las especificaciones de objetivos se traduzcan en especificaciones funcionales* respecto al producto.
- *Las especificaciones técnicas se traduzcan en especificaciones de proceso*, de mantenimiento, etc., para conseguir, en último término, poner a disposición del cliente y conforme a sus expectativas, el producto y los servicios asociados.

Las Revisiones de Decisión (RD), pasos obligatorios según este procedimiento, verifican la buena ejecución de cada etapa y autorizan el paso a la siguiente tras comprobar su factibilidad. Este procedimiento debería permitir la obtención de resultados conformes a los objetivos, pero la experiencia demuestra que el procedimiento del ciclo de vida de los productos está lejos de garantizar la conformidad del producto final con los objetivos iniciales y en particular, con las expectativas del cliente.

Algunas de las causas más importantes de esta no conformidad con los objetivos las podemos enumerar a continuación:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Las especificaciones no traducen las necesidades del cliente, las expectativas del cliente no se recogen de manera sistemática y se desarrollan los productos según las especificaciones funcionales definidas por ingeniería.
- La adecuación de los productos al mercado no es suficiente; el desconocimiento de las expectativas del cliente trae consigo tener una visión defectuosa del mercado.
- La dispersión de los esfuerzos: el personal necesita cierta autonomía para alcanzar los objetivos de la empresa y, por tanto, le es preciso comprender el porqué de cada acción, además de conocer, entender y compartir la estrategia de la empresa.
- Falta de un conocimiento riguroso de la competencia, dado que el éxito de un producto depende de sus cualidades intrínsecas, pero también de su posicionamiento respecto a los productos de la competencia.
- Falta de jerarquización de las características del producto, puesto que la jerarquización permite concentrar los esfuerzos en lo esencial y acercar el producto a su objetivo.
- El control de calidad tradicional en el que se basa primordialmente el PCVP y que se lleva a cabo por medio de la detección posterior a la ejecución.
- El trabajo en serie, que puede provocar una dilatación de los plazos de ejecución del producto final.
- Dificultad de la traducción de las distintas especificaciones, ya que no existe un método sistemático que permita realizar la traducción minimizando el error.

Acabamos de observar que PCVP es un procedimiento que tiene ciertas limitaciones, pero que ha constituido un pilar importante en el proceso de desarrollo de los productos; incluso hoy en día, algunas empresas continúan utilizándolo como herramienta fundamental en el desarrollo de sus productos.

El PCVP constituye una excelente introducción al QFD. El despliegue funcional de la calidad, sin haber nacido como un procedimiento evolutivo del PCVP, sí tiene cierta similitud con el mismo y constituye una mejora sustancial del procedimiento, proporcionando un método sistemático en la traslación de los requerimientos del cliente.

En la actualidad, más que nunca, los requerimientos del cliente son la eficiencia básica obligada, y los productos y servicios desarrollados por la empresa tienen que corresponder con exactitud a sus expectativas. Por otro lado, el cliente está fuera de la empresa y geográficamente está cada vez más alejado de ella; esto es consecuencia de la mundialización de los mercados. En estas condiciones se hace necesario, más que nunca, establecer circuitos de comunicación fiables, trasparentes y rápidos entre la empresa y su cliente. Todos los esfuerzos realiza-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

dos para escuchar y recoger las expectativas de los clientes y encaminarlas hacia la empresa pueden resultar insuficientes. Por otro lado y en el interior de la empresa, las estructuras, los modos de funcionamiento y los procedimientos que se utilizan no suelen permitir una traducción fácil, sistemática y fiel de las informaciones que provienen del cliente en especificaciones y acciones claras para los procesos de producción del producto. De hecho, resulta fácil establecer un método bien identificado y claro que permita optimizar esa comunicación entre la empresa y su cliente. El QFD ha sido elaborado para responder a esta necesidad.

QFD: Concepto y características

La característica esencial del QFD es la de ser una herramienta de la calidad que actúa en la etapa de diseño del producto y su desarrollo.

El Despliegue Funcional de la Calidad o QFD (*Quality Funtion Deployement*) es un método para desarrollar una calidad de diseño enfocada a satisfacer al consumidor, de forma que se conviertan los requerimientos del consumidor en objetivos de diseño y elementos esenciales de aseguramiento de la calidad a través de la fase de producción, por lo que podemos afirmar que el despliegue de funciones de calidad es un modo de asegurar la calidad mientras el producto está en fase de diseño.

El doctor A. V. Feigenbaum, una autoridad en Control de Calidad Total (TQC), define un sistema de calidad como el sistema de procedimientos técnicos y administrativos requeridos para producir y entregar un producto con estándares de calidad específicos.

El doctor J. M. Juran define una función de calidad como aquella que forma la calidad. Todas las actividades tales como la planificación y el diseño, mostradas en la figura 4.2., son funciones que forman o contribuyen a la calidad. El sistema de calidad, tal y como se ha definido anteriormente, está constituido por un conjunto lógico de funciones de calidad.

El doctor Shigeru Mizuno define el despliegue de funciones de calidad como el despliegue paso a paso con el mayor detalle de las funciones u operaciones que conforman sistemáticamente la calidad y con procedimientos objetivos, más bien que subjetivos. Por tanto, el sistema de calidad del doctor Feigenbaum puede basarse en el despliegue de funciones de calidad.

Cuando desarrollamos un sistema de calidad debemos analizar y entender la calidad en sí misma, para lo cual es necesario hacer un despliegue de todas sus funciones, conjugándolo con las herramientas adecuadas que tenemos a nuestro alcance (figura 4.2.).

Así pues, podemos definir el despliegue de funciones de calidad como la conversión de las demandas de los consumidores en características de calidad y el desarrollo de una calidad de diseño para el producto acabado, mediante el des-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

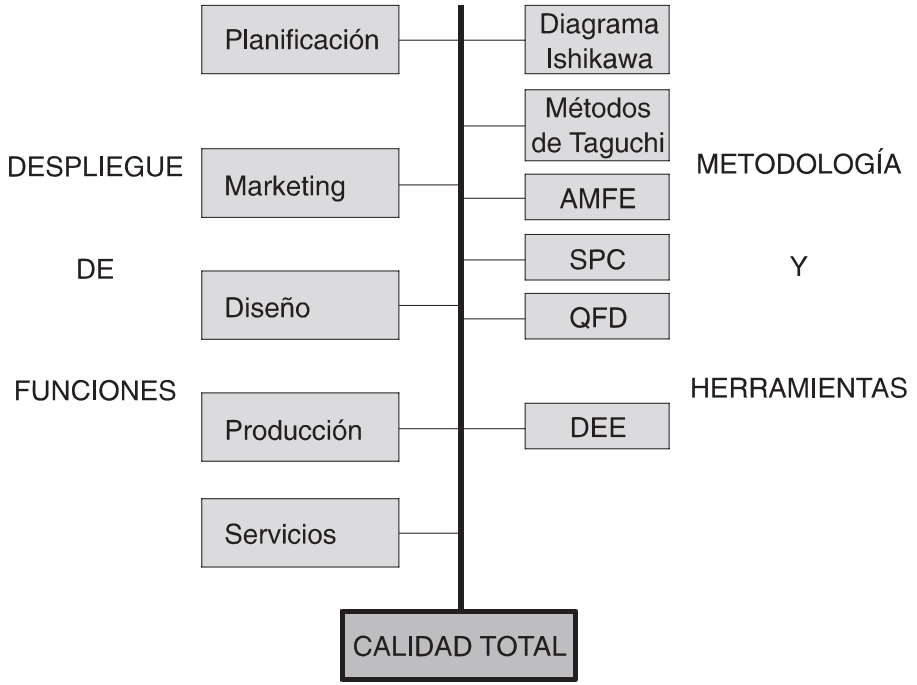


Figura 4.2. Despliegue de la calidad y de sus funciones

pliegue sistemático de relaciones entre demandas y características, comenzando con la calidad de cada componente funcional y extendiendo el despliegue de la calidad a cada parte y proceso. La calidad global del producto se formará a través de esta red de relaciones.

Consecuentemente, el QFD no es únicamente una herramienta técnica como el DEE (Diseño de Experimentos) o el AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), sino que constituye asimismo una herramienta útil de planificación y para la dirección. Del mismo modo, el QFD no es una herramienta que sirva únicamente a las personas que conciben el producto, sino que se trata de una herramienta para todo el personal de la empresa y principalmente y ante todo, para los directivos y altos responsables.

Beneficios derivados de la aplicación del QFD

Con el empleo de la metodología del QFD, podemos observar ciertos beneficios comunes a todas sus aplicaciones:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Integración de la calidad demandada y las características de calidad en un gráfico de calidad básico.
- Fijación de las metas basadas en la cuantificación de las evaluaciones por parte de los usuarios.
- Conversión de requerimientos de calidad demandados en elementos medibles de diseño e ingeniería.
- La planificación del nuevo producto resulta más específica.
- Las actividades de planificación y desarrollo están más ligadas a las expectativas.
- Establece una fuente de información para futuros productos o mejoras de proceso y servicio.
- Proporciona un sistema fiable de seguimiento del producto o servicio a través del proceso.
- Jerarquiza las acciones de manera objetiva.
- Ayuda a la dirección a enfocar eficientemente sus esfuerzos.
- Reduce costes.
- Mayor satisfacción del cliente.
- Mayor transparencia en los procesos de desarrollo.
- Mejores relaciones entre los distintos servicios.
- Mayor reactividad.
- Mejora de la calidad y fiabilidad del producto.

Junto a estos beneficios del empleo del QFD, podemos observar mejoras cuantificables basadas en el empleo de esta metodología por parte de las empresas:

- El *ciclo de desarrollo* de un producto se reduce entre un 30% y 60%.
- Las *modificaciones del producto y del proceso* se reducen entre un 30% y 50%.
- Los *costes de lanzamiento* se reducen entre un 20% y 60%.
- Las *reclamaciones de los clientes* se reducen en unas proporciones que alcanzan hasta el 50%.

Sin embargo, el problema fundamental no consiste en saber si el QFD permite reducir el ciclo de desarrollo de un proceso o cualquiera de las ventajas cuantitativas que acabamos de enumerar, sino que se trata de conocer si el QFD permite aumentar la satisfacción del cliente y mejorar los resultados de la empresa. Los ejemplos de empresas que han aplicado esta metodología y la siguen llevando a cabo, demuestran que, en efecto, se logran tales objetivos.

Metodología para el desarrollo del QFD

Expondremos a continuación las etapas de la metodología del QFD, sus características y cómo se desarrollan. Para ello, nos ayudaremos también de algunos casos sencillos para facilitar la comprensión.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

También debemos señalar que la metodología del QFD todavía no ha madurado, ni siquiera en Japón, su país de origen. Actualmente existe gran diversidad en su empleo, dependiendo de las limitaciones de su propio entorno y sobre todo del proyecto en cuestión, ya que se trata de un método adaptable y flexible, como ya hemos hecho hincapié anteriormente.

Por tanto, vamos a presentar un desarrollo de la metodología que intenta recoger la línea general de este procedimiento, válido para sus distintas adaptaciones, y en algunos aspectos haremos un desarrollo más profundo.

El QFD y su metodología puede aplicarse a cuatro fases del proceso que llevará a la obtención del producto, desde su planificación y diseño hasta la planificación de la producción y sus procesos. Son las siguientes:

1. *Planificación* del producto.
2. *Despliegue* de componentes.
3. *Planificación* de los procesos.
4. *Planificación* de la producción.

En todas estas fases se aplicará básicamente la misma metodología que expondremos a continuación.

Planificación del producto o servicio

Para llevar a cabo la planificación del producto y su diseño partiremos, por un lado, del conocimiento del cliente y del mercado, recogiendo las características y requerimientos de la demanda y, por otro lado, se recogerán las posibles alternativas de diseño que permitan satisfacer esta demanda, siempre teniendo en cuenta la estrategia de la empresa y sus propios recursos; se trata, pues, de una etapa de definición del producto.

Dividiremos, a su vez, esta fase en otras tres etapas a abordar de forma sucesiva:

1. Despliegue de la calidad demandada.
2. Despliegue de diseños alternativos para la calidad.
3. El gráfico de calidad.

Etapa de despliegue de la calidad demandada («qués»)

La operativa con el QFD comienza con la recogida, análisis y tratamiento de las expectativas y requerimientos del consumidor. Una profunda y precisa comprensión de las demandas del mismo y del mercado en general es la clave para el éxito del desarrollo de un nuevo producto. El despliegue de las funciones de ca-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

lidad es un método para desarrollar un plan de calidad que empieza por el control en la fuente.

Para ello es preciso conocer quién es nuestro cliente y cuál su entorno. Hay que empezar por identificar, tanto a los clientes actuales como a los potenciales para los que se pretende desarrollar el producto; hay que ir más allá de la segmentación del mercado, dado que se trata de conocer los clientes, sus profesiones, sus costumbres, sus prácticas habituales, en definitiva, su entorno. El resultado de esta operación debe materializarse en una lista que contenga los tipos de cliente y sus especificidades relacionadas con el producto que se quiere desarrollar. La diversidad de clientes obliga a la jerarquización de los mismos, generalmente adoptando un criterio económico para ello. La identificación de los clientes y su jerarquización constituyen dos operaciones estratégicas para la empresa.

A raíz del conocimiento del cliente vamos a poder conocer sus demandas, sus requerimientos hacia nuestro producto, en definitiva, sus expectativas, las cuales tendremos que satisfacer si queremos tener éxito. La información conseguida de los consumidores respecto a las calidades demandadas deben analizarse sistemáticamente para que sea útil para el desarrollo del producto. Debemos trabajar con un conjunto tan extenso como sea posible, de informaciones procedentes de los consumidores sobre esta calidad demandada.

Debe determinarse de algún modo la importancia relativa de las diversas demandas de calidad que hacen los consumidores.

Hemos de convertir la información en bruto de nuestros clientes o potenciales clientes en información que pueda usarse en un gráfico de calidad, para facilitar su traducción en características de calidad.

Para ello es conveniente, una vez recogida toda la información bruta, es decir, en palabras del propio cliente, convertirla en expresiones sencillas, sin perder el significado inicial, agruparlas en elementos de información afines entre sí y detallarlas cada vez más hasta un último nivel en el cual el elemento de información sea claro y preciso y, sobre todo, que sea fiel a las expectativas del cliente.

Caso-ejemplo: Una expectativa del cliente para un faro de automóvil.

«***que dé lugar a una buena visibilidad***»

Veamos en la siguiente tabla, los requerimientos que ello supondrá, que se denominan coloquialmente los «qués»*:*

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Calidad demandada		
1.º	2.º	3.º
Visibilidad obtenida	A distancia	Intensidad de iluminación
		Amplitud de iluminación
		Dirección correcta del haz
		No dispersión de la luz
	Cercana	Intensidad incluso en posiciones bajas
		Amplitud de iluminación
		Dirección correcta haz
	En condiciones especiales	Luz anti-niebla adecuada
		No cambio de ángulo con mayor peso

Ahora nos encontramos con una lista detallada de elementos de información (claros y precisos) que no son otra cosa que *la voz del cliente*.

El segundo paso a llevar a cabo será la jerarquización de estos elementos de información ponderando el valor de cada uno de ellos. Esta jerarquización se basa en la importancia que da el cliente a sus propios requerimientos, de este modo y dado que nuestra empresa, que no cuenta con recursos ilimitados, podremos concentrar los mayores esfuerzos en aquellas expectativas primordiales que demanda el cliente.

Caso-ejemplo: Entorno interior vivienda bueno. *Los «qués»: «***interior alegre***»*

1.º	2.º	3.º	Valor ponderado
Entorno interior	Espacio	Amplitud	9
		Abierto	7
	Ambiente	Luz interior	8
		Ventilación	7
		Aislamiento térmico	6
		Aislamiento acústico	7

Etapa de diseños alternativos para la calidad («cómos»)

Es fundamental conocer los requerimientos de los clientes para satisfacerlos plenamente, pero las posibilidades de la empresa no son ilimitadas. En consecuencia, debemos administrar lo mejor posible los recursos de que disponemos para planificar el diseño del producto.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En esta etapa se desplegarán las alternativas de diseño aplicables a los requerimientos de los consumidores o «qués», que puedan medirse cuando evaluemos la calidad. Cuando existan múltiples características de calidad que deben satisfacerse, utilizamos un gráfico de despliegue de las mismas. Por ejemplo, en el QFD aplicado a un servicio de información turístico, un plano de una zona geográfica será un «diseño» alternativo, y su nivel de detalle (cantidad de poblaciones que contiene, distancias kilométricas especificadas, etc.) será una característica de calidad.

El modo con que una compañía analiza, describe e interpreta un conjunto dado de características de calidad, es generalmente una función de la capacidad de ingeniería disponible. Por tanto, cuanto más familiar sea un producto para la compañía y conocida su tecnología, mejor se describirán las características de calidad. Cuando se trate de un nuevo producto que requiere nueva tecnología, es preferible inicialmente hacer un despliegue de características de calidad de sus componentes para llegar a un mayor conocimiento del nuevo producto y la familiarización con él.

El punto de partida será la lista de las demandas de calidad obtenidas en la fase anterior. En la metodología del QFD también se conoce a esta lista con el nombre de los «*qués*», a los cuales se debe dar respuesta. Sabemos qué hacer, ahora debemos decidir cómo hacerlo, es decir, se trata de un proceso de traducción o despliegue, en el cual se obtenga para cada «*qué*» inicial uno o más «*cómos*» operativos y manejables y expresados en el lenguaje de ingeniería utilizado por la propia empresa. A su vez, estos «*cómos*» se pueden ir detallando cada vez más, es decir, pueden existir varios subniveles de especificación (véase tabla adjunta).

Especificación de las alternativas de diseño (cómos) en niveles

<table>
<tr><th></th><th>1.º</th><th>2.º</th><th>3.º</th></tr>
<tr><td rowspan="11">Sistema de iluminación de un automóvil</td><td rowspan="9">Sistema de proyección de la luz</td><td rowspan="4">Distribución de la luz</td><td>Altura del proyector</td></tr>
<tr><td>Geometría del proyector</td></tr>
<tr><td>Ángulo de proyección</td></tr>
<tr><td>Ángulo elevación</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Flujo de luz</td><td>Intensidad de luz proyectada</td></tr>
<tr><td>Factor transmisión</td></tr>
<tr><td>Reflectividad</td></tr>
<tr><td>Cromatismo</td></tr>
<tr><td>Parámetros eléctricos</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Elementos de Seguridad</td><td rowspan="3">Seguridad</td><td>Ángulo dirección</td></tr>
<tr><td>Redundancia</td></tr>
<tr><td>Normativa exigida</td></tr>
</table>

Copyright Ediciones Deusto S.L.

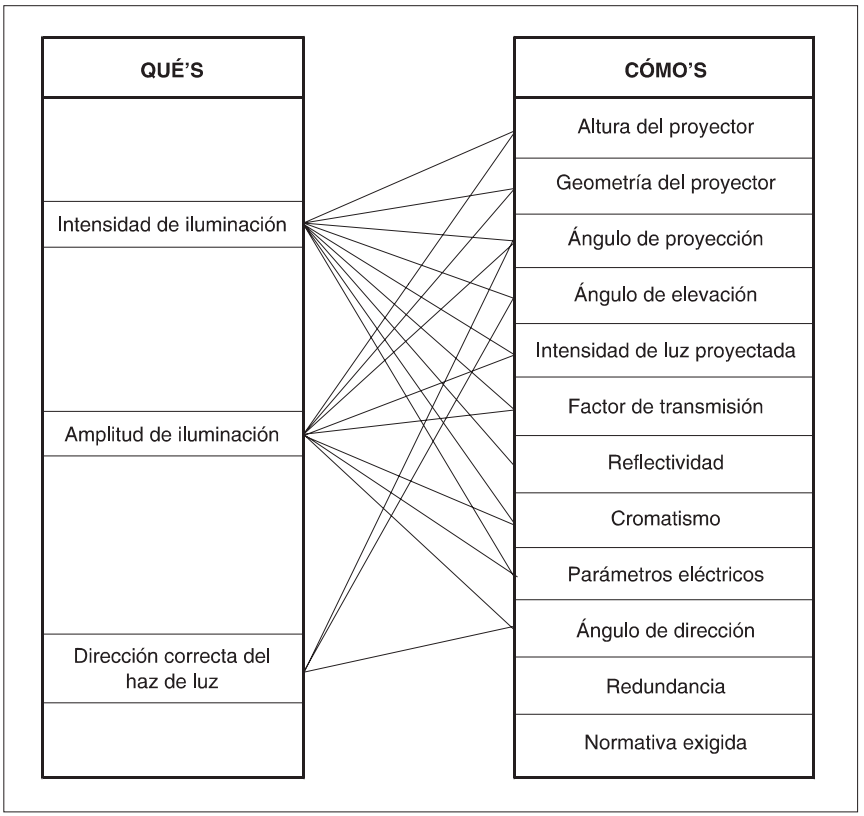


Figura 4.3. Relación e interdependencia de los «QUÉS» con los «CÓMOS»

La multiplicidad y la interdependencia de los «*cómos*» con los «*qués*» hacen que el despliegue conduzca a una representación cada vez más compleja, y su representación en forma de listas no parece ser la más adecuada para su mejor comprensión, lo cual da lugar a que se utilicen matrices, que consiguen dar una mayor claridad y optimizar los esfuerzos. Este punto constituye una ruptura total con otros métodos como es el caso del (PCVP) y representa uno de los aspectos originales del QFD.

La figura 4.3., permite relacionar los *qués* con los *cómos* que le puedan corresponder, de forma que tendríamos ya una primera aproximación de las exigencias del producto y, por tanto, de su diseño (los qués) y la forma de satisfacerlos (los cómos); esta forma simple y directa de relacionar ambos es, sin embargo, demasiado confusa, tal como hemos expuesto en el párrafo anterior, por lo que procederemos a elaborar las relaciones por medio de matrices, según hemos anticipado en el mencionado párrafo.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

El «gráfico de calidad» y la matriz de relaciones

El término «gráfico de calidad», introducido por Koichi Nishimura, ha sido definido como un gráfico que ilustra la relación entre calidad verdadera (tal como la demanda el cliente) sistematizada de acuerdo con sus funciones y las características de calidad como características imagen. En definitiva, es una herramienta práctica y completa para relacionar los requerimientos del consumidor o «qués» con las alternativas de diseño previstas o «cómos»; de aquí se obtendrá la medida de los «cuántos» que permitirá evaluar las relaciones entre ambos que expresa la «*matriz de relaciones*», elemento central del gráfico de calidad. De acuerdo con el profesor Koichi Aiba, la calidad de diseño es el proceso entero de convertir la calidad demandada por el cliente en características imagen, por medio del razonamiento y la trasferencia. Por tanto, el gráfico de calidad es el gráfico básico para la calidad de diseño.

Tal y como se entiende hoy el despliegue de funciones de calidad podemos decir que el gráfico de calidad es un mecanismo gráfico que nos permite:

- Analizar sistemáticamente las estructuras de las calidades demandadas por los clientes según sus propias palabras.
- Indicar las relaciones entre estas calidades demandadas y ciertas características de calidad.
- Convertir las demandas del consumidor en características imagen.
- Desarrollar una calidad de diseño.

Un gráfico de calidad puede hacerse, como vamos a exponer inmediatamente, combinando un despliegue de calidad demandada y un despliegue de alternativas de diseño para conformar una matriz de relaciones. En esta matriz representaremos la relación de los «*qués*» y los «*cómos*» antes mencionados, utilizando símbolos numéricos que indican el grado de relación. Estos valores numéricos han de ser pocos (1, 3, 9, son los más utilizados, según también se verá), ya que un objetivo de los gráficos de calidad es la claridad y la rapidez de interpretación, por lo que un número elevado de valores numéricos obstacularizaría dicha claridad.

Ante todo, **vamos a exponer la estructura general del gráfico de calidad completo** (denominado coloquialmente «casa de la calidad»), del cual vamos a ir desglosando y detallando todas sus partes, conforme van apareciendo en la metodología del QFD.

Debido a su importancia vamos a realizar una descripción detallada de las diferentes partes de que consta el gráfico de calidad. Antes de comenzar con la descripción de las diversas secciones que forman la matriz de relaciones, también denominada, como se ha mencionado, «la casa de la calidad»,[1] es preciso

1. El modelo del autor japonés Fukahara hace especial incidencia en la primera matriz, «la casa de la calidad», que representa básicamente la definición del producto o servicio.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

señalar que no posee un formato estricto o único. Existe un bloque básico que se puede considerar genérico, pudiendo incorporarse los diferentes apartados que el equipo de trabajo juzgue conveniente para el tipo de producto o servicio sometido a estudio. Aquí entran en juego las dotes creativas de los componentes del grupo. Un aspecto posible de la matriz de planificación es el que se aprecia en la figura 4.4., en la que se destacan oscurecidas aquellas secciones de carácter más básico que forman el bloque genérico. El resto de apartados son susceptibles de aparecer en el estudio. De igual forma, se pueden incluir otras secciones de carácter opcional como: una dificultad económica, una calidad planificada y cuantificada numéricamente para cada requerimiento del cliente, etc., siempre que resulten de interés para el estudio que se lleva a cabo.

Como ayuda en la elaboración y comprensión del gráfico de calidad y los elementos que lo componen y sus relaciones, al final incluiremos un ejemplo completo con todas las secciones de que se compone.

Vamos pues, a describir estas secciones, los elementos de que se componen y cómo se llevan a cabo las evaluciones a que dan lugar y que podemos apreciar en la figura 4.4.:

a) **Los requerimientos de los consumidores o «*Qués*»:** Ya han sido expuestos como concepto, de forma que ahora nos ocuparemos de su ubicación en la matriz de relaciones y su papel en la evaluación de la misma. Re-

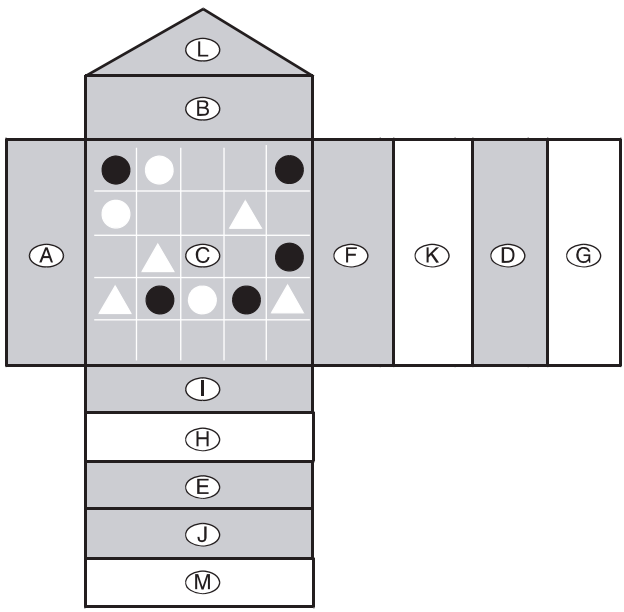


Figura 4.4.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

cordemos que representan lo que se ha denominado como «la voz del cliente». Un aspecto que se debe tener en cuenta a la hora de enumerarlos es utilizar la misma terminología que el cliente con el objeto de evitar interpretaciones erróneas. Es el punto de partida del QFD. Para lograr organizar y agrupar toda la información aportada por el cliente, desde niveles más genéricos, niveles primarios, a otros más detallados, niveles secundarios, terciarios, etc., se suele emplear el diagrama de afinidad, una de las siete herramientas de gestión que ya conocemos, aunque también se ha expuesto que puede utilizarse igualmente el ya conocido diagrama de árbol. La información del último nivel es la que se relacionará con los *«cómos»*, para lo cual habrá que ponderar su importancia previamente (véase apartado F).

b) **Las alternativas de diseño del Producto/Servicio o «*Cómos*»:** De ellos también nos hemos ocupado y ahora vamos a exponer su tratamiento, como en el caso de los *qués*. Como sabemos, se trata de los requerimientos de diseño del producto o servicio para poder satisfacer las necesidades expuestas en los *qués*. De forma análoga que en el apartado anterior, las distintas características del producto o servicio se pueden agrupar en diversos niveles de detalle. Es indispensable que todas las características que figuren en esta sección tengan alguna incidencia real, como mínimo, sobre alguna de las necesidades del cliente. De igual forma, será también importante que todas las necesidades de los clientes queden cubiertas por alguna característica y de una forma suficientemente relevante (lo que se verá en la matriz de relaciones). La creatividad del grupo vuelve a aparecer.

c) **La Matriz de Relaciones:** Se trata del elemento central del gráfico de calidad y expresa el nivel de dependencia entre cada una de las necesidades de los clientes con cada una de las características que dan lugar a alternativas de diseño del producto o servicio. Si no existe relación alguna, ya sea positiva o negativa, se dejaría la casilla en blanco. En caso contrario, es decir, en caso que exista relación, se indicará mediante una serie de símbolos, como, por ejemplo:

Relación Débil.

Relación Media.

Relación Fuerte.

Es absolutamente imprescindible que todas las necesidades tengan un reflejo en algunas de las alternativas de diseño. Esta sección permitirá observar si alguno de los deseos o necesidades del cliente se queda sin relación

Copyright Ediciones Deusto S.L.

con ninguna de las características del producto o servicio propuestas, cuestión que habrá que resolver añadiendo nuevas características que influyan sobre esa necesidad en cuestión.

De cara al diagnóstico del QFD, por lo que a la matriz de relaciones se refiere veremos que será importante tener en cuenta que si alguna de las líneas de dicha matriz esta vacía, sin ningún símbolo de relación, entonces el requerimiento deseado por los clientes correspondiente a dicha línea, no se habrá cubierto con ninguna característica del producto o servicio. Esta situación debe resolverse. De igual forma, si se encuentra alguna columna vacía, indicará que la característica del producto o servicio en cuestión no influye en modo alguno sobre la satisfacción de ninguna de las demandas de los clientes y, por tanto, está de más y se puede eliminar.

d) **Evaluación Competitiva:** Es una representación gráfica de la percepción que el consumidor o mercado tiene de cómo quedan cubiertas cada una de las necesidades o *qués* del producto o servicio por parte de la propia empresa, como por parte de la competencia. Se representa generalmente de forma gráfica mediante una escala de valores numéricos, en la que el cliente posiciona nuestra empresa respecto a la competencia. De esta forma se puede apreciar la situación de la empresa tal y como la ven o aprecian los clientes. Esta sección permite distinguir los puntos fuertes y débiles y será de gran ayuda a la hora de establecer otras secciones y tomar las decisiones acertadas en los aspectos a mejorar con mayor prioridad. Constituye una visión externa elaborada por los clientes.

Será muy importante realizar un análisis minucioso de las evaluaciones competitivas cuando llegue la hora de establecer un diagnóstico del QFD, sobre todo en aquellos requerimientos de los clientes que tengan una fuerte relación con alguna de las características del producto o servicio. Como se verá más adelante, la gráfica de la evaluación competitiva deberá estar en consonancia con la gráfica similar que realizará la propia empresa, la evaluación competitiva técnica descrita en el apartado E, especialmente cuando ambas se encuentren en la matriz de relaciones en un punto con relación fuerte. Por otra parte, la «Evaluación Competitiva» y el «Índice de Importancia del Cliente» para cada una de sus necesidades, ambas secciones realizadas por los clientes, constituyen un binomio que permitirá descubrir aspectos como:

- Oportunidades de venta y promoción, en aquellas demandas con un índice de importancia alto y una buena posición delante de la competencia.
- Requerimientos que se deben desarrollar con prioridad, debido a que poseen un alto índice de importancia, y la empresa se encuentra en una situación de retraso respecto a toda la competencia.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Requerimientos que pueden a proporcionar ventaja competitiva, con un alto índice de importancia para los clientes y que están mal considerados en la valoración competitiva tanto para la competencia como en la propia empresa. Potenciando estos requisitos se obtendrá una cómoda ventaja por delante de la competencia.

e) **Evaluación Competitiva Técnica:** Se trata, nuevamente, de una representación gráfica que permite evaluar los requerimientos de diseño o características del producto o servicio. De forma similar al apartado anterior, se comparan en una escala numérica cada uno de los requerimientos de diseño o *cómos* con los de los competidores, con la salvedad de que esta vez es la propia empresa la que evalúa y realiza este posicionamiento, de acuerdo con los estudios realizados sobre la competencia. Se trata de una visión interna desde el punto de vista de la propia compañía.

f**) Índice de Importancia del Cliente:** Es el índice de importancia que el cliente otorga a cada una de las necesidades o deseos que requiere. Se suele establecer un baremo numérico del 1 al 5, de menor a mayor importancia, respectivamente. Este concepto es muy importante porque define cuáles son las expectativas especialmente prioritarias para conseguir una satisfacción máxima del cliente.

g**) Puntos de Venta:** Una consecuencia directa de la evaluación competitiva de las necesidades de nuestro producto o servicio es que permitirá descubrir aquellos deseos del cliente en los que tenemos una ventaja considerable respecto a la competencia. Estas ventajas competitivas se aprovecharán para establecer los puntos fuertes en la venta del producto o servicio, potenciándolos mediante campañas de promoción, campañas publicitarias, etcétera.

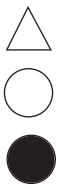
h) **Objetivos de las características de calidad:** Una vez que se han establecido las evaluaciones competitivas de nuestro producto o servicio, los puntos de venta, así como los índices de importancia de los clientes, se definirán una serie de objetivos que las características de calidad de los diseños alternativos o *cómos* deberán desarrollar y alcanzar. En este sentido será preciso realizar una medición de manera objetiva de las características que definen alternativas de diseño a fin de poder establecer unos valores como objetivos a cumplir. Es una operación esencial para el gráfico de calidad y uno de los *outputs* importantes del QFD. La determinación de los *«cuántos»* en base a la importancia técnica, que veremos seguidamente, tendrá una necesaria comparación con los objetivos que nos acabamos de fijar para diagnosticar su bondad.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

i) **Dificultad Técnica:** Mide el grado de dificultad técnica en el cumplimiento de los objetivos definidos sobre cada uno de los requerimientos de diseño del producto o servicio. Es habitual utilizar una tabla numérica que identifique el nivel de dificultad que abarca desde el 1, mínima dificultad, hasta el 5, máxima dificultad. Parejo a este concepto se podría desarrollar una dificultad económica que estableciese el coste de llevar a cabo los objetivos marcados.

j) **Importancia Técnica:** Consiste en una ponderación de la importancia relativa de cada característica o *cómo,* según la influencia que tenga sobre todas las necesidades de los clientes. Se puede evaluar tal como se expone a continuación:

- En primer lugar se otorgan unos pesos numéricos a los símbolos que se utilizan en la matriz de relaciones. En el caso de tener una casilla en blanco el valor es nulo. Son muy corrientes los pesos que siguen para los tres símbolos ya definidos para la matriz de relaciones:



Relación Débil: 1

Relación Media: 3

Relación Fuerte: 9

- A continuación multiplicamos, para cada uno de los *qués*, el peso del símbolo que le relaciona con el *cómo*, por el índice de importancia[2] que el cliente otorga al *qué*.
- Por último se realiza el sumatorio de todos los productos anteriores realizados para el *cómo* correspondiente y su total equivale a la importancia técnica de ese *cómo* en particular.
- Este proceso se repite de igual forma para cada requerimiento de diseño o *cómo*.

La importancia técnica aporta una visión de la importancia global que poseen cada una de las características del producto o servicio sobre el conjunto de las demandas de los clientes, es decir, sobre «la voz del cliente». Por este motivo será de gran utilidad a la hora de seleccionar aquellas características que serán desplegadas en las sucesivas fases junto con otras secciones como el índice de importancia, las evaluaciones competitivas, etcétera.

2. Realizado en la sección «F) Índice de Importancia del Cliente».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La importancia técnica absoluta así calculada constituirá el llamado «cuanto». También puede calcularse la importancia técnica relativa, dando al valor menor obtenido en la importancia absoluta, el valor relativo 1.

k) **Reclamaciones:** Es el número de quejas que los clientes han efectuado sobre cada una de las necesidades o expectativas no satisfechas. Es un aspecto que se ha de ir actualizando a medida que se realice el seguimiento y control del producto o servicio. Será muy útil para establecer la evaluación competitiva, a la que ya nos hemos referido.

l) **Matriz de Correlaciones:** Está relacionada directamente con las características de diseño o *cómos*. Se emplea gráficamente una tabla triangular que relaciona todos los *cómos*, estableciendo la posible correlación existente entre ellos. En consecuencia, muestra dependencias positivas y negativas mediante una simbología determinada. Una posibilidad puede ser:

Correlación Negativa

Correlación Positiva

Correlación Fuertemente Absoluta

Si ocurre que una característica del producto o servicio tiene una dificultad técnica o económica importante, puede ser aconsejable buscar alguna otra característica que tenga menor dificultad y cuyo cumplimiento o desarrollo tenga un efecto positivo indirecto en el cumplimiento de la característica que, en un principio, deseábamos desarrollar. La forma de apreciar estas dependencias indirectas se realiza a través de esta matriz de correlaciones. Y aquí radica la importancia.

Se puede añadir una nuevo subapartado a esta matriz, que podría ir colocado entre esta matriz y las características del producto o servicio, constituido por una tabla que especificará el grado de «cumplimiento óptimo» para cada uno de los *cómos* mediante una simbología determinada. Por ejemplo:

Mayor es Mejor

Valor Nominal

Menor es Mejor

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Una vez que se han definido las posibles características que van a ser desplegadas en las fases siguientes y antes de su selección final, conviene realizar un estudio de la posible dificultad técnica y/o económica de los *cómos* preseleccionados. Como resultado de dicho estudio puede ocurrir que alguna de las características preseleccionadas tenga una dificultad muy alta. En este caso se puede buscar a través de la matriz de correlaciones una característica con menor dificultad, que de forma indirecta y de acuerdo con el grado de cumplimiento óptimo, influya en la satisfacción de la primera. Debido a las posibles correlaciones existentes hay que tener cuidado de que no se perjudique alguna otra característica preseleccionada. Las posibilidades suelen ser varias, siendo aconsejable buscar aquellas que no sólo beneficien de forma indirecta a la característica deseada, sino que también influyan de forma positiva en otras importantes.

A partir de estas nociones básicas y mediante un estudio posterior y profundo teniendo en cuenta todas las posibilidades y correlaciones, el grupo de trabajo procederá a la selección de las características definitivas que van a ser finalmente desplegadas en las fases o matrices siguientes, así como todas aquellas acciones y mejoras que sea aconsejable llevar a cabo en la matriz.

m) **Características a Desplegar**: Una vez que la matriz de planificación esté completa se seleccionan, de entre todas, aquellas características del producto o servicio que pasarán a ser desplegadas en las fases siguientes a la matriz de planificación, basándose en el análisis de las diversas secciones: matriz de relaciones, índices de importancia, análisis competitivos, dificultades técnicas, etc. Debido a que no es posible centrarse en todas las características, en principio es preferible centrar los esfuerzos en aquellas en las que la empresa se encuentre en desventaja respecto a la competencia y, a su vez, sean de máximo interés para los clientes y provoque en ellos la máxima satisfacción. Es una forma de enfocar el estudio en aquello que realmente aporte valor a nuestro producto o servicio y trasladarlo a las sucesivas fases para asegurarnos que las principales demandas de los clientes sean realmente tenidas en cuenta.

El diagrama de flujo, figura 4.5., permite visualizar de una forma gráfica el proceso de desarrollo y establecer el orden de realización de las diferentes tareas y secciones para completar la elaboración de la matriz de planificación.

