



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“MODELO DE DIRECCIÓN PARA LA APLICACIÓN DE SIX SIGMA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTAN:

**IRMA LIZETH MEJIA BERNAL
SALOMÓN ALVAREZ PARDO**



DIRECTOR: M. EN I. SILVINA HERNÁNDEZ GARCÍA

MEXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**MODELO DE
DIRECCIÓN PARA LA
APLICACIÓN DE SIX
SIGMA**

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis representa la culminación de un esfuerzo compartido y el inicio de una nueva etapa en mi vida. Después de tanto esfuerzo, sobre todo de mis padres, puedo decir que soy Ingeniera Industrial, y poder decirlo, me llena de orgullo, sobretodo porque es un logro muy esperado por mis padres.

Primero que todo, quiero dar gracias a Dios, porque sin su bendición y guía, no hubiera tenido la inteligencia y capacidad para poder terminar mi carrera.

A mis padres, no sólo les dedico este trabajo, sino toda mi vida y mis acciones. No sé de qué manera expresar el gran agradecimiento, respeto, amor y admiración que siento por ellos. Durante toda mi carrera, fueron mi mayor apoyo, mis grandes pilares y sobre todo, mi gran motivación para seguir adelante día con día. En cada etapa de mis estudios y bajo cualquier circunstancia, siempre estuvieron ahí, apoyándome e impulsándome para dar lo mejor de mí como persona en todos los aspectos, y hasta la fecha, lo siguen haciendo.

Gracias por todas sus enseñanzas, por todas sus lecciones, y por todo el amor que me han dado, pero sobretodo por todos sus regaños, ya que gracias a ellos he ido formando mi carácter y personalidad que hoy en día me caracteriza.

A mi abuelito Remigio Mejía ya que a pesar de que sólo estuvo presente al inicio de mi carrera, siempre fue y será un gran ejemplo a seguir. Todas sus enseñanzas y lecciones de vida, estoy segura que me sirvieron durante el desarrollo de mis estudios, y actualmente las conservo como parte de mis valores y principios como persona.

Por último, quiero agradecer a una persona muy especial en mi vida, a mi novio Salomón Alvarez. Gracias por todo el apoyo que me has brindado durante todos estos años. Tuvimos la gran fortuna de compartir este camino juntos. Tú más que nadie, sabes el esfuerzo y la dedicación que se requería para poder terminar esta carrera, es por eso que quiero agradecerte toda tu motivación, y sobretodo el gran amor que siempre me has dado. Gracias por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo juntos, es un logro que vamos a recordar toda la vida porque es un esfuerzo que compartimos.

Gracias a la Universidad, y en especial a la Facultad de Ingeniería. Sin la guía y la enseñanza de todos sus profesores, el día de hoy no podría decir que soy orgullosamente una Ingeniera Industrial de la UNAM. En las aulas, no sólo aprendí materias de la carrera, si no también, enseñanzas valiosísimas de personas sumamente brillantes, como lo es la Ingeniera Silvina Hernández García, quién además de haber sido mi maestra en tres ocasiones, dirigió este trabajo con gran dedicación y nos brindó siempre un gran apoyo para nuestra superación profesional.

Irma Lizeth Mejía Bernal

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es el fruto de todo lo que mis padres han hecho y siguen haciendo por mí, es por eso que quiero decirles que un simple gracias no compensa todo lo que he recibido de ustedes y por eso voy a estar eternamente agradecido. Por tal motivo quiero dedicárselas con todo mi amor, admiración y respeto. Ya que su ayuda, comprensión y apoyo incondicional fueron la base fundamental de mi formación académica pero sobre todo y lo más importante de mi formación personal, porque gracias a sus enseñanzas y ejemplos aprendí valores que conservare toda la vida, por ello vivo eternamente agradecido con Dios ya que me dio la mejor familia que pudiera existir. Los quiero mucho y siempre los llevo conmigo

A mi hermana Reyna Elena que siempre está ahí para ayudarme.

A mi novia Lizeth Mejía por el apoyo, paciencia, dedicación pero sobre todo amor que siempre me brindo, porque siempre estuvo junto a mí en todo momento para ofrecerme su ayuda. Sin ella hubiese sido imposible la culminación de esta meta, ya que juntos emprendimos esta gran etapa de nuestras vidas, que hoy se ve plasmada en este trabajo

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me obsequio todas las herramientas necesarias para realizar mis estudios profesionales, pero muy en especial a la Facultad de Ingeniería que a través de sus profesores contiene un cumulo infinito de conocimientos los cuales son ofrecidos a todos sus alumnos por el bien de nuestro país.

Por último pero no menos importante a nuestra asesora de tesis la Ing. Silvina Hernández que siempre nos ofreció sus conocimientos y apoyo en todo momento, porque además de ser una excelente profesora es un mejor ser humano.

Salomón Alvarez Pardo

ÍNDICE

ÍNDICE

OBJETIVO	i
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I MARCO DE REFERENCIA DE LA CALIDAD	1
1.1. Calidad.....	2
1.1.1. Definición etimológica de calidad.....	2
1.1.2. Definición de calidad según Feigenbaum.....	2
1.1.3. Definición de calidad según Crosby.....	2
1.1.4. Definición de calidad según Deming.....	3
1.1.5. Definición de calidad según Ishikawa.....	5
1.1.6. Definición de calidad según Juran.....	7
1.1.7. Definición de calidad según ISO.....	8
1.1.8. Evolución de los conceptos de calidad.....	8
1.2. Desarrollo histórico de la calidad.....	14
1.3. Gestión de la Calidad.....	17
1.3.1. Inspección de la calidad.....	17
1.3.2. Control estadístico de la calidad.....	18
1.3.3. Aseguramiento de la calidad.....	18
1.3.4. Administración de la calidad total.....	19
CAPÍTULO II TEORÍA DE SIX SIGMA	22
2.1. Six Sigma.....	23
2.1.1. Definición de Six Sigma como una medida estadística.....	25
2.1.2. Definición de Six Sigma como una meta.....	27
2.1.3. Definición de Six Sigma como un modelo de dirección.....	28
2.2. Desarrollo histórico del Six Sigma.....	31
2.3. Principios de Six Sigma.....	34
2.3.1. Verdadero enfoque en el cliente.....	34
2.3.2. Dirección basada en datos y hechos.....	37
2.3.3. El proceso como vehículo clave del éxito.....	38
2.3.4. Dirección proactiva.....	39
2.3.5. Colaboración sin barreras.....	39

2.3.6. Buscando la perfección aceptando algún fallo.....	40
2.4. Comparación entre la aplicación de la calidad tradicional y Six Sigma.....	41
CAPÍTULO III IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA.....	43
3.1. Objetivo a conseguir por las empresas que implantan Six Sigma.....	44
3.2. Posibles itinerarios de implantación de Six Sigma.....	45
3.2.1. Transformación del negocio.....	45
3.2.2. Mejora estratégica.....	46
3.2.3. Resolución de problemas.....	46
3.3. Estructura Humana de Six Sigma.....	47
3.3.1. Champions.....	47
3.3.2. Master Black Belts.....	48
3.3.3. Black Belts.....	49
3.3.4. Green Belts.....	50
3.4. Metodología Six Sigma (DMAIC).....	50
3.4.1. Definir.....	54
3.4.2. Medir.....	57
3.4.3. Analizar.....	58
3.4.4. Mejorar.....	59
3.4.5. Controlar.....	60
CAPÍTULO IV DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	64
4.1. Tormenta de ideas.....	65
4.2. Diagrama de afinidad.....	67
4.3. Estructura o diagrama de árbol.....	68
4.4. Diagrama matricial.....	69
4.5. Diagrama causa-efecto.....	70
4.6. Matriz de priorización.....	72
4.7. Diagrama de Pareto.....	73
4.8. Histograma.....	74