A continuación incluimos asimismo, en la figura 4.6., un gráfico de calidad QFD completo a modo de ejemplo de presentación y evaluación global. Se trata de la planificación de una producto contituido por un lápiz de madera con una goma en un extremo.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

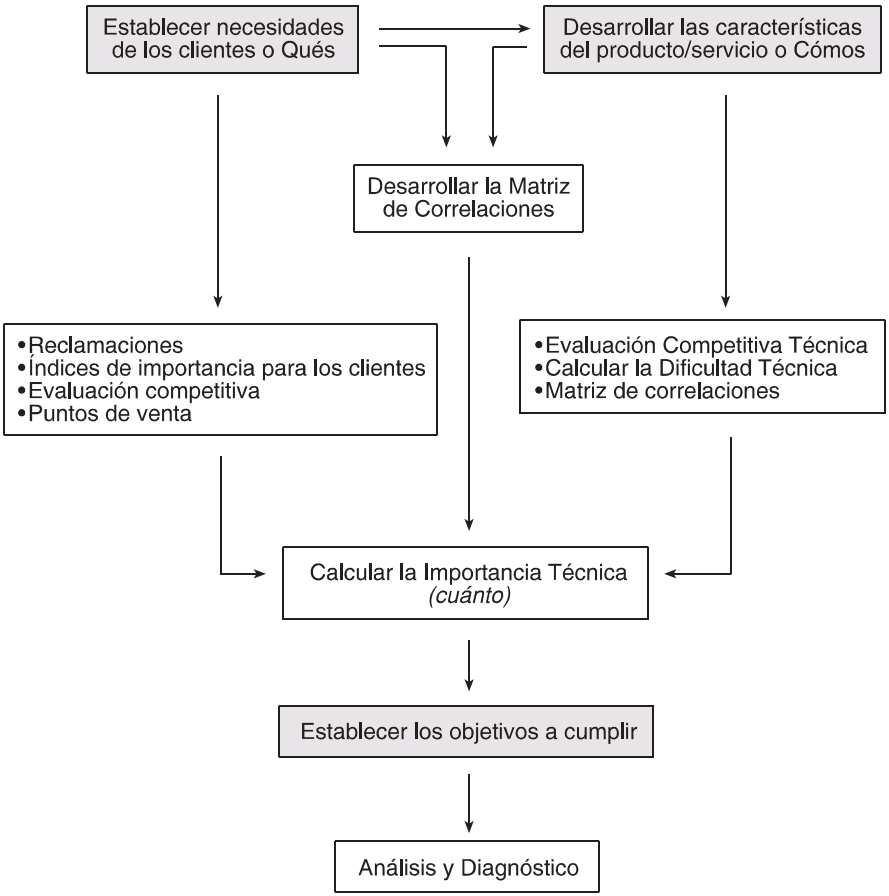


Figura 4.5.

Características de la evaluación del gráfico de calidad

La evaluación de la matriz de relaciones, que está basada en la determinación de lo que hemos denominado *cuántos*, nos permite asumir un primer objetivo muy importante: jerarquizar las alternativas de diseño (*cómos*) a partir de los pesos de los requerimientos de los consumidores (*qués*).

Completar una matriz de relaciones no siempre constituye una operación fácil, muy al contrario, se trata de una operación compleja; si bien es relativamente fácil identificar los *cómos* relativos a un *qué*, el problema radica en saber el grado de relación con el mismo. Muy a menudo este grado de relación se basa en la experiencia, la intuición y determinación (lo que en el Japón denominan el método KKD);

Copyright Ediciones Deusto S.L.

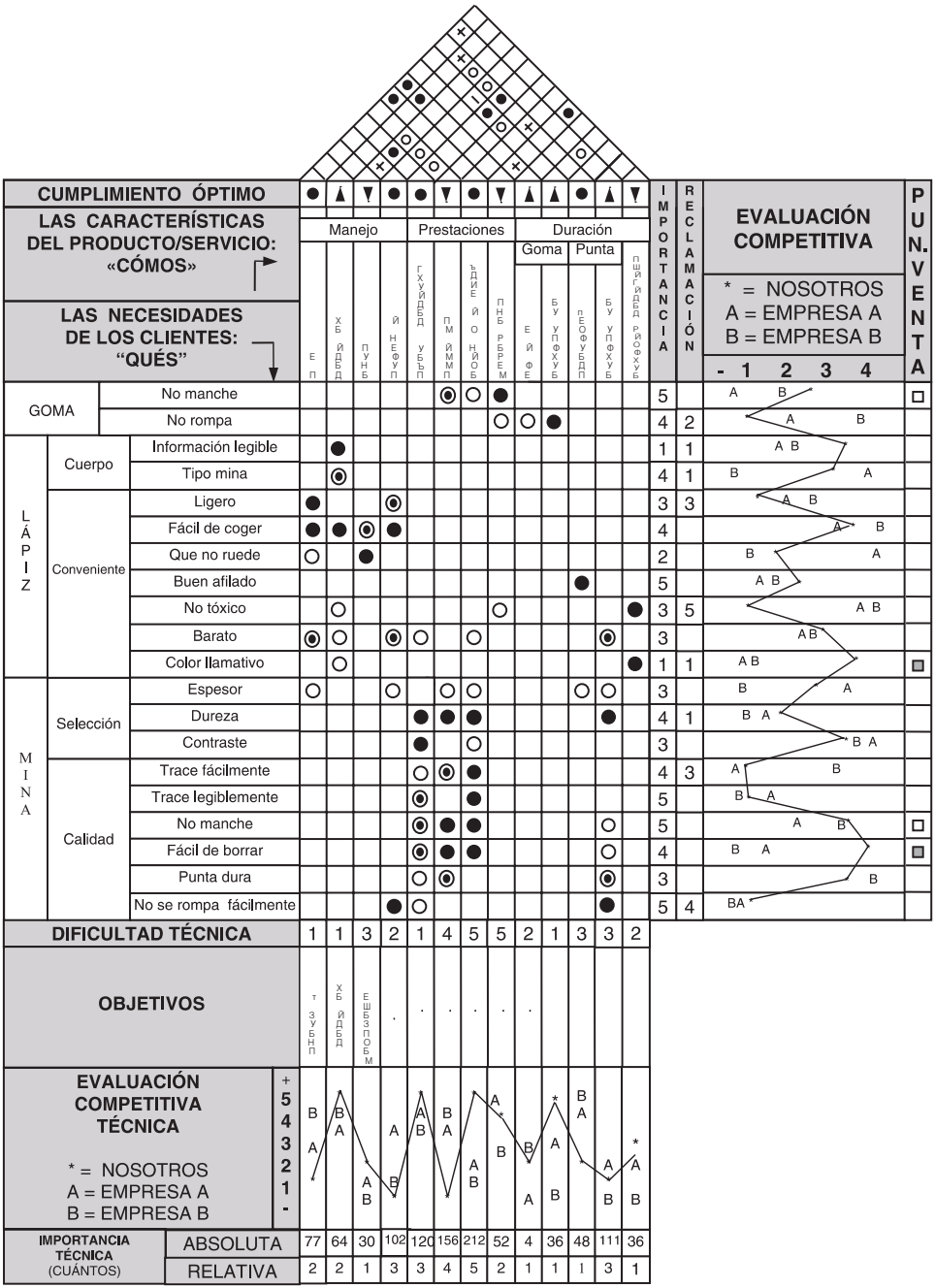


Figura 4.6.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

sin embargo esta relación debe basarse en un conocimiento y control de los hechos, para lo cual es aconsejable utilizar técnicas de análisis estadísticos (tales como el diseño estadístico de experimentos DEE, al que dedicaremos un capítulo de esta obra).

Se trata de un mecanismo sencillo, exhaustivo y potente para tener en cuenta todas las expectativas del cliente y, por otra parte, se asegura que no se dedique demasiados esfuerzos a aquellas características que interesan poco o nada a los clientes. De este modo, el QFD consigue garantizar que el personal trabaje con problemas reales.

La finalidad de distinguir entre varios niveles de relación y ponderarlos, es para poder jerarquizar los *cómos*, de este modo no se pierde de vista la jerarquización de los *qués,* respetándose de esta manera las expectativas de los clientes y favoreciendo la estrategia de la empresa.

La jerarquización de las alternativas de diseño o *cómos* se hace a partir de la evaluación de la matriz de relaciones, operación que permitirá evaluar la matriz de relaciones y en definitiva, el interés de cada alternativa de diseño para los requerimientos del consumidor especificados en el QFD. Veamos con mayor detalle la evaluación de la matriz de relaciones, lo que nos llevará, según ya sabemos, a determinar los *cuántos*.

Recordemos que para cada símbolo de relación sustituiremos en la matriz dicho símbolo por su valor (1, 3 o 9, según hemos dado como valoración más frecuente), multiplicándolo por el peso específico del *qué* correspondiente, y se suman todos los resultados así obtenidos. De esta manera, la traducción de las demandas a características de calidad del producto es del todo fiable. También se puede representar gráficamente el peso de cada *cuánto*, lo que permite detectar rápidamente cuáles son los alternativas de diseño (*cómos*) más importantes y a las que habrá que dar mayor prioridad. Esta gráfica permite, pues, establecer las características críticas de un producto cuyo conocimiento es primordial en todos los estadios del su ciclo de vida y especialmente al principio del proceso de desarrollo.

También es conveniente calcular los valores relativos de los *cuántos* para tener la importancia de cada *cómo* de forma conjunta con el resto de las características de calidad (es lo que hemos denomiando anteriormente, importacia técnica relativa).

En la figura 4.7. aparecen representados los *qués* y los *cómos,* así como la representación matricial de sus respectivas relaciones; también queda reflejado la jerarquización de los *cómos* en base a los valores que hemos obtenido para los *cuántos* los cuales a su vez están representados gráficamente.

Así pues y resumiendo, **el flujo de informaciones en un gráfico de calidad parte de los *qués,* pasando por los *cómos* y llegando a los *cuántos,* todo a través de unas relaciones debidamente determinadas**. Esto es común en todas las matrices del QFD.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En algunos gráficos de calidad también aparecen los objetivos de diseño, es decir, los valores nominales a los que debe tender los *cómos*, representan las especificaciones funcionales del producto objeto del diseño. Los objetivos son los que, una vez llevados a cabo, permiten obtener los *qués* iniciales.

Los distintos *cómos* son elementos de un mismo sistema, por lo cual van a existir múltiples relaciones entre ellos, y el conocimiento del grado de estas relaciones, sería de gran utilidad, para lo que se construye una matriz de correlación de los mismos, ya expuesta como uno de los elementos del gráfico de calidad del QFD, y ya que éste es conocido como «casita de la calidad», recordemos que la matriz de correlaciones ocuparía el «tejado» de la misma.

				c1				c2				
				c11		c12		c21		c22		**CÓMOS**
				c111	c112	c121	c122	c211	c212	c221	c222	
q1	q11	q111	3		9		1			3		
		q112	2			3		1			9	
	q12	q121	4		3		9					
		q122	1	9					3			**Matriz de cómos**
q2	q21	q211	3				1			1		
		q212	2	3		1		9			3	
	q22	q221	5		3		3		3	1		
		q222	1	1							3	
				7	54	8	57	20	18	17	27	**Cuántos (valor absoluto)**
				3	26	4	27	10	9	8	13	**Cuántos (valor relativo)**
												Gráfica de evolución de los cuántos

Figura 4.7. Representación parcial de un caso genérico de gráfico de calidad

Copyright Ediciones Deusto S.L.

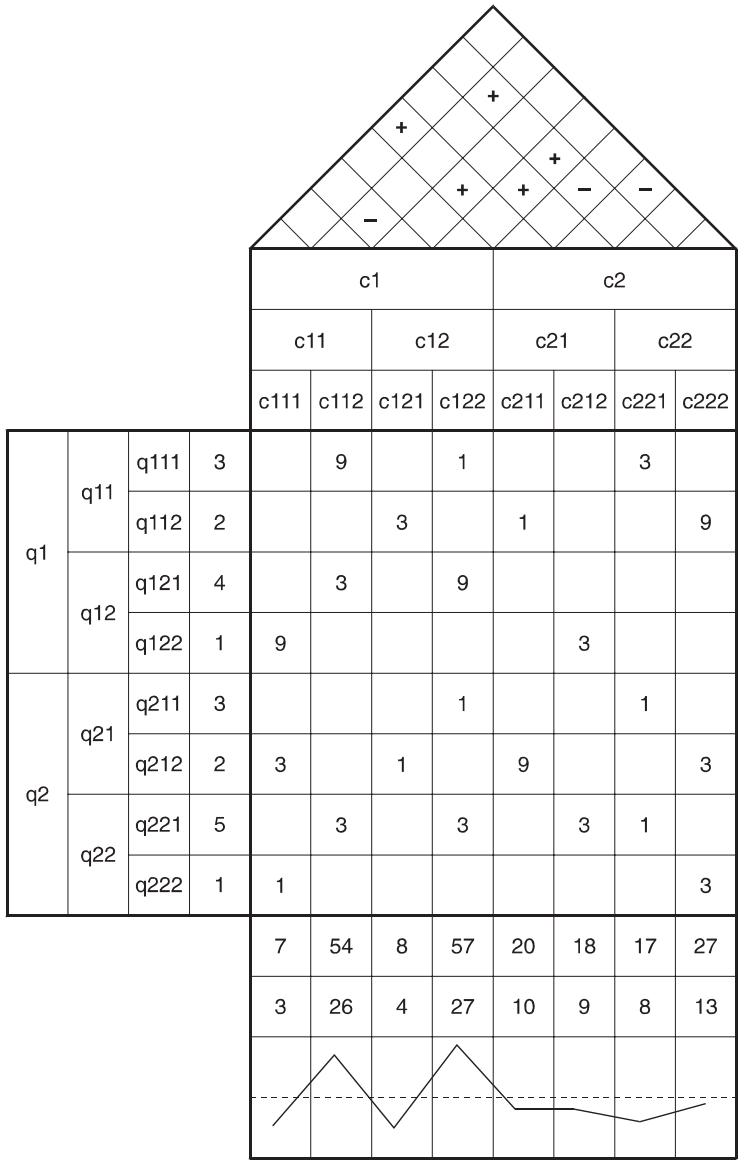


Figura 4.8. La «casa de la calidad» con la correlación de «cómos»

La existencia de una correlación positiva entre dos *cómos* puede significar una redundancia; basta con llevar a cabo uno de los mismos para que se cumplan ambos, es decir, que al actuar sobre uno de ellos, automáticamente actuamos sobre el otro, por lo que nos evitamos el desdoblamiento de esfuerzos. El inconvenien-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

te está en que no se pueden resolver independientemente las dos características, lo que obliga a considerar ambas como un único conjunto y a buscar un punto óptimo en el sistema. Por otra parte, sabemos que la existencia de una correlación negativa entre dos características significa una incompatibilidad entre ambas, por tanto hay que encontrar una solución de compromiso.

El análisis de esta matriz de correlaciones nos permite identificar redundancias y puntos conflictivos donde hay que buscar un compromiso adecuado, que concierne a varias funciones de la empresa y exige por tanto colaboración y trabajo en equipo. También nos sirve como instrumento de verificación y mejora, es decir, este análisis nos permite observar que las relaciones entre los *qués* y los *cómos* son las adecuadas, o bien que puede existir algún error. En la figura 4.8. podemos ver un gráfico de calidad con las correlaciones.

En este ejemplo genérico sólo hemos diferenciado entre correlación positiva y negativa, pero se podría tener una escala de valores más amplia siempre manteniendo la claridad en los gráficos QFD.

Por otra parte, podemos recoger finalmente los aspectos a destacar respecto de las evaluaciones competitiva y la competitiva técnica. Sabemos que son fruto de la comparación de nuestro producto con los productos de la competencia, lo que es a la vez importante y necesario. El QFD permite realizar esta confrontación de manera sencilla y eficaz. La primera se efectúa sobre las demandas de los clientes, los *qués*; la segunda se realiza sobre las especificaciones funcionales y objetivos, los *cuántos*, es decir, las funciones técnicas. La figura 4.9. nos muestra el gráfico o casita de la calidad con estas curvas.

Esta comparación permite a la empresa situar su producto, característica a característica, respecto al resto de los productos de la competencia, considerando los objetivos fijados. Gracias a ello, la empresa toma conciencia de cuáles son sus puntos débiles y cuáles son sus puntos fuertes y adopta en consecuencia una adecuada estrategia para el plan de calidad.

En el diseño del plan de calidad debemos apoyarnos en la información relativa a las diversas demandas de calidad realizadas por los clientes, que junto a los datos que tenemos a través de nuestro gráfico de calidad, nos establecerá la estrategia a llevar a cabo.

Para ello hemos de realizar un análisis detallado de los requerimientos de nuestro producto que tienen mayor peso específico para el cliente y cómo estamos posicionados en estos requerimientos respecto a la competencia, a través de las mencionadas curvas de evaluación competitiva; en los puntos en los cuales estemos claramente mejor posicionados hemos de enfocar nuestros esfuerzos en beneficiarnos de estas diferencias y tenerlo en cuenta al diseñar nuestro plan de calidad.

Finalmente, con la información obtenida con el número de reclamaciones, otro de los elementos integrados en el gráfico de calidad, debemos determinar nuestros puntos débiles, y a la hora de traducir los requerimientos debemos prestar un especial cuidado con ellos.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

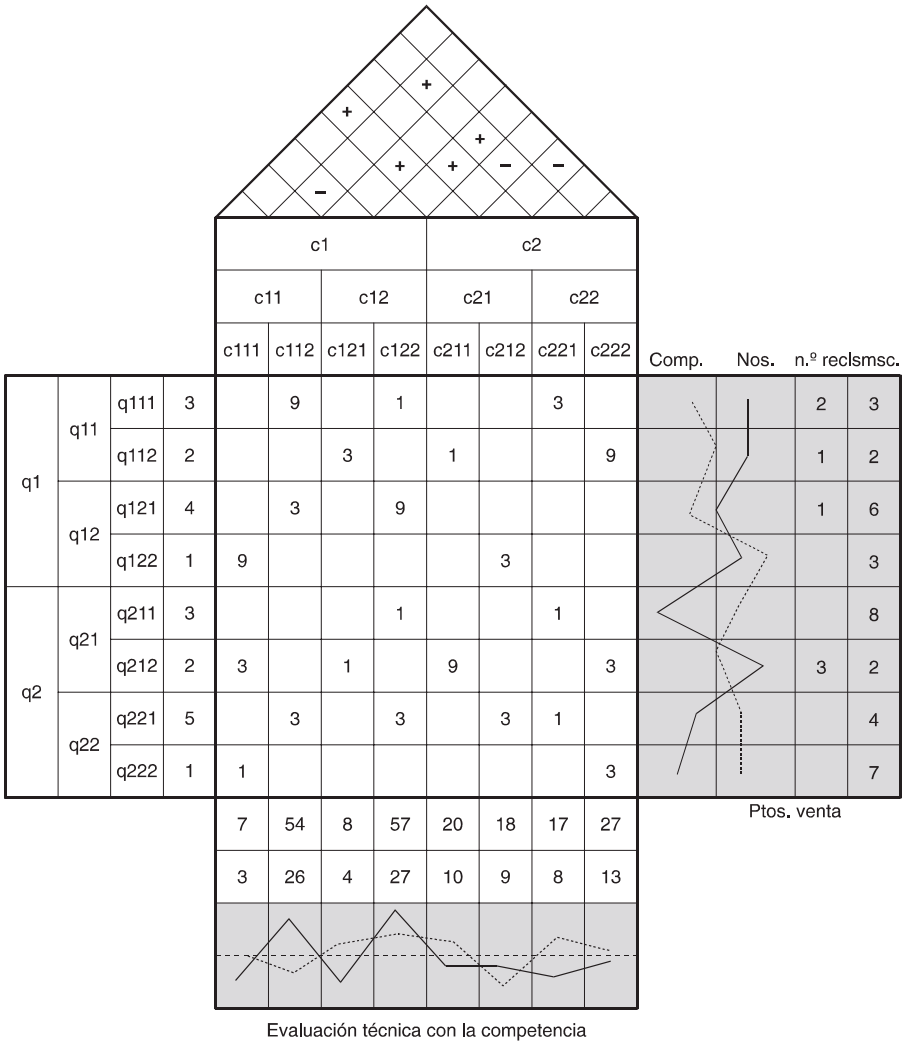


Figura 4.9. Evaluación competitiva desde el punto de vista del consumidor y desde el punto de vista técnico

Resumamos ahora los pasos para realizar un gráfico de calidad:

1.– Conocimiento del cliente y jerarquización, asimismo, del mercado.
2.– Investigación de las expectativas del cliente para decidir «qué» hacer.
3.– Determinación del grado de importancia de las demandas.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

5.– Listar las características de calidad del producto.
6.– Combinar el gráfico de demandas de calidad con el de características.
7.– Análisis de la competencia.
8.– Análisis de las quejas del cliente.
9.– Jerarquizar los elementos de calidad.
10.– Determinar la calidad de diseño específica mediante el estudio de las características de calidad y los objetivos técnicos.
11.– Determinar el modo de aseguramiento de la calidad.

Diagnóstico a partir del QFD

En la descripción de la metodología a seguir para el QFD y en especial para los elementos del gráfico o casita de la calidad y sus relaciones hemos podido apreciar la utilidad de cada uno y algunas recomendaciones para extraer un diagnóstico del QFD. Recordemos brevemente los aspectos más destacados para establecer un diagnóstico:

- ***Qués* con ponderación elevada:** Son requerimientos del consumidor importantes para el mismo. Lógicamente interesa una evaluación competitiva elevada, por lo que si ya es así, **debemos mantenerla** a toda costa; de lo contrario, ello es indicativo de que debe hacerse una **mejora urgente** que lo resuelva.
- ***Qués* con ponderación baja:** Con evaluación competitiva elevada, el diagnóstico es que se están llevando a cabo **esfuerzos en una dirección estéril**; si por el contrario, es baja, **no es necesario dedicarle esfuerzos.**
- ***Cuántos* con valoración elevada:** Es un indicativo evidente de alternativas de diseño que recogen varios o muchos requerimientos del producto con ponderaciones altas. Resulta del todo evidente que interesa, en este caso, una evaluación competitiva técnica asimismo elevada.
- **Evaluaciones en conflicto:** Puntos de la matriz de relaciones en que se encuentran evaluaciones competitivas y competitivas técnicas de valores contrapuestos (elevada una y baja la otra). Se actuará según cuál sea la baja:

a) Si la evaluación competitiva es baja se actuará tal y como se ha expuesto a raíz de los *qués* con ponderación alta o baja.

b) Si la evaluación competitiva técnica es baja, se podrá utilizar la matriz de correlaciones, buscando especialmente las correlaciones positivas para mejorar de forma indirecta dicha percepción.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

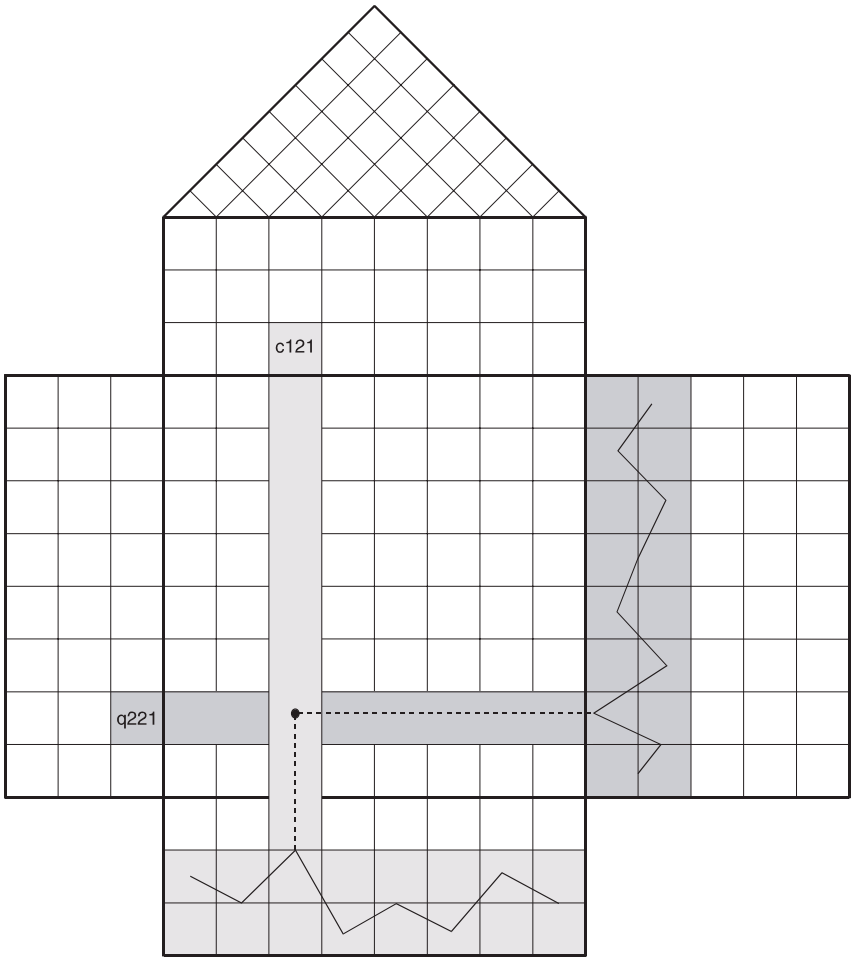


Figura 4.10. Punto de conflicto. Existe un nivel técnico de consecución de este CÓMO muy bueno; en cambio el requerimiento asociado no está satisfecho. Es decir, la evaluación cuantitativa de nuestro diseño para esta característica de calidad difiere de la expectativa del cliente. Hay que tomar medidas urgentes para subsanar el error, analizando detalladamente la traslación de la calidad demandada en características de calidad

La figura 4.10. representa esta situación y la problemática asociada.

- **Evaluaciones importantes a la baja:** Nos referimos aquí a aquellos puntos de la matriz que, coincidiendo como en el caso anterior con

Copyright Ediciones Deusto S.L.

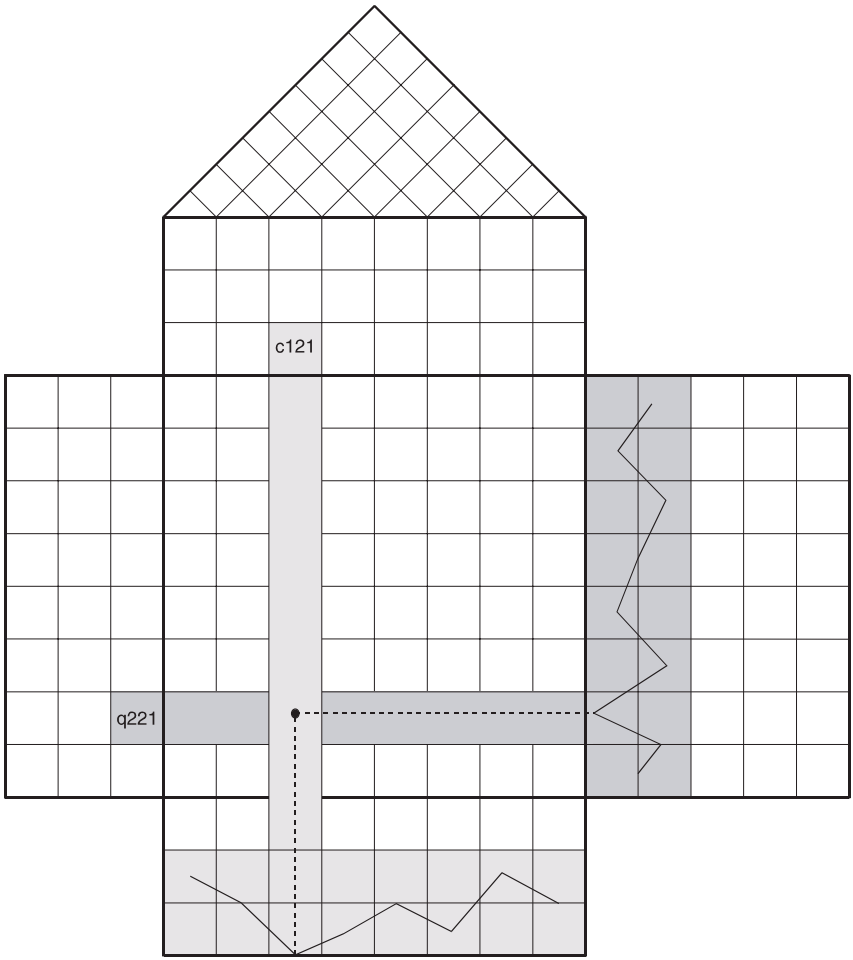


Figura 4.11. Evaluaciones competitivas y competitivas técnicas a la baja

relaciones fuertes, se corresponden con evaluaciones competitivas bajas y también lo son las evaluaciones competitivas técnicas. Es evidente que suponen situaciones a resolver urgentemente, puesto que podemos constatar que estamos mal capacitados (evaluación competitiva técnica baja) en un requerimiento del consumidor en que éste nos ve mal posicionados (evaluación competitiva baja). (Véase figura 4.11.).

- **Correlaciones:** Contenidas en la matriz correspondiente («tejado» de la «casa») se utilizarán para potenciar mutuamente los diseños, según ya

Copyright Ediciones Deusto S.L.

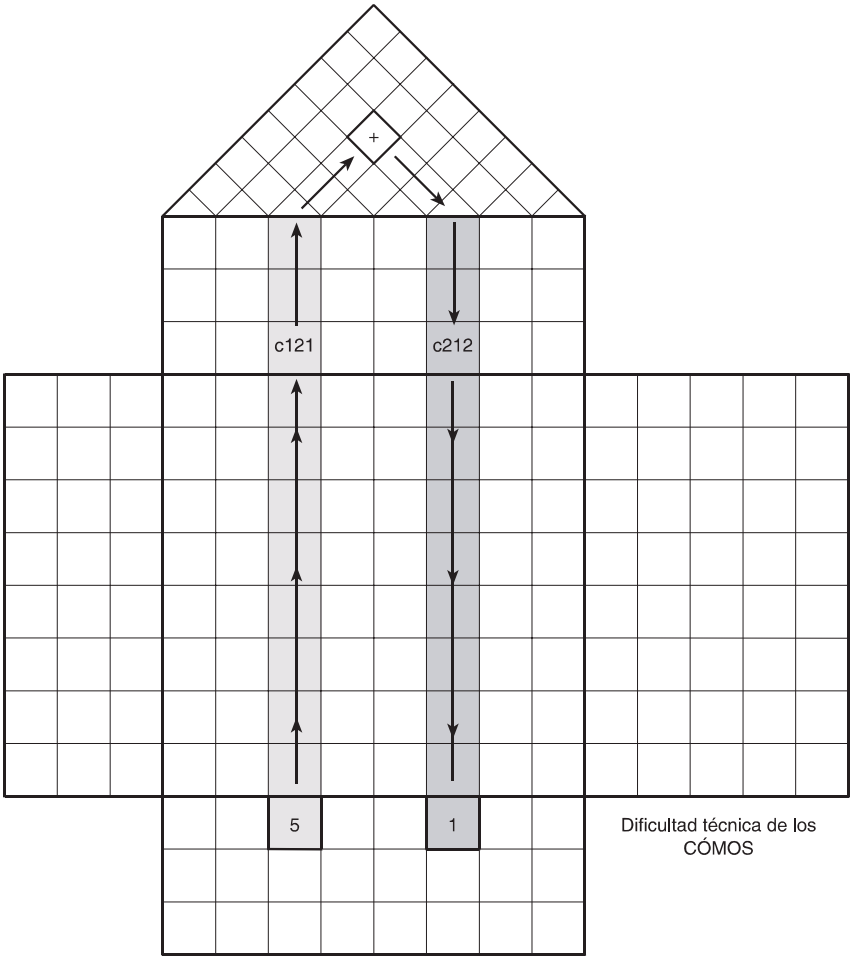


Figura 4.12. **Importancia de la correlación:** ***La realización técnica de algún diseño puede ser difícil o costosa. La correlación de los diseños nos puede facilitar la realización y abaratamiento. En la figura, potenciando C212, se actúa positivamente sobre C121, cuya realización es más dificultosa como se aprecia por el índice de dificultad técnica, además de abaratar costes***

hemos expuesto y tal como ya se indicó al referirnos a esta matriz como uno de los elementos de la «casa» de la calidad. Debe tenerse mucho cuidado con las correlaciones negativas, que dan lugar a decisiones críticas y no son deseables, pues al potenciar una alternativa del diseño se puede debilitar otra. Este tipo de correlación suele forzar un compromiso o la modificación del diseño (figuras 4.12. y 4.13.).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

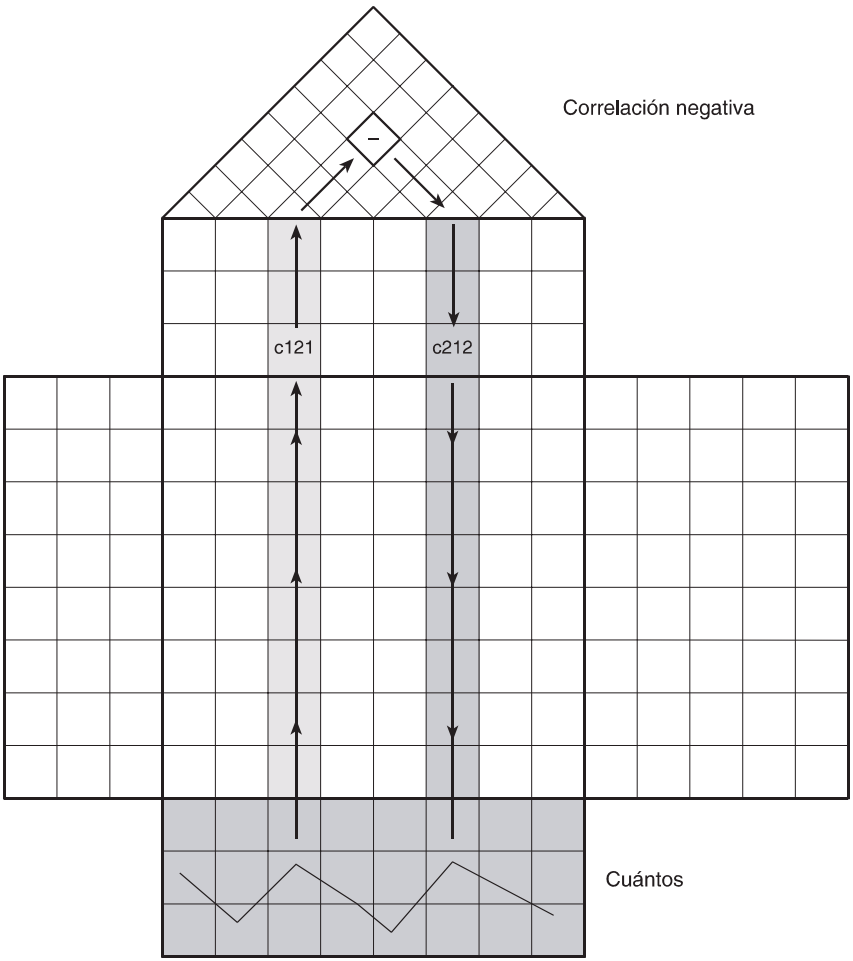


Figura 4.13. **Correlación negativa.** ***Dos alternativas de diseño tales que al mejorar una de ellas estamos repercutiendo negativamente sobre la otra, y viceversa. La solución consiste en adoptar una postura de compromiso, o bien, modificar el diseño del producto en cuestión***

- **Diagnóstico por áreas o «islas» de información especiales en la matriz de relaciones:**

  1) *Áreas de la matriz muy densas* (con muchos símbolos): Son zonas con mucha información, es decir, con *qués* y *cómos* muy relacionados.
  2) *Matriz completa muy densa*: Si las fuertes relaciones se extendieran a gran parte de la matriz, no sería bueno, ya que si todos o gran parte

Copyright Ediciones Deusto S.L.

de los *qués* y *cómos* estuvieran supuestamente relacionados no sería fácil extraer conclusiones. Más del 50% de las casillas de la matriz con relaciones no es deseable y dificulta la priorización.

3) *Gran cantidad de relaciones débiles*: Esta situación supone un exceso de alternativas de diseño con efecto incierto y dificulta la obtención de conclusiones (véase figura 4.14.). Resulta una tentación fácil cuando se hace un QFD sin experiencia.
4) *Filas de la matriz en blanco*: Se trata, como resulta evidente, de requerimientos del producto que no pueden ser satisfechos por ninguna

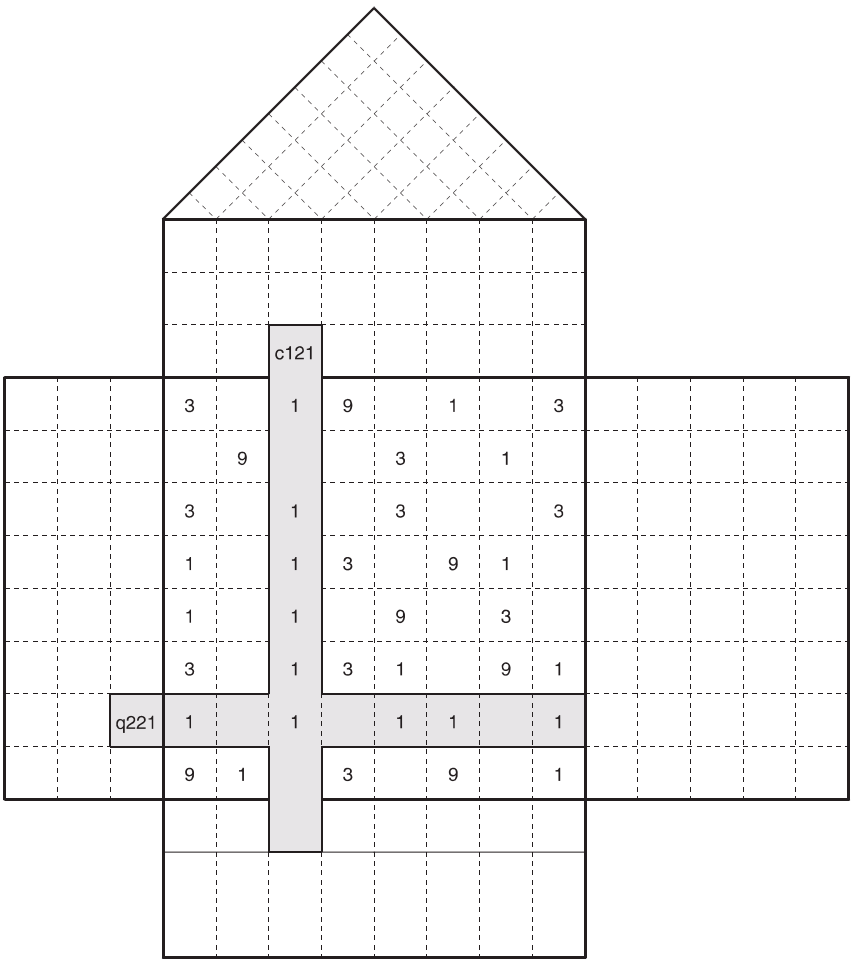


Figura 4.14. El exceso de relaciones débiles dificulta el diagnóstico

Copyright Ediciones Deusto S.L.

de las alternativas de diseño, lo que supone una situación a corregir (véase figura 4.15.).

5) *Columnas de la matriz en blanco*: Se trata de alternativas de diseño que no tienen utilidad alguna para cubrir requerimientos del producto, o son redundantes (véase figura 4.15.).
6) *Dificultades para ponderar* qués *o evaluar* cómos: Resulta claro que ello dificulta la ejecución del despliegue de forma correcta y debe, por tanto, tratar de superarse.

- **Actuaciones para canalizar la progresión del diseño por medio del despliegue:**

A. ***Puntos críticos:*** Se trata de aquellos requerimientos del producto que teniendo una ponderación elevada e importante con frecuentes relaciones con alternativas de diseño, tienen asimismo una evaluación competitiva no elevada. Es evidente que representarán aspectos de mejora urgente, que clasificaremos en dos tipos:

1. *Mejora imprescindible*: Situaciones en las que la evaluación competitiva es baja o muy baja.
2. *Oportunidad de mejora*: Situaciones con una evaluación competitiva media.

B. ***Puntos fuertes:*** Se trata de situaciones en que también se dan requerimientos del producto con ponderación alta y fuertes relaciones, pero al contrario que en el caso anterior, la evaluación competitiva es elevada. Deben aprovecharse y ser debidamente explotados. (véase figura 4.16. con puntos críticos y puntos fuertes.)

C. ***Plan de acción a seguir:*** Con la información de los dos apartados anteriores, ahora nos centraremos en las alternativas de diseño con evaluación por relaciones (los *cuántos*) elevadas, pero que se corresponden con puntos bajos de la curva de evaluación competitiva técnica, y a ser posible incluirán los puntos críticos. Las alternativas seleccionadas se deberán tratar de mejorar, actuando sobre la mínima cantidad de ellas para lograr el máximo efecto de mejora, para lo cual se priorizará la actuación.

La actuación podrá llevarse a cabo comenzando por los *cómos* que presentan *cuántos* más elevados, lo que será una forma de priorizar; además trataremos especialmente de actuar sobre las que hemos denominado «mejoras imprescindibles» y las «oportunidades de mejora». Finalmente, y en la medida de lo que sea posible, se utilizará la matriz de correlaciones como apoyo para la mejora.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

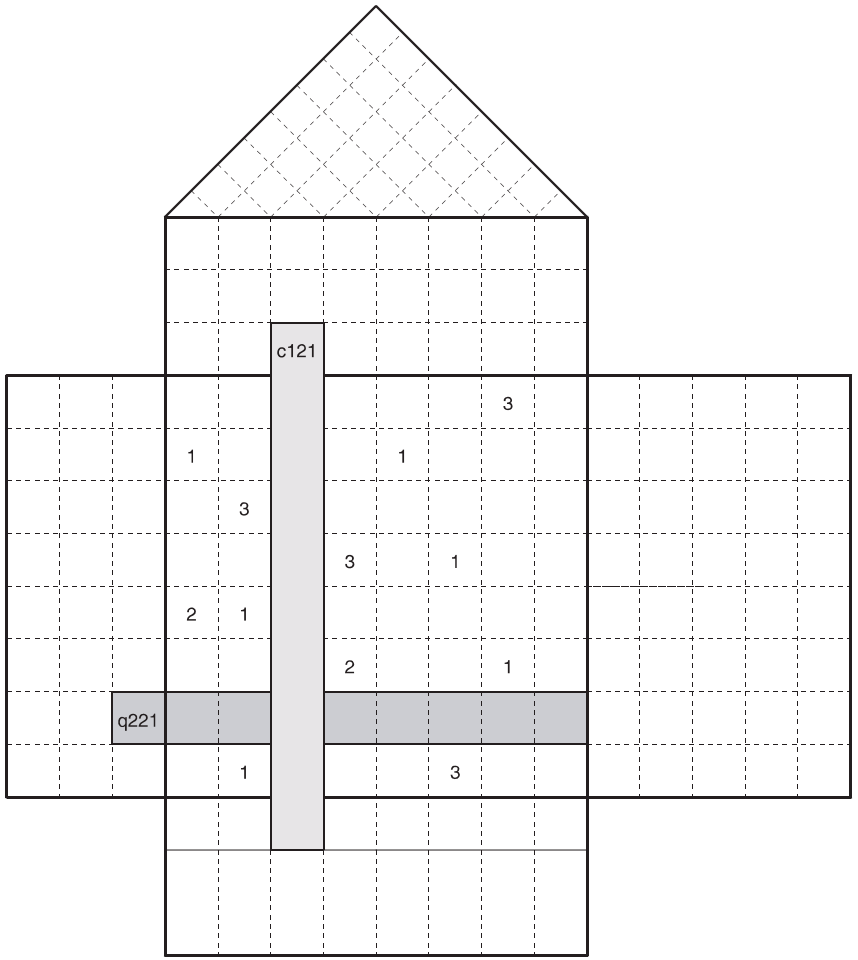


Figura 4.15. Matriz con filas o columnas vacías

Despliegue de componentes

En la fase de diseño detallado es importante clarificar las relaciones entre la calidad demandada por el producto final y las características de calidad necesarias para cada uno de los componentes. Este proceso se denomina despliegue de componentes o subsistemas.

En esta etapa partimos de las características de calidad, sus especificaciones y objetivos, para convertirlos en especificaciones técnicas de los componentes del producto o servicio. Es decir, partimos de los *cómos*, que pasarán a ser

Copyright Ediciones Deusto S.L.

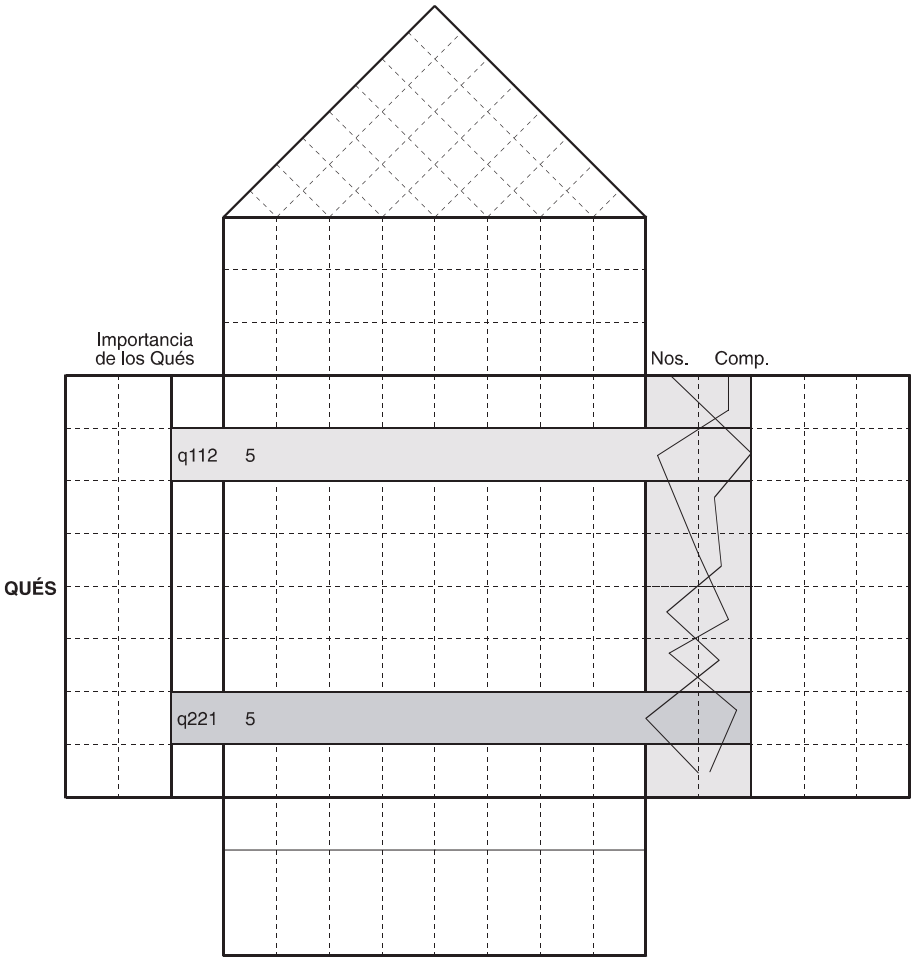


Figura 4.16. Puntos fuertes (q112) y puntos críticos o débiles (q221)

nuestros *qués* en esta nueva etapa, y se volverán a desplegar las funciones de calidad.

Se puede observar que se vuelve a reiterar el proceso de despliegue anterior, lo que constituye una característica interesante dentro de la metodología del QFD.

Por tanto, en esta etapa nuestro gráfico de calidad estará constituido, por un lado, por los *cómos* de la etapa anterior y, por el otro, por las especificaciones técnicas de los componentes de nuestro producto, siendo estos últimos los *cómos* de este nuevo gráfico de calidad. De este modo se mantiene la fidelidad a los reque-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

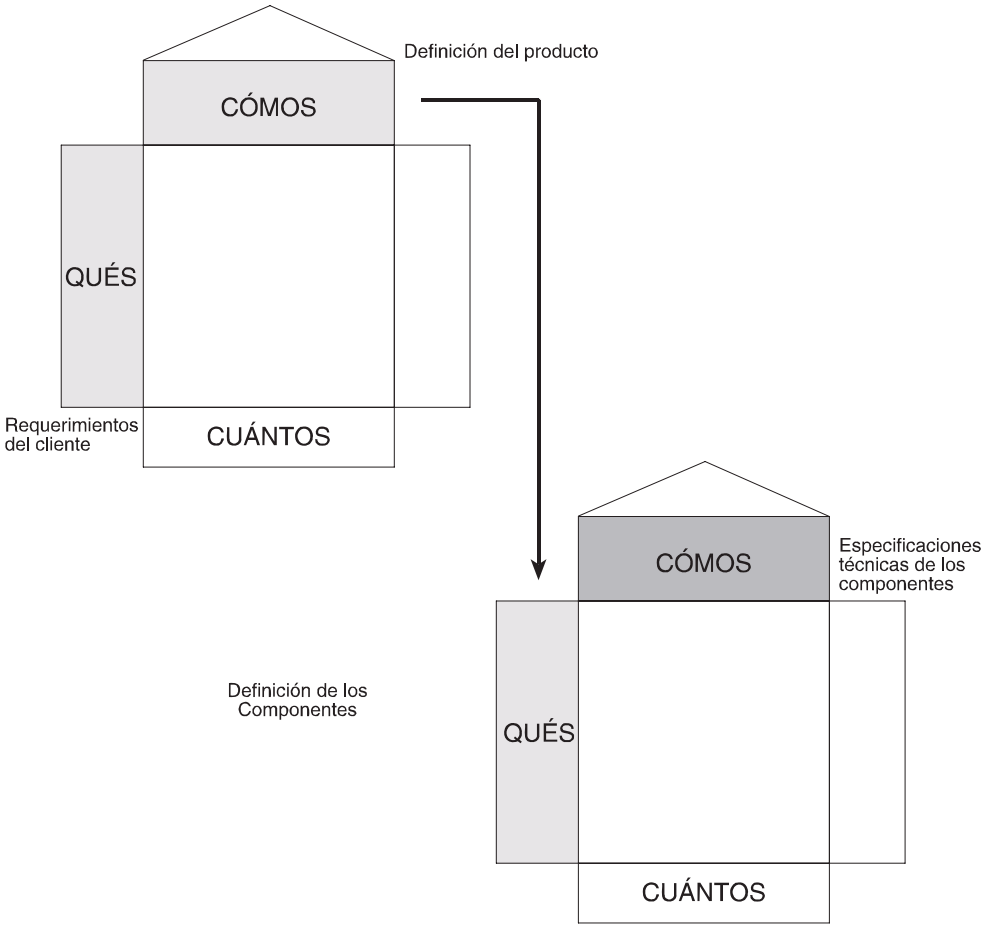


Figura 4.17. Gráfico de despliegue de componentes a partir del gráfico de producto

rimientos iniciales del cliente, y además también se hace lo propio con la priorización de los *cómos*, por lo cual se está en disposición de elaborar un plan de calidad y determinar el proceso de producción más adecuado.

El objetivo del despliegue de componentes es clarificar las funciones de los componentes, sus características de calidad y sus especificaciones técnicas. Para ello, también se tendrán en cuenta las reclamaciones que se hayan recogido referentes a cada componente, o bien, del producto global (de productos actuales o similares), así como las cuestiones relacionadas con la seguridad del producto (tema que ha adquirido una mayor importancia en los últimos años).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

De este modo, no sólo se asegura que el producto sea robusto, sino también se minimizan puntos críticos de diseño.

Esta etapa se concluye con la determinación de los parámetros de diseño del producto, con lo cual quedan determinadas las características técnicas del producto y de todos sus componentes (véase figura 4.17.).

A partir de aquí y aplicado ya el QFD para planificar y seleccionar todos los aspectos de diseño del producto, se podrá pasar a optimizar el mismo por medio de los métodos y herramientas de calidad más adecuados (análisis de fiablidad, AMFE, DEE...).

Planificación del proceso

De la misma manera que hemos podido evolucionar desde un QFD de producto al de componentes por traslados de los *cómos* del primero hasta entrarlos como los *qués* del segundo, podemos asimismo preparar un QFD para planificar el proceso a partir de los dos anteriores utilizando la misma técnica de traslado de características de diseño del último nivel de QFD (es decir, el correspondiente al despliegue de componentes) a entradas del correspondiente al proceso para cada componente. En esta etapa, que es transitoria entre el diseño del producto y sus componentes, y la organización y planificación de la producción, recae todo el peso del diseño del proceso. (véase figura 4.18.).

Por tanto, en esta fase se traducirán las características de los subsistemas de la etapa anterior a procedimientos y operaciones necesarios para la producción de dichos componentes y, por consiguiente, la del producto.

Como característica común en la metodología QFD se usará también un gráfico de despliegue de funciones. En este caso se parte de las características técnicas de los componentes para obtener los procedimientos y operaciones asociadas a ellos.

Funciones principales que se desarrollan en esta etapa:

1.– Elección de los procedimientos asociados a los subsistemas.
2.– Definición completa del proceso de producción.
3.– Optimización del proceso.
4.– Mantenimiento y control del proceso.

La optimización del proceso se apoyará en el diseño estadístico de experimentos (DEE y Taguchi) y AMFE de procesos: y el mantenimiento y control, a través de SPC, cuyo objetivo es mantener el proceso dentro del control.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

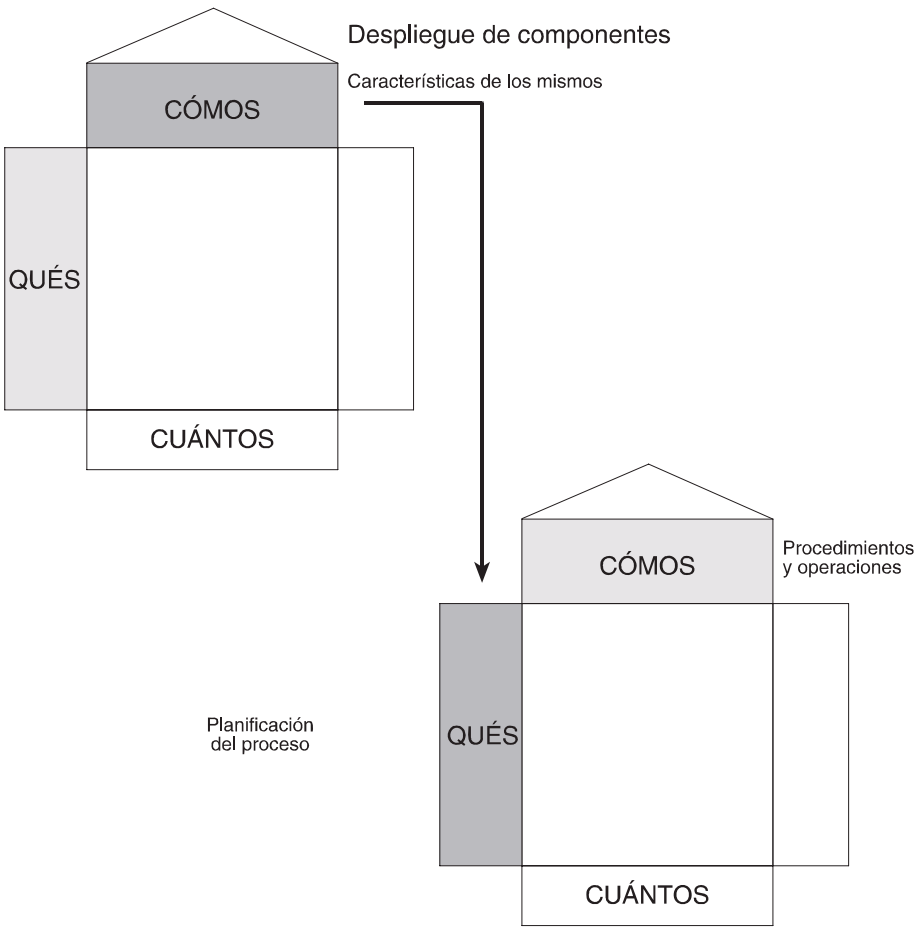


Figura 4.18. Despliegue funcional de la planificación del proceso a partir de la definición de los componentes del producto

Planificación de la producción

En esta etapa, partiendo de los procedimientos y operaciones diseñados en la fase anterior, obtendremos los medios y especificaciones adecuados a la producción por el mismo procedimiento de trasladar las características de diseño del último nivel de QFD (procesos) a entradas del correspondiente a la planificación de la producción.

En esta etapa se llevará a cabo un análisis de todo el proceso, en el cual se incluirán las siguientes funciones:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

1.– Asegurar la conversión de los requerimientos transmitidos por el departamento de diseño de las fases anteriores en elementos de control del proceso de producción.
2.– Determinar la capacidad de proceso requerida e implantarla.
3.– Identificación de puntos críticos del proceso para controlarlos y marcarse como objetivo la política de cero errores.
4.– Aseguramiento de la calidad de producto y proceso.

Véase finalmente la figura 4.19. para este último nivel de despligue por medio del QFD, en este caso para la planificación de la producción.

Actividades futuras

Los gráficos de despliegue de calidad deben revisarse regularmente debido a que es fundamental que mantengan una correspondencia precisa con los cambios demandados por los consumidores y, por tanto, nos ayudarán a mejorar nuestros productos y sus diseños.

Los inconvenientes, defectos y otros problemas del uso de los gráficos QFD deben registrarse tan pronto como se descubran y suministar a los departamentos involucrados esta información.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

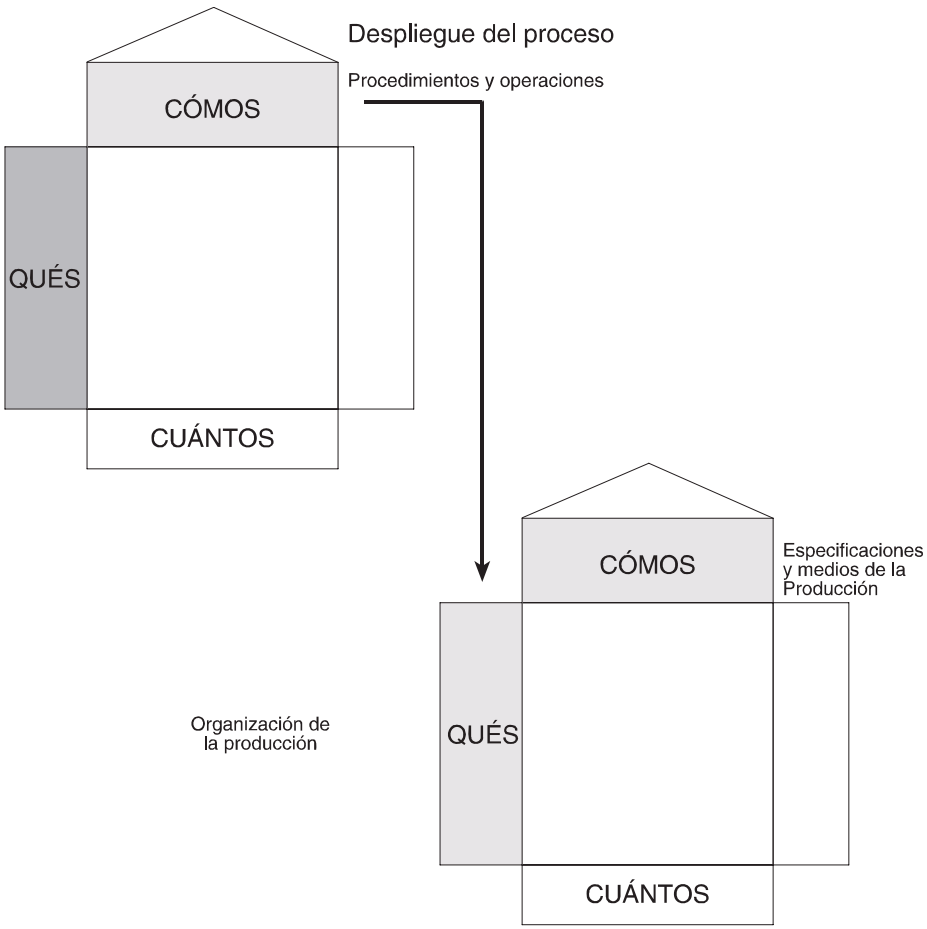


Figura 4.19. Despliegue de la producción a partir de los procedimientos del proceso

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Despliegue funcional de la Calidad: Caso práctico.

Vamos a completar este capítulo destinado al despliegue funcional de la calidad, con la exposición de un caso práctico completo.

Se trata de aplicar esta técnica a la construcción de viviendas unifamiliares adosadas, en base a los requerimientos de sus futuros usuarios.

La figura 4.20. presenta los componentes básicos de este despliegue: Los *«qués»*, los *«cómos»*, la matriz de relaciones con tres niveles para las mismas indicadas con símbolos distintos y el cálculo de los *«cuántos»* y de los impactos de los requerimientos del usuario (columna de la derecha, que se calcula de forma similar a los cuántos, pero por filas en lugar de columnas); el impacto permitirá medir hasta qué punto el conjunto de *«cómos»* cubre cada uno de los *«qués»*. Puede apreciarse, entonces, que hay dos alternativas de diseño con un *«cuánto»* especialmente elevado (216 y 222), así como un impacto de los requerimientos asimismo muy elevado (280).

Tanto los requerimientos de los usuarios (*«qués»*) como las alternativas para cubrirlas (*«cómos»*), se han estructurado por categorías con tres niveles en cada caso.

Por lo que concierne a los requerimientos, básicamente están referidos al entorno, su situación y servicios, así como a la construcción, en los aspectos técnicos, de diseño y económicos. Los *«cómos»*, por su parte, hacen referencia a la ubicación de la construcción, al proyecto de construcción (diseño) y a la construcción y sus equipamientos. En la figura pueden apreciarse todos los aspectos que contempla el desglose en detalle de unos y otros (tercer nivel).

La figura 4.21. incorpora el resto de funciones que permite desplegar el QFD: La evaluación comparativa, que muestra nuestra posición y la de otras empresas con respecto a cada requerimiento y la evaluación competitiva, que muestra nuestra capacidad de llevar a cabo los *«cómos»*, junto a la dificultad técnica de cada uno. Asimismo contiene la matriz triangular de correlaciones (el «tejadito») con la definición del sentido de la mejora para cada uno.

Como puede apreciarse en la figura 4.20., este despliegue muestra ya aspectos a tener muy en cuenta:

- Matriz de relaciones con una cantidad importante de relaciones fuertes y medias, y no demasiadas del tipo débil, lo que es correcto y operativo. Además no hay ninguna fila ni columna vacía, lo que hace adecuados los planteamientos.
- Densidad de la matriz de relaciones correcta (ni fuerte ni floja), con áreas de la matriz muy densas (fuertes relaciones entre *«qués»* y *«cómos»*), junto a otras con muy pocas relaciones. Ello ha dado lugar, asimismo, a que haya *«cuántos»* e impactos con valores muy elevados junto a otros con montantes bajos.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Construcción de viviendas adosadas
Planificación y diseño de productos para la calidad/coste
Q.F.D.: Despliegue funcional de la calidad

Tipo de relaciones

- ● *Fuerte (9)*
- ○ *Mediana (3)*
- △ *Debil (1)*

		Requerimientos del producto (Qués)	Factor ponder.	Ubicación / Solar: Localización solar	Ubicación / Solar: Planes urbanísticos	Ubicación / Solar: Servic. urbanos/comercial	Ubicación / Solar: Solar, forma, área y nivelado	Planificación y calidad / Diseño: Estructura hormigón/metal.	Planificación y calidad / Diseño: Tipo buhardilla y tejado	Planificación y calidad / Diseño: Distrib. interior /N.º niveles	Planificación y calidad / Construcción: Exterior obra vista / otros	Planificación y calidad / Construcción: Tipo / calidad materiales	Planificación y calidad / Construcción: Tipo / calidad equipamientos	Impacto requerimientos producto
Entorno	Zona	Zona y distancia a núcleo urbano grande	5	●		○								60
		Comunicaciones con núcleo urbano	5	●	△	○								65
		Servicios y calidad de vida de la zona	4	△	●	●	△					●	△	120
		Tranquilidad y clima	3	●		△							△	33
	Exteriores	Orientación fachada y estancias principales	5	△	△		●	△	○		△			80
		Superficie y distribución por niveles	4				●	●	△			△	△	84
		Diseño y acabados exteriores	2		△		△	○	○	△	●	●		54
		Servicios y superficie comunitarios	2				●					○	△	26
Construcción	Exteriores	N.º de habitaciones y cuartos de baño	5				●		○	●		△	△	115
		Diseño y superficie comedor y salón	3				○	△		●	△	△		45
		Jardín privado, extensión y forma	2		●		●						△	38
		Calidad acabados, insonorización, etc.	3					○	△	△	△	●	●	72
		Equipamientos cocina, cuartos de baño, etc.	4							○		○	●	52
	Econom.	Coste de la vivienda	5	●	△	○	●	●	△	○	○	●	●	280
		Sistemas de financiación de la vivienda	5	●		○								60
		Dificultad técnica												
				5× 9	5× 0	5× 3	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	
				5× 9	5× 1	5× 3	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	
				4× 1	4× 9	4× 9	4× 1	4× 0	4× 0	4× 0	4× 0	4× 9	4× 1	
				3× 9	3× 0	3× 1	3× 0	3× 0	3× 0	3× 0	3× 0	3× 0	3× 1	
				5× 1	5× 1	5× 0	5× 9	5× 1	5× 3	5× 0	5× 1	5× 0	5× 0	
				4× 0	4× 0	4× 0	4× 9	4× 9	4× 1	4× 0	4× 0	4× 1	4× 1	
				2× 0	2× 1	2× 0	2× 1	2× 3	2× 3	2× 1	2× 9	2× 9	2× 0	
				2× 0	2× 0	2× 0	2× 9	2× 0	2× 0	2× 0	2× 0	2× 3	2× 1	
				5× 0	5× 0	5× 0	5× 9	5× 0	5× 3	5× 9	5× 0	5× 1	5× 1	
				3× 0	3× 0	3× 0	3× 3	3× 1	3× 0	3× 9	3× 1	3× 1	3× 0	
				2× 0	2× 9	2× 0	2× 9	2× 0	2× 0	2× 0	2× 0	2× 0	2× 1	
				3× 0	3× 0	3× 0	3× 0	3× 3	3× 1	3× 1	3× 1	3× 9	3× 9	
				4× 0	4× 0	4× 0	4× 0	4× 0	4× 0	4× 3	4× 0	4× 1	4× 9	
				5× 9	5× 1	5× 3	5× 9	5× 9	5× 1	5× 3	5× 3	5× 9	5× 9	
				5× 9	5× 0	5× 3	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	5× 0	
		Totales por alternativas de diseño (Cuántos)		216	71	99	222	104	48	104	44	148	128	

Figura 4.20.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

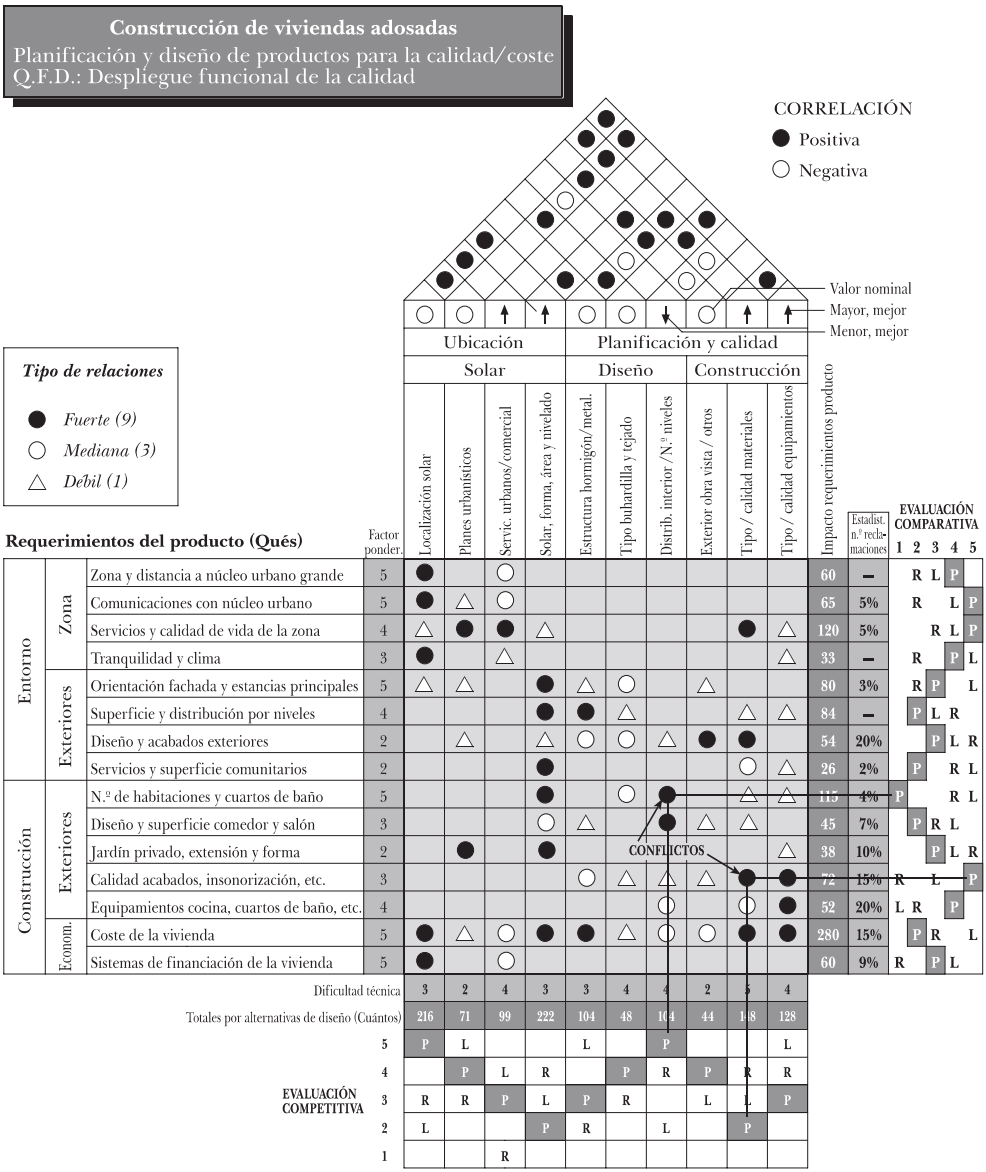


Figura 4.21.

– Evaluación comparativa con evoluciones fuertes de nuestra empresa, en la que hay *«qués»* con posicionamiento muy fuerte, junto a otros para los que resulta débil; alguno de éstos coincide con impactos fuertes, como ocurre so-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS (Q.F.D.)

Diagnóstico

PUNTOS CRÍTICOS

Son los REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE que deben MEJORARSE, puesto que:

- Tienen gran IMPACTO para los requerimientos del CLIENTE (importancia alta).
- Exige un nivel elevado para los REQUERIMIENTOS de SERVICIO.
  (Suma de valores de relación por su importancia a nivel horizontal, elevado).
- La posición propia dentro de la EVALUACIÓN COMPETITIVA, es débil.

Dos categorías:

1) MEJORA IMPRESCINDIBLE: Con evaluación comparativa muy débil y por debajo de los competidores.
2) OPORTUNIDAD DE MEJORA: Con evaluación comparativa normal o al nivel de los competidores.

PUNTOS CRÍTICOS (Orden: Impacto)		REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Nivel 1.º	Nivel 2.º	Nivel 3.º	IMPORTANCIA Ponderación requerimientos	IMPACTO REQUERIM. PRODUCTO	POSICIÓN EVALUACIÓN COMPARATIVA
					5 Δ (9 Δ 5 + 3 Δ 3 + 1 Δ 2)		(Peor > Mejor)
MEJORA IMPRESCINDIBLE	I1	Construcción	Economías	Coste	5	280	2
	I2	Construcción	Características	N.º habitaciones y baños	5	115	1
	I3	Entorno	Exteriores	Superficie y dist. niveles	4	84	2
OPORTUNIDAD DE MEJORA	01	Entorno	Exteriores	Orientación fach/estanc	5	80	3
	02	Construcción	Economías	Sistemas de financiación	5	60	3
	03	Entorno	Zona	Zona y distancia urbano	5	60	4
	04	Costrucción	Características	Equip. cocina, baños, etc.	5	52	4

Figura 4.22.

bre todo con *Construcción - Características - Nº habitaciones y cuartos de baño* (Impacto = 115 y evaluación comparativa = 1). En otros casos ocurre lo contrario: Así para *Entorno - Zona - Servicios y calidad de vida*, con un impacto de 120, nuestra posición es la máxima (5). Al hacer el diagnóstico con los puntos críticos y puntos fuertes, lógicamente, se tendrá en cuenta todo ello.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS (Q.F.D.)

Diagnóstico

PUNTOS FUERTES

Son los REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE en los que la empresa se halla muy bien preparada:

- Impacto REQUERIMIENTOS PRODUCTO elevado.
- POSICIÓN EVALUACIÓN COMPARATIVA de la empresa (MUY ALTA).

LÓGICAMENTE **DEBEN APROVECHARSE Y SER EXPLOTADOS**

PUNTOS CRÍTICOS (Orden: Impacto)	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Nivel 1.º	Nivel 2.º	Nivel 3.º	IMPORTANCIA Ponderación requerimientos	IMPACTO REQUERIM. PRODUCTO	POSICIÓN EVALUACIÓN COMPARATIVA
				4 Δ (9 Δ 3 + 1 Δ 3)		
F1	Entorno	Zona	Servicios y cal. vida	4	120	5
F2	Construcción	Características	Calidad acabados	3	72	5
F3	Entorno	Zona	Comunicaciones N.U.	5	65	5
F4						
F5						
F6						
F7						

Figura 4.23.

– Evaluación competitiva que también presenta estas mismas situaciones extremas: Así para *Ubicación - Solar - Forma, área y nivelado* el montante del *«cuánto»* es de 222 (el más elevado), y la evaluación competitiva es muy baja (2) con una dificultad técnica media (3); evidentemente, siempre queda el recurso de acudir a la matriz de correlaciones, donde vemos que, por ejemplo, *forma, área y nivelado del solar* puede «compensarse» (correlación positi-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

va) con el *«cómo»* que hace referencia a la *estructura (hormigón o metálica)* que permite corregir los desniveles y formas poco adecuadas del solar; por el contrario, en *Ubicación - Solar - Localización*, con un *«cuánto»* de 216, nuestra posición competitiva es la máxima (5).

– Los aspectos que acabamos de comentar, traen inevitablemente como consecuencia que habrá puntos conflictivos en la matriz de relaciones: relaciones

MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS (Q.F.D.)

Diagnóstico

PLAN DE ACCIÓN

Planificación de los REQUERIMIENTOS DE SERVICIO para los que deben ponerse en marcha planes de MEJORA, CORRECTIVOS o de POTENCIACIÓN.

- Estarán relacionados con REQUERIMIENTOS PRODUCTO, FUERTES.
- Sobre todo, están relacionados con: - MEJORAS IMPRESCINDIBLES
  - OPORTUNIDADES DE MEJORA

OBJETIVOS

1) «Mover» POCOS REQUERIMIENTOS DE SERVICIO para lograr el MÁXIMO de IMPACTOS

2) Apoyarse en las CORRELACIONES para casos de DIFICULTAD TÉCNICA ELEVADA

PLAN DE ACCIÓN		ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE PRODUCTO			Dificultad Técnica	Impacto total alternativa diseño	POSICIÓN Evaluación competitiva
Orden (Impacto)	Tipo						
PA 1	Básico	Ubicación	Solar	Forma, área, nivelado	3	222	2
PA 2	Básico	Planificación	Construcción	Tipo/calidad materia	5	148	2
PA 3	Estandarización	Planificación	Construcción	Tipo/calidad equipos	4	128	3
PA 4	Estandarización	Planificación	Diseño	Estructura horm/me	3	104	3
PA 5	Estandarización	Ubicación	Solar	Serv. urban./comerc.	4	99	3
PA 6	Gestión	Ubicación	Solar	Planes urbanísticos	2	71	4

Figura 4.24.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

fuertes entre *«qués»* con evaluación comparativa baja y *«cómos»* con evaluación competitiva elevada y viceversa. En la figura 4.21. están señalados dos de estos puntos; así, por ejemplo, vemos que la mala evaluación de *Nº habitaciones y cuartos de baño* tiene una relación fuerte con Distribución interior y número de niveles, en la que estamos muy bien situados, lo que daría pie a tratar de utilizar esta alternativa para resolver el requisito mal puntuado.

A partir de aquí sólo nos queda realizar el diagnóstico y el plan de acción correspondiente. Así la figura 4.22. presenta un cuadro con los **puntos críticos**, es decir, requerimientos del cliente de gran importancia e impacto para él, en los que estamos muy mal puntuados, que catalogaremos como «**mejora imprescindible**»; o bien, que sin estar mal puntuados, podemos mejorar, que denominaremos «**oportunidad de mejora**». Remitimos al lector al cuadro de la figura citada, para conocer en detalle unos y otros y la información referente a cada uno.

A continuación (figura 4.23.), llevaremos a cabo un cuadro similar para los **puntos fuertes**, con requerimientos que igualmente son de gran importancia e impacto elevado, pero en los que estamos muy bien puntuados; como es lógico, trataremos de aprovechar estos puntos fuertes en la medida de lo posible. También aquí remitimos al lector al cuadro de la figura referenciada, para conocer en detalle los puntos fuertes y la información referente a cada uno.

Nuestro caso termina con un **plan de acción** que presentamos en la figura 4.24. Se basa en seleccionar (aquí se puede utilizar para ello la técnica del diagrama de Pareto) aquellas alternativas de diseño del producto y su proceso (*«cómos»*) para las que convenga una mejora, dado que tienen un impacto total (*«cuánto»*) elevado, están fuertemente relacionados con los puntos críticos seleccionados y además suponen una evaluación competitiva baja para nosotros. El cuadro de la figura 4.24. permitirá asimismo conocer el detalle de las actuaciones de este plan de acción.

El resto será ya, actuar...

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

5

Análisis Modal de Fallos y Efectos. AMFE

El *Análisis Modal de Fallos y Efectos,* comúnmente conocido como *AMFE,* es una metodología que permite analizar la calidad, seguridad y/o fiabilidad del funcionamiento de un sistema, tratando de identificar los fallos potenciales que presenta su diseño y, por tanto, tratando de prevenir problemas futuros de calidad. Se aplica por medio del estudio sistemático de los fallos (que se denominarán *modos de fallo*) y sus *causas* partiendo de sus *efectos.* El estudio tendrá como objetivo la corrección de los diseños para evitar la aparición de los fallos, estableciendo en lo necesario un *plan de control dimensional*, como resultado del estudio de los fallos y su corrección en lo que sea necesario para evitar la aparición de los mencionados fallos.

De la propia definición del AMFE se deduce que se trata de una herramienta de predicción y prevención. La aplicación de la misma la podemos enmarcar dentro del proceso de diseño, fundamentalmente de productos nuevos, para los que se aplicara con el fin de validar los diseños desde el punto de vista funcional. En este sentido podría aplicarse a continuación de la planificación del diseño por medio del QFD, aunque evidentemente puede aplicarse a cualquier otra forma de concebir un diseño. La figura 5.1. expresa estas relaciones y las que hay con el resto de herramientas de diseño para la calidad.

El AMFE también es aplicable a la mejora de productos ya existentes y, por otro lado, al proceso de fabricación, extendiéndose a cualquier tipo de proceso, de ahí que sea realmente una herramienta poderosa. En el primer caso hablaremos de AMFE de diseño, mientras que en el segundo caso se trata de AMFE de proceso. También se aplica a los medios de producción (máquinas, instalaciones, etc.) y en este caso se denomina AMFE de medios.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Evolución histórica

Como predecesores del AMFE existían algunos métodos de análisis de problemas que pueden presentarse *a priori*, de los cuales podemos destacar el método desarrollado por Kepner y Tregoe, conocido como técnicas KT, en el cual ya existía una priorización a estos problemas potenciales asociándoles una probabilidad de fallo y un índice de gravedad asociado al mismo.

El AMFE propiamente dicho, se utilizó por primera vez en Estados Unidos, en la década de los años sesenta, en la industria aeroespacial militar, en la cual se

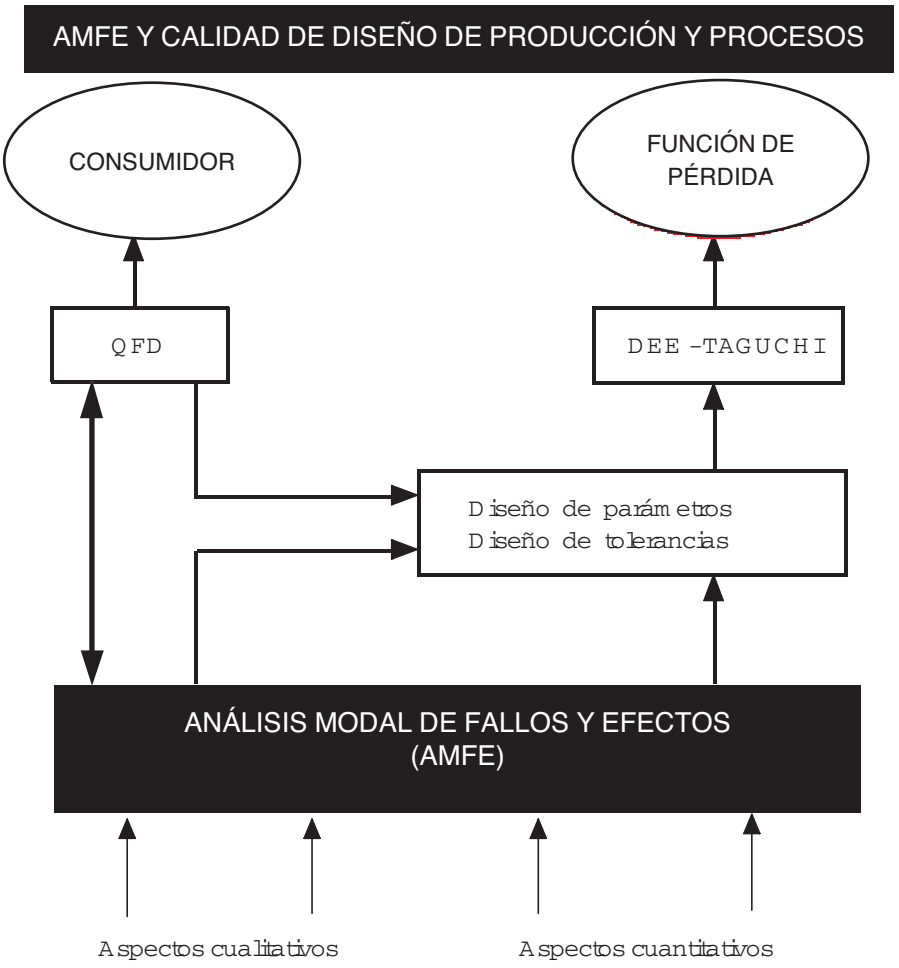


Figura 5.1. El AMFE y su relación con las herramientas de diseño para la calidad

Copyright Ediciones Deusto S.L.

estableció una especificación del método (norma MIL-STD-16291); ya en la siguiente década se extendió a las empresas automovilísticas, de la cual FORD fue pionero en utilizar este método, y pronto sería utilizado por el resto de la industria del automóvil.