4.9. Gráfica de tendencias.....	76
4.10. Diagrama de flujo.....	76
4.11. Técnica de grupo nominal.....	78
4.12. Despliegue de la función de calidad. Quality Function Deployment (QFD).....	78
4.13. Gráfico de control.....	83
4.13.1. Gráfico de control por variables.....	89
4.13.2. Gráfico de control por atributos.....	91
4.13.3. Interpretación de gráficos.....	95
4.14. Mapa de proceso a primer nivel. Diagrama PEPSC.....	97
CAPÍTULO V DEFINIR LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN.....	98
5.1. Exactitud.....	101
5.2. Linealidad.....	102
5.3. Estabilidad.....	103
5.4. Repetibilidad.....	104
5.5. Reproducibilidad.....	104
5.6. Método del rango.....	106
5.7. Método del Anova.....	106
5.8. Estabilidad y capacidad.....	107
CAPÍTULO VI DETERMINAR LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS.....	108
6.1. Teorema del límite central.....	109
6.2. Pruebas de hipótesis e intervalos de confianza.....	110
6.2.1. Prueba de hipótesis e intervalo de confianza para una media.....	111
6.3. Diseño y análisis de experimentos.....	111
CAPÍTULO VII EVALUAR LA CAPACIDAD DEL PROCESO.....	133
7.1. Capacidad del proceso.....	134

7.2. Rendimiento de un proceso (Yield).....	137
7.3. Métrica de Six Sigma.....	137
CAPÍTULO VIII OPTIMIZAR Y ROBUSTECER EL PROCESO.....	139
8.1. Diagrama de dispersión.....	140
8.2. Causalidad y casualidad.....	141
8.3. Análisis de regresión.....	141
8.3.1. Regresión lineal simple.....	142
8.3.2. Regresión lineal múltiple.....	145
8.3.3. Regresión polinomial.....	156
8.4. Métodos de selección de variables.....	146
8.5. 5 S's.....	147
8.6. Poka Yoke.....	151
8.7. Benchmarking.....	153
CAPÍTULO IX CONTROLAR EL PROCESO.....	158
9.1. Control de los elementos de la producción.....	170
9.2. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).....	171
9.3. Plan de control.....	184
9.4. Precontrol.....	185
9.5. Gráfica de sumas acumuladas. Cumulative Sum (CUSUM).....	186
9.6. Gráfica de promedios móviles exponencialmente ponderados. Exponentially Weighted Moving Average (EWMA).....	187
CONCLUSIONES.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	192

OBJETIVO

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una obra completa sobre la metodología Six Sigma que contenga tanto las herramientas y técnicas estadísticas, como las aplicables a la organización y negocio con base en la información existente, con el fin de ofrecer al lector o usuario todas las herramientas necesarias para la implementación de la metodología Six Sigma en cualquier área de trabajo y así lograr su desarrollo integral, obteniendo los beneficios que esto conlleva.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El tema de Six Sigma despierta curiosidad y admiración en las empresas hoy en día. Esta metodología basada en técnicas estadísticas y otras adicionales para el mejoramiento de la calidad de los procesos y productos ha llevado a empresas transnacionales como Motorola y General Electric, entre otras, a considerarla como una de sus principales estrategias de negocios, y a validar sus beneficios por medio de reportes de reducción de costos y un incremento de sus utilidades.

En los últimos años, la definición y el ámbito de la estrategia empresarial están en constante revisión. Pero un denominador común en muchos de los debates actuales sobre la estrategia y la competitividad empresarial es la cuestión de la *calidad*, porque una cosa está clara: la calidad de los productos y servicios de una empresa determina su éxito o su fracaso.

Podemos definir el término calidad como el conjunto de características que posee un producto o servicios 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.

El cliente es el que percibe o no percibe la calidad o no calidad en un producto, y esa percepción cambia de persona a persona. La calidad es una percepción. Es una definición establecida por un cliente (a menudo inconscientemente) para un producto o servicio. Un producto que satisface la expectativa, y por ello es considerado como un producto de calidad, supone una de las razones más importantes por la cual las personas realizan una compra inicial. Sin embargo, para que un cliente vuelva a comprar una y otra vez a la misma empresa, exigirá algo más que la calidad; exigirá *fiabilidad*. La calidad puede satisfacer la primera venta pero la fiabilidad es lo que lleva a un cliente a volver a comprar. Es, junto a la calidad, la cuestión más importante para un cliente.

Los enfoques para lograr la calidad varían, pero los objetivos son los mismos. Para la mayoría de empresas preocupadas por esta cuestión, calidad significa ofrecer productos sin defectos y de ese modo lograr clientes satisfechos con esos productos o servicios; es por ello que se encuentra en constante búsqueda de técnicas y herramientas que apoyen y ayuden con este quehacer, siendo el Six Sigma una de éstas.

Six Sigma es el método de mejora, creado por Motorola y adoptado por importantes y exitosas corporaciones. Six Sigma también denominado Seis Sigma es una de las principales razones del éxito y posicionamiento de empresas líderes mundiales. Es una práctica de negocios en General Electric, Ford, DuPont, NOKIA y Sony, entre otras organizaciones de clase mundial.

Six Sigma es una herramienta de calidad que es hacer las cosas perfectas y como las quiere el cliente, es darle la calidad que a él le interesa. Six Sigma implica acordar con un cliente que características de un producto o servicio son importantes para él y luego dárselas de un modo casi perfecto, libre de fallos; el resto de Six Sigma, es el soporte estadístico que se presenta, es simplemente un medio, no el fin. Lo que se desea es que los procesos estén sin defectos para que

los clientes estén satisfechos y es por eso que se deben medir periódicamente para así observar el progreso.

Six Sigma es un proceso que tiene como objetivo cuantificar sólo 3.4 errores entre un millón de oportunidades de cometerlos. Esas oportunidades de cometer errores se cuantifican en aquellas características que el cliente nos ha dicho que son importantes para él. Se pretende darle a los clientes un producto o servicio prácticamente sin defectos, pero centrándose en aquello que es para él de verdad realmente importante.

Six Sigma es además una manera de trabajar, una disciplina de trabajo rigurosa, una metodología de gestión de calidad total. Se diseña un proceso, se mide, se analiza, se mejora y se controla. Estas etapas sirven para cualquier tipo de proceso, administrativo, financiero, fabricación o servicio al cliente. Eso implica que es útil para cualquier tipo de empresa, no sólo para el entorno de producción.

Por supuesto se requiere una organización que dé soporte al programa, que se involucre y adquiera el compromiso a todos los niveles de la empresa. Además se requiere formación específica en las herramientas y metodología Six Sigma. Se debe tener en cuenta que ésta es una herramienta no es sólo teoría, sino también práctica, ya que exige a todo el personal formado en esta técnica que lleve a cabo proyectos de mejora de procesos que tengan un impacto económico en la empresa.

En el capítulo uno, *“Marco de referencia de la calidad”*, se muestra una selección de las mejores definiciones de calidad, las cuales han sido tomadas de los autores más representativos en este tema, así como su desarrollo histórico, para dar paso a la gestión de la calidad.

En el capítulo dos, *“Teoría de Six Sigma”*, se presentan las diferentes definiciones de cómo concebir la metodología Six Sigma, además de su desarrollo histórico y sus principios, finalizando con una comparación con la calidad tradicional.

En el capítulo tres, *“Implantación de la filosofía Six Sigma en la empresa”*, se plantearán los posibles itinerarios por los cuales puede ir la implantación de la filosofía Six Sigma en la empresa, la estructura humana y la explicación paso a paso de la metodología Six Sigma(DMAIC).

En el capítulo cuatro, *“Definición del problema y descripción del proceso”*, se presentan las herramientas a utilizar para el planteamiento del problema a resolver, así como sus procesos involucrados.

En el capítulo cinco, *“Definir los sistemas de medición”*, se evalúan los sistemas de medición con base en su capacidad y estabilidad; se determinan las operaciones, procedimientos, instrumentos y otro equipo para asignar un número a la característica que va a ser medida.

En el capítulo seis, *“Determinar las variables significativas”*, serán confirmadas las variables del proceso para medir la contribución de esos factores en su variación; una vez encontrados los factores críticos se ajusta el proceso y se reduce la variación.

En el capítulo siete, *“Evaluación de la capacidad del proceso”*, se realiza un procedimiento ordenado de planeación, recolección y análisis de información, con la finalidad de evaluar la estabilidad de un proceso, y la capacidad que este tiene para producir dentro de especificaciones.

En el capítulo ocho, *“Optimizar y robustecer el proceso”*, se mostraran las herramientas útiles durante esta etapa de la metodología Six Sigma para toma decisiones referentes a la optimización y robustecimiento de los procesos.

En el capítulo nueve, *“Controlar el proceso”*, se describe la última fase de la metodología donde se establecen los mecanismos para evitar errores y poder estandarizar los procesos a fin de satisfacer permanentemente las especificaciones de los clientes.

Al final se mencionan las conclusiones para que ayuden al lector a darse cuenta de las grandes ventajas que se obtienen al implementar esta metodología. Así mismo es la intención de esta tesis fomentar un compromiso con la calidad en las organizaciones del país.

CAPÍTULO I

MARCO DE REFERENCIA DE LA CALIDAD

CAPÍTULO I

MARCO DE REFERENCIA DE LA CALIDAD

1.1 Calidad

1.1.1. Definición etimológica de calidad

La palabra calidad tiene sus inicios en el término griego *kalos*, que significa “lo bueno, lo apto”, también en la palabra latina *qualitatem*, que significa “cualidad” o “propiedad”. En este sentido, calidad es una palabra de naturaleza subjetiva, una apreciación que cada individuo define según sus expectativas y experiencias, es un adjetivo que califica alguna acción, materia o individuo.

1.1.2. Definición de calidad según Feigenbaum

Según Armand V. Feigenbaum, la calidad de un producto o servicio se puede definir como *“el conjunto completo de las características de marketing, ingeniería, fabricación y mantenimiento de un producto o servicio, a través del cual el producto o servicio cumplirá las expectativas del cliente”*.

El mismo Feigenbaum especifica que la calidad es algo que determina el cliente, no ingeniería, ni marketing, ni siquiera la propia dirección de la organización. La calidad está basada en la experiencia actual del cliente con el producto o servicio, medida contra sus requerimientos (ya sean establecidos o no, conscientes o inconscientes, técnicamente operacionales o completamente subjetivos) y siempre representa un objetivo variable en una mercado cada vez más cambiante.

1.1.3. Definición de calidad según Crosby

Philip Crosby define la calidad como el cumplimiento de los requisitos.

La idea central que aporta Crosby es que la calidad no cuesta, los costos son generados por las cosas que no tienen calidad, puesto que produce retrabajos; en este sentido, hacer las cosas bien significa calidad, que es una auténtica generadora de utilidad.

En su obra, *La calidad no cuesta*, señala que la forma más efectiva de resolver la mala calidad es a partir de un proceso de mejoramiento de la calidad, hasta llegar al punto de “cero defectos”; esto último no significa que la organización no cometa errores, sino que éstos se identifiquen para establecer un rango de variabilidad aceptable.

Plantea catorce pasos:

1. Compromiso de la dirección.
2. Equipo para el mejoramiento de la calidad.

3. Medición.
4. Costo de la calidad.
5. Crea conciencia sobre calidad.
6. Acción correctiva.
7. Planificación de cero defectos.
8. Educación del personal.
9. El día de “cero defectos”.
10. Fijar metas.
11. Eliminar las causas de error.
12. Reconocimiento.
13. Consejos sobre la calidad.
14. Repetir todo el proceso.

1.1.4. Definición de calidad según Deming

Edwards Deming, el “padre de la calidad total”, definió la calidad de los productos como un grado predecible de uniformidad que proporcione fiabilidad a bajo costo y conveniente para el mercado, lo que resumió en la frase: “Hacer las cosas bien, a la primera y siempre”.

Edwards W. Deming es considerado como el principal precursor de la gestión de la calidad, desde la década de 1950; en Japón obtuvo gran reconocimiento al grado que se instituyó un premio a la calidad en su honor; en Occidente el reconocimiento tomó auge a partir de la década de 1980.

Puntos Deming

- 1) *Crear constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio.* Su propósito es ser competitivo, mantenerse en el negocio y proporcionar puestos de trabajo. La supervivencia a largo plazo de la empresa es objetivo prioritario. A través de medidas como innovación y asignación de recursos a la planificación, mejorar constantemente el diseño del producto y servicio, en virtud de que conocer y fabricar lo que el usuario necesita es un aspecto importante de la línea de producción.
- 2) *Adoptar la nueva filosofía.* Según Deming se está ante una nueva era económica, y los directivos occidentales deben enfrentar el nuevo reto, aprender sus responsabilidades y lidera el cambio. El objetivo es eliminar el despilfarro, los defectos y la falta de productividad de las empresas.
- 3) *Dejar de depender de la inspección para lograr la calidad.* La calidad no es una opción válida en el mejoramiento de la calidad por que se realiza cuando termina el proceso, con ello la calidad está o no en el producto. De lo anterior se deduce que por realizar más inspección no garantiza la calidad además de que esta última en masa suele ser costosa e ineficaz.
- 4) *Acabar con la práctica de hacer negocios sobre la base del precio.* La utilización del precio como única variable para la decisión de una compra puede dejar de lado otras variables importantes, como la calidad y el servicio. Propone mantener relaciones a largo plazo con

un sólo proveedor y que éstas se basen en una confianza mutua y en el apoyo entre comprador y proveedor.

- 5) *Mejorar siempre el sistema de producción y servicio.* Con base en la necesidad de los usuarios, la empresa debe fijar una idea sobre el producto que posteriormente representarán planes, especificaciones y ensayos para hacerlo llegar al consumidor. En el mejoramiento de los procesos de la empresa, la dirección tiene un importante papel, pues además de motivación y liderazgo supone mejor asignación del esfuerzo humano.
- 6) *Implantar la formación.* Constituye poner en práctica métodos modernos de capacitación para el trabajo, pues esta incrementa el conocimiento de los empleados para su mejor desempeño.
- 7) *Adoptar e implantar el liderazgo.* La principal función de la dirección debe ser el liderazgo y no la supervisión; éste consiste en ayudar a que mejore el comportamiento de los empleados para conseguir mayor calidad y producción, a la vez que el personal se sienta satisfecho de su trabajo.
- 8) *Desechar el miedo.* Eliminar de la organización todo temor que impida que los empleados trabajen de manera productiva para ella.
- 9) *Superar los problemas entre los departamentos.* Se refiere a mejorar la calidad del trabajo del personal de investigación, ventas, diseño y producción con respecto a los materiales y las especificaciones.
- 10) *Eliminar los eslogan, exhortaciones y metas para la mano de obra.* Cuando los trabajadores no cuentan con los medios suficientes para alcanzar lo prometido en el eslogan, se sienten defraudados porque consideran que la dirección no toma conciencia de los problemas operativos.
- 11) *Eliminar las normas de trabajo de prescriban cuotas numéricas.* Esto consiste en establecer un parámetro que mida la cantidad de trabajo que realiza una persona.
- 12) *Superar los obstáculos que impiden que la gente se enorgullezca de su trabajo.* Barreras que poseen desde los directivos hasta los empleados fijos que tienen que ser calificados dentro de un sistema establecido y no por los esfuerzos en ayudar a la gente o por los intentos de mejorar al sistema.
- 13) *Estimular la educación y la autoestima.* No basta con que la gente esté bien preparada, hay que mejorar la educación. Todos son capaces de aportar ideas en su trabajo.
- 14) *Actuar para lograr la transformación.* Consiste en formar una estructura en la alta administración que asegure día con día que los catorce puntos se cumplan.