En la actualidad, el AMFE constituye una poderosa herramienta preventiva y de análisis y su aplicación se ha extendido a la mayoría de los campos de la industria donde el diseño, el proceso o los medios constituyen una base fundamental para obtener una elevada calidad a bajo coste. En el campo de los servicios presenta igualmente grandes posibilidades de aplicación.

Principios y objetivos

La metodología AMFE contribuye a la mejora de la fiabilidad y del mantenimiento óptimo de un producto o sistema a través de la investigación de los puntos de riesgo, para reducirlos a un mínimo mediante acciones apropiadas.

Para el desarrollo de cualquier AMFE es necesario la coordinación y el entendimiento de todos los departamentos afectados, es decir, se trata de un equipo pluridisciplinar.

Como objetivos del AMFE señalaremos:

- *Análisis de los fallos* que pueden afectar a un producto o sistema y las consecuencias de éstos sobre los mismos.
- *Identificación de los modos de fallo*, así como la *priorización* de estos modos sobre los efectos en el producto o sistema de estudio, teniendo en cuenta para ello diferentes criterios.
- Determinación de los *sistemas de detección* para los distintos modos de fallo y aseguramiento de los mismos a través de revisiones periódicas.
- *Satisfacción del cliente* (interno y externo) mediante la mejora de la calidad del proceso o del diseño del producto.

Elaboración de un AMFE

La elaboración de un AMFE concierne a un equipo pluridisciplinar constituido por todos los departamentos involucrados en el diseño de un producto o proceso, extendiendo el concepto de proceso a todos los relacionados con el producto, sean de fabricación o de servicios que acompañan al mismo.

En el desarrollo de un AMFE partimos del producto o proceso de diseño, con la elaboración de un diagrama donde aparecen todos los elementos posibles, y a través de un método sistemático.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

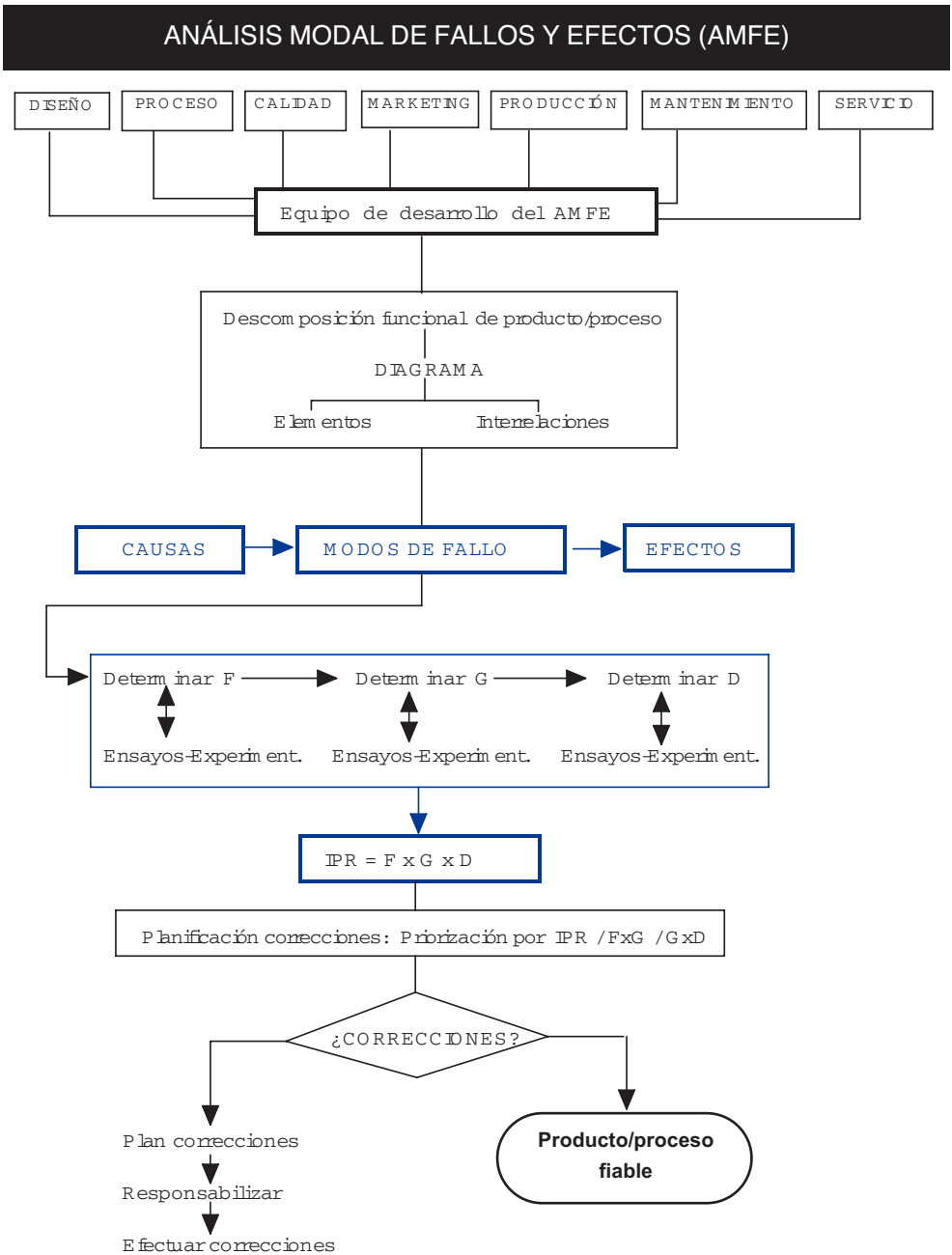


Figura 5.2. Esquema de las etapas para la elaboración de un AMFE

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS

Pág. ___ de ___

Producto/pieza/sistema/proceso: _____ **Fecha realización:** _____ **Fecha revisión:** _____ **n.º Rev.:**

Participantes: _____ **Responsable:** _____ **Responsable Rev.:** _____

FUNCIÓN O PROCESO	FALLO			Controles actuales	F	G	D	IPR	Acciones preventivas	Plazo Resp.	REVISIÓN			
	MODO	EFECTO	CAUSA								F	G	D	IPR

Figura 5.3. Documento básico de AMFE

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En la figura 5.2. presentamos esquemáticamente las etapas de la elaboración de un AMFE por medio del equipo de trabajo pluridisciplinar al que hemos hecho referencia.

Partiremos de un modelo básico, el cual facilita enormemente la realización de un AMFE. A partir del mismo (véase figura 5.3.) vamos a ir exponiendo las etapas de que se compone la elaboración del AMFE.

Elementos de información general

Por lo que hace referencia a la cabecera del AMFE (elementos 1 a 5 de la figura):

La primera información a introducir en el estudio es el producto componente o subconjunto, o bien, si se trata de un sistema o proceso, con su referencia y denominación.

Se indicarán asimismo las personas responsables del estudio del AMFE, que normalmente y como ya se ha indicado, será un equipo pluridisciplinar procedente de los departamentos involucrados en el AMFE. También deberán indicarse las fechas del estudio y realización del AMFE. Asimismo y en los casos en que proceda, se indicará de qué revisión se trata.

Debe aparecer, asimismo, el nombre y cargo de la persona responsable de dicho AMFE que deberá dirigir, coordinar y supervisar a los participantes del mismo. En los casos de revisión, esta persona no deberá ser necesariamente la misma que llevó a cabo la primera realización.

Por lo que hace referencia a la información del cuerpo del AMFE contenida en el columnado del documento ya mencionado de la figura 5.2. (columnas de la 6 a la 17), se contemplará:

En primer lugar, una descripción breve de la función del producto, componente, subconjunto, sistema o proceso a analizar.

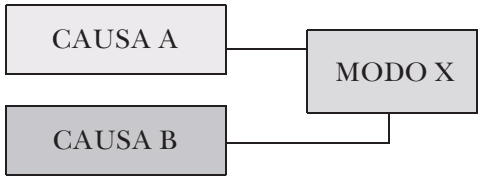
Cuando en el producto o proceso puedan contemplarse varias funciones es conveniente hacer el estudio de cada una de ellas por separado, debido a que pueden dar lugar a diferentes modos potenciales de fallo.

Modos de fallo, efectos y causas

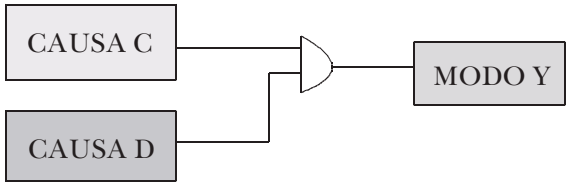
Por lo que hace referencia a los ***modos de fallo***, elementos fundamentales del estudio, los definiremos como la *manera en que una pieza o sistema puede fallar potencialmente respecto a unas especificaciones dadas.* Asimismo se considera fallo de un elemento cuando no cumple o satisface unas funciones para las cuales ha sido diseñado. Un fallo puede ocurrir, aunque no necesariamente acabará siempre ocurriendo, y aunque sea así no siempre el cliente lo detectará; sin embargo, en el AMFE, basta que sea un fallo posible (o como hemos dicho, potencial), para que sea contemplado.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

A) Causas independentes entre si.



B) Causas dependientes, para que exista el modo de fallo es necesario que se produzcan ambas.



C) Causas encadenadas que dan lugar a un modo de fallo.

D) Relación múltiple de distancias causas que producen un único modo de fallo.

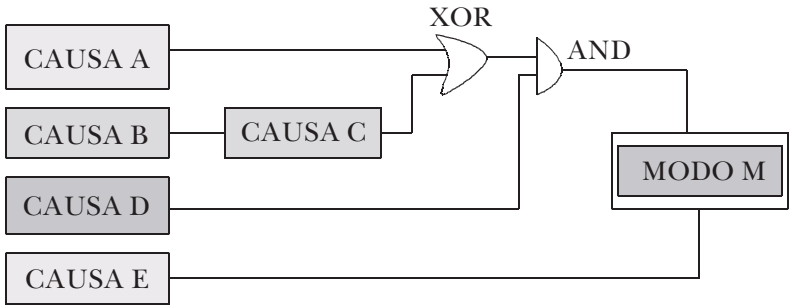


Figura 5.4. Tipos de dependencia entre las causas que originan un modo de fallo

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Una misma función puede tener ligada a ella varios modos de fallo. Estos modos de fallo se expresan en términos físicos. Fatiga, vibraciones, agarrotamiento, corrosión, bloqueo, pandeo, desalineación, circuitos con fugas, etc., son posibles modos de fallo.

Para cumplimentar este punto es recomendable comenzar con el repaso de AMFE anteriores o, si se trata de un nuevo elemento, con el examen de estudios de fiabilidad y AMFE realizados con elementos afines a éste.

También hay que tener en cuenta las condiciones extremas de funcionamiento para encontrar modos potenciales de fallo, que en condiciones normales de trabajo no aparecerían.

Otro elemento de gran importancia en el AMFE son los ***efectos*** de fallo. Estos han tenido lugar precisamente como consecuencia de los fallos cuando se han dado; de hecho, los efectos es lo que realmente se percibe como resultado del fallo y a partir de ellos debe identificarse el modo de fallo; es conveniente que se identifiquen los efectos, de forma que estén en consonancia con las observaciones y experiencias del cliente usuario del producto.

De acuerdo con la percepción del cliente pueden darse las siguientes categorías de fallos:

- *Sin consecuencias.*
- *Ligeras molestias.*
- *Descontento.*

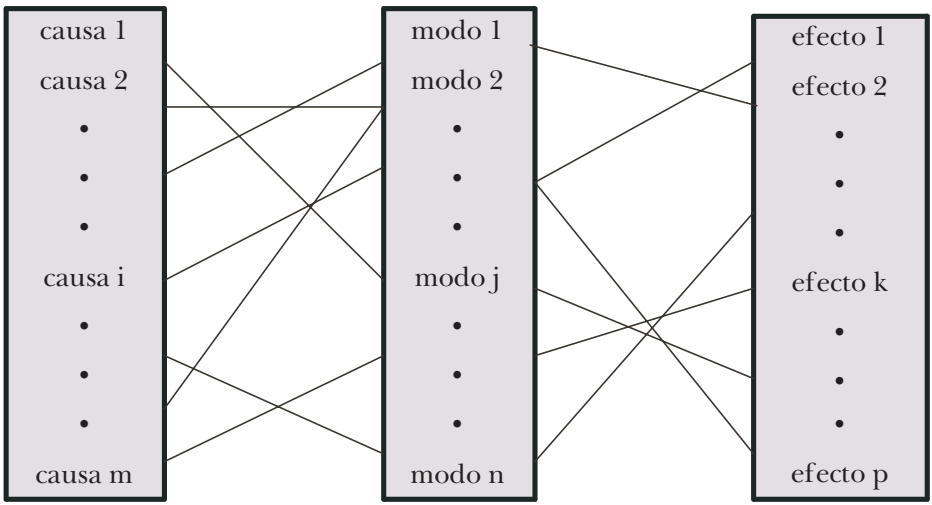


Figura 5.5. Multiplicidad de relaciones de modos de fallo con sus causas y efectos asociados

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- *Gran descontento.*
- *Problema de seguridad.*

Los efectos aparte de su importancia intrínseca convendrá tener en cuenta la repercusión sobre el sistema. Ejemplos de efectos pueden ser combado, ruido, suciedad, ausencia de funcionamiento, fugas y cualquier otro que pueda ser detectado por cualquiera de los cinco sentidos o por instrumentos de medición y comprobación.

Otro elemento que junto a modos de fallo y efectos es determinante, son las ***causas*** de los fallos.

De hecho, la investigación fruto del AMFE debe dirigirse hacia la identificación de las causas de los modos de fallos y sus efectos, así como las acciones correctoras que permitan eliminar dichos fallos.

Las causas de fallos podemos definirla como los factores desencadentantes del modo de fallo. Se deben relacionar todas las causas potenciales atribuibles a cada modo de fallo. Estas causas deben ser descritas lo más concisamente posible y en términos claros, de forma que permita llevar a cabo acciones correctivas que vayan dirigidas a esas causas concretas; por lo que hemos de evitar cualquier ambigüedad en su descripción. Vibraciones, calor, dimensiones excesivas o cortas, excentricidad, fragilidad, falta de lubricación, sobretensiones eléctricas, etc., serían ejemplos claros de causas de fallos.

Pueden existir una o varias causas para un único modo de fallo. Cuando son varias las causas que afectan a un modo de fallo pueden ser independientes entre sí, pero es más frecuente que exista una relación de dependencia entre ellas, y convendría encontrar la relación que liga esa dependencia. La figura 5.4. ex-

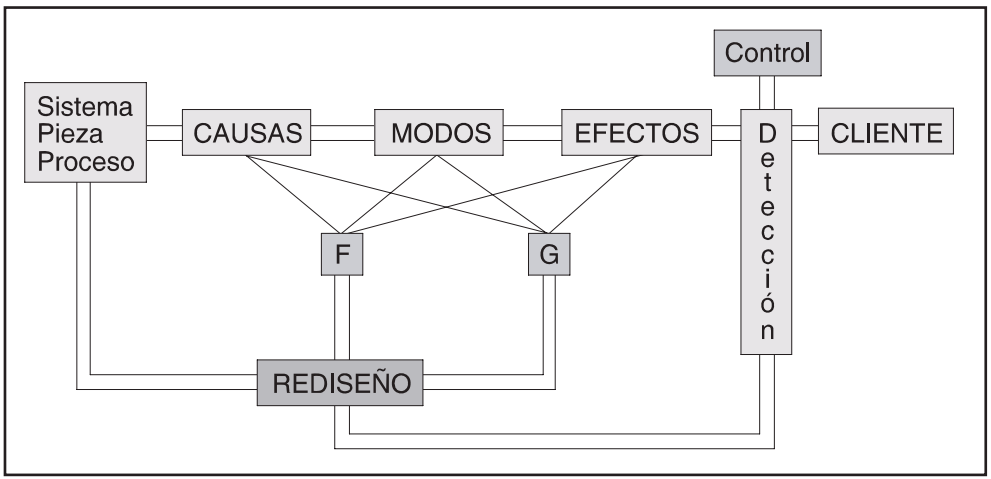


Figura 5.6. Diagrama de bloques de los elementos de un AMFE y sus relaciones

Copyright Ediciones Deusto S.L.

pone los cuatro tipos de dependencia que puede haber entre las causas (independencia y/o relación compleja o múltiple).

Cuando el número de causas es elevado se hace difícil hallar esta relación de dependencia; entonces es recomendable apoyarse en herramientas estadísticas, de las cuales el diseño de experimentos o métodos de Taguchi serían las más apropiadas para nuestros objetivos (véase capítulo 6).

Finalmente, en todo proceso, sistema o producto, podrán darse distintos modos de fallo, que a su vez podrán estar producidos por diversas causas y además podrán tener asociados a ellos diferentes efectos (figura 5.5.).

Controles a llevar a cabo

Llegados a este punto del documento se describirán los controles previstos para evitar que se produzcan los fallos, es decir, los modos de fallo y, en todo caso, detectarlos.

Los controles actuales son aquellos que han sido diseñados en proyectos similares y que deban servir a la prevención o detección de los modos o causas específicas de fallo. Estos controles han de llevarse a la práctica si están incluidos en las especificaciones de ingeniería, o bien, sean normas industriales de obligado cumplimiento o acostumbradas en sistemas análogos. Cualquier otro tipo de control que sea considerado como necesario deberá estar de acuerdo con las acciones recomendadas y ser añadido a las especificaciones de ingeniería.

En un diseño completamente nuevo puede suceder que los controles actuales sean muy limitados para el mismo e incluso carecer de ellos, pero es recomendable usar controles generales que ya estén planificados adaptándolos a las características de nuestro diseño, siempre con la aceptación de los responsables del proyecto.

La figura 5.6. muestra los elementos que, según hemos expuesto, intervienen en un AMFE, sus relaciones y su repercusión hacia el cliente.

Dimensionado de los modos de fallo: Índice de Prioridad de Riesgo

El dimensionado de la importancia de los modos de fallo se obtiene a partir de tres coeficientes cuyo producto representará el índice final que permitirá calibrar el fallo y sus consecuencias, y que denominaremos Índice de Prioridad de Riesgo (IPR). En la figura 5.2., al exponer el esquema de las etapas de la elaboración del AMFE, hemos anticipado ya el cálculo del IPR en base a tres coeficientes (F, G y D), de los que vamos a ocuparnos seguidamente.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Coeficiente de Frecuencia (F)

Se define como Coeficiente de Frecuencia a la probabilidad de ocurrencia de un modo de fallo. Se valora en una escala de 1 a 10. Equivale de hecho a la probabilidad compuesta de dos sucesos: que se produzca la causa *y además* que esta dé lugar al modo de fallo, y puesto que ambas cosas son necesarias, el Coeficiente de Frecuencia será el producto de ambas probabilidades. En efecto, puede producirse, por ejemplo, una sobretensión en un circuito electrónico (causa de posible fallo), y a consecuencia de ello puede malograrse dicho circuito (modo de fallo), pero puede no llegar a ocurrir esto último si resulta lo suficientemente robusto, por lo que la existencia de la causa no supone que se producirá necesariamente el fallo.

Así pues, la probabilidad de ocurrencia de un fallo parte de la posibilidad de que se dé previamente la causa potencial de fallo (probabilidad P_1). Para ello, ante todo hay que evaluar todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa de fallo en la pieza o proceso.

Por otra parte, según hemos expuesto, deberá evaluarse luego la probabilidad de que una vez ocurrida la causa de fallo, como consecuencia de esta se produzca el modo de fallo asociado a ella (P_{21}). Para el cálculo de esta probabilidad se debe suponer que tanto la causa como el modo de fallo no son detectados antes de que llegue al cliente. Así pues, la probabilidad de que se produzca el modo de fallo o frecuencia F vendrá dada por el producto de ambas probabilidades:

$$F = P_1 \Delta P_{21}$$

La tabla 5.1., página siguiente, contiene los valores de esta probabilidad para los diez posibles niveles que considera el Coeficiente de Frecuencia. Los valores del índice de frecuencia están linealmente escalados en una gráfica logarítmica.

A veces, en la práctica el cálculo de estas probabilidades es difícil, debido a que en ocasiones puede resultar complicado conocer los valores de las dos probabilidades que componen la frecuencia. En este caso es recomendable realizar una estimación basada en la experiencia y siempre se acotará la probabilidad por su valor subjetivo más alto, debiéndose anotar en el documento AMFE que la estimación efectuada es subjetiva, y en posteriores seguimientos ir ajustando este valor estimado.

Lógicamente, las acciones de mejora que puede llevarse a cabo en el AMFE con respecto al Coeficiente de Frecuencia deben conducir necesariamente a reducir su valor, para lo que podemos llevar a cabo dos tipos de acciones:

1) *Cambiar el diseño,* de modo que se reduzca la probabilidad de aparición del fallo.
2) *Incrementar o mejorar los sistemas de control* para impedir que se produzca el fallo.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Frecuencia	Probabilidad $P_m = P_a \Delta P_{a/b}$
1	0 a < 3/100.000
2	3/100.000 a < 1/10.000
3	1/10.000 a < 3/10.000
4	3/10.000 a < 1/1.000
5	1/ 1.000 a < 3/1.000
6	3/1.000 a < 1/100
7	1/100 a < 3/100
8	3/100 a < 1/10
9	1/10 a < 3/10
10	3/10 a < 1

Tabla 5.1. Coeficientes de frecuencia y probabilidades de modo de fallo

Frecuencia y capacidad de procesos:

Para el AMFE de proceso puede relacionarse el Coeficiente de Frecuencia de modos de fallo con la denominada *capacidad del proceso*, concepto que desarrollaremos en el capítulo correspondiente al control de los procesos de producción, pero que podemos anticipar que hace referencia al porcentaje de productos correctos que arrojará un proceso, es decir, la probabilidad de que un producto que se obtenga en dicho proceso tenga la calidad exigible.

La capacidad de un proceso se obtiene en el marco de la operativa correspondiente al *Control Estadístico de Procesos PSPC)* y responde a la determinación de las unidades de producto cuya medición de la característica de calidad a exigir queda dentro de los límites exigidos por la misma, en el marco de una distribución estadística normal de sus valores. La distribución normal, o gaussiana, se da cuando las causas de la variabilidad de los valores de la característica de calidad son aleatorias y es el entorno en que supondremos que nos hallamos cuando hagamos estudios de capacidad.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

El índice de capacidad o probabilidad de que sea así puede relacionarse con el Coeficiente de Frecuencia del AMFE. Aunque ya hemos mencionado que cuanto se relaciona con la capacidad se expone en esta obra en el capítulo correspondiente al control de calidad de los procesos, anticiparemos aquí la expresión del índice de capacidad Cp para poder relacionarlo con la frecuencia:

$$_{p} | \frac{LTS \; 4 \; LTI}{6 \; \int s}$$

donde **LTI** y **LTS** son los valores de los límites de tolerancia exigidos para la característica de calidad a controlar y **s** la desviación típica de la distribución real de dicha característica. Así, por ejemplo, supongamos que estamos ante una producción en cadena de pilas eléctricas de 1,5 voltios, siendo precisamente la tensión en voltios de la pila la característica de calidad a controlar. Supongamos además, que 1,45 y 1,55 son los límites máximos de variación que admitiremos para la tensión eléctrica (límites de tolerancia inferior y superior) y que después de controlar un lote de fabricación, los valores de las tensiones de cada pila presentan una distribución normal o gaussiana con media igual a 1,5 voltios (valor deseado) y una desviación típica s = 0,2. La capacidad del proceso será:

$$_{p} | \frac{1{,}55 \; 4 \; 1{,}45}{6 \; \int 0{,}2} | \; 0{,}83$$

Este valor, como se verá en el capítulo correspondiente, no resultará aceptable, ya que para ello debería ser igual o mayor que uno. Por contra, cuando se da esta condición, el 99,7% de los productos (pilas en nuestro caso) quedarían dentro de los límites de tolerancia siempre que la distribución fuera normal, lo que se dará cuando el proceso esté en «estado de control», y además sea «centrada», para lo que el valor nominal de la caraterísitica de calidad estudiada debe coincidir con la media de las observaciones reales (1,5 voltios en nuestro caso), tal y como se expondrá más adelante. En la figura 5.7. puede apreciarse cuanto estamos exponiendo comparando situaciones distintas.

Capacidad de procesos y distribución de frecuencias de valores de una característica:

El intervalo 6,5 cuyos límites son LCI y LCS (límites de control inferior y superior) contine siempre el 99,7 % de las observaciones en una distribución normal, que supondremos se da para hacer estudios de capacidad. En el gráfico A, los límites de control quedan fuera de los de tolerancia y el proceso tendrá demasiados valores fuera de estos últimos y no será «capaz».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Su índice C_p será < 1.
En el gráfico B se visualiza un proceso capaz, en el que los límites LCI y LCS quedan dentro de los LTI y LTS, con lo que al menos el 99,7 % de los valores de la característica de calidad quedan dentro de los límites de tolerancia (T_s—T_i < 6.s) y su índice C_p será > 1.

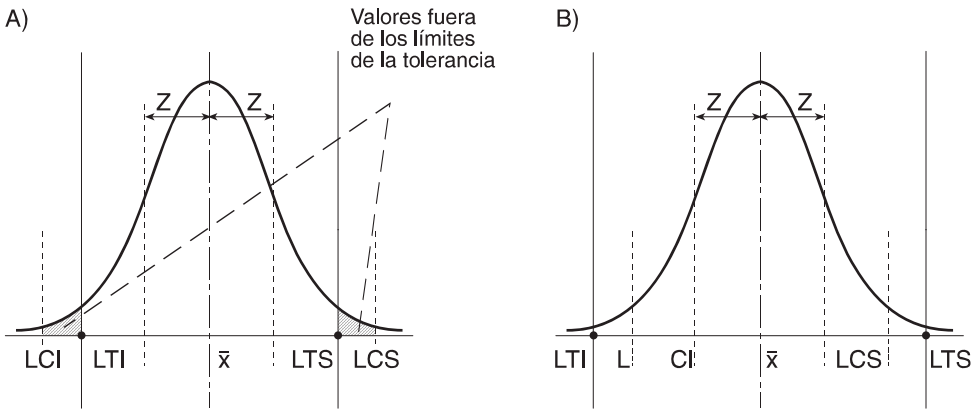


Figura 5.7.

En la práctica se utiliza el índice de capacidad C_{pk}, que viene dado por:

$$_{pk} \mid MIN\left[\frac{LTS - X}{3.s}, \frac{X - LTI}{3.s}\right]$$

donde: $\bar{X}$: Media del proceso (es decir valor medio de la característica medida).
LTS: Límite de tolerancia superior.
LTI: Tolerancia inferior.
s: Desviación típica de la distribución (normal) de valores de la característica.

Este índice incluye la posibilidad de que la distribución no esté «centrada», es decir, que la media no se corresponda con el valor objetivo (en nuestro ejemplo, consideraría la posibilidad de que la media fuera distinta de 1,5 voltios); en el capítulo dedicado al SPC se expone asimismo cuanto se refiere al índice de capacidad C_{pr}.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Vemos ahora cómo se relacionan la capacidad y el índice de frecuencia del AMFE. Supongamos un intervalo cualquiera de valores en una distribución normal como la de la figura 5.7., que se extiende una magnitud Z por encima y por debajo de la media X, siendo la distribución centrada. Este intervalo (X–Z, X+Z) contendrá un porcentaje fijo de las observaciones en una distribución normal; por ejemplo, si Z = 3.5 contendrá, según se ha visto, el 99,7 % de las observaciones y la probabilidad de que un valor no esté en este intervalo sería de 1-0,997 es decir un 3 % y este sería el índice de frecuencia. Para poder tabular los índices de frecuencia acudiremos a la ley normal estándar en base a los intervalos definidos como:

$$_e \mid \frac{Z}{S}, \text{ con lo que } Z \mid Z_e \int S$$

De esta forma para cada intervalo de valores (que al dividirlo por 6.s nos dará la capacidad) podemos encontrar su frecuencia:

$$\text{Capacidad } C_p \mid \frac{2Z}{6S} \mid \frac{Z}{3S} \mid \frac{Z_e \int S}{3S} \mid \frac{Z_e}{3}$$

Accediendo entonces a la ley nomral estándar, determinamos la probabilidad asociada a *Ze* y de ahí se obtiene directamente la frecuencia, que será la que corresponda a la capacidad C_p.

Entonces, a partir de la tabla 5.1. de valores de probabilidad de cada índice de frecuencia podemos construir la tabla que relaciona los mismos con la capacidad C_p: por ejemplo, el índice 1 corresponde a una probabilidad Ω0,00003 que a su vez corresponde a un valor *Ze* ∅4 en las tablas de la ley normal estándar, con lo cual finalmente C_p ∅4/3 = 1,33. Así puede construirse la tabla completa.

Con el coeficiente C_{pk} se procedería de forma similar. La tabla 5.2. recoge los valores correspondientes para C_{pk}, relacionados con los índices de frecuencia.

Coeficiente de Gravedad (G)

El Coeficiente de Gravedad es una valoración del perjuicio ocasionado al cliente por, única y exclusivamente, el efecto del fallo. Este coeficiente se clasifica en una escala de 1 a 10, como puede apreciarse en la tabla 5.3., atendiendo a:

1) La *insatisfacción* del cliente.
2) La *degradación* de las prestaciones.
3) *Coste y tiempo* de la reparación del perjuicio ocasionado.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Hay varias alternativas para minimizar este índice:

a) Correcciones de diseño. Alterando el/los elemento/s causante del fallo.
b) Sistemas redundantes. En previsión a potenciales fallos existen elementos destinados a cumplir exactamente la misma funcionalidad.

F	C_{pk}	$Z(T_i)$ o $Z(T_s)$
1	>= 1.33	>= 4
2	1.2 a =< 1.33	3.6 a =< 4
3	1.1 a =< 1.2	3.3 a =< 3.6
4	1.0 a =< 1.1	3.0 a =< 3.3
5	0.9 a =< 1.0	2.7 a =< 3.0
6	0.75 a =< 0.9	2.25 a =< 2.7
7	0.6 a =< 0.75	1.8 a =< 2.25
8	0.4 a =< 0.6	1.2 a =< 1.8
9	0.2 a =< 0.4	0.6 a =< 1.2
10	0 a =< 0.2	0 a =< 0.6

Tabla 5.2. Relación de la frecuencia, capacidad y el parámetro Zi en una distribución normal

Copyright Ediciones Deusto S.L.

G	FALLO	PERCEPCIÓN DEL CLIENTE
1	Menor	Sin consecuencias
2 **3**	Sin degradación de las prestaciones	Ligeras molestias
4 **5**	Con señal anticipada	Indispone
6 **7**	Degradación notable de las prestaciones	Descontento manifiesto
8	Con señal anticipada	Gran descontento y/o gastos reparación
9	Sin señal anticipada	Gran descontento y/o gastos reparación
10	Sin señal anticipada	Problema de seguridad

Tabla 5.3. Índice de gravedad: evaluación del fallo y su consecuencia para el cliente

Coeficiente de Detección (D)

Este coeficiente se refiere a la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, suponiendo que aparezca, llegue al cliente. Para este índice, al igual que los anteriores, se utilizará una escala de 1 a 10 (véase tabla 5.4.). En realidad se refiere, pues, a la probabilidad de que no pueda detectarse el fallo y su causa antes de entregar el producto al cliente y, por tanto, en realidad se trata de un coeficiente de no-detección, más que de detección.

Así pues, detección será el grado de seguridad con el que se puede detectar, con los controles existentes, el modo y/o causa de fallo antes de que llegue al cliente.

Para reducir este índice de no-detección:

1) Podemos añadir o mejorar los sistemas de control de calidad.
2) Modificación del diseño.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

D	Probabilidad de que llegue al cliente
1	0 a 0.02
2	0.02 a 0.12
3	0.12 a 0.22
4	0.22 a 0.32
5	0.32 a 0.42
6	0.42 a 0.52
7	0.52 a 0.62
8	0.62 a 0.72
9	0.72 a 0.82
10	0.82 a 1

Tabla 5.4. Ponderación del índice de no-detección respecto al cliente

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

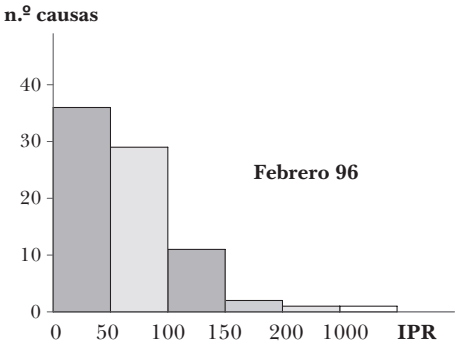
El índice IPR se obtiene por producto de los tres que acabamos de exponer (F, G y D) con el objetivo de priorizar todos los fallos para llevar a cabo posibles acciones correctoras, de forma que se tenga en cuenta la probabilidad de que se produzca el fallo, su gravedad y la probabilidad de que no sea detectado, dado que la importancia del fallo depende de que se den las tres circunstancias (un fallo frecuente pero que se detecta siempre puede no tener más trascendencia). El IPR se obtiene, como ya hemos anticipado, calculando el producto de la frecuencia, la gravedad y el índice de no detección para todas las causas de fallo:

$$\mathbf{IPR = F \Delta G \Delta D}$$

Por lo tanto, el IPR está escalado del 1 al 1000.

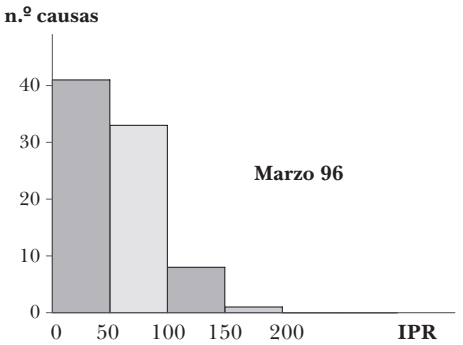
Deberá hacerse un seguimiento del IPR y aplicar acciones correctivas para reducir los IPR elevados. Para reflejar la evolución del IPR es conveniente utilizar histogramas (figura 5.8.).

Copyright Ediciones Deusto S.L.



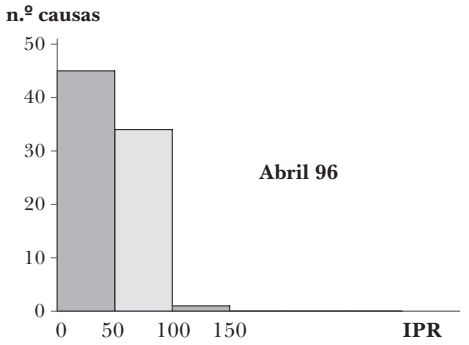
nº causas	IPR
35	< 50
29	< 100
12	< 150
3	< 200 a 1.000
Totales 80	

nº causas > 100 = 16 (0.020 %)
nº causas críticas = 9 (0.11 %)



nº causas	IPR
41	< 50
33	< 100
5	< 150
1	< 200
–	200 a 1.000
Totales 80	

nº causas > 100 = 6 (0.075 %)
nº causas críticas = 2 (0.025 %)



nº causas	IPR
44	< 50
34	< 100
2	< 150
–	< 200
–	200 a 1.000
Totales 80	

nº causas > 100 = 2 (0.025 %)
nº causas críticas = 0 (0 %)

Figura 5.8. Evolución y seguimiento del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Caso a considerar especialmente al margen del IPR: **Fallos críticos**: Son todos aquellos cuya gravedad es máxima (mayor de 8) y tanto la frecuencia como la no-detección sean superiores a uno. En el documento básico se identificará con un símbolo indicativo de valor crítico (÷).

Análisis y mejora de diseños con el AMFE

Entramos ahora en la parte del documento AMFE en la que se procede a emprender acciones correctoras (columnas 15 en adelante, en el documento de la figura 5.3.).

En la columna correspondiente a las mejoras se describirán brevemente las acciones correctoras recomendadas, que deben ser identificadas específicamente. Para la elección de las acciones correctivas conviene proceder con las que siguen y en el orden en que las mostramos:

1) Mejora o cambio en el *diseño* del componente o sistema.
2) Mejora o cambio en el *proceso*.
3) Incremento en el *control* y por tanto mejorar la detección.

Ello es así porque la tendencia actual, como venimos diciendo a lo largo de toda la obra, es a introducir la calidad en las etapas iniciales de diseño, ya que ello redunda en mejores resultados a menor coste, mientras que reforzar el control suele dar lugar a una calidad más cara, por lo que sólo se procederá a ello cuando se hayan agotado las posibilidades de actuar en etapas anteriores. Así pues, se procurará que a un mismo nivel de calidad, es decir un mismo IPR, el coste de la acción recomendada sea más bajo, lo que llevará a priorizar el que tenga una F más elevada y no la D. Asimismo, es conveniente realizar una acción correctiva para todas aquellas causas cuyo IPR > 100, al mismo tiempo que se establecerá un plan de acción para determinar las acciones recomendadas, el plazo de realización y los responsables del mismo.

Todas aquellas causas de fallo que no necesitan acciones correctoras, se incluirá un simbolo indicativo en la columna correspondiente (NR: no requiere acción correctiva).

El fundamento de las acciones correctivas es eliminar los fallos críticos y minimizar el IPR; para ello, teniendo en cuenta la priorización de acciones ya indicada se procederá a:

1. *Eliminar la causa* del fallo. A veces con un ligero cambio de diseño es suficiente.
2. *Reducir la frecuencia* del fallo. Para ello, el análisis preventivo es el más apropiado y la previsión siempre parte de un rediseño, haciéndolo más robusto.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

3. *Reducir la gravedad* de fallo. Será primordial reducir o eliminar todas aquellas causas de fallo cuya gravedad sea alta, para lo cual se deberá apoyar en sistemas redundantes, o bien en un cambio de diseño.
4. *Aumentar la probabilidad de detección.* Ya que no se ha podido prevenir, al menos hay que evitar que el fallo llegue al cliente (interno o externo), aumentando los controles actuales, o bien mejorando el diseño para que los controles sean más eficaces.

En la columna destinada a las acciones recomendadas para las causas seleccionadas se debe incluir una pequeña descripción de la acción en sí y su estado en las sucesivas revisiones. Se buscan acciones que acentúen la prevención antes que la detección. Si no requiere acción correctiva se ha de indicar mediante un símbolo (usualmente NR: No requerida). Otro subapartado que se aconseja incluir es el área y el responsable de dichas acciones.

Una vez realizadas las acciones correctivas se volverá a calcular el IPR resultante a partir de los nuevos índices calculados de frecuencia, gravedad y no-detección. A su vez debe realizarse una pequeña descripción de cómo se aplicó, en qué fecha y en qué consistió la acción adoptada. Si se han realizado varias acciones para una misma causa se realizarán otros tantos nuevos cálculos para actualizar el IPR.

Asimismo existirán nuevas acciones correctoras sobre las últimas aplicadas, y de nuevo se calcurá el IPR, pues el AMFE se trata de una herramienta activa y viva, en el sentido de que siempre refleja las últimas acciones implantadas y los índices de priorización actualizados.

Además se pueden realizar otros documentos que sirvan de apoyo al modelo básico para la determinación de las acciones correctivas. Una posibilidad sería un documento que sirva para llevar a cabo un seguimiento de las acciones correctivas a lo largo de los diferentes meses del año y en el que figure la acción, el departamento y el responsable de tales acciones, tal y como se describe en la figura 5.9. Se deberá indicar los plazos previstos y los realmente conseguidos.

Se hará constar el responsable, o responsables, de que las acciones correctivas designadas se lleven a cabo en la fecha y plazos previstos, además de controlar que las acciones recomendadas sean implantadas correctamente.

El responsable de llevar a cabo las acciones correctivas, de la selección del personal que las realizará y de que sean aplicadas de forma correcta realizando un seguimiento adecuado, es el diseñador. Por tanto, debe actuar como un líder, realizando un control y seguimiento de las acciones llevadas a cabo con ayuda de las especificaciones y de los planos de ingeniería o laboratorio. El AMFE es un documento vivo que debe ir actualizándose conforme se vayan realizando cambios de diseño, acciones correctivas, revisiones, etcétera.

La figura 5.10. representa un resumen esquemático de las etapas de la aplicación del AMFE, con la obtención de los coeficientes y el tratamiento del índice IPR.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Características y ventajas de la metodología AMFE

Como resumen de las características y ventajas de aplicar el AMFE podemos indicar las siguientes:

1.– Identificación de todos los modos de fallo potenciales, definiendo para cada uno de ellos sus efectos sobre el producto o proceso.
2.– Evaluación de los modos de fallo, priorizando la gravedad de las consecuencias de estos.
3.– Determinación de métodos de detección de fallos para los distintos modos de fallo.
4.– Identificación y control de las acciones correctivas de diseño, así como las acciones requeridas para eliminar o minimizar el fallo y su posible riesgo asociado.

SEGUIMIENTO DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS

ACCIONES	DEPTO.	RESPBLE.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.

Ä Previsto
Â Realizado

Figura 5.9. Documento para seguimiento de las acciones correctivas

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Tipos de AMFE

Se pueden establecer tres tipos de AMFE dependiendo de la actividad sobre la que se realiza. Básicamente el proceso de realización es el mismo. No obstante existen algunas matizaciones o pequeñas diferencias, fundamentalmente en cuanto a los diferentes elementos y objetivos del AMFE y en los diferentes apartados que en particular tiene cada uno de ellos. Se incluyen modelos de impresos, aunque no se debe caer en el error de dar excesiva importancia a dichos impresos, ya que no son el objetivo, sino el medio para lograrlo.

Así pues, los tipos de AMFE y sus características diferenciales, son:

AMFE de Diseño

El AMFE de Diseño está orientado hacia el producto o servicio nuevo, o para los rediseños cuando varíen las condiciones medioambientales, o para su optimización por cualquier otro motivo.

En el AMFE de Diseño es posible detectar un problema de fabricación que no tenga nada que ver con el diseño, sino con fases siguientes como la producción. Dado que a continuación del AMFE de Diseño se llevará a cabo el AMFE de Proceso, toda la información relativa a problemas de producción detectados en el AMFE de Diseño será de gran utilidad e incluida en el posterior AMFE de Proceso. En particular, esos problemas serán considerados como modos de fallo en el AMFE de Proceso. De igual forma, en el AMFE de Proceso se pueden detectar fallos de diseño que no son de su responsabilidad y que se comunicarán de forma rápida al responsable del departamento de diseño para que se incluyan en el AMFE de Diseño.

AMFE de Proceso

El AMFE de Proceso se aplica a la búsqueda de fallos y causas en el siguiente paso, es decir, el proceso de producción. Su objetivo es analizar las características del producto en relación a dicho proceso, para lograr que las expectativas del cliente estén aseguradas. Se debe realizar antes de que comience el proceso en sí.

En definitiva y de la misma forma que el AMFE de Diseño se centraba en el producto o servicio, el AMFE de Proceso se centra en la fabricación del producto o realización del servicio.

La metodología es idéntica a la del AMFE de Diseño, salvo en cuanto al objetivo del estudio, que será el proceso de fabricación. Es decir, los modos de fallo, las causas potenciales y los efectos potenciales de los fallos referentes al proceso se tratarán de la misma forma. De igual manera se realiza el cálculo del IPR, a

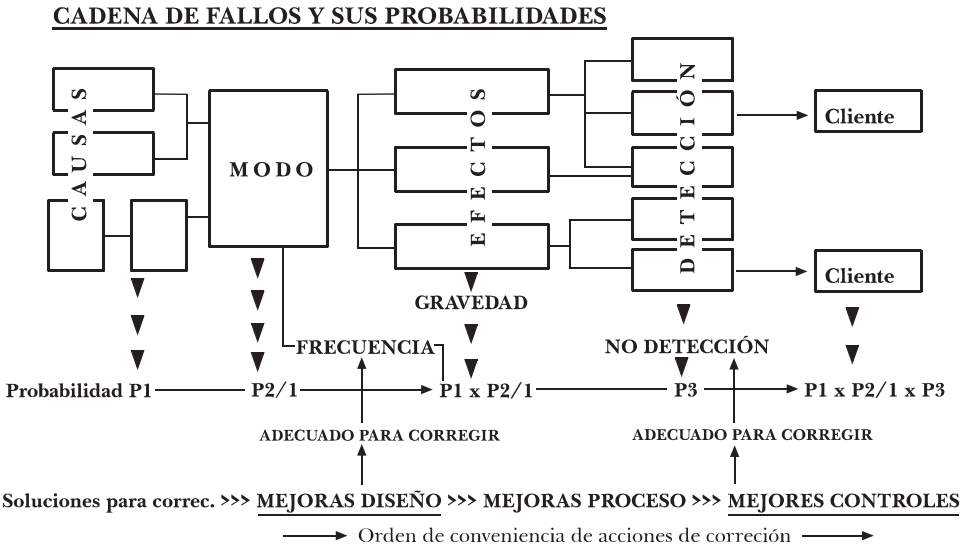
Copyright Ediciones Deusto S.L.

Coeficiente de prioridad de corrección de fallos:

PCF = F (Frecuencia) x G (Gravedad) x D (Detección)

Se tratarán todos los fallos que superen un cierto valor mínimo estipulado (según objetivos y experiencias).
Si se aplica el tratamiento a un porcentaje fijo de fallos y se repite, se llega a la MEJORA CONTINUA.
Con G = 9 o 10 (a menos que F y D sean 1 o menores): Proceder a la corrección sea cual sea PCF.
En este caso el fallo se considerará CRÍTICO y se indicará con un símbolo en el AMFE.

El análisis y corrección, podrán llearse a cabo con las herramientas de ANÁLISIS DE CAUSAS, y SPC.



POR EFICACIA Y COSTE SIEMPRE ES MEJOR APLICAR MEJORAS EN DISEÑO QUE AUMENTAR CONTROLES

Es decir que es mejor tratar de reducir la FRECUENCIA que la DETECCIÓN siempre pendientes, además de la GRAVEDAD.

Fallo	PCF	F	G	D
A	96	8	4	3
B	108	3	4	9

Aunque PCF de fallo A sea algo menor que el de B, podemos proceder antes con A que tiene una frecuencia (8) más alta que la de B (3).
Es posible que de «rebote» se corrija el PCF de B; si no proceder después.

Orden de prioridad de acciones según AMFE:

1) Eliminar CAUSAS de fallos >> Herramienta: Análisis de causas (aplicada al diseño producto-proceso).
2) Reducir FRECUENCIA de fallos Robustez de Taguchi (diseño resistente a la variedad y fallo).
3) Reducir la GRAVEDAD de fallos >> Diseño libre de fallos o sistemas redundantes.
4) Aumentar la DETECCIÓN >> Será preciso mayor control. Utilizarlo en la menor medida posible.
   Buscar en SPC, estudios de capacidad, DEE (con muchas causas interdependientes), etc.

Figura 5.10. – Esquema de los elementos y relaciones del AMFE

Copyright Ediciones Deusto S.L.

partir de la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de no detección y de la gravedad.

AMFE de Medios

En la actualidad, las empresas están muy interesadas en obtener la mayor disponibilidad de sus medios de producción. Para lograrlo es esencial trabajar en pro de la fiabilidad con el objetivo principal de reducir la tasa de fallo de las máquinas, utensilios, motores, etc., que se emplean para llevar a cabo el diseño, desarrollo, producción, mantenimiento, medida y otras actividades diferentes. Por tanto, el AMFE de Medios se convierte en una herramienta esencial en el análisis y prevención de fallos en los medios de producción que se emplean para obtener el producto o servicio, asegurando una adecuada disponibilidad y mantenibilidad.

La fiabilidad es una de las características que aportan calidad. En este sentido, el AMFE de Medios aporta la metodología y el análisis ordenado para resolver los problemas de fiabilidad de los diversos elementos o sistemas que componen los medios de producción, mediante la prevención y detección de dichos problemas antes de que puedan repercutir en el producto o el proceso. En este caso, los efectos repercutirán sobre un cliente «interno», como puedan ser los operarios de máquina, de mantenimiento, de medición, de proceso, etc., que son los usuarios de los medios de producción.

La aplicación del AMFE de Medios ha de ser rápida y eficaz y se debe realizar para todos los elementos o sistemas susceptibles de producir fallos.

El AMFE de Medios abarca todos los departamentos y áreas en que estén involucrados los medios de producción, diseño, desarrollo, mantenimiento, etc., tanto en su elaboración como en su utilización. Puede establecerse como punto de partida para dar lugar a un plan de mantenimiento preventivo global que abarque a todos los estamentos de la empresa y no tan sólo a los relacionados con los medios de producción. El proceso para llevarlo a cabo es similar a los AMFE vistos anteriormente, salvo ciertas particularidades que se describen a continuación:

- Se deben denominar los sistemas y subsistemas que van a ser objeto del estudio, especificando el nombre y referencia de sus diferentes elementos componentes.
- El diagrama de causas–modo de fallo–efectos se elabora de forma idéntica. En este caso, los efectos serán los detectados por el usuario del medio de producción y no por el cliente final.
- Se deben señalar aquellas características del medio de producción que estén sujetas a normativas o especificaciones.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Una de las particularidades que se emplean en los AMFE de Medios es la diferente tabulación empleada normalmente en el cálculo de la probabilidad de frecuencia u ocurrencia, en la probabilidad de no detección y en la gravedad. La tabulación suele comprender valores del 1 al 4, de menor probabilidad de frecuencia, no detección y gravedad, a mayor, como aparecen en las tablas 5.5., 5.6. y 5.7.
- El cálculo del Índice de Prioridad de Riesgo es idéntico, con la salvedad de que ahora los valores oscilarán entre 1 y 64 como resultado del producto de los tres factores o probabilidades.

El resto del proceso es análogo a los dos anteriores AMFE. Por tal motivo, los modelos y documentos siguen siendo válidos en este caso, con la única diferencia del objeto sometido a estudio, que en este caso, como ya se ha dicho, son los medios de producción.

Frecuencia	Observación	Frecuencia
1	Muy Baja	{ 1 Fallo por año
2	Posible	{ 1 Fallo por trimestre
3	Media	{ 1 Fallo por semana
4	Alta o Frecuente	1 a 3 Fallos diarios

Tabla 5.5. Coeficientes de frecuencia en el AMFE de medios

Gravedad	Observación	Parada de Producción
1	Muy Baja	{ 1 minuto
2	Media	1 a 20 minutos
3	Alta o Crítica	20 a 60 minutos
4	Catastrófica	} 60 minutos

Tabla 5.6. Coeficientes de Gravedad en el AMFE de medios

Copyright Ediciones Deusto S.L.

No Detección	Observación
1	Escasa Probabilidad de No Detección
2	Poca Probabilidad
3	Media Probabilidad
4	Alta Probabilidad

Tabla 5.7. Coeficientes de detección en el AMFE de medios

Análisis modal de fallos y efectos: Caso práctico

Para terminar este capítulo vamos a exponer un caso práctico de AMFE de proceso, realizado sobre el servicio de un establecimiento hotelero de categoría cuatro estrellas (* * * *) con 200 habitaciones (que supondrán un total de 400 camas).

Se tratará de un AMFE realizado sobre el proceso de servicio y limpieza de habitaciones. Su objetivo será el análisis de fallos potenciales en:

- Servicio de habitaciones (camas, mesas, cajones...).
- Limpieza (suelo, baños, mobiliario...).
- Reposiciones (jaboncillos, peines, maquinillas, esponja zapatos, minibar...).
- Mantenimiento instalaciones (lámparas, grifos, televisión, aire acondicionado...).

Nos propondremos implantar un proceso fiable, pero rápido y de poco coste, que asegure la calidad del servicio y, por tanto, con una tasa de fallos minimizada por prevención y control antes de que sucedan.

El AMFE se llevará a cabo con un equipo multidisciplinar responsable de su desarrollo y obtención de los objetivos previstos. Se compondrá de:

- Director del Hotel.
- Gobernanta.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Director de Relaciones Públicas.
- Director de Personal.
- Responsables de Mantenimiento y Seguridad.
- Responsable de las camareras de las habitaciones.
- Director de Compras.

El proceso objeto del AMFE, que como sabemos es el de servicio y limpieza de habitaciones, se compone de las operaciones que siguen:

1.– Cambiar las mudas.
2.– Hacer las camas.
3.– Vaciar papeleras y limpiar cajones y armarios.
4.– Reposición de elementos de aseo y minibar.
5.– Revisar funcionamiento de todas las luces.
6.– Comprobar funcionamiento del televisor y mando a distancia.
7.– Comprobar funcionamiento del aire acondicionado.
8.– Limpiar el baño y sus elementos.
9.– Barrer.
10.– Cerrar ventanas y cortinas.
11.– Fregar.
12.– Retirar mudas usadas, carro limpieza, carro reposiciones y cerrar habitación.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Tablas de valores para los coeficientes del AMFE

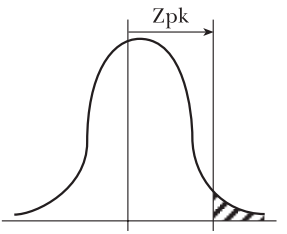
Estas tablas, tomadas de otros hoteles de igual categoría y para el mismo tipo de operaciones son las siguientes:

COEFICIENTE DE FRECUENCIA (F)

Coeficiente	Probabilidad fallo habitac/di		z(Cpk)		Cpk	
1	Hasta	0,000001	4,77	o superior	1,59	o superior
2		0,00001	4,27	a 4,76	1,42	a 1,58
3		0,0001	3,72	a 4,26	1,24	a 1,42
4		0,00025	3,48	a 3,71	1,16	a 1,23
5		0,001	3,09	a 3,48	1,03	a 1,16
6		0,002	2,88	a 3,09	0,96	a 1,03
7		0,01	2,33	a 2,87	0,78	a 0,95
8		0,02	2,05	a 2,32	0,68	a 0,77
9		0,04	1,75	a 2,05	0,58	a 0,68
10		1	0,00	a 1,75	0,00	a 0,58

LÍMITE DE PROCESOS CAPACES

El índice de capacidad contenido en la tabla anterior es el C_{pk}, y se refiere a la frecuencia o probabilidad de fallo concentrada en un solo lado de la curva de distribución (zona sombreada de la figura), ya que en nuestro caso se trata de no superar una cierta tasa de fallos, que es lo que se mide en abscisas, y no de que la tasa de fallos se encuentre entre un valor mínimo y uno máximo centrados alrededor de una media. En este último caso, la probabilidad se hallaría repartida en dos zonas



COEFICIENTE DE GRAVEDAD (G)

Coeficiente	Características identificativas	Crítico
1	Imperceptible para el cliente	
2	Perceptible, pero muy poco molesto para el cliente	
3	Perceptible, pero ligeramente molesto para el cliente	
4	Perceptible, pero ligeramente molesto y engorroso	
5	Perceptible y molesto para el cliente	
6	Perceptible, molesto y engorroso	
7	Perceptible y muy molesto para el cliente	
8	Perceptible y muy molesto y engorroso	
9	Muy molesto y con exigiencia de devolución de demanda	SÍ
10	Perceptible o no, puede dar problemas de seguridad o legales	SÍ

Copyright Ediciones Deusto S.L.

sombreadas simétricas en ambos extremos de la distribución, y el intrevalo sería Z_p, en lugar de Z_{pk} y serviría para medir la capacidad C_p, en lugar de la C_{pk}.

COEFICIENTE DE DETECCIÓN (D)

Coeficiente	Características identificativas	Probabilidad	No detección
1	Detección segura si aparece el fallo	De 0 % a	2 %
2	Detección casi segura probable con utilización de check-list	Más de 2 % a	12 %
3	Detección muy probable por inspección visual al 100 %	Más de 12 % a	22 %
4	Detección bastante probable con utilización check-list	Más de 22 % a	32 %
5	Detección bastante probable por inspección visual al 100 %	Más de 32 % a	42 %
6	Detección medianamente probable con utilización check-list	Más de 42 % a	52 %
7	Detección poco probable por inspección visual al 100 %	Más de 52 % a	62 %
8	Detección bastante poco probable con utilización check-list	Más de 62 % a	72 %
9	Detección muy poco probable por inspección visual al 100 %	Más de 72 % a	82 %
10	Si aparece el fallo no se detectará en absoluto	Más de 82 % a	100 %

Datos obtenidos para poder llevar a cabo el análisis AMFE

La tabla que sigue resume los datos de fallos que obran en poder del equipo del AMFE para incorporarlos al correspondiente estudio, así como los valores actuales de la media de defectos por habitación y mes y los valores objetivo para los mismos.

COEFICIENTE DE FRECUENCIA (F)

Referencia	Fallos potenciales según material	Frecuencia
1	Papeleras y/o cajornes no vaciados (bien)	2 / 1.000
2	Reposiciones (baño-minibar) incompletas	2 / 1.000
3	Fallos en el funcionamiento de alguna lámpara	1 / 4.000
4	Televisión no funciona	1 / 1.000
5	Aire acondicionado no funciona (o irregular)	1 / 2.000

MEDIA DE DEFECTOS NO DETECTADOS DE CUALQUIER TIPO:
0,20 por habitación y mes (es decir 0,20 x 200 = 40 mensuales en total).
OBJETIVO A ALCANZAR:
0,01 por habitación y mes (es decir 0,01 x 200 = 2 mensuales en total).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Por otra parte, los controles establecidos, necesarios para el AMFE, como se sabe, son los siguientes:

- Responsable de las camareras: Control de 1/10 de las habitaciones ocupadas, con un mínimo de cuatro y un máximo de 15.
  El control se hace de forma aleatoria, pero distribuido de forma que cubra el 100 % de habitaciones en un año.

- Gobernanta: Control de una media de 3 habitaciones por día.
- Responsable de mantenimiento: Tiene un registro de las necesidades de mantenimiento preventivo de los equipos.
  En base al mismo revisa al finalizar cada temporada (2 veces al año), el funcionamiento.

Finalmente, el equipo del AMFE planifica su actividad en base a:

- Una reunión de todo el equipo cada semana, con una duración de 2 horas como mínimo.
- Esta previsto culminar la tarea del equipo en un máximo de 2 meses, para pasar a implantar las modificaciones y controles fruto del AMFE.

Realización del documento AMFE

En las páginas que siguen, se ha expuesto el documento AMFE en tres fases de su elaboración. En la primera se han introducido las operaciones del proceso que tienen fallos constatados, con los correspondientes modos de fallo, sus efectos y las distintas causas. De hecho deberían haberse incluido en el AMFE todas las operaciones del proceso con sus modos de fallos potenciales; es claro que debería ser así, aunque nosotros y a efectos de la resolución de nuestro caso práctico nos referiremos sólo a las operaciones y modos de fallo que constan en el documento adjunto.

Cada causa de modo de fallo tienen calculados sus coeficientes y su índice de prioridad de corrección de fallos; los índices de frecuencia se han determinado en base a los datos de la tabla anterior, o en base a datos técnicos de los equipamientos a los que se refieren (estos últimos se hallan en vídeo inverso en la tabla).

En la primera tabla que adjuntamos, se han propuesto las mejoras correspondientes a las causas-modos de fallo con un índice PCR más alto, como corresponde; es decir, para la operación de reposición en baño y minibar, con índices de 384 y 432. También se han propuesto acciones correctoras para los fallos críticos (aire acondicionado), que como sabemos, son asimismo prioritarios.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Además, y en base a los índices de frecuencia y detección, se ha compuesto (derecha) una tabla de probabilidades para ambos (de acuerdo con los valores de sus tablas) correspondiente a la situación inicial. Por producto entre ambos valores se obtendrá la probabilidad de que haya un fallo y llegue al cliente; sumando todos estos productos obtendremos (abajo a la derecha) la probabilidad total de que el cliente reciba algún fallo. Esta probabilidad, que hemos expresado en partes por millón (ppm), puede ser convertida luego en fallos por habitación y mes, que como sabemos, es la magnitud objetivo del estudio.

En la segunda tabla adjunta se aprecia cómo las medidas correctoras establecidas inciden también en los demás fallos, cuya corrección aún no habíamos contemplado. Concretamente, el plan de mantenimiento preventivo, mejorará el índice correspondiente a los modos de fallo y sus causas para las luces que no se enciende y los televisores que no funcionan como es debido. Los chequeos y las reuniones diarias, por su parte, mejorarán los índices para los fallos de limpieza y vaciado de cajones. Los nuevos índices se muestran en esta segunda tabla y parten de los coeficientes retocados que se indican en video inverso.

Finalmente, en la tercera tabla se halla completado el AMFE, con las medidas correctoras especialmente concebidas para los modos de fallo y sus no abordados en primera instancia, aunque, como se ha dicho, hayan sufrido una mejora indirecta. Los coeficientes afectados son los indicados en video inverso. En esta última tabla hemos vuelto a llevar a cabo el cálculo de probabilidades de que cada fallo llegue al cliente, así como la probabilidad total en ppm y la tasa de fallos por habitación y mes, pero en este caso correspondiente a la situación final. Puede apreciarse que se ha conseguido el objetivo de 0,01 fallos por habitación y mes.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

A.M.F.E. de DISEÑO PRODUCTO: Ä DISEÑO COMPONENTE: Ä PROCESO: Ä SISTEMA: Ä

Descripción: Servicio limpieza de habitaciones en hotel — **QFD vinculado:**

Responsable: Director hotel — **Fecha:** 24 Marzo 1998

Equipo de desarrollo: D. Hotel, Gobernanta, D. Relaciones Públicas, D. Personal, R. Mantenimiento y Seg., R. Camareras y D. Compras — **Hoja:** 1 de

Op.	ATRIBUTO u OPERACIÓN DEL PROCESO	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL									ACCIONES CORRECTORAS	SITUACIÓN RESULTANTE						FALLOS QUE LLEGAN AL CLIENTE: Probabilidad ACTUAL	
		ANÁLISIS DE FALLOS			PREVISIONES DE CONTROL	Coeficientes			PCF= FxGxD	Orden y critic.		Plazo ejec.	Respon.	Coeficientes			PCF= FxGxD		
		Modo	Efecto	Causa		F	G	D						F	G	D		F	D
3	Limpieza papel/cajones	Desperdicios no vaciados	Falta de limpieza/pulcritud Servicio descuidado	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10 Gobernanta: 3/día	6	6	5	180	4								0,002	0,42
4	Reposición baño/minibar	Falta jaboncillo y champú	Aseo imposibilitado	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10	6	8	8	384	2	Cambiar juegos completos	1 sem.	R. Cam.	2	8	3	48	0,002	0,72
		Falta algún botellín bar	No tomar bebida deseada	Omisión operación	Gobernanta: 3/día	6	8	9	432	1	Utilizar check-list (•Acciones CHyR)	1 sem.	R. Cam.	3	8	2	48	0,002	0,82
5	Revisión funciona. luces	Alguna luz no funciona	Poca o ninguna iluminación	Bombilla fundida por uso	Resp. Camareras: 1/10	4	8	3	96	10								0,00029	0,22
				y/o por subidas de tensión	Gobernanta: 3/día	3	8	8	192	13								0,0001	0,72
			No responde interruptor	Mal contacto interruptor	Camarera: revisa 100%	2	8	7	112	8								0,00001	0,82
				Cortocircuitos instalación		3	8	8	192	13								0,0001	0,72
6	Revisión funciona. TV	No funciona	No se pone en marcha	Avería interna	Resp. Camareras: 1/10	3	7	5	105	16								0,0001	0,42
		Mal programado	Algún canal no se ve	Desprogramado por uso	Gobernanta: 3/día	5	6	6	180	4								0,001	0,52
		Fallo mando a distancia	TV no responde a mando	Pilas agotadas	Camarera: revisa 100%	3	6	6	106	9								0,0001	0,52
				Interruptor equipo destino	R. mantenim: 2 veces año	5	6	6	180	4								0,001	0,52
		Mala imagen	Visión incorrecta	Ajustes imagen mal		4	6	8	192	10								0,00025	0,72
7	Comprobar aire acondi.	No funciona	Calor ambiental	Avería	Resp. Camareras: 1/10	5	9	4	180	4 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54	0,001	0,32
		Funciona irregularmente	Saltos de temperatura	Avería	Gobernanta: 3/día	3	9	7	189	15 (*)	+ Plan manten. prevent.	4 sem.	+R. Man.	3	9	2	54	0,0001	0,62
				Desprogramación	Camarera: revisa 100%	5	9	7	315	3 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54	0,001	0,62
		Muy ruidoso	Falta de comodidad	Sujeción ventilador floja	R. mantenim: 2 veces año	4	8	6	192	10								0,00025	0,52

Acciones complementarias:

- ***CH:*** *Chequeo por el responsable de camareas, una vez al mes, de que cada camarera realiza su trabajo según el estándar de operaciones previsto.*
- ***R:*** *Reuniones diarias de diez a quince minutos de duración, para revisar los problemas del día anterior y tomar contramedidas.*

N.º Causas-modos evaluados: Inicial » 16 Nueva » 5

Coeficiente global fallos: Inicial » 0,20 Nueva » 0,05

FALLOS QUE PERCIBE EL CLIENTE en PPM » 6.571

TOTAL DE FALLOS POR HABITACIÓN Y MES » 0,20

Copyright Ediciones Deusto S.L.

A.M.F.E. de **DISEÑO PRODUCTO:** Ä **DISEÑO COMPONENTE:** Ä **PROCESO:** Ä **SISTEMA:** Ä

Descripción: Servicio limpieza de habitaciones en hotel — **QFD vinculado:**

Responsable: Director hotel — **Fecha:** 24 Marzo 1998

Equipo de desarrollo: D. Hotel, Gobernanta, D. Relaciones Públicas, D. Personal, R. Mantenimiento y Seg., R. Camareras y D. Compras — **Hoja:** 1 de

Op.	ATRIBUTO u OPERACIÓN DEL PROCESO	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL									ACCIONES CORRECTORAS	SITUACIÓN RESULTANTE					
		ANÁLISIS DE FALLOS			PREVISIONES DE CONTROL	Coeficientes			PCF= FxGxD	Orden y critic.		Plazo ejec.	Respon.	Coeficientes			PCF= FxGxD
		Modo	Efecto	Causa		F	G	D						F	G	D	
3	Limpieza papel/cajones	Desperdicios no vaciados	Falta de limpieza/pulcritud	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10	6	6	5	180	4	ACCIONES CH Y R MEJORAN AUTOMÁTICAMENTE LA FRECUENCIA Y DETECCIÓN DE ESTE FALLO						54
			Servicio descuidado		Gobernanta: 3/día									3		3	
4	Reposición baño/minibar	Falta jaboncillo y champú	Aseo imposibilitado	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10	6	8	8	384	2	Cambiar juegos completos	1 sem.	R. Cam.	2	8	3	58
		Falta algún botellín bar	No tomar bebida deseada	Omisión operación	Gobernanta: 3/día	6	8	9	432	1	Utilizar check-list (+Acciones CHyR)	1 sem.	R. Cam.	3	8	2	48
5	Revisión funciona. luces	Alguna luz no funciona	Poca o ninguna iluminación	Bombilla fundida por uso	Resp. Camareras: 1/10	4	8	3	96	10	PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEJORA AUTOMÁTICAMENTE LA FRECUENCIA Y DETECCIÓN DE ALGUNOS DE ESTOS FALLOS (Valores en verde)			4	8	3	96
				y/o por subidas de tensión	Gobernanta: 3/día	5	8	8	320	13				3	8	5	120
			No responde interruptor	Mal contacto interruptor	Camarera: revisa 100%	4	8	7	224	8				3	8	5	120
				Cortocircuitos instalación		5	8	8	320	13				4	8	6	192
6	Revisión funciona. TV	No funciona	No se pone en marcha	Avería interna	Resp. Camareras: 1/10	5	7	5	175	16				4	7	3	84
		Mal programado	Algún canal no se ve	Desprogramado por uso	Gobernanta: 3/día	5	6	6	180	4							
		Fallo mando a distancia	TV no responde a mando	Pilas agotadas	Camarera: revisa 100%	3	6	6	108	9				4	6	4	96
				Interruptor equipo destino	R. mantenim: 2 veces año	5	6	6	180	4				3	6	4	72
		Mala imagen	Visión incorrecta	Ajustes imagen mal		4	6	8	192	10							
7	Comprobar aire acondi.	No funciona	Calor ambiental	Avería	Resp. Camareras: 1/10	5	9	4	180	4 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54
		Funciona irregularmente	Saltos de temperatura	Avería	Gobernanta: 3/día	3	9	7	189	15 (*)	+ Plan manten. prevent.	4 sem.	+R. Man.	3	9	2	54
				Desprogramación	Camarera: revisa 100%	5	9	7	315	3 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54
		Muy ruidoso	Falta de comodidad	Sujeción ventilador floja	R. mantenim: 2 veces año	4	8	6	192	10							

Acciones complementarias:

- ***CH:*** *Chequeo por el responsable de camareas, una vez al mes, de que cada camarera realiza su trabajo según el estándar de operaciones previsto.*
- ***R:*** *Reuniones diarias de diez a quince minutos de duración, para revisar los problemas del día anterior y tomar contramedidas.*

N.º Causas-modos evaluados: Inicial » **16** Nueva » **13**

Coeficiente global fallos: Inicial » **0,23** Nueva » **0,08**

Copyright Ediciones Deusto S.L.

A.M.F.E. de **DISEÑO PRODUCTO:** Ä **DISEÑO COMPONENTE:** Ä **PROCESO:** Ä **SISTEMA:** Ä

Descripción: Servicio limpieza de habitaciones en hotel

Responsable: Director hotel

Equipo de desarrollo: D. Hotel, Gobernanta, D. Relaciones Públicas, D. Personal, R. Mantenimiento y Seg., R. Camareras y D. Compras

QFD vinculado:

Fecha: 24 Marzo 1998

Hoja: 1 de

Op.	ATRIBUTO u OPERACIÓN DEL PROCESO	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL									ACCIONES CORRECTORAS	SITUACIÓN RESULTANTE						FALLOS QUE LLEGAN AL CLIENTE: Probabilidad ACTUAL	
		ANÁLISIS DE FALLOS			PREVISIONES DE CONTROL	Coeficientes			PCF= FxGxD	Orden y critic.		Plazo ejec.	Respon.	Coeficientes			PCF= FxGxD	F	D
		Modo	Efecto	Causa		F	G	D						F	G	D			
3	Limpieza papel/cajones	Desperdicios no vaciados	Falta de limpieza/pulcritud	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10	6	6	5	180	4	Check-list por habitación	1 sem.	R. Cam.	2	6	3	36	0,00001	0,22
			Servicio descuidado		Gobernanta: 3/día						(+ Acciones CH y R)								
4	Reposición baño/minibar	Falta jaboncillo y champú	Aseo imposibilitado	Omisión operación	Resp. Camareras: 1/10	6	8	8	384	2	Cambiar juegos completos	1 sem.	R. Cam.	2	8	3	48	0,00001	0,22
		Falta algún botellín bar	No tomar bebida deseada	Omisión operación	Gobernanta: 3/día	6	8	9	432	1	Utilizar check-list	1 sem.	R. Cam.	3	8	2	48	0,0001	0,12
											(+ Acciones CH y R)								
5	Revisión funciona. luces	Alguna luz no funciona	Poca o ninguna iluminación	Bombilla fundida por uso	Resp. Camareras: 1/10	4	8	3	96	10	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	8	2	48	0,0001	0,12
				y/o por subidas de tensión	Gobernanta: 3/día	5	8	8	320	13	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	8	2	48	0,0001	0,12
			No responde interruptor	Mal contacto interruptor	Camarera: revisa 100%	4	8	7	224	8	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	8	2	48	0,0001	0,12
				Cortocircuitos instalación		5	8	8	320	13	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	4	8	2	64	0,00025	0,12
											+ Plan Mantenim. Prevent.	4 sem.	+R. Man.						
6	Revisión funciona. TV	No funciona	No se pone en marcha	Avería interna	Resp. Camareras: 1/10	5	7	5	175	16	Check-list + Acc CH y R	1 sem.	R. Cam.	4	7	3	84	0,00025	0,22
		Mal programado	Algún canal no se ve	Desprogramado por uso	Gobernanta: 3/día	5	6	6	180	4	Check-list + Acc CH y R	1 sem.	R. Cam.	4	6	4	96	0,00025	0,32
		Fallo mando a distancia	TV no responde a mando	Pilas agotadas	Camarera: revisa 100%	3	6	6	108	9	Check-list + Acc CH y R	1 sem.	R. Cam.	4	6	4	96	0,00025	0,32
				Interruptor equipo destino	R. mantenim: 2 veces año	5	6	6	180	4	Check-list + Acc CH y R	1 sem.	R. Cam.	3	6	4	72	0,0001	0,32
		Mala imagen	Visión incorrecta	Ajustes imagen mal		4	6	8	192	10	Check-list + Acc CH y R	1 sem.	R. Cam.	2	6	4	48	0,00001	0,32
											+ Plan Mantenim. Prevent.	4 sem.	+R. Man.						
7	Comprobar aire acondi.	No funciona	Calor ambiental	Avería	Resp. Camareras: 1/10	5	9	4	180	4 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54	0,0001	0,12
		Funciona irregularmente	Saltos de temperatura	Avería	Gobernanta: 3/día	3	9	7	189	15 (*)	+ Plan Mantenim. Prevent.	4 sem.	+R. Man.	3	9	2	54	0,0001	0,12
				Desprogramación	Camarera: revisa 100%	5	9	7	315	3 (*)	Utilizar check-list	2 sem.	R. Cam.	3	9	2	54	0,0001	0,12
		Muy ruidoso	Falta de comodidad	Sujeción ventilador floja	R. mantenim: 2 veces año	4	8	6	192	10	Medición decibelios diaria	4 sem.	R. Man.	2	8	2	32	0,00001	0,12

Acciones complementarias:

- ***CH:*** *Chequeo por el responsable de camareas, una vez al mes, de que cada camarera realiza su trabajo según el estándar de operaciones previsto.*
- ***R:*** *Reuniones diarias de diez a quince minutos de duración, para revisar los problemas del día anterior y tomar contramedidas.*

N.º Causas-modos evaluados: Inicial » 16 Nueva » 16

Coeficiente global fallos: Inicial » 0,23 Nueva » 0,06

FALLOS QUE PERCIBE EL CLIENTE en PPM » 370

TOTAL DE FALLOS POR HABITACIÓN Y MES » 0,01

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Para finalizar el caso expondremos, en un resumen que adjuntamos, las medidas que se adoptarán como consecuencia del AMFE, a fin de mejorar el proceso estudiado y asegurar el límite de tasa de fallos que nos hemos propuesto. Acompañamos estas medidas con otras medidas de soporte, y un resumen de la variación sufrida por las magnitudes objetivo.

Medidas que se tomarán a partir del AMFE

Proceso

1. Elaboración de una norma de trabajo estándar para la operativa del servicio y limpieza de habitaciones.
2. Elaboración y aplicación de un check-list para cada tipo de operaciones contempladas en el estudio sobre AMFE.
3. Puesta en funcionamiento de un Plan de Mantenimiento Preventivo.
4. Elaboración de una hoja diaria por habitación para registrar los problemas solucionados y pendientes de solución.
5. Auditoría interna de apoyo, mantenimiento y mejora del estándar por parte de los responsables.

Medidas de soporte

1. Plan de formación y entrenaminento de las camareras acerca de la norma de trabajo estándar.
2. Plan de formación del uso de los documentos de registro de actividades e incidencias.
3. Formación básica del personal de servicio y limpieza en reparaciones sencillas (p.e. substituir bombillas o programar T.V.)
4. Reuniones diarias de 10 a 15 minutos de duración para revisar las incidencias del día anterior y tomar contramedidas
5. Reuniones mensuales de los responsables para evaluar el progreso de las medidas tomadas y el soporte necesario.
6. Formación del personal involucrado en técnicas básicas de calidad (Ishikawa, Pareto, Histograma, ...).

Objetivos

» » Primer año: Reducir un 50 % el promedio de defectos (fallos), pasando de 0,20 por habitación/mes a 0,10.

» » A medio plazo (± 3 años): Reducir a 0,01 por habitación/mes.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor".
Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.

6

Optimización del diseño: Diseño Estadístico de Experimentos (DEE)

Con el *Diseño Estadístico de Experimentos* o *DEE*[1] entramos en la etapa de optimización de los diseños con el objetivo de mejorar al máximo la calidad y la productividad simultáneamente, ya que se basa en el manejo de las variables que permiten mejorar al máximo la calidad al mínimo coste posible.

El DEE es una herramienta ampliamente utilizada en la actualidad y es considerada una pieza clave en la ingeniería de calidad. Su utilización generalizada comenzó en el Japón en la década de los 1960, a pesar de lo cual debemos resaltar que se trata de una técnica desarrollada en Europa a inicios de la década de los 1920 por Sir Ronald Fisher. Este ingeniero agrónomo desarrolló el DEE aplicándolo al campo de la agricultura y en particular a la mejora de la calidad y la productividad de cereales y patatas. Fisher describe los conocimientos relativos a este contexto en un libro, publicado en 1935, denominado *Dessign of Experiments*.

Los conocimientos desarrollados en esta etapa inicial se difundieron a otros países durante las décadas de los treinta y cuarenta, y no tan sólo en el ámbito exclusivo de la agricultura, sino también en otros sectores como la biología, la medicina y la industria en general. Fisher continuó elaborando esta técnica junto a Frank Yates, desarrollando el estudio a un factor y los diseños factoriales incipientes a dos y tres niveles. En 1946, Plackett y Barman comienzan a desarrollar los diseños de *screening*,[2] que consistían en ver muchos factores con poco esfuerzo.

El doctor Genichi Taguchi propició una evolución de gran envergadura desde el Japón, en base al desarrollo de métodos propios caracterizados por el empleo de las matrices ortogonales, que expondremos aquí debidamente. Después de la Segunda Guerra Mundial, Taguchi fue requerido por la Bell Company para solucionar los problemas que habían surgido en las líneas telefónicas existentes entre las islas de Japón, provocados por el ruido en las comunicaciones, y lo consi-

1. También puede aparecer como DOE y DE.
2. Descritos en el artículo «Multifactorial Experiments».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

guió mediante el método que define su filosofía: *reducir el impacto o efectos de las causas,* en este caso el efecto del ruido de la señal; la reducción del impacto de las causas de posibles fallos es lo que se conoce como dotar a los productos de «*robustez*». Se trata, pues, de que el «ruido» no afecte en aquello que realmente interesa. Taguchi aporta una alternativa al método «tradicional» del DEE. Sus métodos comenzaron a introducirse en Europa en torno a los años ochenta.

Características del Diseño Estadístico de Experimentos

El DEE es en la actualidad una de las herramientas más importantes dentro del marco de la Gestión de la Calidad Total y muy especialmente cuando se trata de obtener el máximo nivel de calidad al menor coste, lo que podemos expresar como mejorar simultáneamente calidad y productividad. Aporta una metodología para reducir la variabilidad propia de las características de calidad de los productos, y la que originan los procesos sobre los productos.

Constituye un recurso de gran utilidad en la gestión diaria de los procesos que permite aumentar la «capacidad» de las características dentro de las tolerancias impuestas. Su misión es obtener procesos capaces y productos con características capaces.

Uno de los objetivos que persigue cualquier empresa moderna para lograr la competitividad es conseguir productos y servicios de gran calidad y mínimo coste. La calidad es el mejor camino para lograr el éxito y, bien planteada, logrará la reducción de costes. En este sentido el DEE desempeña un papel realmente importante en la optimización de procesos, productos y servicios. Dentro de lo que pueden denominarse etapas de contribución a la calidad, el DEE se enmarca dentro del grupo de técnicas que persiguen la optimización y la «mejora continua». El DEE se emplea en las fases de diseño y planificación de productos, servicios y procesos de fabricación. No obstante, también se utiliza para la mejora de procesos, productos y servicios ya desarrollados.