A la difusión de este programa, Shewhart le denominó “Círculo de Deming” el cual consiste en el proceso metodológico básico para asegurar las actividades fundamentales de mejoramiento y mantenimiento: planear-hacer-verificar-actuar.

- **Planear**

En esta etapa se realiza una visión de hacia dónde se quiere llegar, se realiza un diagnóstico para saber la situación actual de la organización, después de desarrollar una teoría de posible solución y, por último se establece un plan de trabajo.

- **Hacer**

Aquí se lleva el plan de trabajo establecido, junto con algún control para vigilar que efectivamente se realice según lo planeado.

- **Verificar**

Identificar los efectos y problemas que se generen en el proceso, así como evaluar los efectos y recoger los resultados.

- **Actuar**

Con esta etapa se concluye el ciclo de calidad, se estudian los resultados, se confirman los cambios y se emprende el mejoramiento.

La figura 1.1 muestra las etapas del ciclo Deming y describe brevemente sus actividades.



Figura 1.1 Ciclo Deming

1.1.5. Definición de calidad según Ishikawa

Kaoru Ishikawa fue un ingeniero, catedrático y consultor que contribuyó con la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE). Sus principales aportaciones son: los círculos de calidad descritos como pequeño grupo compuesto por personas voluntarias que tienen como objetivo obtener mejoramiento en el seno de la organización. Por otro lado, utilizó un diagrama de

control denominado “Diagrama de Ishikawa”, que es una herramienta que contribuye a ponderar las posibles causas de un problema.

Todo individuo, en cada división de la empresa, deberá estudiar, practicar y participar en el control de calidad.

Kaoru Ishikawa realizó sobresalientes contribuciones al desarrollo de la teoría, los principios, las técnicas y las actividades de control de calidad, así como las actividades de normalización en la industria de Japón y otros países, para fortalecer la calidad y la productividad. Sus principales aportaciones son los círculos de calidad desarrollados en 1962 y en el control del “Diagrama de Ishikawa”.

También llamado diagrama causa-efecto o espina de pescado, el diagrama de Ishikawa es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad.

Estimula la participación de los integrantes de los círculos, pues necesita de otras herramientas, como lluvia de ideas, diagrama de relaciones, gráficas de Pareto, etc.

Círculos de Calidad

Es un pequeño grupo compuesto por personas voluntarias, que resuelve los problemas de los niveles más operativos de la organización. Todos sus componentes pertenecen a la misma área de trabajo y habitualmente es el propio grupo el que determina el problema por resolver. Los círculos tienen como objetivo la obtención de mejoramiento en el seno de la empresa y cumplen dos funciones primordiales:

- Involucrar y aumentar el compromiso de las personas en la organización, a través del análisis de problemas y propuestas de cambio.
- Como canal de comunicación ascendente y descendente, ya que a través de los círculos se pueden transmitir sugerencias de mejoría a todos los niveles, de la misma forma que experiencias sobre procesos similares.

Los objetivos principales de los círculos de calidad son:

- Reducir los errores y aumentar la calidad.
- Generar más efectividad en los resultados.
- Promover el involucramiento en el trabajo.
- Incrementar la motivación.
- Crear una actitud para prevenir problemas.
- Crear la capacidad de resolver problemas.
- Mejorar la comunicación.
- Desarrollar relaciones más armoniosas entre jefes y subordinados.
- Establecer un genuino ambiente de higiene y seguridad.
- Promover el desarrollo personal.

En el año 1960 empiezan a ponerse en práctica estos sistemas participativos en las empresas japonesas.

Kaouru Ishikawa crea los primeros círculos de calidad. A partir de entonces y hasta la fecha los círculos reciben un gigantesco impulso. Las empresas, e incluso el gobierno los desarrollan y promueven su florecimiento.

De forma paralela mejora el prestigio y la imagen de los productos y las empresas japonesas que empiezan a competir con éxito en los mercados internacionales. Esto anima a los trabajadores japoneses, pues saben que la espectacular recuperación del país es obra suya. Gracias al movimiento de los círculos de calidad, el trabajador japonés se siente responsable del éxito de su empresa y de su país. Pone en su trabajo diario todo su empeño y dedicación, aportando no sólo unas horas de presencia y su esfuerzo físico, sino también su colaboración intelectual.

La implementación de los círculos de calidad en empresas japonesas ha significado, en el año 1982 un ahorro de 25 000 millones de dólares, gracias a las sugerencias propuestas (400 millones) por los más de 10 millones de japoneses integrados en los círculos.

Aunque pueda resultar paradójico, los Estados Unidos de América fueron los primeros en seguir el ejemplo de los círculos de calidad japoneses. En 1973 la Lockheed Missiles Space Company organizó una visita a Japón para estudiar este innovador sistema de management. Al año siguiente los implantó y en el plazo de sólo dos años obtuvo unos ahorros que superaban los tres millones de dólares, con la ayuda de únicamente 15 círculos. En 1977 esta compañía pionera en Estados Unidos tenía ya 30 círculos en funcionamiento, y ha ido ampliando su número hasta la actualidad, en que están totalmente extendidos por toda la corporación.

Otras empresas pioneras fueron: Chrysler, Hughes, Aircraft, Westinghouse, General Motors, Sperry Vickers, Babcock, Ford y Hewlett-Packard. Según los últimos datos, hoy más del 50% de las empresas norteamericanas de más de 100 trabajadores funcionan con círculos de calidad o sistemas participativos similares.

En Europa el auge de los círculos sigue también una línea ascendente. El número de círculos en Francia, España e Italia aumenta año tras año, dejando constancia de que éste es un movimiento con grandes perspectivas cara al futuro y que no se trata de una moda pasajera o efímera.

1.1.6. Definición de calidad según Juran

En su *Manual de Control de Calidad*, Juran define la calidad de forma muy escueta como *la aptitud para el uso*. La filosofía en que se basa esta definición es que la calidad no sucede por accidente. Si por ejemplo, se pensara en un producto, la aptitud para el uso se basaría en los siguientes criterios:

- Las percepciones del cliente acerca del diseño del producto.
- El grado en el que el producto satisface las especificaciones del diseño.
- La disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad del producto.
- La existencia de un servicio al cliente accesible.

Juran ha publicado gran cantidad de material con el tema de calidad; sin embargo, resume su conocimiento desarrollado en el área de la calidad y se basa en la llamada "*Trilogía de Juran*", la cual la podemos desglosar en los siguientes aspectos importantes:

- **Planificación de la calidad**

En este proceso se determina quiénes son los usuarios para definir las necesidades que deben cubrir las características del producto, así como desarrollar procesos capaces de producir las características del producto y transferir los planes a las fuerzas operativas.

- **Control de calidad**

Se evalúa el comportamiento real del producto y, se compara con sus objetivos para actuar sobre la diferencia.

- **Mejoramiento de la calidad**

Es la creación organizada de un cambio ventajoso; es decir, constituye un avance en la forma de administrar, que conlleva tres acciones:

- Establecer la infraestructura; es decir, (las actividades de los gerentes, patrocinadores y ayudantes de calidad).
- Identificar los proyectos de mejoramiento y establecer equipos para los proyectos.
- Proporcionar recursos a los equipos; formación y motivación para diagnosticar las causas, fomentar los remedios y establecer controles para conservar los beneficios.

La calidad debe ser planificada, y esa planificación debe empezar desde los más altos niveles de la organización. Juran atribuye la mayoría de los problemas de calidad a una mala dirección más que a los trabajadores.

1.1.7. Definición de calidad según ISO

En la serie de normas ISO 9000, se puede leer que la definición de calidad es *“el conjunto de características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas y las implícitas”*. Hay que hacer dos consideraciones acerca de esta definición:

- Las necesidades establecidas en una situación contractual están especificadas en los requerimientos del contrato que convierten las características del producto en criterios específicos.
- Las necesidades implícitas son requerimientos identificados y definidos por la compañía basados en el conocimiento del mercado.