La evolución de la calidad a lo largo del tiempo ha pasado, como ya sabemos, por varias fases. Primero se desarrolló el concepto de calidad inspeccionada, en el que se verificaba la calidad *a posteriori.* La siguiente fase ya se basaba en la calidad controlada, donde entran en juego técnicas como el SPC[3], que se emplean para realizar un seguimiento diario de la calidad, asegurando la estabilidad de los procesos y de las características de calidad de los productos. El DEE representa un avance cualitativo porque previene la calidad futura de los productos y procesos en pleno diseño y planificación o en fases de desarrollo. La filosofía que persigue es lograr con el menor esfuerzo y coste un gran nivel de calidad mediante una adecuada prevención y mejora.

3. Véase capítulo dedicado a «SPC: Control Estadístico de Procesos».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

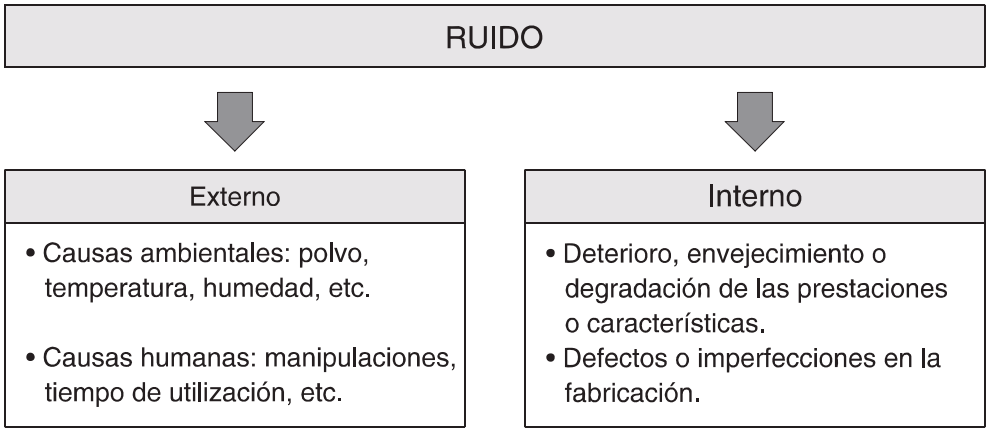


Figura 6.1.

El DEE trata de reducir la variabilidad de las características de calidad de producto y procesos, disminuyendo el ruido en sí o tratando de mitigar sus efectos. Usualmente se denomina ruido a los factores o causas que provocan variabilidad o desviación de los valores de las características de calidad respecto a un valor objetivo. Dependiendo del origen de estas causas que lo provocan, el ruido se clasifica como interno y externo. En el gráfico de la figura 6.1. se incluyen algunas causas de ambas clases de ruido.

El principal beneficio de la reducción de la variabilidad o de sus efectos, es la obtención de productos y servicios más robustos, más insensibles y resistentes a las causas del ruido, tanto interno como externo. En este sentido, la metodología del doctor Taguchi hace especial incidencia en obtener la robustez mediante la minimización de los efectos de las causas de la variabilidad.

El DEE es una valiosa herramienta para obtener una mejora apreciable de la calidad, mediante un proceso de experimentación con aquellas características o factores clave de los procesos y productos sometidos a estudio y el empleo de técnicas estadísticas. El DEE no se limita a ningún sector específico, pudiéndose aplicar a empresas de todo tipo y con procesos de cualquier índole y tamaño.

Relación entre el DEE y el Control Estadístico de Procesos

La estabilidad de un proceso a lo largo del tiempo puede ser obtenida por medio del *Control Estadístico de Procesos (SPC)*, como se verá en el capítulo siguiente en que será expuesto al abordar la etapa de implantación y control de procesos. Entonces podemos decir que el proceso está dentro del control estadístico, pero puede ocurrir que este mismo proceso no esté dentro de las tolerancias de di-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

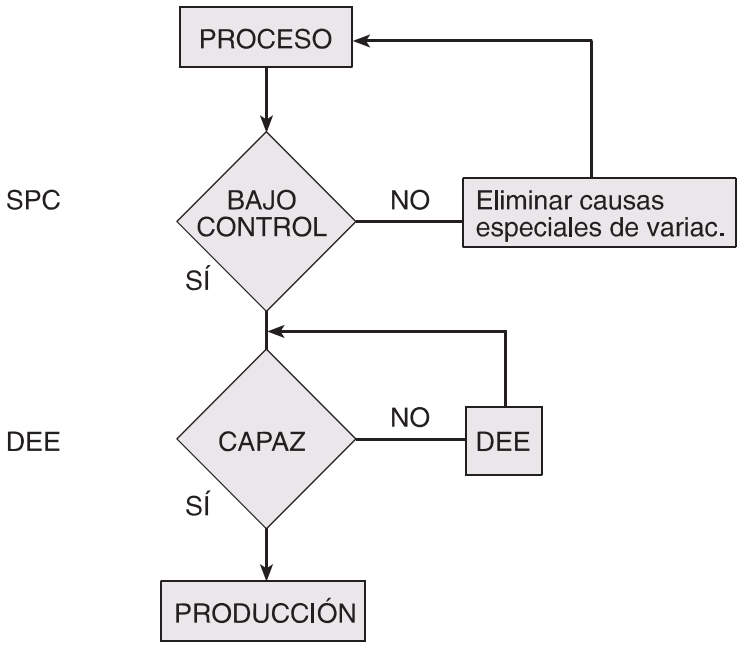


Figura 6.2. Esquema que muestra la relación SPC y DEE

seño. Por tanto, a pesar de estar dentro de los límites de control, este proceso no será «capaz» a menos que los límites de tolerancia se sitúen dentro de los límites de control estadístico, lo que precisamente nos lleva a que el *índice de capacidad* al que ya nos hemos referido a propósito del AMFE, sea igual o mayor que uno.

El DEE aporta una metodología para disminuir la variabilidad de los productos y procesos, solucionando de esta manera el problema anterior, es decir, obteniendo productos y procesos capaces (obsérvense las relaciones expuestas en la figura 6.2.).

Por otra parte, una diferencia fundamental entre el control estadístico de procesos y el diseño estadístico de experimentos, es la de que mientras el primero actúa durante la realización del proceso, el segundo se adelanta al proceso, y si es posible, al mismo diseño del producto, por lo que constituye, además, una indudable herramienta preventiva y, por tanto, de un enorme interés en la actualidad, dada la tendencia a implantar la calidad en las etapas de planificación y diseño.

Si observamos la evolución de métodos estadísticos empleados para la obtención de calidad, tenemos en primer lugar la inspección como técnica más tradicional de calidad, que permite detectar problemas generados en el producto una vez fabricados para que no alcancen al cliente en esta fase se emplean técni-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

cas de muestreo, en inglés conocidas como SQC *(Statisca Quality Control),* que corresponde al control estadístico de calidad. Este método supone un coste elevado, pues se rechazan los productos cuando están ya fabricados, por lo que la calidad global es baja.

Posteriormente aparecería en Estados Unidos el control estadístico de procesos, o SPC, método que permite un control en tiempo real sobre la calidad, así como alguna corrección en el desarrollo del proceso, manteniendo a este bajo control. El coste, en este caso será de tipo medio, pues aunque no rechazamos productos defectuosos, sí que puede llegar a producir paradas durante el proceso que se traducen en su correspondiente coste.

Finalmente, con la aparición del DEE que desplazará en el Japón al SPC, se dispone ya de una herramienta de calidad a medio y largo plazo, actuando antes del proceso y optimizando el diseño del producto; aunque suponga un coste inicial importante se puede considerar como una inversión de muy alto rendimiento por lo que acabará acarreando un coste global bajo. (tabla 6.1.).

ACTIVIDAD	MOMENTO	TIEMPO	COSTE	CALIDAD
Inspección	Después del proceso	Pasado	Alto	Baja
SPC	Durante el proceso	Presente	Medio	Media
DEE	Antes del proceso	Futuro	Bajo	Alta

Tabla 6.1. Evolución de los métodos estadísticos como herramientas de calidad

La experimentación

El DEE se basa fundamentalmente en la experimentación. La metodología correspondiente comienza determinando los factores clave o las variables más relevantes que influyen sobre un proceso o sobre las características de calidad de un producto o servicio para, posteriormente, realizar con ellos diferentes ensayos o combinaciones en base a la variación de sus valores, en busca de los resultados óptimos perseguidos.

Existen algunos aspectos importantes que se deben tener en cuenta para llevar a cabo los experimentos de forma efectiva. A continuación se describen algunos de ellos:

- Tratar de buscar, en la medida de lo posible, la *simplicidad del experimento.* No obstante, debe existir una concordancia entre la sencillez y la suficiencia de información.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Es preciso ser *rigurosos y estrictos* para no introducir fuentes de variabilidad no controlada. Incluir esta variabilidad confundirá los resultados, de tal forma que será prácticamente imposible discernir qué variaciones o desviaciones de los resultados son debidas a esas fuentes no controladas.
- A medida que *aumenta el tamaño* del diseño a realizar la *precisión aumenta*, pero *disminuye la manejabilidad*, de forma que existe un compromiso entre ambas que conviene resolver adecuadamente.
- Los *resultados y conclusiones* de la experimentación no deben extrapolarse fuera de lo que es la situación o intervalo de validez en el que se ha desarrollado el estudio. La linealidad, en general no está asegurada hasta que no se verifica mediante experimentación.
- Cuando se analiza la problemática o la situación a mejorar por medio del DEE es importante no olvidar los *conocimientos previos sobre el tema*, aparte de los estadísticos, adoptando siempre una actitud crítica en todo el planteamiento del problema.

El proceso de experimentación consta de una serie de etapas preestablecidas de carácter genérico que representan una visión ordenada y sencilla del flujo de operaciones básicas a realizar, como se aprecia en la figura 6.3.:

1. **Recopilación de información:** Recopilar toda la información necesaria y hacerlo de forma adecuada será fundamental para lograr la efectividad del estudio. Hay que conocer perfectamente el proceso o producto que se someterá a estudio y mejora, la problemática que existe, así como todo lo relacionado con la toma de datos.
2. **Establecimiento de los objetivos principales:** Es importante conocer de antemano cuáles son los objetivos que trataremos de alcanzar con el Diseño de Experimentos. Será preciso consensuar para el grupo de trabajo que realizará el estudio, tanto los objetivos, como los diferentes criterios que permitirán evaluar si se han alcanzado los mismos.
3. **Presupuesto disponible:** Con la información recopilada y una vez establecidos los objetivos, es importante conocer el presupuesto con el que se contará a efectos de planificar los ensayos, personal, instrumentación, etc.
4. **Planificación de los experimentos:** Esta etapa trata de analizar los aspectos clave y los factores del proceso o producto que influyen de manera determinante, de evaluar los niveles de cada uno de ellos, de planificar el número de ensayos y la metodología a utilizar, del tiempo durante el cual se van a realizar dichos ensayos, etc.
5. **Realización de los ensayos:** Deberán llevarse a cabo de forma arbitraria o aleatoria, sin un orden establecido, con el objeto de evitar posibles efec-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

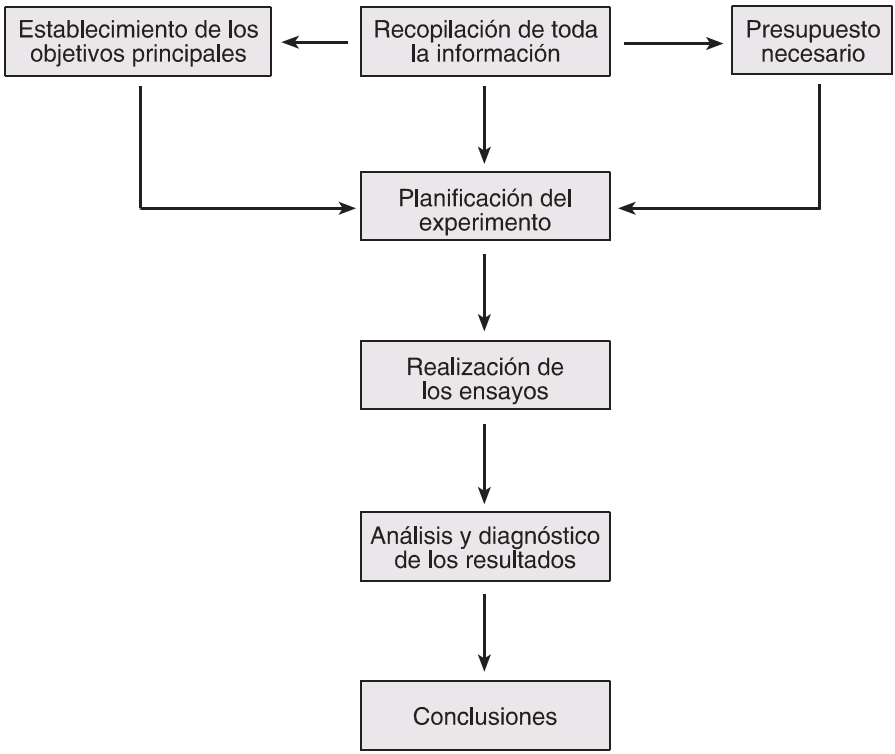


Figura 6.3.– Etapas del proceso de experimentación

tos de «memoria». De esta forma se obtiene mayor objetividad y precisión.

6. **Análisis y diágnostico de los resultados de los diversos ensayos:** Se procederá a realizar un estudio exhaustivo de toda la información disponible, elaborando los gráficos y tablas necesarias que faciliten el análisis.
7. **Conclusiones:** Por último, se tratará de elaborar unas conclusiones sobre el estudio realizado, en las que se indicarán si se han logrado los objetivos establecidos, si se ha obviado algún factor clave, si se ha de repetir algún ensayo, etcétera.

Terminología de la experimentación en el DEE

En el ámbito de la experimentación existe una terminología específica que consideramos aconsejable enumerar y describir para una mejor comprensión de los ulteriores apartados. Los términos más habituales son los siguientes:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- **Respuesta:** Variable cuyo valor viene determinado por una combinación predefinida de factores con unos niveles establecidos. A esta combinación también se le denomina «ensayo». Con la respuesta se observará la influencia que sobre la situación sometida a estudio tienen los diferentes factores.
- **Factor:** Variable cuya influencia se considera significativa sobre la respuesta. Se debe analizar cuáles son los factores clave que influyen de forma relevante en los resultados para incorporarlos en los diferentes ensayos o experimentos.
- **Nivel:** Valores que toman los distintos factores en los diferentes ensayos. Normalmente se toman dos niveles por factor para facilitar la experimentación, adoptando la simbología « + » para el mayor y « – » para el menor. En el método de Taguchi se pueden utilizar más de dos niveles, adoptando en este caso, la terminología numérica.
- **Repeticiones:** Indica el número de veces que se repite un mismo ensayo, lo que implica que no se variará ninguno de los niveles prefijados de los factores que forman la combinación o ensayo a experimentar.
- **Efecto:** Intensidad de influencia que tiene un determinado factor sobre la respuesta. Si el valor del efecto es nulo dicho factor no influye de ninguna forma sobre la situación y, por tanto, se puede obviar. A medida que aumenta el valor numérico aumenta el efecto del factor.
- **Interacción:** Evalúa el grado de dependencia que puedan tener dos o más factores entre sí. Determinará si el efecto combinado de dos o más factores posee trascendencia alguna sobre la respuesta. Si el «módulo» de la interacción es nulo, los factores serán independientes entre sí y se podrán extrapolar datos. Por el contrario, si no es nulo existirá una dependencia, tanto mayor cuanto mayor sea el valor numérico de la interacción y no se podrán extrapolar datos.
- **Ruido:** Se denomina ruido, por similitud al ruido de señal en telecomunicaciones, a todas aquellas causas o características que provocan la variación o desviación respecto a un valor objetivo en una variable.
- **Robustez:** Característica que representa la insensibilidad o resistencia de un ente frente a las causas que provocan la variación. Es uno de los aspectos más importantes en la determinación de la calidad de un producto o proceso.

Diferencias entre el Diseño Estadístico de Experimentos tradicional y los métodos de Taguchi

Existen dos posibles versiones del Diseño de Experimentos con diferentes características y formas de actuar:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

- Por una parte, el método clásico o tradicional, que fue el primero en desarrollarse a través de autores como Ronald Fisher, Frank Yates, G. Box y N. Hunter, entre otros.
- Por otra parte, una alternativa o evolución particular propuesta por el doctor Genichi Taguchi, modificando las técnicas tradicionales y aportando nuevos conceptos, conocida como «los métodos de Taguchi».

En la tabla 6.2. se detallan algunas de las características y diferencias importantes que tienen ambas versiones.

El Diseño Estadístico de Experimentos tradicional

El Diseño Estadístico de Experimentos en su versión tradicional, elaborado en el mundo occidental, tal y como ha sido expuesto, consiste fundamentalmente en analizar previamente aquellos factores o variables clave que intervienen e influyen de forma relevante en el proceso o producto que queremos desarrollar y mejorar. Se deben determinar y seleccionar los factores más trascendentales de entre todos los que participan. Si no tenemos en cuenta alguno de los factores importantes corremos el riesgo de no obtener los resultados apetecidos.

Con las distintas combinaciones de los factores más relevantes que intervienen en la situación que queremos mejorar se realizan los ensayos convenientes, obteniendo en cada uno de ellos una respuesta o resultado. Es frecuente realizar ensayos con repetición, que consiste en repetir un número de veces determinado la misma combinación, elaborando posteriormente una media de los resultados obtenidos.

Mediante el estudio y análisis de todos los resultados, calculando los efectos de los factores y, si es posible, las diferentes interacciones entre ellos, se podrá analizar y discernir un «camino» a seguir para lograr los resultados óptimos que se habían fijado en los objetivos previos.

Métodos de experimentación

Existen diversos métodos genéricos para llevar a cabo los ensayos a realizar en el experimento. A continuación analizaremos tres posibilidades distintas:

Experimentación directa sin planificación

Basada fundamentalmente en la experiencia y conocimiento que se tenga sobre la situación a experimentar. Carece de planificación previa, depende de la pericia, genialidad o acierto del equipo que la realiza. Una vez establecido un ca-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

MÉTODO TRADICIONAL		MÉTODOS DE TAGUCHI
Detección de las posibles causas con el objetivo de cambiar las especificaciones y ajustar la media.	**Objetivo**	Evitar el efecto de las causas obteniendo robustez.
Utilización de herramientas estadísticas y matemáticas. No aporta una combinación óptima.	**Filosofía**	Eliminar los efectos del ruido y las variaciones. Obtención de una combinación óptima.
Técnicas multiestadísticas.	**Diseño**	«Matrices ortogonales» y «gráficas lineales».
Se consideran efectos e interacciones.	**Efectos e Interacciones**	Considera los principales efectos. Las interacciones las trata como ruido.
Algoritmos de cálculo de efectos e interacciones; Box - Hunter - Hunter y Yates. Diseños factoriales completos y fraccionados.	**Aspectos técnicos**	• Utilización de la «función de pérdida». • Diseño de parámetros con factores de control y de ruido (S/N = signal/noise).
Diseño de tolerancias, detección de la causa que origina el problema y su solución.	**Métodos de Actuación**	Optimización del diseño de parámetros para reducir la variación y el impacto de las causas.

Tabla 6.2.

mino adecuado se realizarán pruebas posteriores de ajuste. Tiene los inconvenientes de que no es sistemático, es poco flexible y puede ser antieconómico.

Experimentación a un solo factor

Es un método secuencial que busca aislar el efecto de cada factor, evaluando qué nivel de cada uno de ellos es más beneficioso para el resultado perseguido. La técnica consiste en tomar un factor y realizar un ensayo para cada uno de sus niveles, manteniendo el resto de los factores del ensayo a un nivel fijo o constante. Una vez realizados estos ensayos se decidirá con qué nivel de dicho factor es

Copyright Ediciones Deusto S.L.

mejor la respuesta y se fijará ese factor a ese nivel óptimo. El proceso se irá repitiendo para cada uno de los factores, fijando en cada caso el nivel óptimo de cada uno de ellos y manteniendo los valores fijados de los demás factores. En el ejemplo siguiente (tabla 6.3.) se consideran 3 factores, con 2 niveles por factor, y se trata de obtener el mayor valor posible para la respuesta,[4] variando el nivel de un factor mientras mantenemos las demás constantes: Así, r_1, el la respuesta para los niveles 1 de los tres factores X, Y, Z. Cambiando el nivel del factor X a 2, la nueva respuesta R_2 es superior y mantendremos este nivel. Cambiando ahora el nivel de Y a 2, la respuesta R_3 no mejora el nivel de la 2, así que mantendremos el nivel 1 para Y; finalmente, cambiando a 2 el nivel Z, la nueva respuesta R_4 supera a la mayor hasta el momento (R_2) y mantendremos el nuevo nivel de Z.

	Factores			**Respuesta**	**Respuesta Óptima**	**Nivel Fijado**
	X	**Y**	**Z**			
Combinación de niveles	1	1	1	$R_1 = 23$	R_1	–
	2	1	1	$R_2 = 31$	R_2	X a nivel 2
	2	2	1	$R_3 = 27$	R_3	Y a nivel 1
	2	1	2	$R_4 = 39$	R_4	Z a nivel 2
Comb. Óptima:	X = 2 Y = 1 Z = 2					

Tabla 6.3.

Desde el punto de vista lógico, puede pensarse que es un método adecuado, pero tiene un problema fundamental: sólo evalúa los efectos individuales. Es decir, no permite analizar los efectos de las interacciones entre los factores debido a que sólo varía el nivel de un factor en cada ensayo. Por este motivo es un método que no se ajusta demasiado a la realidad actual de los procesos y es poco eficaz. La mayor ventaja es que utiliza un menor número de ensayos a realizar que el diseño factorial completo que se expone a continuación, pero a costa de disminuir la precisión.

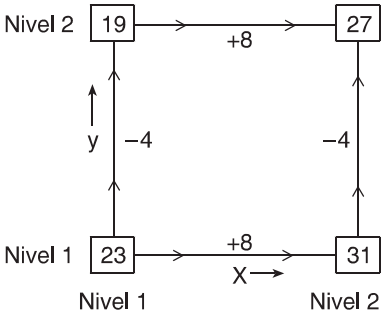
Las interacciones

Según se acaba de exponer, el efecto de las interacciones de las variaciones de los factores de un experimento es un aspecto muy importante a considerar y que

4. La característica sometida a estudio en el ejemplo de la tabla 6.3. mediante el análisis de las diferentes respuestas corresponde al tipo «mayor es mejor».

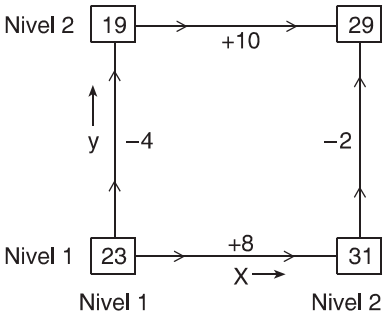
Copyright Ediciones Deusto S.L.

la experimentación a un solo factor no tiene en cuenta, pues considera solamente las mejoras en el resultado debidas a la variación de cada factor manteniendo constantes los demás. Por contra, variando más de un factor simultáneamente, el resultado puede alterase en una magnitud que puede ir más allá de la resultante de agregar las alteraciones de cada factor por separado; en este caso se daría interacción.



Así, por ejemplo, consideremos el experimento anterior a un solo factor, y supongamos que sólo intervinieran dos factores, los X e Y. Representemos sus niveles en un sistema de dos ejes (X e Y) encerrando en un círculo la respuesta correspondiente a cada nivel de factores, siendo el valor 19 de la respuesta para el nivel 1 de X y el 2 de Y, nueva dado que antes no se ha considerado.

En este caso no hay interacción, pues la respuesta aumenta en 8 al cambiar el nivel de X, sea cual sea el nivel de Y, y se reduce en 4 al cambiar el nviel de Y, sea cual sea el nivel de X.



Pero ahora supongamos que la respuesta aumentara en 8 al cambiar el nivel de X con un nivel de 1 de Y, es decir, igual que antes, y que disminuyera en 4 al aumentar el nivel de Y manteniendo en 1 el de X (también como antes); pero ahora al aumentar el nivel de X con un nivel de partida 2 para el factor Y, o el de Y con un nivel 2 para X, las variaciones del resultado fueran distintas, tal como ocurre en el nuevo sistema de ejes adjuntos. Ahora el resultado aumenta en 10 al cambiar X al nivel 2 pero con Y al nivel 2, y disminuye en 2 al cambiar Y al nivel 2 pero con X al nivel 2: Ahora se da el efecto correspondiente a las interacciones entre X e Y.

Diseño factorial completo

Este tipo de diseño considera todas las posibles combinaciones de niveles de factores al determinar los resultados de la experimentación.

Para la realización de un diseño factorial completo, el investigador selecciona un número fijo de niveles (valores con los que se ensayan las variables) para cada

Copyright Ediciones Deusto S.L.

uno de los factores (es decir, variables cuya influencia se considera significativa en la respuesta), y luego se hacen experimentos con todas las combinaciones posibles. Si hay *n1* niveles para el factor *f1*, *n2* para *f2* y... ni para *fi*, tendríamos un diseño factorial completo de *n1*x *n2*x... x *ni* experimentos.

Para llevar a cabo un diseño factorial completo es conveniente considerar un número reducido de factores, ya que al aumentar estos el número de experimentos aumenta considerablemente.

La aplicación del análisis factorial completo consiste en analizar todos los efectos principales y todas sus interacciones, sin que pueda existir en su cálculo algún tipo de ambigüedad entre ellos. De ahí que también sea utilizado cuando disponemos de poca información sobre el experimento en sí, ya que a veces el diseño puede referirse a procesos o productos totalmente novedosos.

Dentro de los diseños factoriales completos, vamos a dedicar nuestra atención a los factoriales de dos niveles. Estos diseños son importantes por varias razones:

- Requieren relativamente pocos experimentos elementales por cada factor, y pueden indicar tendencias favorables para nuestro objetivo. Si *k* es el número de factores, serán precisos 2^K experimentos.
- Son la base de otros diseños factoriales, que junto con ellos pueden ser utilizados en bloques para construir diseños de gran nivel de complejidad.
- Simplicidad y manejabilidad de los cálculos cuando el número de factores es reducido.

Para la elaboración de un diseño factorial completo de dos niveles hay que seguir los pasos siguientes:

1. Elección de los niveles de los factores, que en nuestro caso debe ser de dos.
2. Elección del número de factores que intervendrán en el diseño, teniendo en cuenta que factor es aquella variable cuya influencia se considera significativa *a priori* en la respuesta.
3. Fijado el número de niveles (2) y el número de factores (k), se realizan todos los experimentos simples, cuyo número viene dado por 2^k, por tanto, tendremos 2^k respuestas.
4. Construcción de la matriz de diseño. Se trata de una matriz en cuyas filas tendremos el número de ensayos realizados, y en las columnas los factores ordenados y las respuestas, por lo cual un elemento de la matriz indicará el nivel de un determinado factor dentro de un ensayo concreto (figura 6.4.).

De esta manera obtenemos una matriz constituida por unas tablas de niveles dispuestas de forma característica para reunir unas propiedades matemáticas que nos permitiran una modularidad y escalaridad; es decir, que a partir de una matriz 2^3 podemos elaborar una 2^4, sin alterar a la primera.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

N.º ensayo	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	Respuesta
1	–	–	–	–	–	Y_1
2	+	–	–	–	–	Y_2
3	–	+	–	–	–	Y_3
4	+	+	–	–	–	Y_4
5	–	–	+	–	–	Y_5
6	+	–	+	–	–	Y_6
7	–	+	+	–	–	Y_7
8	+	+	+	–	–	Y_8
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
32	+	+	+	+	+	Y_{32}

Figura 6.4. Matriz de diseño de orden 2^5

Existen diversas notaciones para las matrices de diseño, unas representan los niveles como –/+, siendo el primero para el nivel bajo, y el segundo para el alto; también otra notación es 1/2, para los distintos niveles. Ambas notaciones son análogas; en nuestro caso nos hemos decantado por –/+, por la claridad de la representación.

En las columnas de los factores se establecen los signos intercalados según 2^{n-1}, donde *n* es el orden de la columna de los factores. Así, para f_1 los signos se respetarán $2^0 = 1$ veces, es decir, serán +–+–... Para f_2, se repetirán $2^1 = 2$ veces, es decir, serán ++––++––..., y así sucesivamente.

Cálculo de los efectos

Por efecto entendemos el cambio en la respuesta, después del cambio correspondiente al paso de un nivel al otro. Si este efecto se debe únicamente a uno de los factores se denomina efecto principal; si fuera debido a una combinación de dos o más factores se conoce por interacción.

Efectos principales

Para analizar los efectos principales podemos ilustrar la metodología que emplearemos con un caso sencillo e ilustrativo. Se trata del proceso de conforma-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

ción por medio de una prensa de embutición, de una chapa plana de acero inoxidable (de tipo austenítico) al cromo con una proporción variable de níquel para facilitar la embutición y posterior mecanización. Tres son los factores que intervendrán en el experimento, que se exponen en la tabla que sigue con los valores correspondientes a dos niveles de cada uno:

F: Fuerza de la prensa (Tm)	60 Tm (-)	100 Tm (+)
N: Porcentaje de níquel de la aleación	9 % (-)	12,5 % (+)
M: Ajuste de medidas de la matriz de embutición	Aceptable (-)	Muy alto (+)

La matriz de diseño es de orden 2^3, y la realización de los ensayos se ha hecho de forma aleatoria para minimizar los efectos históricos. La matriz resultante es la que sigue, en la que la columna de la respuesta Y_i de cada ensayo puede ser la media de varios experimentos con los mismos niveles de factores y expresa el volumen de producción correcta por hora que puede obtenerse:

N.º ensayos	F	N	M	Respuesta media Y_i
1	–	–	–	60
2	+	–	–	72
3	–	+	–	54
4	+	+	–	68
5	–	–	+	52
6	+	–	+	83
7	–	+	+	45
8	+	+	+	80

Figura 6.5. Matriz de diseño 2^3 del ejemplo de la planta piloto

Para el cálculo del efecto principal que denominaremos módulo de dicho efecto, atenderemos al cambio promedio en la respuesta, de pasar de un nivel bajo a uno alto de un determinado factor; para ello cuantificaremos este cambio según la respuesta producida, de la forma que sigue:

$$\text{Efecto } (F_i) = \text{Media } (Y_i^+) - \text{Media } (Y_i^-)$$

Copyright Ediciones Deusto S.L.

es decir, que el efecto de un factor dado f_i es la diferencia entre la media de las respuestas que corresponden al nivel + de este factor y la media para el nivel – del mismo.
Así, por ejemplo, para el factor F_1 las respuestas Y_1, Y_3, Y_5 e Y_7 corresponden a valores de su nivel – y el efecto de este factor para su nivel mínimo –, sería la media de estas cuatro respuestas; por otra prate, las respuestas Y_2, Y_4, Y_6 e Y_8 corresponden a valores en que el nivel del factor F es el máximo +, por lo que el efecto resultante de operar con el nivel máximo de F será la media de estas cuatro respuestas. Finalmente, el efecto principal global del factor F será la diferencia (de hecho será la suma algebraica) entre esta media y la anterior. Este método de cálculo es el denominado BH^2 (método elaborado por Box & Hunter & Hunter).

En el caso de nuestro experimento tendríamos:

$$\text{Efecto F} = \frac{Y_2 + Y_4 + Y_6 + Y_8}{4} - \frac{Y_1 + Y_3 + Y_5 + Y_7}{4} \Big| \quad \frac{72 + 68 + 83 + 80}{4} - \frac{60 + 54 + 52 + 45}{4} \Big| \quad 23$$

$$\text{Efecto N} = \frac{Y_3 + Y_4 + Y_7 + Y_8}{4} - \frac{Y_1 + Y_2 + Y_5 + Y_6}{4} \Big| \quad \frac{54 + 68 + 45 + 80}{4} - \frac{60 + 72 + 52 + 83}{4} \Big| \quad 45$$

$$\text{Efecto M} = \frac{Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8}{4} - \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4} \Big| \quad \frac{52 + 83 + 45 + 80}{4} - \frac{60 + 72 + 54 + 68}{4} \Big| \quad 1{,}5$$

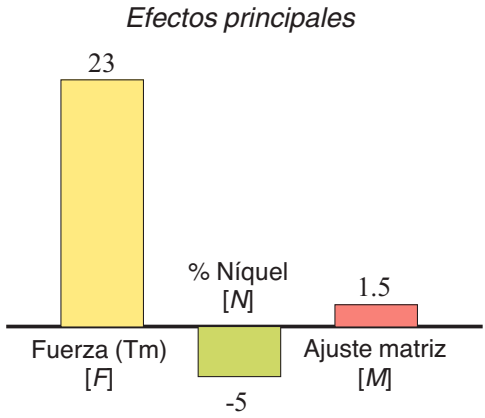


Figura 6.6.

Cálculo del efecto de las interacciones

Los factores no siempre se comportan de forma aditiva, en cuyo caso se dice que «interaccionan». Una medida de esta interacción la proporciona la dife-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

rencia entre el efecto medio de los factores que intervienen en dicha interacción.

Continuando con nuestro caso, obtenemos la interacción entre la fuerza de la prensa (factor *F*) y el ajuste de la matriz (factor *M*) de la siguiente manera:

Para respuestas de niveles + del factor *M*, determinamos el efecto medio de las correspondientes al factor *F:* las de tipo + por un lado, y las de tipo – por otro, y luego obtenemos la diferencia; lo mismo hacemos para las respuestas correspondientes a niveles – del factor M. Finalmente obtenemos la media de la diferencia entre ambos resultados. Veámoslo:

Ajuste de la matriz (*M*)		Efecto medio de Fuerza prensa (*F*)
Nivel +	»	$\frac{Y_8 \; 2 \; Y_6}{2} \; 4 \; \frac{Y_7 \; 2 \; Y_5}{2} \; \mid \; 33$
Nivel –	»	$\frac{Y_4 \; 2 \; Y_2}{2} \; 4 \; \frac{Y_3 \; 2 \; Y_1}{2} \; \mid \; 13$
Efecto global de la interacción	»	Diferencia media $\mid \; \frac{33 \; 4 \; 13}{2} \; \mid \; 10$

Por tanto, 10 sería el efecto de la interacción (*F* Δ *M*).

Realizando las mismas operaciones para el resto de las interacciones, obtendríamos:

Efecto (*F* Δ *N*) = (((y8 – y7 – y6 + y5)/4) + ((y4 – y3 – y2 + y1)/4)) = 1,5
Efecto (*N* Δ *M*) = (((y8 + y7 – y6 – y5)/4) + ((y4 + y3 – y2 – y1)/4)) = 0
Efecto (*F* Δ *N* Δ *M*) = (((y8 – y7 – y6 + y5)/4) + ((y4 – y3 – y2 + y1)/4)) = 0,5

Veamos ahora cómo puede obtenerse una norma general de cálculo. Si partimos del que hemos realizado para la interacción *F*Δ#*M*, el resultado global de la mismalo podemos expresar por:

$$\frac{Y_8 \; 2 \; Y_6}{4} \; 4 \; \frac{Y_7 \; 2 \; Y_5}{4} \; 4 \; \left[\frac{Y_4 \; 2 \; Y_2}{4} \; 4 \; \frac{Y_3 \; 2 \; Y_1}{4} \right] \; \frac{Y_8 \; 2 \; Y_6}{4} \; 4 \; \frac{4Y_7 \; 4 \; Y_5}{4} \; 2 \; \frac{4Y_4 \; 4 \; Y_2}{4} \; 2 \; \frac{Y_3 \; 2 \; Y_1}{4}$$

Si substituimos los resultados por los signos de los factores *F* y *M*, que les correspondan tendríamos:

$$\frac{/20202/2020}{4} \; 2 \; \frac{4/40204/4020}{4} \; 2 \; \frac{4/20404/2040}{4} \; 2 \; \frac{/40402/4040}{4}$$

Copyright Ediciones Deusto S.L.

De ahí pueden extraerse dos conclusiones:

1. El signo de cada término de la anterior expresión es exactamente el que se deriva del producto de los correspondientes a sus niveles de *F* y *M* (+ · + = +; + · + = +; – · + = –; – · + = –; etc.).
2. Se promedian los valores de las respuestas para los que el par de signos de *F* y *M* son exactamente iguales (así el primer término promedia las respuestas Y_6 e Y_8 para las que *F* y *M* tienen el nivel +; el segundo promedia las respuestas Y_5 e Y_7 para las que *F* es – y *M* es +; etc.).

Así pues, la regla general para obtener el efecto de las interacciones será agrupar las respuestas que tienen idéntico nivel para los factores a interaccionar, promediarlas y afectarlas del signo que corresponda por producto de los signos de los factores; procediendo así hasta agotar las respuestas, el resultado global de la interacción será la suma algebraica de las expresiones obtenidas.

Así pues, los componentes de las interacciones del caso anterior tendrían los signos que siguen (fig. 6.7.).

	Factores			Resp.	Interacciones			
N.º ensayos	F	N	M	Resp.	F × N	F × M	N × M	F × N × M
1	–	–	–	60	+	+	+	–
2	+	–	–	72	–	–	+	+
3	–	+	–	54	–	+	–	+
4	+	+	–	68	+	–	–	–
5	–	–	+	52	+	–	–	+
6	+	–	+	83	–	+	–	–
7	–	+	+	45	–	–	+	–
8	+	+	+	80	+	+	+	+

Figura 6.7. Matriz de diseño 2^3 que incorpora los niveles del efecto de las interacciones

Los valores de las mencionadas interacciones serán entonces los de la tabla 6.4. que sigue:

	F	N	M	F Δ N	F Δ M	N Δ M	F Δ N Δ M
Media (+)	75,75	61,75	65	65	69,25	64,25	64,5
Media (-)	52,75	66,75	63,5	63,5	59,25	64,25	64
Efecto	**23**	**-5**	**1,5**	**1,5**	**10**	**0**	**0,5**

Tabla 6.4. Efectos principales e interacciones

Copyright Ediciones Deusto S.L.

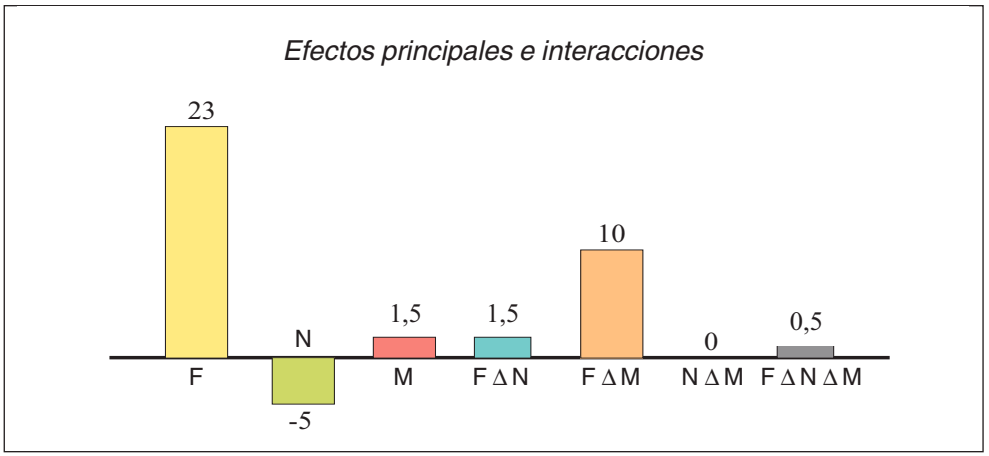


Figura 6.8.

La interpretación de los resultados del caso que hemos expuesto sería:

1. El porcentaje de níquel de la aleación reduce la producción en 5 unidades y es independiente de los niveles de las otras variables.
2. Los efectos de la fuerza y el ajuste de la matriz no se pueden interpretar separadamente debido a la existencia de su interacción que es considerable, observando que con el ajuste muy alto la producción es mayor.

Otro método de cálculo de los efectos: Algoritmo de Yates

Se trata de un método rápido de cálculo de los efectos que sigue los siguientes pasos:

1. Se dispone la matriz de diseño en su forma estándar, es decir, con la alternancia de los niveles de los factores dependiendo de la columna en que se encuentren; procediendo de esta manera tendremos que la columna j-ésima constará de 2^{j-1} – y de 2^{j-1} +.
2. Se añade la columna de las respuestas.
3. Junto a la columna de las respuestas se añaden *k* columnas, donde *k* es el número de factores.
   3.1. La primera columna se obtiene como sigue: La primera casilla es la suma de las dos primeras de la columna de resultados; la segunda es la suma de la tercera y la cuarta, y así sucesivamente llenaremos la mitad de la columna. El resto de la columna se obtiene de igual forma pero res-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

tando valores de los resultados: primer resultado restado del segundo, tercero restado del cuarto, etcétera.

3.2. Las columnas restantes se obtienen por el mismo procedimiento pero partiendo de los datos de la columna anterior y no la de los resultados, por lo que la columna *k* se construye con los datos de la *k – 1*.

4. La siguiente columna es la del divisor de las medias: consta del valor *n* del n.º de experiencias en la primera casilla y su mitad (*n/2*) en las restantes.
5. La última de las columnas se construye a partir del cociente entre la columna *k* y el divisor de las medias, teniendo en cuenta la posición de la fila. Esta columna nos dará la media de las respuestas en primer lugar, y el resto serán los efectos principales e interacciones.

El método de Yates aplicado al caso de la prensa ya considerado anteriormente, daría lugar a la tabla.

FACTORES **RESP.** **CÁLCULOS**

n	F	N	M	Y	(1)	(2)	(3)	Divisor	Efectos	Ident.
1	-	-	-	60	132	254	514	8	64,25	Media
2	+	-	-	72	122	260	92	4	23,00	F
3	-	+	-	54	135	26	-20	4	-5,00	N
4	+	+	-	68	125	66	6	4	1,50	FN
5	-	-	+	52	12	-10	6	4	1,50	M
6	+	-	+	83	14	-10	40	4	10,00	FM
7	-	+	+	45	31	2	0	4	0,00	NM
8	+	+	+	80	35	4	2	4	0,50	FNM

Tabla 6.5. Aplicación del método de Yates al caso de la prensa

Este método permite asimismo comprobar que los cálculos intermedios para hallar los efectos son correctos. Si se cumple que el duplo de la suma de los valores que ocupan posición par de una columna *n* es igual a la suma de todos los valores de la columna *n+1*, los cálculos son correctos. En efecto:

Sean $a_1, a_2, \ldots a_n$ los valores de la columna *n* y $b_1, b_2, \ldots b_n$ los de la columna *n+1:* tal como se ha construido la columna *n+1*, se cumplirá:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

$$b_1 + b_2 + b_{n-1} + b_n = (a_1 + a_2) + (a_3 + a_4) + \ldots + (a_{n-1} + a_n) + (a_2 - a_1) + (a_4 - a_3) + \ldots + (a_n - a_{n-1})$$

lo que es igual a $2a_2 + 2a_4 + \ldots + 2a_n = 2(a_2 + a_4 + \ldots + a_n)$ tal como hemos indicado que debía cumplirse.

El método de Yates es válido para diseños con un elevado número de ensayos, pues proporciona un algoritmo rápido de cálculo.

Importancia de los efectos y de las interacciones

Una vez determinados los efectos y las interacciones es importante calibrar su importancia y en consecuencia decidir cuáles pueden despreciarse de acuerdo con un error experimental aceptado. Vamos a exponer dos métodos para lograrlo.

Método de Daniel

De acuerdo con este método, todos los efectos y sus interacciones son consecuencia de «ruido» estadístico motivado por causas aleatorias (y, por tanto, sin ninguna trascendencia)... a menos que se demuestre lo contrario.

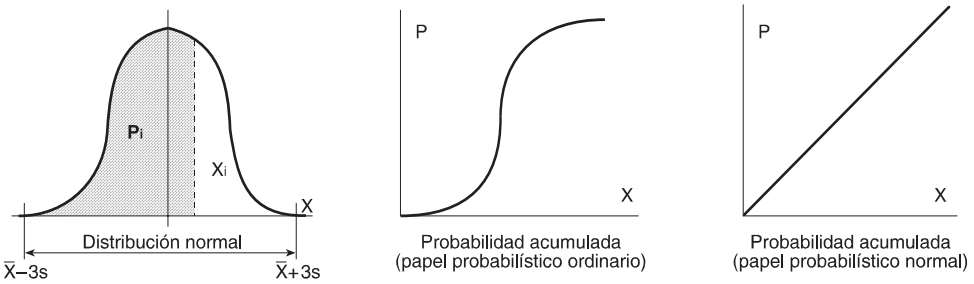


Figura 6.8. Gráficos probabilísticos

Así pues, este método se basa en la hipótesis inicial que considera que los módulos de todos lo efectos de los factores y sus interacciones siguen una distribución normal (figura 6.8. izquierda). En ella se hallan todos los valores X_i de los efectos e interacciones correspondientes a los distintos experimentos, puesto que si todos ellos son fruto de causas aleatorias, deberán formar parte de una única distribución normal. En este caso, la probabilidad de que ocurra un valor menor que X_i viene dado por le área rayada P_i de la curva normal de la mencionada figura. Si hacemos un gráfico de P en función de X obtenemos la gráfica de la distribución acumulada de la ley normal, (curva central de la figura).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La desviación típica de la distribución normal será, con $\bar{X}$ igual al valor medio de los valores X_i de efectos e interacciones:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{2^n - 1}}$$

siendo 2^n el número de experimentos.

La varianza de dicha distribución será el cuadrado de la desviación típica, es decir S^2.

Si tomamos un intervalo desde $\bar{X} - 3S$ hasta $\bar{X} + 3S$, es decir, de una longitud igual a 6S, la probabilidad P será del 99,7 %, es decir, que éste será el porcentaje de los valores X_i obtenidos de los distintos experimentos que estarán contenidos en el intervalo citado (comportamiento propio de la distribución normal).

Si ajustamos el eje de las ordenadas a una escala logarítmica, de manera que el gráfico de P respecto a X se convierta en una recta (figura 6.8., derecha), podemos considera que ésta vendrá dada por:

$$P_i = \frac{100 \times \left(i - \frac{1}{2}\right)}{2^n - 1}$$

donde i es el número del experimento y 2^n es la cantidad de experimentos, dado que suponemos que se opera con n factores a dos niveles cada uno.

Bajo la hipótesis inicial, si representamos los valores de los efectos y de las interacciones en un papel probabilístico normal debemos obtener una recta. Por tanto, cualquier valor que no pertenezca a esta recta dentro de un margen de error podemos considerar que el factor o interacción no es un resultado aleatorio, sino se trata de un valor significativo.

Resumiendo, este método se desarrolla en varias etapas:

1. Cálculo de los módulos de los efectos y de las interacciones.
2. Ordenar los módulos en orden creciente, y asignarles el correspondiente valor de i.
3. Determinar los valores de la recta:

$$P_i = \frac{100 \times \left(i - \frac{1}{2}\right)}{2^n - 1}$$

para los valores de i desde 1 a $2^n - 1$.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

4. Representar los valores de los módulos calculados sobre el papel probabilístico normal según su valor real un abscisas y el de P_i que le corresponde según su *i*.
5. Construir la recta que representa la distribución normal (por la media y la desviación típica), y detectar aquellos valores que no pertenecen a la recta ni a valores próximos a la misma que puedan considerarse como verdadero ruido. El resto serán efectos o interacciones significativos.

Aplicaremos el método de Daniel al caso de la prensa de embutición que, recordemos, utilizamos un factorial completo de 2^3 orden.

Así obtenemos la tabla 6.6. que sigue:

i	Identificación	Módulo del efecto	100*(i - 0.5)/7
1	N	–5	7,14
2	N Δ#M	0	21,43
3	F Δ#N Δ#M	0,5	35,71
4	F Δ#N	1,5	50,00
5	M	1,5	64,28
6	F Δ#M	10	78,57
7	F	23	92,85

Media: 4,5. Desviación típica: 9, 28

Tabla 6.6.

En papel probabilístico normal representamos en abscisas los valores de efectos e interacciones y en ordenadas, en la escala probabilística normal de valores de la probabilidad. *P* desde 0 a 100 %, representamos los valores de cada P_i obtenida en la tabla. Cada uno de ellos nos dará un punto representativo de efecto o interacción (véase figura 6.9.).

A continuación se representa la recta correspondiente a la distribución normal. Para ello podemos tomar los puntos $M - S$ (4,5 – 9,28 = – 4,78) y $M + S$ (4,5 + 9,28 = 13,78) en abscisas y obtener los puntos que le corresponden a una distribución normal en ordenadas (16 % y 84 % respectivamente), para trazar la recta que pasa por ambos puntos.

En la citada figura se distinguen claramente los efectos que son significativos, que en este caso concreto son los tres efectos *F, N* y *M* por encima de todo, y en menor medida la interacción entre *F* y *N* (fuerza de la prensa y porcentaje de níquel en la aleación).

Copyright Ediciones Deusto S.L.

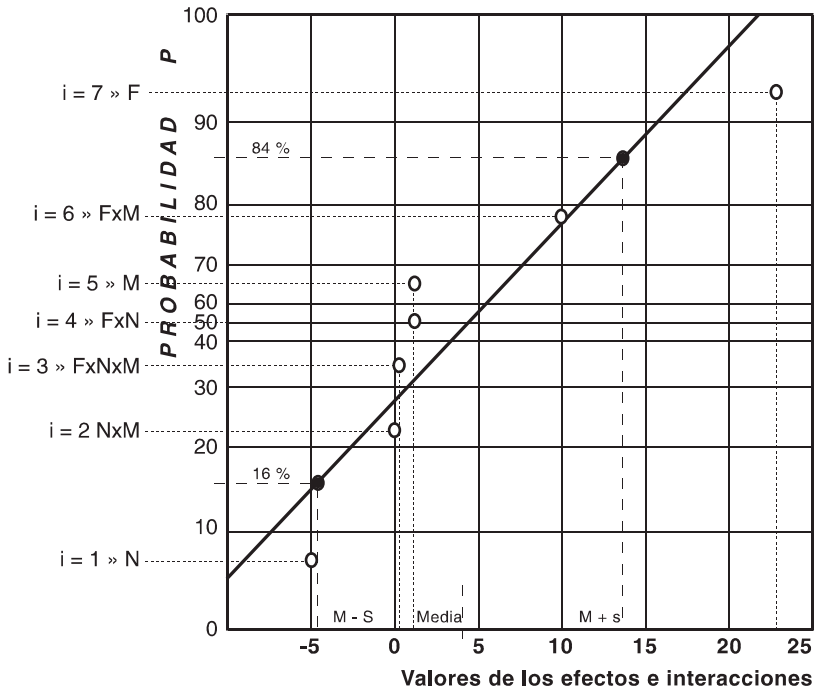


Figura 6.9.

Este método nos permite visualizar la relevancia de los efectos de un modo muy efectivo; cuando el número de factores es elevado, este método puede ser una primera manera de descartar elementos no significativos, y de esta forma nos proporciona una orientación eficaz para nuestro objetivo.

Método basado en la repetición de los experimentos

Cuando se replican los experimentos elementales, la variación entre los resultados se puede utilizar para estimar la desviación típica de un resultado y por lo tanto la de sus efectos. A la hora de replicar los experimentos se ha de seguir en cada uno de ellos los mismos pasos, y a la vez realizarlos de forma aleatoria para garantizar que la variación de las observaciones es un reflejo de la variabilidad total.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En general, si se replica n_i veces el experimento *i*, $v_i = n_i - 1$ serán los grados de libertad y la estimación de la varianza del promedio del diseño completo se obtiene calculando la media ponderada de las varianzas siguientes:

$$s^2 = \frac{v_1 s_1^2 + v_2 s_2^2 + \ldots + v_N s_N^2}{v_1 + v_2 + \ldots + v_N}$$

donde *N* es el número de experiencias (para un factorial completo de *k* factores con 2 niveles, $N = 2^k$); $v = v_1 + v_2 + \ldots + v_k$ son los grados de libertad totales.

Según ya se ha expuesto, para una de la experiencias se obtiene:

$$s_i^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{Y}_i)^2}{v_i}$$

En el caso de que todas las experiencias se realizaran a dos repeticiones la varianza del diseño será:

$$s_i^2 = \frac{(Y_{1i} - \bar{Y}_i)^2 + (Y_{2i} - \bar{Y}_i)^2}{2 - 1}$$

y teniendo en cuenta que $\bar{Y}_i = \frac{Y_{1i} + Y_{2i}}{2}$, operando resulta: $s_i^2 = d_i^2 / 2$, donde $d_i = Y_{1i} - Y_{2i}$

Finalmente aplicando la expresión de s^2 expuesta anteriormente para todos los $v_i = 2 - 1$:

$$s^2 = \frac{(2 - 1) \sum s_i^2}{N (2 - 1)} = \frac{\sum s_i^2}{N} = \frac{\sum d_i^2}{2N}$$

donde *N* es el número total de experiencias.

Una vez calculada la varianza s^2 de los resultados, la de los efectos, puede calcularse como sigue:

Según se ha visto, los efectos e interacciones son el resultado de un cálculo del tipo media (*y*+) – media (*y*–). En este caso la varianza de un efecto será la varianza de la diferencia de dos medias y se podrá calcular aplicando la expresión $\frac{s^2}{M/2}$ para cada una de las medias y sumando ambas, con *M* el número total de experimentos, incluidas las réplicas:

$$\text{Var (efecto)} = \frac{s^2}{M/2} + \frac{s^2}{M/2} = \frac{4s^2}{M}$$

Para *N* experimentos elementales de un diseño factorial replicado a dos niveles, $M = 2 \Delta N$, tendremos:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

$$\text{Var (efecto)} = 4s^2 / M = 4s^2 / 2N = 2s^2 / N$$

A su vez, la varianza de la media de los efectos es:

$$\text{Var (media)} = \frac{s^2}{M} \mid \frac{s^2}{2N}$$

Una vez conocidas la varianza de los efectos y de las interacciones completaremos el análisis de los resultados.

La comparación de los valores estimados de los efectos y de sus interacciones con sus desviaciones típicas nos proporcionará información de aquellos valores que podemos despreciar y considerados como ruido, que serán todos aquellos cuyo valor y su desviación son equiparables y, por tanto, fácilmente confundibles. El resto de valores serán significativos.

Volvamos a nuestro caso de la prensa para ver una aplicación práctica. La tabla con los resultados, a los que ahora añadiremos la varianza de cada uno suponiendo que repetiremos dos veces cada experimento, podría ser la que sigue (en la que la respuesta media de cada uno coincidirá con la que ya se dio y así también lo harán los efectos y las interacciones):

i	F	N	M	Yi_1	Yi_2	$\overline{Y_i}$	s_i^2
1	–	–	–	59	61	60	2
2	+	–	–	69	75	72	18
3	–	+	–	50	58	54	32
4	+	+	–	66	70	68	8
5	–	–	+	51	53	52	2
6	+	–	+	80	86	83	18
7	–	+	+	40	50	45	50
8	+	+	+	78	82	80	8

Con ello $s^2 \mid \frac{2\,2\,18\,2\,32\,2\,8\,2\,2\,2\,18\,2\,50\,2\,8}{8} \mid 17{,}25$

Varianza (efectos) $\mid \frac{4\,\Delta\,s^2}{8\,\Delta\,2}$, con lo que la desviación típica será: $\sqrt{4{,}03} \mid 2{,}07$

Varianza (media) $\mid \frac{s^2}{8\,\Delta\,2} \mid 1{,}08$, con lo que la desviación típica será: $\sqrt{1{,}08} \mid 1{,}03$

Veamos ahora los efectos uno a uno y su intervalo de ruido:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

	Valor	Intervalo ± 3S	CALIFICACIÓN
Media	64,25	∂ 3 Δ 1,03 = 3,09	64,25>3,09 ⇓ Resultado
Efecto F	23	∂ 3 Δ 2,07 = 6,21	23>6,21 ⇓ Efecto
Efecto N	–5	∂ 6,21	5<6,21 ⇓ Ruido
Efecto M	1,5	∂ 6,21	1,5<6,21 ⇓ Ruido
Interacción FN	1,5	∂ 6,21	1,5<6,21 ⇓ Ruido
Interacción FM	10	∂ 6,21	10>6,21 ⇓ Interacción
Interacción NM	0	∂ 6,21	0<6,21 ⇓ Ruido
Interacción FNM	0,5	∂ 6,21	0,5<6,21 ⇓ Ruido

Este método proporciona de una forma rápida la valoración de los resultados a través del cálculo de su varianza; como aspecto negativo tendremos que el número de experimentos elementales puede ser elevado.

Finalmente, al considerar los efectos y las interacciones, puede ocurrir que aún eliminados los que pueden ser considerados como ruido, todavía quedan demasiados a tener en cuenta para actuar de una forma efectiva. En tal caso, puede llevarse a cabo con ellos un diagrama de Pareto y quedarse, al menos para actuar en primera instancia, con los que suponen una proporción importante (por ejemplo el 80 %) del resultado final.

Los métodos que hemos visto nos proporcionan la varianza de los resultados, a la vez que nos evalúa la importancia de los efectos e interacciones.

El uso de cada uno de ellos depende del experimentador, pero en muchas ocasiones hay más factores a investigar de los que permiten el tiempo y presupuesto disponible para ello.

Si elegimos aumentar el número de factores el método de Daniel es más fiable, puesto que no requiere replicar los experimentos asociados a cada factor.

Bloqueo en un diseño factorial completo

Supongamos que en un diseño factorial 2^3 tenemos que añadir a un circuito impreso la capa conductora de cobre con unas determinadas especificaciones; para realizar los ocho experimentos elementales es deseable que las condiciones de todos ellos sean lo más homogéneas posible, pero nos encontramos que la máquina que añade el cobre sólo tiene capacidad para cuatro de ellas. Entonces es posible que entre el primer bloque de cuatro circuitos impresos y el segundo puedan existir diferencias, las cuales no tienen nada que ver con los factores escogidos y en cambio, añaden una cierta variabilidad indeseada al conjunto de los experimentos. Cuando existe un factor de variación real que puede afectar a las estimaciones realizadas, podrá existir una imprecisión en las mismas.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Para evitar este problema forzamos a que este factor de variabilidad se confunda con la interacción de mayor orden, para asegurar de esta manera que los efectos principales y las interacciones de menor orden puedan tener una estimación con mayor precisión que en el caso de no realizarlo.

Este procedimiento se conoce como «bloqueo» en un diseño factorial completo. El único inconveniente que plantea es que no se puede estimar la interacción de mayor orden, y en el caso de que fuera significativa estaríamos perdiendo una información valiosa.

Para la realización de este procedimiento escogeremos un diseño factorial 2^3, como el supuesto en el principio de este apartado; tendremos así dos bloques de cuatro experimentos elementales cada uno; para confundir el efecto indeseable con la interacción de mayor nivel (por ejemplo, XYZ), el primer bloque constará de los experimentos en los cuales la interacción ZYZ tenga el nivel alto, y el otro bloque coincidirá con el nivel bajo. (tabla 6.7.).

Podemos considerar que la columna derivada del bloqueo sea considerada como un factor más de nuestro diseño, el cual podemos identificar como F, y tendría como propiedad no poder interaccionar con el resto de los factores.

Este nuevo factor, tal y como lo hemos creado está generado por la interacción XYZ, y lo expresaríamos como F = *ZYZ*.

	Factores			Resp.	Interacciones				
N.º ensayos	X	Y	Z	Resp.	X Y	X Z	Y Z	X Y Z	Bloque
1	–	–	–	y1	+	+	+	–	I
2	+	–	–	y2	–	–	+	+	II
3	–	+	–	y3	–	+	–	+	II
4	+	+	–	y4	+	–	–	–	I
5	–	–	+	y5	+	–	–	+	II
6	+	–	+	y6	–	+	–	–	I
7	–	+	+	y7	–	–	+	–	I
8	+	+	+	y8	+	+	+	+	II

Tabla 6.7. División de un factorial 2^3 en dos bloques de tamaño cuatro

En el caso de nuestra tabla hemos realizado dos bloques, pero podíamos haber hecho cuatro, e incluso ocho; entonces el número de nuevos factores sería de dos y cuatro, respectivamente. Al aumentar el número de factores que representan a los distintos bloques surge el problema de cuáles son los elementos generadores de cada uno de ellos, y para cada uno de ellos qué efectos e interacciones estamos confundiendo. Debe procurarse confundir estos nuevos factores con las interacciones de mayor orden posible.

Cualquier factorial 2^k puede ser dividido en 2^{k-1} bloques; estas disposiciones de los bloques nos aseguran no confundir los efectos principales con los factores

Copyright Ediciones Deusto S.L.

debidos a los bloques, pero todas las interacciones de segundo orden están confundidas.

Para que un efecto o una interacción puedan utilizarse como generadores que den lugar a interacciones de orden superior a utilizar para el bloqueo del diseño factorial, es conveniente que los signos de la columna de la interacción generada no sean iguales que los de un efecto principal o interacción que no se desee confundir, ya que estos signos, como se ha dicho, son los que se utilizan para dividir el diseño en bloques.

A tal efecto tendremos en cuenta que la interacción resultante de un efecto consigo mismo es una columna con todos los signos positivos, puesto que todos y cada uno serán el producto de signos iguales (+ o –). Así el efecto de interaccionar el factor 1 consigo mismo, que denominaremos 11, será una columna constituida por una interacción de segundo orden con todos los signos positivos.

Si tratamos de obtener una interacción partiendo de una columna de este tipo como generadora y de otra cualquiera como segunda generadora, los signos de la interaccción resultante serán forzosamente los de esta última y lo indicaremos con el signo igual aplicado a los bloques. Por ejemplo, la interacción de 11 con 3 será 11 3 = 113 = 3.

Este tratamiento permite dilucidar qué bloques fueden utilizarse como generadores sin interferir efectos principles. Por ejemplo, en un diseño con tres factores 1, 2, 3, los bloques B1 = 12 y B2 = 123 no son aconsejables como generadores dado que su interacción será:

$$B1\ B2 = 12\ 123 = 12123 = 11223 = 3$$

y se confundirá con un efecto principal.

En cambio, con B1 = 12 y B2 = 13:

$$B1\ B2 = 12\ 13 = 1213 = 1123 = 23$$

y se confundirá con una interacción de segundo orden, por lo que B1 y B2 podrán utilizarse como generadores.

Existen unas tablas para diseños factoriales 2^k con diverso número de bloques que nos proporcionan los elementos generadores y aquellas interacciones confundidas con los bloques (véase tabla 6.8. de página siguiente).

A veces es necesario obtener una mayor precisión en este caso nos vemos obligados a replicar experimentos elementales de esta manera podemos crear bloques del diseño a partir de interacciones diferentes en cada réplica, buscando tener una estimación de los efectos principales máxima, y que se reducirá para las interacciones de segundo orden y así sucesivamente.

Por ejemplo, si realizamos cuatro réplicas de un diseño factorial de 2^3, es decir, si hacemos 32 experimentos elementales, y existen un total de 16 bloques

Copyright Ediciones Deusto S.L.

N.º de factores	Tamaño bloque	Generadores	Interacciones confundidas
3	4	B1=123	123
	2	B1=12, B2=13	12,13,23
4	8	B1=1234	1234
	4	B1=124, B2=134	124, 134, 23
	2	B1=12, B2=23, B3=34	12, 23,34,13,1234,24,14
5	16	B1=12345	12345
	8	B1=123, B2=345	123,345,1245
	4	B1=125, B2=235, B3=345	125,235,345,13,1234,24,145
	2	B1=12, B2=13, B3=34, B4=45	Todas las interac. 2.º y 4.º orden
6	32	B1=123456	123456
	16	B1=1236, B2=3456	1236,3456,1245
	8	B1=135, B2=1256, B3=1234	135,1256,1234, 236, 245, 3456, 146
	4	B1=126, B2=136, B3=346, B4=456	126,136,346,456,23,1234,1245, 14,1345,35,246,23456,12356,25,156
	2	B1=12, B2=23, B3=34, B4=45, B5=56	Todas las interac. de 2.º, 4.º y 5.º orden
7	64	B1=1234567	1234567
	32	B1=12367, B2=34567	12367,34567,1245
	16	B1=123, B2=456, B3=167	123,456,167,123456,2367,1457,23457
	8	B1=1234, B2=567, B3=345, B4=147	1234,567,345,147,1234567,125,237, 3467,1456,1357,1267,2356,2457,136,246
	4	B1=127, B2=237, B3=347, B4=457, B5=567	127,237,347,457,567,13,1234,1245,1256, 24,2345,2356,3456,35,1234567,46,147, 13457,13567,12467,12357,257,24567, 23467,367,15,1456,1346,1236,26,167
	2	B1=12, B2=23, B3=34, B4=45, B5=56, B6=67	Todas las interac. 2.º, 4.º y 6.º orden.

Tabla 6.8. División en bloques de diseños factoriales 2^k
Tamaño del bloque= $2^{k/2}$, $2^{k/4}$, … hasta 2, con k = n.º de factores

Copyright Ediciones Deusto S.L.

de tamaño dos; como puede apreciarse en la tabla 6.8., un diseño de 2^3 con tamaño de bloque 2, dará lugar a que en cada réplica confundamos tres efectos o interacciones; entonces podemos conseguir para los efectos principales cuatro estimaciones de las cuales tres serán sin confusión; para las interacciones de segundo orden tendremos cuatro estimaciones de las cuales dos no tendrán confusión, y para la interacción de tercer orden, de las cuatro estimaciones únicamente una será sin confusión.

La utilización de réplicas nos asegura una mayor precisión en las estimaciones de los efectos, pero en contra requiere de un mayor número de experimentos elementales; por tanto, el experimentador o el equipo deberá adoptar un compromiso entre precisión y economía de coste y tiempo.

Diseños factoriales fraccionales

El número de experimentos elementales que requiere un diseño factorial completo 2^k aumenta geométricamente al aumentar el número de factores k. Generalmente, cuando k es grande podemos obtener la información deseada a partir de una fracción del diseño factorial completo.

Supongamos que tenemos un factorial 2^7, por lo que necesitamos realizar un total de 128 experimentos, y si queremos mayor precisión en las estimaciones deberíamos hacer réplicas, con lo cual el número de experimentos simples aumentaría considerablemente. Para un diseño como este, estimaríamos 128 datos, la media, más 127 efectos:

Generalmente, la importancia de los efectos principales tiende a ser mayor que el de las interacciones de segundo orden, y éstas a su vez que las de tercer orden, y así sucesivamente.

Al aumentar el número de los factores, la probabilidad de que alguno de ellos no sea significativo aumenta.

A menudo, la insignificancia de las interacciones de mayor orden es proporcional al aumento del número de variables.

Todas estas ideas las podemos conjuntar diciendo que existe cierta redundancia en los diseños factoriales completos, sobre todo al aumentar el número de factores. En estas condiciones podemos cometer el riesgo de confundir interacciones de orden más elevado con otras de orden bajo o con los efectos propios principales, lo que supondría reducir el número de experiencias a realizar; en esto se basan precisamente los diseños factoriales fraccionales.

Media	Efect. Principales	Interac. 2º	3º	4º	5º	6º	7º ord.
1	7	21	35	35	21	7	1

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Veamos con un ejemplo cómo podríamos reducir a la mitad el número de experiencias a realizar. Partiremos de un diseño factorial 2^5, lo que supondría 32 experimentos elementales si realizamos un diseño completo, pero sólo vamos a realizar 16; el problema es escoger aquellas 16 experiencias que nos proporcionen la mayor información.

Para ello se debe cumplir que para cada factor se realice el mismo número de ensayos a nivel alto como a nivel bajo, lo cual se cumple cuando cada columna del diseño fraccionado tiene el mismo número de asignaciones a cada nivel.

Para la realización de una forma sistemática, escogemos el número de experiencias que queremos realizar, en nuestro ejemplo 16, para las cuales elegimos un diseño factorial completo que conste del total de ensayos, es decir 2^4, y añadimos un quinto factor, cuya columna debe cumplir con la regla antes citada.

Ahora el problema está en cómo generamos este quinto factor. Generalmente, cuando sólo hay un factor más se escoge como generador aquel que se confunda con la interacción de mayor orden, como hacíamos en el bloqueo de diseños factoriales completos. Procediendo así confundiremos el quinto efecto con la interacción de orden más alto que sea posible, que muy problablemente no será otra cosa que ruido.

Volviendo al ejemplo, tenemos un diseño de cinco factores con el que operaremos como si fueran cuatro y denominaremos como 2^{5-1}; como elemento generador del quinto factor será 5 = 1234 (tabla 6.9.). Además de tener igual número de niveles inferior y superior, lo estamos confudiendo únicamente con la interacción de mayor orden tal como nos hemos propuesto.

Si el número de factores a añadir es mayor, hemos de seleccionar los generadores de estos nuevos factores con sumo cuidado, teniendo siempre en cuenta las posibles confusiones que provocan. Al conjunto de los efectos confundidos se le conoce como *alias*.

Al trabajar con diseños de factoriales fraccionados es importante ser capaz de obtener el patrón de confusión para cualquier diseño. Para ello hemos de tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Una columna producto se obtiene al multiplicar los distintos elementos de las columnas que componen ese producto.
2. La multiplicación de los elementos de cualquier columna por sí misma da otra columna de «signos +» como ha sido expuesto anteriormente, que se designa por la letra I.
3. La columna I es el elemento neutro del producto

Volviendo al ejemplo teníamos **5**=*1234*, por tanto **I**=5x5=1234 x5=*12345*. A esta relación se la denomina relación de definición del diseño.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

N.º ensayo	FACTORES 1	2	3	4	5	Respuesta 1	2	3	4
1	-	-	-	-	+	y1			
2	+	-	-	-	-	y2			
3	-	+	-	-	-	y3			
4	+	+	-	-	+	y4			
5	-	-	+	-	-	y5			
6	+	-	+	-	+	y6			
7	-	+	+	-	+	y7			
8	+	+	+	-	-	y8			
9	-	-	-	+	-	.			
10	+	-	+	-	+	.			
11	-	+	-	+	+	.			
12	+	+	-	+	-				
13	-	-	+	+	+				
14	+	-	+	+	-				
15	-	+	+	+	-				
16	+	+	+	+	+	y16			

Tabla 6.9. Diseño factorial fraccionado 2^{5-1}, con 5 =1234
Como puede apreciarse, 5 y la interacción 1234 comparten la misma columna y se confunden

4. Al cambiar el signo a los generadores obtendremos la fracción complementaria. En nuestro ejemplo sería **5= –***1234*, y obtendríamos las otras 16 combinaciones que no utilizamos en nuestro caso; a esta nueva matriz se la conoce como matriz complementaria. En la práctica se puede utilizar indistintamente cualquiera de las medias fracciones.
5. Cada familia agrupada de factores confundidos, alias para nosotros, son distintas identidades que representan un efecto.

En el caso que estamos utilizando tenemos una relación de definición **I**=*12345*; veamos ahora qué estructura alias proporciona dicha relación:

1 = 1 I	=	1	12345 = I2345 = 2345
2 = 2 I	=	2	12345 = 1I345 = 1345
3 = 3 I	=	3	12345 = 12I45 = 1245
4 = 4 I	=	4	12345 = 123I5 = 1235
5 = 5 I	=	5	12345 = 1234I = 1234

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Igualmente:

$$12 = 12\ I = 12\ 12345 = 1122345 = II345 = 345$$

Procediendo igual con los posibles pares de valores, luego con grupos de tres de ellos y finalmente con grupos de cuatro, podemos obtener el resto de la estructura alias asociada a la relación I = 12345:

12 = 345	123 = 45	1234 = 5
13 = 245	124 = 35	1235 = 4
14 = 235	125 = 34	1245 = 3
15 = 234	134 = 25	1345 = 2
23 = 145	135 = 24	2345 = 1
24 = 135	145 = 23	12345 = I
25 = 134	234 = 15	
34 = 125	235 = 14	
35 = 124	245 = 13	
45 = 123	345 = 12	

Observamos que los efectos principales están confundidos con interacciones de cuarto orden, mientras que las interacciones de segundo orden se confunden con las de tercer orden.

Este diseño 2^{5-1} con $\boldsymbol{I}$ = 12345, se dice que tiene una resolución *V*, pues los efectos principales se confunden con interacciones de cuarto orden (1.º+4.º = 5.º o V en cifras romanas), y las interacciones de segundo orden con las de tercero (2.º+3.º = V).

En general, un diseño de resolución *R* es aquel en que ningún efecto de *p* factores está confundido con ningún otro efecto que contenga menos de *R* - *p* factores, por lo que, nos proporciona el grado de confusión de un diseño factorial fraccionado. La resolución de un diseño se denota pues por el número romano correspondiente, el cual se situa como un subíndice; así nos referimos al diseño de nuestro caso como 2_V^{5-1}.

Una resolución de orden II significaría que estamos confundiendo los efectos principales entre ellos mismos, lo que carecería de sentido a menos que tuviéramos un caso en que el número de factores fuera mayor que el de experimentos realizados.

Un diseño de resolución III implica que existe confusión entre los efectos principales y las interacciones de segundo orden; a esta resolución se la considera baja. La ventaja de su uso es que permite manejar una gran cantidad de factores con pocos ensayos, garantizándonos que no existirá confusión entre los efectos principales, lo que resulta una resolución económica. El problema está en que hay muchos experimentos en que las interacciones de orden dos son significativas.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Su uso es utilizado a veces como una primera aproximación al problema y para descartar factores que puedan no ser relevantes para nuestro experimento.

La resolución IV evita la confusión de los efectos principales consigo mismo y con las interacciones de segundo orden, se pude afirmar que es una solución de compromiso entre una económica y otra de alta resolución, por lo que es bastante recomendable.

Finalmente, la resolución *V* y cualquier otra de grado superior se consideran de alta resolución. Es bastante común considerar que las interacciones de tercer grado y superiores tienen poca o muy poca probabilidad de ser significativas, por lo que la confusión entre ellas no nos va a restringir demasiado; de ahí que se consideren estos diseños como de resolución alta. Estas resoluciones se suelen adoptar cuando los ensayos son relativamente económicos, o bien cuando existan varias interacciones de dos factores que se encuentren confundidas.

La resolución total sería aquella que no tendría ningún tipo de confusión, en cuyo caso nos volvemos a encontrar con diseños factoriales completos.

En general denotaremos un diseño factorial fraccionado mediante:

$\mathbf{2_R^{k-p}}$ donde:

k: es el número de factores.
p: número de generadores.
R: resolución del diseño en cifras romanas.

Existen múltiples elecciones de diseños factoriales fraccionados, por lo cual a veces resulta dificultoso elegir el más apropiado para enfocar nuestro problema, pues depende del número de factores, de la resolución del diseño, de los generadores, y sobre todo del número de experimentos a realizar. Para facilitar estas elecciones se adjunta una serie de tablas donde vienen recogidos estos datos (véanse tablas 6.10. y 6.11. en base al número de factores y de experimentos).

En dicha tabla aparecen las denotaciones de los diseños factoriales fraccionados tal y como los hemos definido.

Además aparecen las interacciones de máximo nivel que se confundirán con los factores no operativos. Así por ejemplo en la tabla, para 3 factores y 4 experimentos, el diseño factorial fraccionado es: 2_{III}^{3-1}. Existen pues, 3 – 1 = 2 factores operativos y el tercero será el 3 que tendrá su columna de signos confundida con la interacción 12, lo que hemos denotado como: +/– 3 = 12.

La tabla también incluye, cuando ha lugar, el número de veces que resulta necesario replicar los experimentos.

En los diseños factoriales 2^k frecuentemente existe redundancia en las estimación. Muchas de las interacciones de orden superior pueden ser despreciables y algunos de los factores pueden carecer de efectos apreciables. La utilización de factoriales fraccionados puede entonces reducir el esfuerzo experimental con unos resultados muy buenos.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Factores / Experimentos	3	4	5	6
4	2^{3-1}_{III} +/- 3=12			
8	2^3	2^{4-1}_{IV} +/- 4=123	2^{5-2}_{III} +/- 4=12 +/- 5=13	2^{6-2}_{IV} +/- 4=12 +/- 5=13 +/- 6=23
16	2^3 2 veces	2^4	2^{5-1}_{V} +/- 5=1234	2^{6-2}_{IV} +/- 5=123 +/- 6=234
32	2^3 4 veces	2^4 2 veces	2^5	2^{6-1}_{VI} +/- 6=12345
64	2^3 8 veces	2^4 4 veces	2^5 2 veces	2^6
128	2^3 16 veces	2^4 8 veces	2^5 4 veces	2^6 2 veces

Tabla 6.10.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Factores / Experimentos	7	8	9	10
8	2^{7-4}_{III} +/- 4=12 +/- 5=13 +/- 6=13 +/- 7=123			
16	2^{7-3}_{IV} +/- 5=123 +/- 6=234 +/- 7=134	2^{8-4}_{IV} +/- 5=234 +/- 6=134 +/- 7=123 +/- 8=124	2^{9-5}_{III} +/- 5=123 +/- 6=234 +/- 7=134 +/- 8=124 +/- 9=1234	2^{10-6}_{III} +/- 5=123 +/- 6=234 +/- 7=134 +/- 8=124 +/- 9=1234 +/- 10=12
32	2^{7-2}_{IV} +/- 6=1234 +/- 7=1245	2^{8-3}_{IV} +/- 6=123 +/- 7=124 +/- 8=2345	2^{9-4}_{IV} +/- 6=2345 +/- 7=1345 +/- 8=1245 +/- 9=1235	2^{10-5}_{IV} +/- 6=1234 +/- 7=1235 +/- 8=1245 +/- 9=1345 +/- 10=2345
64	2^{7-1}_{VII} +/- 7=123456	2^{8-2}_{V} +/- 7=1234 +/- 8=1256	2^{9-3}_{IV} +/- 7=1234 +/- 8=1356 +/- 9=3456	2^{10-4}_{IV} +/- 7=2346 +/- 8=1346 +/- 9=1245 +/-10=1235
128	2^{7}	2^{8-1}_{VIII} +/- 8=1234567	2^{9-2}_{VI} +/- 8=13467 +/- 9=23567	2^{10-3}_{V} +/- 8=1237 +/- 9=2345 +/- 10=1346

Tabla 6.11.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En general, el aumento del grado de fraccionamiento reduce la resolución y aumenta la confusión entre los distintos efectos, por lo que es necesario adoptar un grado de compromiso a la hora de escoger los diseños factoriales fraccionales adecuados.

Diseños factoriales fraccionados saturados

Los diseños fraccionales saturados cumplen las siguientes propiedades:

1. $2^{k-p} = k + 1$ donde:
   k es el número de factores
   p es el número de elementos generadores

2. Sus matrices contienen tantas columnas como factores, por lo que el número de ensayos es igual al número de factores más uno, puesto que el número de ensayos es 2^{k-p} y el número de factores es de k, dándose $2^{k-p} = k + 1$. Ello supone además que si existen tantas columnas como factores, todas las interacciones de cualquier orden se confundirán con algún factor.

3. Puede demostrarse que todos los diseños fraccionados saturados son de resolución III, es decir los efectos principales están confundidos con las interacciones de orden dos.

Un caso de diseño factorial fraccionado saturado, sería, notación 2_{III}^{7-4} con $2^3 = 8$ experimentos y 7 factores. Su matriz sería la siguiente:

				INTERACCIONES/FACTORES			
	FACTOR			12	13	23	123
EXP.	1	2	3	4	5	6	7
1	–	–	–	+	+	+	–
2	+	–	–	–	–	+	+
3	–	+	–	–	+	–	+
4	+	+	–	+	–	–	–
5	–	–	+	+	–	–	+
6	+	–	+	–	+	–	–
7	–	+	+	–	–	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+

Puede apreciarse que hay 3 factores operativos y los demás coinciden con interacciones.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La funcionalidad de estos diseños factoriales fraccionados saturados está en que si se admite que todas las interacciones son despreciables, estos diseños permiten estimar sin desviaciones todos los efectos principales.

Constituyen la base de las matrices ortogonales de Taguchi, que como veremos, han revolucionado el DEE.

Métodos de Taguchi

Un enfoque alternativo a la metodología tradicional ha sido el aportado por el doctor Genichi Taguchi. Este enfoque se basa en tratar de conseguir que el producto o proceso tenga suficiente «*robustez*», es decir, llegar a obtener la suficiente insensibilidad frente a las causas que provocan variabilidad y, por tanto, ruido. Esto lo consigue mediante una filosofía particular: que el «*ruido*» no afecte en aquello que realmente interesa, suprimiendo el impacto de las causas.

Un aspecto que caracteriza su método es que *se centra en los efectos principales, en detrimento de las interacciones*, que las considera como si fuera ruido. No obstante, para aquellos sectores más tradicionales ofrece alguna posibilidad que permita tenerlas en cuenta.