La norma ISO 9000 indica que *“las especificaciones no garantizan por sí mismas que los requerimientos del cliente se cumplan adecuadamente”*, de lo cual parece desprenderse que se deben revisar de forma periódica los requerimientos de calidad, ya que las necesidades del cliente cambian a lo largo del tiempo.

1.1.8. Evolución de los conceptos de calidad

Desde el significado inicial de calidad, como atributos de una cosa, producto o servicio, hasta el actual, aplicado a todas las actividades de una organización y, por tanto, a su gestión (por lo que se está llamando *“total”*), se ha recorrido un largo camino que los teóricos investigan y concluyen bajo un supuesto.

En términos generales, la calidad ha sufrido una evolución a partir de los diferentes enfoques; al comparar las características de las teorías de estos autores se visualiza que existen elementos de convergencia. Sin embargo, cada autor tiene cierta inclinación en algún aspecto que enriquece esta forma de administración.

En este sentido, la calidad total es entendida como una filosofía gerencial que parte de cuatro supuestos indispensables: la visión hacia el usuario, personal y accionistas como elementos principales para realizar cualquier acción hacia adentro y afuera de la organización; el compromiso de la dirección que motive en la cultura organizacional a través de la participación de todos los miembros en un marco de cooperación y trabajo en equipo; el establecimiento de redes contractuales con los proveedores y usuarios involucrándolos en el cambio; y la firme convicción de mejorar continuamente en los conocimientos, procesos, productos y servicios en virtud de la competitividad que genera la globalización, los cambios tecnológicos, y en las expectativas de los consumidores.

Una manera de visualizar los diferentes enfoques y definiciones sobre calidad, así como su evolución, se observa en la tabla 1.2

AUTOR	LUGAR Y AÑO DE NACIMIENTO	PROFESIÓN	LUGAR Y AÑO DE INICIO DE SU TEORÍA	OBRA CUMBRE	AÑO DE PUBLICACIÓN	APORTACIÓN	INFLUENCIA	DEFINICIÓN DE CALIDAD	DESARROLLO
Edwards W. Deming	1900, Estados Unidos	Ingeniero, Doctor en Física y profesor de estadística	1950, Conferencia a la JUSE (Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros)	Calidad, productividad y como "Fuera de la crisis"	1982 y 1985	14 puntos de la alta administración para lograr la calidad y la difusión del círculo de Shewhart PDCA	Estructura del Premio Deming	Un grado predecible de uniformidad que proporcione fiabilidad a bajo costo y conveniente para el mercado	Japón
Joseph Juran	1904 Rumania Estados Unidos	Ingeniero Eléctrico y purista	1939, en la Western Electric	Jurán en el liderazgo para la calidad	1980	Trilogía de Jurán (Planear, Controlar y Mejorar la Calidad)	Fundó Juran Institute Inc., participó en la American Society for Quality Control (ASQC) y apoyó a la creación del Premio Malcolm Baldrige	Adecuación al uso	Japón
Kaoru Ishikawa	1915, Japón	Doctor en Ingeniería	1962, desarrolla sus círculos de calidad	¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa	1985	Círculos de calidad (grupos voluntarios, estables en el tiempo, que tienen como objetivo principal mejorar la calidad de los procesos y el entorno de trabajo)	Gana el Premio Deming y la Medalla Shewhart	Todo individuo, en cada división de la empresa, deberá estudiar, practicar y participar en el control de calidad	Japón
Philip B. Crosby	1925, Estados Unidos	Graduado en la Western Reserve University	1957, en ITT	La calidad no cuesta	1979	"Cero defectos" a través de un programa con 14 pasos	Fundó Philip Crosby Associates, Inc. y Philip Crosby Associates Inc. II	Cumplir los requisitos	Estados Unidos
Armand V.	1922,	Doctor en	1956, General Electric	Control de	1956	Creó el concepto de control de la	El TQM se aplica a todos los	Modo de vida corporativa, un modo de	Estados

Feigenbaum	Estados Unidos	Ingeniería		calidad total		calidad total	productos y servicios	administrar una organización	Unidos
Shigero Mizuno	1919, Japón	Profesor del Instituto de Tecnología de Tokio	Colaborador en la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros	Control de calidad total a todo lo ancho de la compañía (CWTQC)	1988	El concepto "KAISEN". Su aportación utiliza los conceptos de sistemas y resalta la importancia de extender la calidad a toda la organización	Colaborador en la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE)	Convertir las demandas de los consumidores en características concretas de calidad	Japón
Shingeo Shingo	1909, Japón	Ingeniero Mecánico	1950 en Toyota	Zero Quality Control: Source Inspection and the poka-yoke system	1986	El método SMED y junto a Taiichi Ohno desarrolla la técnica <i>Just in Time</i> para identificar los despilfarros	Prize Shingo (1988) con base en Estados Unidos y ahora en Canadá y México	Es la entrega al cliente del producto con la calidad exigida y en el momento exacto	Japón
Taguchi	1924, Japón	Ingeniero Mecánico, Dr. en Estadística Matemática	1980, Introdujo el DOE (Diseño de Experimentos)	Introducción a la técnica para la calidad	1990	Siete puntos de Taguchi	La ingeniería de la calidad: Método para el diseño y desarrollo de los procesos de industrialización con el máximo de eficiencia	La no calidad es la pérdida generada a la sociedad por un producto desde su concepción hasta su reciclado	Japón
John Oakland	Inglaterra	Ingeniería	1993, Inglaterra	TQM. The route to improving performance	1993	Una recopilación de ideas básicas integradas en un modelo administrativo basado en la calidad total	Influencia en organizaciones europeas y en la fundación europea para la administración de la calidad	La adopción de una cultura que empieza por la presencia y se extiende a los equipos	Inglaterra
Thomas Peters	Estados Unidos	Ingeniería y negocios	1979, en McKinsey & Company	En busca de la excelencia	1982	Confirmación de la relación entre éxito, competitividad y calidad, a través de un estudio exhaustivo de las características comunes de las	Adopción de las ocho características por empresas como HP, Delta Airlines, McDonald's	Saber escuchar al cliente	Estados Unidos

						empresas exitosas, resumidas en ocho puntos			
Deming Awards	1950, Japón	Propuesto por la Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE)	1951, Japón	Criterios del premio: políticas corporativas, sistemas de calidad, resultados, planificación, educación y entrenamiento	Cada año	Enfoque a la efectividad de la planeación y a la implementación de una firme organización y operación	Parámetro de medición de calidad en la industria de Japón	Reducir la variación para reducir las pérdidas	Japón
Malcolm Baldrige Awards	1987, Estados Unidos	Establecido por el Departamento de Comercio	1988, fueron entregados los primeros siete premios	11 principios	Cada año	Enfoque a clientes y recursos humanos	Modelo que puede ser usado por cualquier organización para mejorar su desempeño con base en 11 principios	La excelencia en el manejo de clientes, en su adquisición, satisfacción, preferencia, referencia, lealtad y expansión del negocio	Estados Unidos
Premio Nacional de la Calidad	1990, México	Establecido por el Gobierno Federal a través de la SECOFI, ahora SE	1990, se otorgaron cuatro premios en tres categorías	Seis principios	Cada año	Modelo Nacional para la Calidad Total	Promueve y estimula la adopción de procesos integrales de calidad total a nivel nacional para proyectarla de manera ordenada a niveles competitivos y de clase mundial	Es la creación de valor para los clientes y usuarios	México
International Organization		Federación Mundial de	1951, primera norma sobre	Modelo de calidad de la	1987, 1994,	Estandarización de los sistemas de	Promueve el	V.1994. Conjunto de características de un elemento que confieren la aptitud para satisfacer	

for Standardization (ISO)	1947, Suiza	Cuerpos Nacionales de 140 países	temperatura internacional de metales	serie ISO 9000 y después ISO 14000	2000	administración de calidad	desarrollo de la estandarización	necesidades explícitas e implícitas. V.2000. Grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos	Internacional
Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (EFQM)	1988	Organización sin lucro creada por 14 importantes empresas	1988	Modelo EFQM de excelencia para mejorar el rendimiento	Revisiones periódicas	Cultura de calidad a las empresas en Europa	La orientación del modelo es hacia los resultados y satisfacción de las personas involucradas	Excelencia: prácticas sobresalientes en la gestión de la organización y logro de resultados	Europa
Premio EFQM	1992	Los fundadores son la Organización Europea para la calidad (EOQ) y la EFQM	1992	Criterios para la solicitud del premio	Cada año	Promoción para la excelencia en las empresas públicas y privadas en Europa a través de ocho fundamentos de la excelencia	Genera competitividad	Excelencia: prácticas sobresalientes en la gestión de la organización y logro de resultados	Europa

Tabla 1.2 Evolución de los conceptos de calidad

1.2. Desarrollo Histórico de la Calidad

Realizar una retrospectiva para encontrar los primeros indicios sobre la concepción de la calidad, sería tema de toda una investigación, pues como ejemplo, tenemos las aportaciones de Vincent Laboucheix quien, en *Tratado de la calidad*, señala que desde la Biblia se expresa la importancia de lo bueno o la calidad.