Los métodos de Taguchi se basan en el empleo de la «*función de pérdida*» y en la utilización de matrices ortogonales para llevar a cabo el diseño de experimentos, así como en el posterior diagnóstico mediante el «*análisis regular*» o «*análisis de las medias*».[1]

Una característica de los métodos de Taguchi es que el análisis dará como resultado dos tipos de combinaciones óptimas:

- *Combinación óptima técnica*: la que ofrece mejores resultados desde el punto de vista técnico.
- *Combinación óptima económica*: aquella que, asumiendo una pequeña pérdida o merma en los resultados, origina menor coste económico que la técnica.

Entre ambas combinaciones se elige la que sea más conveniente, después de sopesar los diversos intereses u objetivos.

Función de pérdida

El doctor Taguchi tiene su propia definición de lo que dede entenderse por calidad: *«La calidad de un producto es la mínima pérdida financiera impartida a la sociedad desde el momento en que se embarca.»* La pérdida descrita en la definición an-

1. Conocido también bajo las siglas de ANOM.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

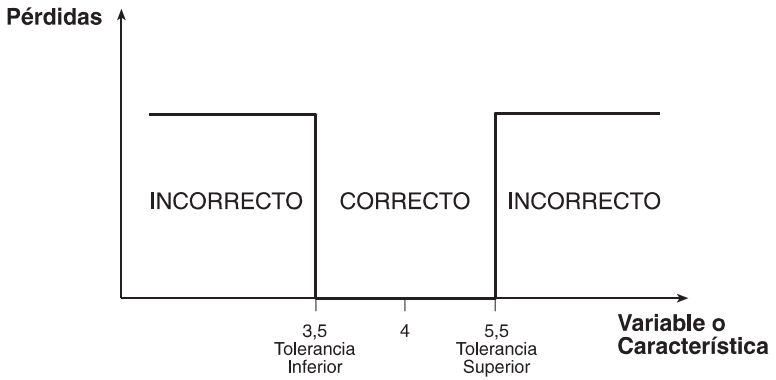


Figura 6.10.

terior, que se cuantifica en términos económicos, se entiende como la desviación de las características funcionales con respecto a un valor objetivo, y cuanto menor sea mayor será la calidad. El objetivo a perseguir es la *«uniformidad alrededor del valor objetivo».*

Uno de los motivos que llevó a Taguchi a desarrollar la función de pérdida fue su desacuerdo con el enfoque tradicional de uso de tolerancias, que determina cuándo una determinada característica o variable no cumple las especificaciones. A juicio de Taguchi, este enfoque tradicional tiene una paradoja, como se puede apreciar en la figura 6.10.: se consideran diferentes valores tan cercanos como 3,6 y 3,4, correcto e incorrecto respectivamente por el hecho de que el límite de tolerancia sea 3,5, y sin embargo, se equiparan valores tan lejanos como 3,6 y 5,4, ambos correctos. La clave está en que dos características que verifiquen las especificaciones pueden estar originando una diferente pérdida a la sociedad, es decir su función de pérdida puede ser distinta.

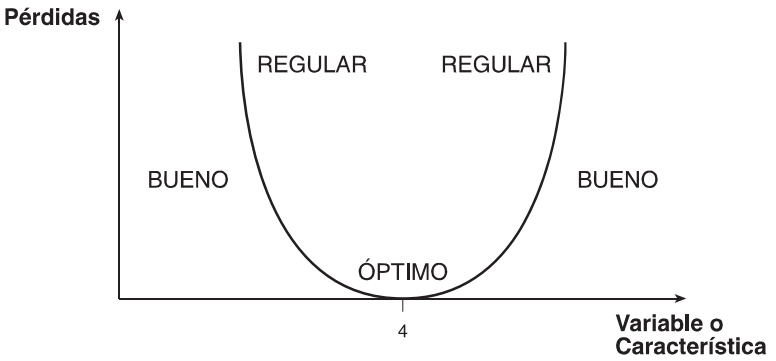


Figura 6.11.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Por tal motivo, Taguchi huye de las tolerancias o límites de las especificaciones y utiliza la función de pérdida, que constituye una característica de pérdida más progresiva y menos brusca, y que evalúa la pérdida ocasionada a la sociedad causada por las desviaciones que presentan la característica o variable del producto respecto a los valores objetivos. Para el caso anterior, en el que existe un valor nominal en torno al cuatro, la función de pérdida que propone se visualiza gráficamente en la figura 6.11.

Lo importante no es que la característica se encuentre entre las tolerancias como en el caso tradicional, sino estar lo más cerca posible del óptimo.

Desde el punto de vista matemático, la función de pérdida es distinta dependiendo del tipo de característica que sea sometida a estudio. Se pueden distinguir tres tipos de características:

1. **Nominal es mejor:** Existe un valor objetivo óptimo o nominal. La característica se devalúa a medida que se aleja de él, tanto por encima como por debajo. Un ejemplo puede ser una frecuencia determinada para un emisor de radio.
2. **Menor es mejor**: Cuanto menor sea la característica, mejor. Por ejemplo, el desgaste.
3. **Mayor es mejor:** Cuanto mayor sea la característica, mejor. Por ejemplo, el rendimiento.

La función de pérdida es proporcional a la desviación cuadrática media MSD[2] respecto al valor óptimo:

$$L = k \cdot MSD$$

donde k: Constante de proporcionalidad

2. Siglas en inglés de *Mean Square Desviation*.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

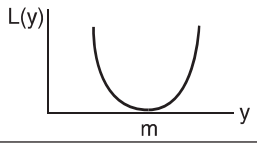
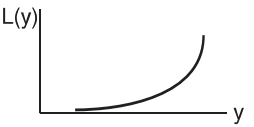
	Nominal es mejor	**Menor es mejor**	**Mayor es mejor**
Función			
1 Resultado	$L \mid k(m-y)^2$	$L \mid ky^2$	$L \mid \frac{k}{y^2}$
n Resultados	$L \mid k\left[S^2 + (\bar{y}_n - m)^2\right]$	$L \mid k\left(\bar{y}_n^2 + S^2\right)$	$L \mid \frac{k}{\bar{y}_n^2}\left(1 + \frac{3S^2}{\bar{y}_n^2}\right)$

Figura 6.12.

La función depende o varía según el tipo de característica de calidad. En la figura 6.12. se establecen las diferentes funciones de pérdida *L(y)* en función del tipo de característica que se considera, donde S^2 es la dispersión o varianza, $\bar{y}_n$ la media de los *n* resultados o repeticiones de un mismo ensayo, y *m* el valor central óptimo.

Para poder estudiar la variación se pueden efectuar repeticiones de los mismos ensayos, lo que permitirá calcular la varianza de los valores. Si no se realizan repeticiones no se podrá evaluar el efecto del ruido.

Matrices ortogonales

Este tipo de matrices empleadas por Taguchi, fueron desarrolladas por el matemático francés Jaques Hadamard. Las matrices ortogonales básicamente son diseños fraccionales saturados que, como ya se vio, tienen resolución tres.

En las matrices ortogonales se utilizan todas las columnas como factores clave del diseño. No obstante, existe la posibilidad de estudiar las interacciones de segundo orden mediante una serie de «tablas triangulares de interacciones» y los denominados «gráficos lineales», que indican en qué columna se deben colocar las interacciones que se consideren. Esta es la única concesión que se ofrece a aquellos que desean estudiar alguna interacción, ya que generalmente el método las considera como ruido. Por este motivo se suele realizar un experimento adicional para confirmar los resultados y cerciorarse de que la exclusión de las interacciones no provoque errores.

Estas matrices se encuentran tabuladas junto a las tablas triangulares de interacciones y algunos gráficos lineales de carácter estándar. Existe una nomenclatura específica que se emplea para definir un diseño:

Copyright Ediciones Deusto S.L.

$$L\ (M^Y)$$

Con:
- *X:* n.º de ensayos o experiencias.
- *Y:* n.º de factores.
- *M:* n.º de niveles diferentes por factor.

Cabe la posibilidad de realizar diseños mixtos, en los que unos factores abarquen un número de niveles determinado, diferente del resto. Para ello habrá que definir cuántos niveles y el número de factores que toman dichos niveles. Por ejemplo, el diseño de *Y* factores con *M* niveles y *Z* factores con *N* niveles se definiría:

$$L\ (M^Y \cdot N^z)$$

Con:
- *X:* n.º de ensayos o experiencias.
- *Y,Z:* n.º de factores.
- *M,N:* n.º de niveles diferentes por factor.

De esta forma, $L_8\ (2^7)$ será un diseño de siete factores con dos niveles por factor y en el que se realizan ocho ensayos. Este diseño equivale, en la terminología de Box, a un diseño factorial fraccionado 2^{7-4}. Si se busca en las tablas este diseño se obtiene la matriz ortogonal de la tabla 6.12. que se muestra a continuación; en la que hemos indicado los niveles de los factores con las notaciones 1 y 2 en lugar de + y –, como ya dijimos que podía hacerse, pues nos resultará más cómodo para el desarrollo de los métodos de Taguchi:

Ensayos	**Factores**						
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tabla 6.12.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Es frecuente utilizar la primera columna de la matriz ortogonal para aquel factor que cueste más cambiar de nivel, ya que sólo comporta un cambio. Con el resto de factores se realiza de forma similar el proceso con las sucesivas columnas, en las que aumenta el número de cambios. También aparecen, junto con la matriz ortogonal, la tabla triangular de interacciones y algunos gráficos lineales estándar[3] (figura 6.13.).

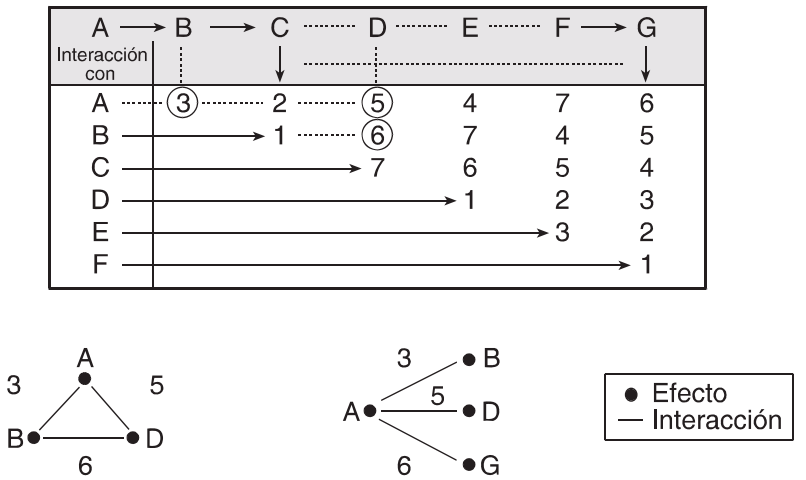


Figura 6.13.

La tabla de interacciones considera sólo las de segundo orden, estableciendo dichas interacciones entre uno de los factores de la línea superior y uno de los que encabezan las líneas horizontales, los cuales se encuentran (con la horizontal y vertical correspondientes) en un número, el cual indica la columna en la que se debe colocar la interacción. Por ejemplo, una interacción entre los factores BC se debe colocar en la columna 1. En base a esta tabla, los gráficos lineales estándar establecen de una forma gráfica y organizada el número de efectos e interacciones y su lugar en las columnas de la matriz. De esta forma, el primer gráfico lineal de la figura 6.13. establece tres factores: A, B y D, y tres interacciones: AB en la columna 3, BD en la columna 6 y AD en la columna 5 en la tabla están indicados los números con un círculo y unas líneas de puntos nos indican qué factores no reaccionan.

Estos gráficos lineales se pueden transformar a medida. Por ejemplo, si en el caso anterior sólo se quieren considerar las interacciones AB y BD, la columna 5 se reutilizará para otro factor, como se aprecia en la figura 6.14.

3. Sólo aparecen algunos de todos los posibles gráficos lineales que se pueden elaborar con la tabla de interacciones. Se pueden crear múltiples gráficos lineales nuevos mediante la tabla triangular de interacciones.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

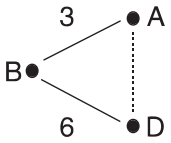


Figura 6.14.

Grados de libertad

Aportan una idea sobre el número de acciones para determinar datos que hay que realizar para conocer un conjunto entero. Por ejemplo, para ordenar dos bolas por su peso habrá que realizar una medición con una balanza con una bola en cada platillo: un grado de libertad. En cambio, si queremos ordenar tres bolas diferentes será necesario realizar, como mínimo, dos medidas, la bola 1 con la 2 y esta con la 3, de manera que tendremos dos grados de libertad.

Veamos cómo se calculan los grados de libertad de efectos e interacciones:

- *Grados de libertad de un factor*: los grados de libertad de un factor con *N* niveles serán *N*–1. Por ejemplo, un factor con cuatro niveles tiene tres grados de libertad.
- *Grados de libertad de las interacciones*: se obtienen multiplicando los grados de libertad de los factores que forman dicha interacción. Por ejemplo una interacción de dos factores, uno con tres niveles y el otro con cuatro niveles será: (3–1) Δ (4–3) = 6 grados de libertad.

El grado de libertad de un diseño completo será la suma de los grados de libertad de los diferentes factores e interacciones que lo constituyen. Para las matrices ortogonales el cálculo es aún más sencillo: se toma el número total de experiencias menos una, ya que en efecto si los factores tienen dos niveles, tendrán un grado de libertad cada uno; como además, todas las columnas son ocupadas por factores, el número de grados de libertad será el de factores, que como se sabe, en las matrices ortogonales, es el número de experimentos menos uno.

Flujograma del proceso de asignación

Se puede establecer un diagrama de flujo del proceso de actividades para la asignación de columnas de la matriz ortogonal, como se describe en la figura 6.15.

Como ya se ha comentado, normalmente las interacciones se consideran ruido, por lo que sólo se tienen en cuenta los factores. La asignación será inmediata.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Pero cuando se quiere considerar alguna interacción de segundo orden hay que repartir el número de columnas de la matriz ortogonal entre los factores e interacciones que se quieren estudiar, con la ayuda del gráfico lineal correspondiente y de la tabla triangular de interacciones.

Una situación que puede darse es que no se encuentre una matriz ortogonal con el número de factores exacto que necesita el diseño. En este caso se tomará una matriz con un número mayor de columnas, pudiendo utilizar las columnas sobrantes para incluir alguna otra interacción significativa.

Análisis regular

Denominado también «análisis de las medias» o ANOM. Como indica su nombre, estudia principalmente las medias y no la variabilidad de los resultados.

Tiene como objetivo la selección de dos combinaciones: una técnica denominada *campeón de papel* y otra económica llamada *campeón económico*, con menor coste que la anterior, aunque ligeramente menos efectiva. Dependiendo de los objetivos a cumplir se elegirá una u otra.

Análisis regular sin interacciones

Una vez llevadas a cabo las experiencias o ensayos adecuados, se elabora la «tabla de respuestas». Con esta tabla se estudian las medias de los resultados. La técnica consiste en tomar un factor, hacer un promedio de los resultados correspondientes al nivel superior y otro de los correspondientes al nivel inferior. Si hubiese más de dos niveles se realizarían otros tantos promedios. Este proceso se realiza para cada factor,[4] elaborando con los datos calculados una tabla con los factores en columnas y los niveles en filas (si hay dos niveles habrán dos filas, disponiendo en la tabla las medias calculadas en cada caso).

A partir de dicha tabla de medias se realizan los «gráficos factoriales», que consisten en la representación cartesiana de las medias calculadas en función de los niveles, dando como resultado una serie de segmentos de recta que unen los valores de las medias que tendrán diferentes pendientes que determinan la relevancia de cada factor (a más pendiente, mayor relevancia). En base al tipo de característica que se estudie[5] y del signo y pendiente de las rectas, se establecerán los niveles óptimos para cada uno de los factores de forma que el nivel óptimo será el situado en el punto más elevado de la recta, que corresponderá a un nivel u otro del factor, según el signo de la pendiente de di-

4. En este análisis no se consideran las interacciones.

5. «Mayor es mejor», «menor es mejor», o «nominal es mejor».

Copyright Ediciones Deusto S.L.

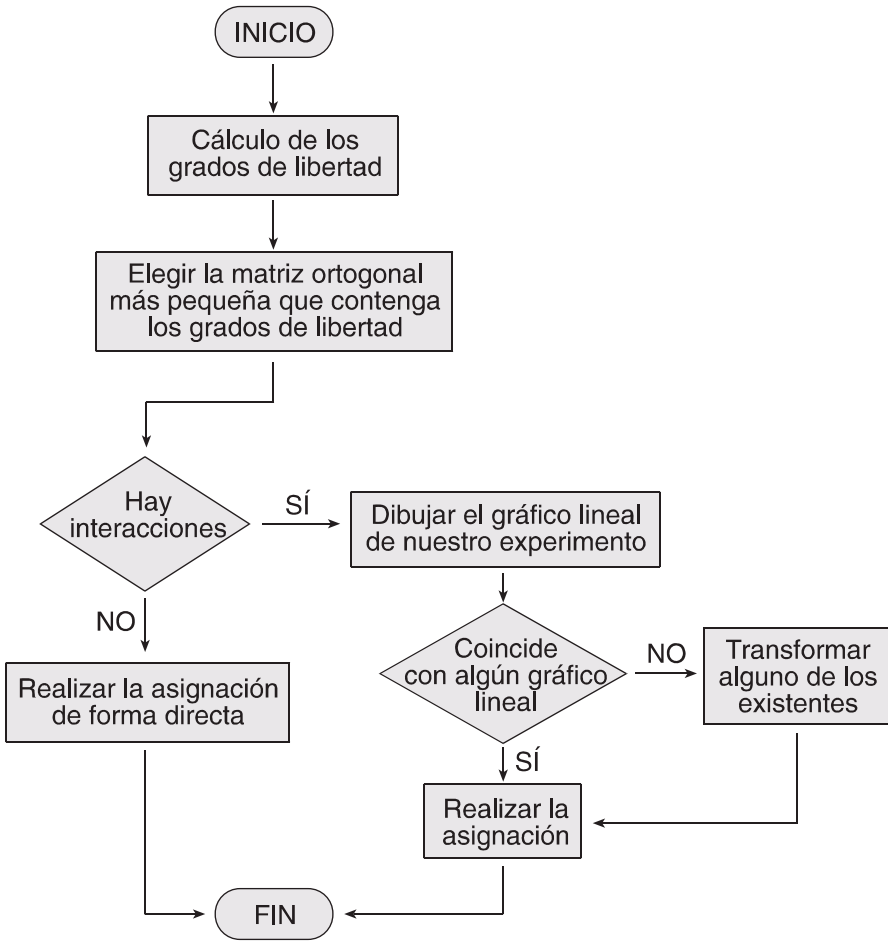


Figura 6.15.

cha recta. Se seleccionan dos combinaciones posibles de niveles, como ya hemos mencionado: *el campeón del papel*, formada por los mejores niveles de cada factor, y *el campeón económico*, en el que se toman los mejores niveles de los factores más relevantes, es decir los que manifiestan una variación (pendiente) más acusada en la media y los niveles más económicos de los factores menos relevantes.

Es posible que la combinación seleccionada no haya sido ensayada.[6] En este caso conviene realizar finalmente un experimento confirmatorio de aquellas

6. Porque la combinación o ensayo seleccionada no coincida con ninguna de las que establece la matriz ortogonal.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

combinaciones seleccionadas que no hayan sido ensayadas, para comprobar que se logran los mejores resultados. Si en dicho experimento confirmatorio se descubre que los resultados no son los que cabría esperar, es que algo no es correcto y se habrá de hacer una revisión total del diseño: revisar los cálculos, ver si falta algún factor importante si los niveles son los adecuados, etcétera.

Para ilustrar la metodología que acabamos de exponer, supongamos un diseño con matriz ortogonal $L_4(2^3)$. Se calcula el análisis regular de un característica «mayor es mejor». En la tabla 6.13. se muestra la matriz ortogonal con los resultados de los diferentes ensayos:

Ensayo	**Factores**			**Resultados**
	A	**B**	**C**	
1	1	1	1	$R_1 = 30$
2	1	2	1	$R_2 = 32$
3	2	1	2	$R_3 = 41$
4	2	2	1	$R_4 = 45$

Tabla 6.13.

Efectuando los cálculos necesarios con las respuestas anteriores, puede obtenerse la tabla de medias (tabla 6.14.):

	Factores		
	A	**B**	**C**
Nivel 1	31	35,5	37,5
Nivel 2	43	38,5	36,5

Tabla 6.14.

Por ejemplo, para el factor A los cálculos son los siguientes:

Nivel 1: (30 + 32) / 2 = 31
Nivel 2: (41 + 45) / 2 = 43

Los gráficos factoriales resultantes presentan el aspecto de la figura 6.16.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

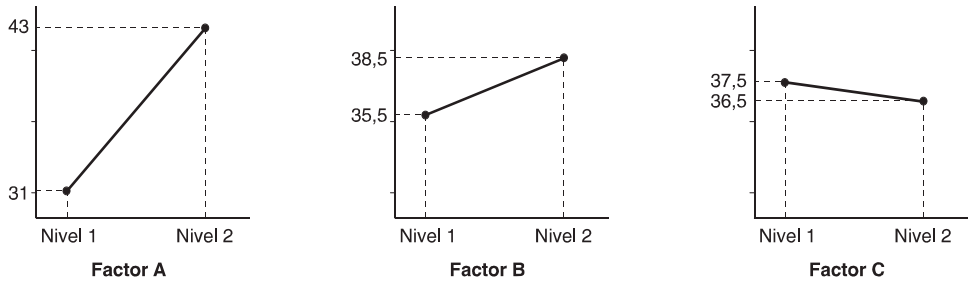


Figura 6.16.

Con toda esta información se pueden seleccionar las combinaciones siguientes:

- *Campeón de papel*: factor A a *nivel 2*, factor B a *nivel 2* y factor C a *nivel 1*. Recordemos que la característica es «mayor es mejor».
- *Campeón económico*: los factores B y sobre todo A, que son los más relevantes por la mayor pendiente, toman los mismos niveles anteriores, ambos a *nivel 2*. Pero el factor C, como tiene una pendiente mínima, no es relevante y toma el nivel más económico que puede coincidir o no con el nivel anterior. Aquí, por ejemplo, se supone que el más económico es el *nivel 2* del factor C.

Se puede apreciar que *el campeón de papel* coincide con el ensayo número 4, pero el campeón económico no se corresponde con ninguno de los ensayos realizados. En este caso, se debería realizar el experimento confirmatorio de la combinación económica, para poder evaluar posteriormente, cuál de los dos ensayos será definitivamente seleccionado.

Puede ocurrir que un factor obtenga igual media en los distintos niveles que toma. Son los denominados «factores inertes» que tienen, consecuentemente, pendiente plana. En estos casos y de forma práctica, se tomará siempre el nivel más económico.

Análisis regular con interacciones de segundo orden

Hay ocasiones en que se ha calculado *el campeón de papel* y se observa con sorpresa que dicha combinación o *setting* no es la que aporta el mejor resultado. Una de las posibles causas de esta situación es la no consideración de alguna interacción importante o significativa.

En aquellos casos en que se intuye o se sabe a ciencia cierta que existe una interacción importante entre algunos factores, es aconsejable incluirlas en el diseño, como ya se vio, mediante las tablas de interacciones y los gráficos lineales.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Hay que recordar que con Taguchi, sólo se pueden considerar interacciones de segundo orden.

El análisis regular sigue siendo idéntico para los factores, realizando la tabla de medias y los gráficos factoriales de manera análoga.

Con las interacciones se realizará una tabla de medias adicional, calculando las medias de los resultados correspondientes a las distintas combinaciones de los dos factores que forman la interacción de segundo orden. Si en el ejemplo de la tabla 6.13. se consideran de la misma forma los factores *A* y *B* y se supone la interacción de ambas AB en la columna tres, en vez del factor *C*, la tabla adicional quedaría tal como puede apreciarse en la tabla 6.15.:

		A	
		nivel 1	***nivel 2***
B	***nivel 1***	30	41
	nivel 2	32	45

Tabla 6.15.

En este caso no ha sido necesario realizar ninguna media, dado que tan sólo existe una combinación que tenga *A* a *nivel 1* y *B* a *nivel 1* y da como resultado *30*, que no deberá promediarse con ningún otro resultado; de la misma forma que ocurre con el resto de combinaciones.

Con esta tabla adicional se realizará una gráfica factorial con dos rectas (figura 6.17.) para evaluar la relevancia de dicha interacción. Cuanto mayor sea la diferencia entre las dos pendientes, mayor será el valor de la interacción. Esta gráfica factorial, junto con el resto de las gráficas correspondientes a los factores, se empleará para seleccionar las posibles combinaciones óptimas, de forma análoga a como se ha realizado anteriormente.

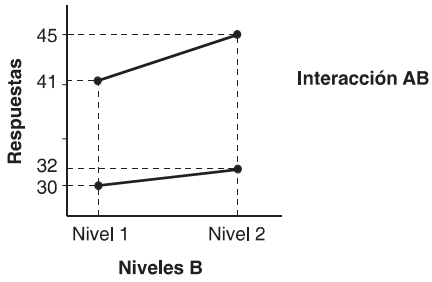


Figura 6.17.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En este caso, la interacción no es demasiado relevante:

En base a la diferencia de pendientes: AB = (45 – 32) – (41 – 30) = 2
También puede calcularse como: AB = (45 + 30) – 41 + 32) = 2

Diseño de Parámetros

El Diseño de Parámetros, como indica su nombre, trata de averiguar los parámetros con los que un determinado proceso, producto o servicio es más robusto o insensible al ruido, más funcional, y adquiere un grado importante de rendimiento.

A diferencia de los diseños de experimentos vistos hasta ahora, en el Diseño de Parámetros no sólo se incluyen factores clave con los que se pueden establecer unos niveles determinables y mantenibles, denominados aquí «factores de control», sino que además se incluyen los «factores de ruido», que afectan a las diversas características provocando variación. Los niveles de los factores de ruido tienen la particularidad de que normalmente son difíciles de fijar o mantener. Por tanto, se emplean dos matrices:

1) **Matriz interna:** Contiene los factores de control.
2) **Matriz externa o matriz de ruido:** Contiene los factores de ruido.

Con estas matrices se obtendrá a su vez una matriz de resultados, que combina las diferentes posibilidades. Por ejemplo, si tenemos un diseño de siete factores de control con matriz ortogonal $L_8\ (2^7)$, y tres factores de ruido con matriz ortogonal $L_4\ (2^3)$ la disposición quedará como se indica en la tabla 6.16., que mostramos a continuación:

Factores de Control							Factores de Ruido				Promedio de Resultados	M S D	Relación señal ruido S / N
							X	1	1	2	2			
A	B	C	D	E	F	G	Y	1	2	1	2			
							Z	1	2	2	1			
1	1	1	1	1	1	1		-	-	-	-	-	-	-
1	1	1	2	2	2	2		-	-	-	-	-	-	-
1	2	2	1	1	2	2		-	-	-	-	-	-	-
1	2	2	2	2	1	1		-	-	-	-	-	-	-
2	1	2	1	2	1	2		-	-	-	-	-	-	-
2	1	2	2	1	2	2		-	-	-	-	-	-	-
2	2	1	1	2	2	1		-	-	-	-	-	-	-
2	2	1	2	1	1	2		-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6.16.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

La desviación cuadrática media MSD[7] representará la suma de los cuadrados de las desviaciones de los resultados respecto al valor objetivo (valor que dependerá del tipo de característica de calidad), dividida por el número de resultados, y será una medida de cuánto se apartan éstos y su media, del objetivo.

La otra gran magnitud a controlar junto a la desviación de la media, es la variabilidad que puede medirse por la desviación típica (s) o la varianza (s^2).

Taguchi resuelve la medición de ambas características con un coeficiente que denomina relación señal/ruido,[8] en el que la señal es el valor medio que toma una característica de calidad (medida por su resultado y_i) y el ruido es la variabilidad que manifiesta la misma (que puede medirse por la varianza s^2); el término lo toma del ámbito de la electrónica y telecomunicaciones, y de hecho mide la relación señal/ruido en decibelios, como resulta común en este ámbito.

Conocida la MSD, el cálculo de la función de pérdida se lleva a cabo mediante la fórmula genérica ya vista:

$$L = k \cdot MSD$$

k: constante de proporcionalidad

En la figura 6.18. se puede apreciar, dependiendo del tipo de característica a estudiar, cómo se realizan los cálculos de la desviación cuadrática media y la relación señal/ruido. La *n* es el número de resultados de la matriz para un mismo ensayo.[9] La varianza S^2, que aparece en la mencionada figura 6.18., se calcula de la forma siguiente:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2$$

Donde la variable y_i representa cada uno de los *n* resultados, e $\bar{y}$ constituye el promedio de esos *n* resultados.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i$$

7. MSD o *Mean Square Desviation.*

8. S/N = *Signal / Noise*, calculada en decibelios (dB).

9. Por ejemplo, en la matriz de resultados de la tabla 6.16, se tiene que $n = 4$.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

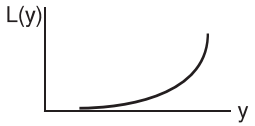
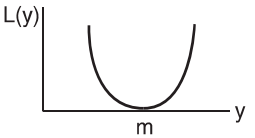
	Función	**Desviación cuadrática media MSD**	**S/N / dB**
Nominal es mejor (m)		$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2$	$410\,log(\text{MSD})$
Menor es mejor		$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left(y_i - 4m\right)^2$ $\mid S^2 \; 2\left(\bar{y} - 4m\right)^2$	$410\,log(\text{MSD})$
Mayor es mejor		$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2}$	$log\left(\frac{m^2}{S^2}\right)$

Figura 6.18.

En la tabla de la figura 6.18. que estamos exponiendo, los criterios para determinar la desviación cuadrática media y la relación señal/ruido han sido los siguientes.:

1) *Desviación cuadrática media (MSD):* Representa en esencia la media de las diferencias entre los n resultados y el valor nominal a alcanzar (m); por tanto la expresión contenida en la línea de la tabla dedicada a características tipo nominal es mejor, tenemos una expresión directa de la MSD tal como la acabamos de definir, con m valor nominal objetivo.
   Para las características *menor es mejor* y *mayor es mejor* la desviación cuadrática media se calcula directamente sobre los resultados y_i dado que no hay nominal m, y el objetivo es acercarse a cero o alejarse de cero, lo más posible. Así, para *menor es mejor*, como el objetivo es 0, la MSD es la misma expresión, que en el caso de nominal es mejor pero con $m = 0$:

$$MSD \mid \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left(y_i - 4m\right)^2 \quad \text{con} \quad m \mid 0 \quad \Downarrow \quad \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2$$

Copyright Ediciones Deusto S.L.

En el caso de *mayor es mejor,* la función cuadrática correspondiente (representada también en la misma figura) responde a la utilización de $1/y_i^2$ en lugar de y_i^2, como por otra parte es correcto puesto ahora y_i debe ser grande en lugar de pequeño. En este caso MSD tiene una expresión, como la del caso anterior, pero con este cambio de función.

2) *Relación señal/ruido (S/N):* También aquí el referente más directo conceptualmente es el tipo nominal es mejor, ya que en efecto, la señal será $\bar{y}$ (media de los resultados); sin embargo, utilizando m (el valor objetivo) tendremos una referencia del valor deseado, y no del real que puede distar de él, para compararlo con el ruido; así pues, la relación entre el nominal y el ruido, será la que utilizaremos para conocer la transcendencia del ruido en relación con la señal, y el valor de esta relación será evidentemente del tipo mayor es mejor en todos los casos.
De este modo, en el caso de características nominal es mejor utilizaremos como base, para obtener la relación señal/ruido, la relación nominal/ruido, pero con las modificaciones que siguen:

   - El nominal se expresará por m^2 y el ruido por la varianza s^2.
   - Se aplicará el logaritmo decimal a la expresión ya que es más útil ante el tipo de escala que necesitan las funciones cuadráticas.
   - Se multiplicará por 10 para expresar la relación en decibelios en lugar de belios.

   Así pues, en el caso nominal es mejor la relación señal/ruido será la de la tabla:

$$log\left(\frac{m^2}{s^2}\right)$$

   aunque según se ha dicho hay la posibilidad de operar con $\bar{y}$ en lugar de con m.
   Finalmente, para los casos de menor es mejor y mayor es mejor, sin un referente nominal como en el caso anterior, la relación señal/ruido S/N es corriente que se elabore a partir de la desviación cuadrática media mediante la expresión: –10 *log* (*MSD*). En efecto, de acuerdo con las funciones de pérdida (curvas incluidas en la figura), la expresión, utilizada para *MSD* será proporcional a la pérdida media (en un caso y en el otro). Evidentemente, como la relación señal/ruido pretende expresar la bondad del resultado y no la pérdida que genera, tomaremos esta misma expresión, pero afectada con el signo menos. En cuanto al 10 y el uso del logaritmo son debidos a los mismos motivos que en el caso nominal es mejor.

Con todos los datos obtenidos se pueden realizar dos tipos de análisis regular: uno para el promedio de resultados, que se realiza de acuerdo con el tipo de ca-

Copyright Ediciones Deusto S.L.

racterística: «mayor», «menor» o «nominal es mejor»; el otro es para la relación señal/ruido o S/N, donde se realiza un análisis regular siempre del tipo «mayor es mejor». Esto se debe como ya se ha comentado, a que interesa una relación señal/ruido lo más grande posible para que los efectos del ruido sean poco relevantes y no interfieran en los resultados. En ambos casos el proceso para el cálculo del análisis regular o ANOM es similar al estudiado en capítulos anteriores.

La utilización de una relación única (señal/ruido) para analizar conjuntamente la media y la variación está menos extendida en el mundo occidental que en el Japón, ya que en occidente es corriente analizar ambas magnitudes por separado.

El Diseño de Parámetros permitirá establecer los diferentes tipos de factores según si afectan a la media o promedio de resultados los relacionados con la señal, es decir, la característica a estudio, o a la desviación típica, los relacionados con la variabilidad o ruido:

Media	Desviación Típica	Observaciones
Sí	Sí	Afectan a la señal y a la variabilidad.
Sí	No	Afectan sólo a la señal. Nos servirán para poder incrementarla. Son factores ajustadores de nivel.
No	Sí	Afectan sólo a la variabilidad o ruido. Para disminuir su efecto se actuará sobre ellos. Se denominan ajustadores de ruido.
No	No	No afectan ni al ruido ni a la señal. Son factores importantes desde el punto de vista económico.

Tabla 6.17.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

Planificacion integrada del diseño para la calidad

Dado que ya han sido expuestas las herramientas a aplicar en la fase de diseño, vamos a tratar de integrarlas en una operativa que muestre cómo llevar a cabo estas fases de planificación y diseño de productos y procesos y qué herramientas utilizar en cada etapa.

El cuadro que adjuntamos a continuación, presenta el esquema general de las acciones a emprender y las técnicas a utilizar en las distintas etapas del diseño, desarrollo, implantación y producción, en base a la calidad. Para cada etapa se definen las acciones a emprender, las magnitudes clave a controlar, así como aquellas actuaciones que permitirán optimizar el resultado (para el diseño, proceso, etc.), junto a las técnicas a utilizar de entre las desarrolladas en la actualidad y que se describen en esta obra. El cuadro se completa con un caso de ejemplo de cada etapa.

Copyright Ediciones Deusto S.L.

PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS Y SUS PROCESOS
Producción (Integrada por QFD) de alta calidad, bajo coste y según requerimientos del mercado

Etapa	Q.F.D. aplicado a:	ACCIÓN A EMPRENDER MAGNITUD A CONTROLAR	CALIDAD A BAJO COSTO EN BASE A REDUCIR AL MÁXIMO LA COMPLEJIDAD Y NECESIDAD DE CONTROLES EN EL PROCESO		TÉCNICAS A UTILIZAR	*Ejemplo práctico:* *SISTEMA DE CONTRAPESO POR RESORTE, CABLE Y POLEA*
			ROBUSTEZ	*TECNOLOGÍA* / *CONTROL MINIMIZADO*		
PLANIFICACIÓN DEL PRODUCTO	PRODUCTO / REQUERIMIENTOS MERCADO	***Acción:*** Diseño del producto en base a los requerimientos del MERCADO. ***Magnitud de control:*** TECNOLOGÍAS de diseño y desarrollo del producto y su ajuste al MERCADO.	DISEÑO ROBUSTO DEL PRODUCTO [Para el funcionamiento sin problemas en condiciones adversas y para ajustarse a las exigencias del mercado].	TECNOLOGÍAS DE DISEÑO Y SUS EXIGENCIAS DOMINADAS directamente o a través de la matriz de CORRELACIONES. Por ROBUSTEZ DISEÑO o por la TECNOLOGÍA del mismo.	Q.F.D. *Con Ingeniería Concurrente con las demás etapas.*	***Requerimientos:*** • Diseñar asegurando el recorrido, la fuerza y su variación con aquél. ***Robustez:*** • Por diseño de mecanismo con resorte de compresión. • Por cable trenzado de alta resistencia. • Polea de diámetro máximo.
DESARROLLO DE COMPONENTES	COMPONENTES / PRODUCTO	***Acción:*** Diseño y desarrollo de componentes en base a los del producto. ***Magnitud de control:*** PARÁMETROS de diseño a definir en los componentes y el producto.	DISEÑO ROBUSTO DE COMPONENTES Y DE SU ENSAMBLAJE [Mismas finalidades].	TECNOLOGÍA DE COMPONENTES con MÍNIMA COMPLEJIDAD Y COSTE [Directamente o a través de las correlaciones]. Seleccionar PARÁMETROS que den lugar a la MÍNIMA VARIABILIDAD posible en características (y con ello puedan minimizarse los costes y el control).	Q.F.D. A.M.F.E. Diseño D.E.E. TAGUCHI *Con Ingeniería Concurrente con las demás etapas.*	***COMPONENTE: Resorte:*** *ROBUSTEZ Y TECNOLOGÍA por:* • Por diseño de producto (anterior): Resorte tipo compresión • Relación de diámetros de espira a hilo, elevada. • Material del resorte tipo «cuerda de piano».
PLANIFICACIÓN DEL PROCESO	PROCESO / COMPONENTES	***Acción:*** Planificación y diseño de procesos productivos de componentes y producto. ***Magnitud de control:*** CARACTERÍSTICAS de producto a controlar y sus TOLERANCIAS.	AJUSTAR TOLERANCIAS AL MÁXIMO ACEPTABLE por el mercado, y definirlas para las CARACTERÍSTICAS MÁS ROBUSTAS a optar.	TECNOLOGÍA DE PROCESOS con la CAPACIDAD PRECISA para las TOLERANCIAS definidas. Previsión de la CAPACIDAD DE PROCESOS con valores LO MÁS ELEVADOS posible.	Q.F.D. A.M.F.E. Proceso *Con Ingeniería Concurrente con las demás etapas.*	***PROCESO: Resorte:*** *ROBUSTEZ Y TECNOLOGÍA por:* • Proceso de fabricación por enrollamiento en frío. • Tratamiento térmico con la composición-tiempo-temperatura del baño, adecuados.
PLANIFICACIÓN-CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN / PROCESO	***Acción:*** Planificación y desarrollo de la producción y control de producción y calidad. ***Magnitud de control:*** Volumen de PRODUCCIÓN y CONTROL DE CALIDAD por VARIABILIDAD y TOLERANCIAS.	Procesos gestionados para ASEGURAR LA CALIDAD Y SU CONTROL A MÍNIMO COSTO para los PARÁMETROS y sus TOLERANCIAS	PROCESOS que ASEGURAN (AUTOMÁTICAMENTE) LA CALIDAD Y SU CONTROL. Efectuar los CONTROLES MÍNIMOS NECESARIOS: tras haber ya implantado: • *Parámetros robustos.* • *Capacidad procesos maximizada.* • *Calidad y su control automatizada.*	Q.F.D. A.M.F.E. Medios S.P.C. JIDOKA POKA-YOKE *Con Ingeniería Concurrente con las demás etapas.*	***CONTROL MINIMIZADO CON CALIDAD ASEGURADA:*** *en el proceso del Resorte:* • *Control mínimo por POKA-YOKE:* Enrollamiento sobre cilindro galgado y taladro pasa-hilo. • *Control mínimo por JIDOKA:* Sistema automático de control de composición-tiempo-temp. baño.

"Reservados todos los derechos. Queda prohibido copiar o guardar en disco, CD/DVD u otros formatos, reenviar por e-mail o por cualquier otro medio, total o parcialmente esta publicación, sin la autorización previa del editor". Copyright Planeta-De Agostini, Profesional y Formación, S.L.