La primera reseña histórica que se puede encontrar relativa a la calidad de un producto, aparece en el artículo 229 del Código de Hammurabi (siglo XVIII a.C.), en el que dice: “Si un constructor edificó una casa para un señor, pero no dio solidez a su obra, resultando que la casa por él construida se desplomó, lo cual produjo la muerte del propietario de la casa, este constructor recibirá la muerte”. Cuando menos, el argumento para construir con calidad parece convincente.

A parte de estos hechos más o menos anecdóticos, se puede decir que la situación hasta mediados del siglo pasado era la misma que en la Edad Media y épocas anteriores, pero con pequeñas variaciones. Dado que hasta esa época las empresas eran, generalmente, organizaciones familiares, se puede decir que los Sistemas de Control por parte de la dirección no sufrieron variaciones dignas de resaltar.

En la etapa que va aproximadamente desde 1840 hasta finales del siglo XIX, se produce un desarrollo de nuevos sistemas de gestión, propiciado por los nuevos avances tecnológicos que se producen a lo largo de esa época (quizás el más importante fue la máquina de vapor que permitiría el transporte todo el año, sin depender de la climatología).

Empieza una nueva era para los negocios, con cambios muy significativos, entre los que destacan los siguientes:

- Además de la máquina de vapor, aparecen nuevas tecnologías como la electricidad, los altos hornos, los fertilizantes artificiales, las gomas vulcanizadas, el teléfono, el telégrafo, etc.
- Empleados a tiempo completo: hasta esa época los pocos empleados existentes eran personas que trabajaban además en otros lugares (por ejemplo, en sus propias granjas). A partir de principios del siglo XIX, los negocios dejan de ser familiares para incrementar su importancia.
- Directores profesionales: como consecuencia del punto anterior, y debido al crecimiento de los negocios, se hace necesario que otras personas más especializadas tomen las responsabilidades de los negocios.
- Formas de organización corporativas: los requerimientos económicos hacen que los propietarios se vayan despegando cada vez más de la gestión diaria de la organización.
- Integración vertical de las operaciones: la fabricación cambia de una clase de productos producidos por artesanos y vendidos en el mercado local, pasando a ser una producción en masa para un mercado en masa nacional y a veces internacional.

- En los países industrializados estos cambios implican el aumento de la burocracia en la organización. Se dividen actividades y responsabilidades entre departamentos dirigidos por profesionales, quienes no tienen otra fuente de recursos que la de servir a la organización.

A principios del siglo XIX surge el concepto de *gestión científica*, término aplicado a los métodos de Frederick W. Taylor. De una manera muy resumida, se puede decir que la Gestión Científica intenta conseguir y estandarizar el conocimiento para controlar mejor el trabajo. Taylor creía que la dirección no podría controlar efectivamente la empresa si no controlaba el trabajo por sí mismo, esto es, las tareas que debían hacer los propios trabajadores. Con ello conseguiría mejorar la eficiencia del trabajo, ya que se podría poner a las personas más adecuadas en cada puesto de trabajo y se podría identificar la manera óptima en que podría llevar a cabo el trabajo. Taylor opinaba que la gestión científica favorecía a ambos, a propietarios y a trabajadores como recompensa por su incremento de productividad.

Desde el inicio de la industria, la calidad se planteó como forma de medir las características del producto en relación con las funciones para las que fue fabricado; de esta forma evolucionaron su concepción y su definición y fue adoptada como punto central de un modelo de administración.

Posteriormente, Henry Ford introdujo innovaciones en la producción que tuvieron impactos parecidos a los de Taylor; donde Taylor examinaba el trabajo realizado por las personas, Ford mecanizaba el trabajo. Con Ford, la mano de obra era un simple operador de la máquina, mientras que éstas últimas realizaban el trabajo. Con ello se reducían los niveles de especialidad requeridos para cada trabajo, puesto que podía ser reducido a una serie de tareas relativamente simples que podían ser realizadas con una muy pequeña inversión en formación. Con ello también se conseguía que fuera más fácil reemplazar a un trabajador que realizara de forma inadecuada sus tareas. Además se generaban altos niveles de estrés debidos a que el trabajo se hacía mucho más aburrido. Este proceso es lo que se ha venido conociendo como *deskilling*: una persona que era un maquinista especializado y tenía un amplio abanico de posibilidades de trabajo para a ser un operario de una determinada máquina y que apenas tiene posibilidades de cambiar a otra tarea.

Desde el punto de vista organizativo, el taylorismo supone un incremento de la burocracia en la organización, creándose departamentos de ingeniería industrial, con secciones de control de calidad a fin de poder conocer en detalle cómo debe hacerse el trabajo. Con pequeñas variaciones, todavía hoy hay organizaciones que funcionan de esta manera.

Pero, entre tanto, ¿cómo evoluciona la calidad?

A principios del siglo XIX, existe una fuerte orientación hacia la productividad y sus incrementos (producción en masa), lo que hace que la calidad de los productos se vea afectada. La auténtica orientación hacia los procesos comienza entre los años 1920 y 1930.

En esos años, Walter Shewhart descubre el uso de las matemáticas, en particular de la estadística, para desarrollar el concepto de análisis estadístico para el control de calidad en las industrias. Es el nacimiento del Control Estadístico del Procesos (CEP o SPC), el cual cae en desuso

en los países occidentales al acabar la Segunda Guerra Mundial, debido a la gran carencia de productos que tenía la sociedad de la época.

A partir de los años 50's, el Dr. W. Edwards Deming enseña los métodos del Control Estadístico de Procesos, Joseph M. Juran enseña los fundamentos de la gestión de la calidad y Feigenbaum muestra los beneficios del Control Total de la Calidad, pero solamente son escuchados en Japón, con lo que este país se convierte en líder en calidad. Es el nacimiento de la Calidad Total.

A partir de esa época, comienza una etapa de transición en la que todavía nos vemos inmersos. Los principales cambios que se han ido produciendo se muestran en la tabla 1.3

ANTES	AHORA
Mercados nacionales	Mercados internacionales
Competidores nacionales	Competidores internacionales
Control del entorno	Adaptación rápida al entorno
Productos homogéneos	Productos a medida del cliente
Deskilling	Trabajos complejos
Gestión específica para el producto	Sistemas de gestión flexibles
Mantenimiento del status quo	Mejora continua
Dirección por control	Dirección por planificación

Tabla 1.3 Beneficios del “Control total de la calidad”

A partir de los años 80's, en el área de calidad de produce un hecho de suma importancia: se desarrollan los primeros estándares. Surgen debido a la importancia que empiezan a tener conceptos como intercambiabilidad, conveniencia, fácil de usar, interconectividad, seguridad, reducción de riesgos, integración de mejoras tecnológicas, etc.

Un estándar es una declaración, especificación o cantidad de material contra la que la salida medida de un proceso puede ser juzgada como aceptable o no. En su libro *Total Quality Control*, Feigenbaum escribe que el surgimiento de estándares se debió principalmente a:

- Incrementos de la intensidad de los requerimientos de calidad de los clientes.
- Incremento de la sofisticación de los programas de proveedores para satisfacer requerimientos.

Un estándar debe cumplir los siguientes puntos de entre mucho otros más:

- Debe especificar los aspectos de calidad a cubrir.
- Deben estar documentados.
- Deben existir organizaciones (industriales, profesionales, gubernamentales, internacionales) que desarrollen, aprueben y mantengan el estándar.
- Existen criterios de evaluación.
- Existen medios de reforzar los estándares (no son algo fijo).

En resumen, la calidad ha ido evolucionando como se puede ver en la figura 1.4

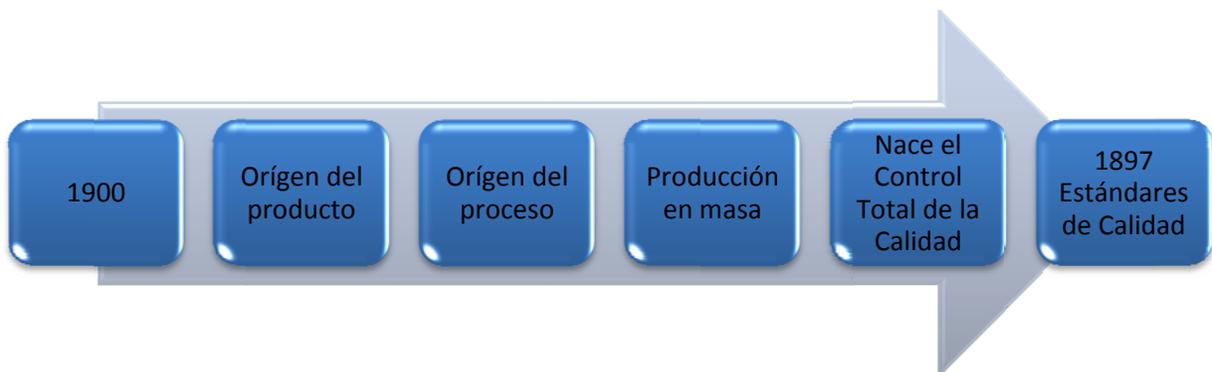


Figura 1.4 Evolución de la calidad

1.3. Gestión de la calidad

Al igual que la palabra calidad, el término gestión de la calidad tiene muchas y variadas definiciones, aunque todas ellas se basan en incluir una mención a las prácticas de gestión diseñadas para mejorar de forma continua el rendimiento de los procesos de la organización con el fin de aumentar la satisfacción de los clientes.

La evolución del concepto “calidad en la administración” en el siglo XX fue muy dinámica. Se acomodó a la evolución de la conformación económica y, por ende, industrial, habiéndose desarrollado diversas teorías, conceptos y técnicas, hasta llegar a lo que hoy se conoce como calidad total.

Las teorías se desarrollaron principalmente en los países más avanzados y tecnología, como Estados Unidos y Japón, siendo éste último donde se inició la implantación en las empresas de la calidad total, su cultura, técnicas y herramientas.

Hay diferentes corrientes y autores que aportan soluciones, ideas, métodos, mecanismos que enriquecen los principios de calidad en su aplicación a los diferentes tipos de organizaciones y situaciones cambiantes.

De acuerdo con Bounds Adams, la calidad ha evolucionado a través de cuatro etapas, puesto que “la calidad es un paradigma que se ha venido gestando a través del cambio permanente, impulsado por la intensa competitividad global”.

1.3.1. Inspección de la calidad

A partir de la Revolución Industrial y hasta el manejo de la administración científica se desarrolla la inspección de la calidad como forma de medir la calidad, se define como “el conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para verificar los requisitos relativos a la calidad del producto o servicio”, siendo la calidad el grado en que un producto cumplía con las especificaciones técnicas que se habían establecido desde su diseño.

La inspección de calidad surge a principios del siglo XX, cuando Frederick Winston Taylor, precursor de la administración científica, definió una clara división de funciones y separación entre la planificación y la ejecución de la empresa; en consecuencia, una diferenciación entre las personas que ejecutan tareas y las que controlan; así, la inspección surgió de la necesidad de producir componentes intercambiables.

El segundo gran hito fue la “línea de montaje” desarrollada por Henry Ford. Este sistema requería que las piezas utilizadas en la línea fueran intercambiables, por tanto, deberían cumplir con requisitos mínimos. Introdujo las tolerancias que las piezas deberían cumplir para garantizar su montaje y era necesario su control final. Se impulsó el concepto de inspección aplicada a todos los productos terminados.

1.3.2. Control estadístico de la calidad

La gestión de la calidad a través de control significa tratar con los datos obtenidos de procesos utilizados para la fabricación del producto o servicio. La clave de esta etapa se sitúa en los resultados de una serie de investigaciones realizadas por W.A. Shewhart, en Bell Company, que culmina con la publicación, en 1931, del libro *Economía de Control de Calidad en los Productos Fabricados*, donde desarrolla técnicas para evaluar la producción y plantea distintas maneras de mejorar la calidad.

Uno de sus principales legados es reconocer que en toda producción industrial sucede una variación en el proceso; esto es, existen varias razones por las que no pueden fabricarse dos partes con las mismas especificaciones, materia prima, habilidades del trabajador, maquinaria, incluso existen variaciones en piezas producidas por un mismo operario y con la misma maquinaria.

Según Shewhart, esta variación debía ser estudiada por los principios de la probabilidad y de la estadística, no con la intención de eliminar esta variación, sino de ver el rango de variación aceptable sin que origine problemas. Con base en esta idea, Shewhart desarrolló técnicas estadísticas sencillas para determinar los límites de la variación y gráficas de control para presentar los resultados que le permitan distinguir entre problemas inherentes al proceso de producción.

A finales de la década de 1940, el control de calidad ya era una disciplina académica; sin embargo, sus técnicas sólo eran estadísticas y se aplicaban exclusivamente en el departamento de producción de las empresas.

1.3.3. Aseguramiento de la calidad

El paso a esta nueva etapa se produce cuando se admite que el control estadístico de la calidad también tiene implicaciones en la administración de la empresa y no exclusivamente en el departamento de producción. Los nuevos sistemas de calidad, además del control de la fabricación, incluyen el desarrollo de nuevos productos o servicios al usuario.

Aunque el control estadístico del proceso siguió siendo una forma de prevenir defectos, a partir de la década de 1950 aparecieron nuevos elementos que dieron un giro al control de la calidad: los costos de la calidad, el control total de la calidad, la ingeniería de la fiabilidad y cero defectos, todos ellos parten de la visión del usuario hacia el producto.

La especialidad con que se trataba la calidad en el control estadístico ya no era suficiente, las mejoras de la calidad no podrían tener lugar sin el compromiso de todos los departamentos, incluidos los pasaportes internos, externos, y con la mira siempre hacia el usuario.

Las empresas empiezan a desarrollar sistemas de aseguramiento de la calidad, que consisten en documentar toda acción con procedimientos e instrucciones técnicas, revisadas para su cumplimiento a través de auditorías donde también se establecen normas internacionales con el fin de garantizar la calidad.

La Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) afirma que el aseguramiento de la calidad está formado por el conjunto de acciones planificadas y sistematizadas, que son necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto o servicio va a satisfacer los requisitos dados sobre la calidad.

1.3.4. Administración de la calidad total

La diversificación del mercado y el crecimiento de la oferta generada a partir de los avances tecnológicos y de comunicación, proporcionó a los consumidores una amplia gama de oportunidades en las diferentes áreas; en consecuencia, el usuario ya no sólo toma como referencia el precio y calidad del producto, sino, a su vez, demanda, atención, servicio, entrega, facilidades de pago, etc.

La gestión de la calidad total institucionaliza un proceso sin fin de mejora, hace énfasis en cumplir y exceder las necesidades y expectativas de los clientes, consigue que se eliminen los defectos y trabajos de reparación y/o corrección y, sobretodo, potencia la capacidad de todas las personas de la organización.

Durante la década de 1980 y principios de la de 1990 aumentó la literatura relacionada con lo que se ha llamado administración de la calidad total (*Total Quality Management, TQM*). Esta nueva vertiente de la calidad tiene una visión más global, orientada hacia los aspectos humanos y hacia la mejora de los procesos de dirección de las organizaciones.

Armand V. Feigenbaum publicó, en 1956, *Total Quality Control*, en donde señala que la calidad debe extenderse en toda la organización; es decir, que todas las áreas deben estar controladas bajo un sistema de calidad. Presenta la calidad total como un modo de vida corporativa que, modo de administrar la organización, se llega a la excelencia. John Oakland escribió, en 1993, *Total Quality Management*, donde hace una recopilación de las ideas más representativas de los “gurús” de calidad y las conjunta en un modelo llamado calidad total.

En este sentido, la calidad total es una conjunción de ideas que forman “un sistema de gestión o filosofía gerencial a través del cual las organizaciones satisfacen las necesidades y expectativas del usuario, de sus empleados, de los accionistas y de toda la sociedad en general, utilizando los recursos de los que disponen: personas, materiales, tecnología, sistemas productivos, etc.” El adjetivo total se refiere al alcance de la filosofía de calidad que se involucra en todos los ámbitos de la organización.

Los elementos claves de la gestión de la calidad total pueden ser resumidos como sigue: está enfocada al cliente, requiere el compromiso total de todas las personas de la organización y

busca la mejora continua en todos los niveles de la organización, siendo esta mejora la que ocasiona las decisiones y cambios.

- **Sistema de gestión de calidad**

Debe entenderse por Gestión de Calidad el conjunto de caminos mediante los cuales se consigue la calidad; incorporándolo por tanto al proceso de gestión, que es como se traduce el término inglés <<management>>, que alude a dirección, gobierno y coordinación de actividades.

De este modo, una posible definición de gestión de calidad sería el modo en que la dirección planifica el futuro, implanta los programas y controla los resultados de la función calidad con vistas a su mejora permanente.

Así pues, mediante la gestión de calidad, la gerencia participa en la definición, análisis y garantía de los productos y servicios ofertados por la empresa, interviniendo y haciendo que se realicen los siguientes tipos de actuaciones:

- Definir los objetivos de calidad, aunando para ello los intereses de la empresa con las necesidades de los clientes.
- Conseguir que los productos o servicios estén conformes con dichos objetivos, facilitando todos los medios necesarios para lograrlo.
- Evaluar y vigilar que se alcanza la calidad deseada.
- Mejorarla continuamente, convirtiendo los objetivos y la consecución de la calidad en un proceso dinámico que evoluciona de modo permanente, de acuerdo con las exigencias del mercado.

- **Enfoque en el cliente**

El cliente define la calidad. Nada de lo que la organización haga para mejorar (formación del personal, integración de la función de calidad en los procesos de diseño, mejoras de software, y compras de nuevas herramientas de medida) es mejor indicador que la satisfacción del cliente. Es quien determina si los esfuerzos de la organización están o no en el buen camino.

- **Involucración total de los empleados**

Es imprescindible una participación de los empleados a todos los niveles para conseguir cumplir los objetivos comunes. A pesar de la excelente documentación en la organización, de los datos existentes, de los sistemas de control de cambios, de los esfuerzos realizados y de las inversiones económicas, todo sería inútil si no hay un compromiso de los empleados en alcanzar la Gestión de la Calidad Total. El compromiso de los empleados sólo puede ser conseguido, según T. Pyzdek, cuando:

- Se eliminan los temores en el puesto de trabajo.
- Todas las personas trabajan con su máxima autonomía y responsabilidad.
- La dirección ha generado el ambiente de trabajo adecuado, insaturando sistemas de trabajo de alto rendimiento para conseguir la mejora continua o generando equipos de trabajo autodirigidos con capacidad para realizar cambios.

- **Basada en la organización**
Como mínimo la filosofía de la organización debe estar basada en la confianza mutua y el reconocimiento de los valores de los individuos, y debe ser abierta, con libertad y sin temores que puedan afectar la Gestión de la Calidad Total.
- **Sistema integrador**
Algunos expertos en Gestión de la Calidad Total creen que la satisfacción de los empleados equivale a la satisfacción de los clientes. Para que esto suceda, deben existir líneas claras de acción por toda la organización. Las personas de la organización deben establecer y entender la misión, visión y principios, así como la Política de la Calidad, metas, objetivos y procesos críticos de la organización. Todos los aspectos de comunicación deben de ser tenidos en consideración, establecidos y validados continuamente. Un sistema integrador conecta los elementos de la organización en un intento de conseguir mejorar continuamente y exceder las expectativas de los clientes, empleados y grupos de interés.
- **Enfoque estratégico y sistemático**
Una parte crítica de la gestión de la calidad es el enfoque estratégico y sistemático para obtener una visión, misión y metas. Este proceso, conocido popularmente como planeación estratégica, incluye la formulación de un plan estratégico y de un plan de calidad.
- **Mejora del proceso**
Uno de los mayores avances que han generado la Gestión de la Calidad Total es la mejora del proceso.
- **Comunicaciones**
Durante el proceso de gestión de cambio, es necesario e imprescindible un proceso de comunicación para motivar a los empleados y mantener su moral.

CAPÍTULO II

TEORÍA DE SIX SIGMA

CAPÍTULO II

TEORÍA DE SIX SIGMA

2.1. Six Sigma

Six Sigma es una filosofía de calidad basada en la asignación de metas alcanzables a corto plazo enfocadas a objetivos a largo plazo. Utiliza las metas y los objetivos del cliente para manejar la mejora continua a todos los niveles en cualquier empresa. El objetivo a largo plazo es el de diseñar e implementar procesos más robustos en los que los defectos se miden a niveles solamente unos pocos por millón de oportunidades.

Six Sigma proporciona medidas que se aplican tanto a las actividades de producción como de servicios; los defectos por millón de oportunidades (DPMO). Históricamente (desde el año 1920), se discute que la capacidad de un proceso de negocios en términos estadísticos es como obtener tres sigmas. Esto se refiere a un proceso en el que el promedio (media) es fijo y cuya medida de la variabilidad (sigma) sería de 66 807 DPMO. Un proceso de cuatro sigma, que es donde muchas compañías están actualmente, tendría 6 210 DPMO, y un proceso de Six Sigma tendría 3.4 DPMO.

Six Sigma es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento; pone primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores soluciones. Se enfoca a definir la satisfacción del cliente, midiendo y usando los equipos para reducir de manera continua los defectos por millón de oportunidades en cada medición. El número es demasiado pequeño (3.4 DPMO) y puede percibirse como “la perfección virtual”.

Los esfuerzos Six Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo de ciclo
- Reducir los defectos.

Las mejoras en estas áreas normalmente representan grandes ahorros de costos para los negocios, así como oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa excelente en productos y servicios.

Aunque envuelve el medir y analizar los procesos de negocio de una organización, Six Sigma no es sólo una iniciativa de *calidad*: es una iniciativa *empresarial*. Conseguir el objetivo de Six Sigma requiere mucho más que mejoras pequeñas, incrementales; requiere mejoras muy importantes en cada una de las áreas de operaciones. En términos estadísticos <<alcanzar Six Sigma>> significa que su proceso o producto operarán prácticamente sin defectos.

Pero el mensaje de Six Sigma va más allá de la estadística. Es un compromiso total de la dirección y una filosofía de la excelencia, del enfoque en el cliente, de la mejora de procesos y de usar como regla la medida en lugar de las opiniones. Six Sigma trata de cómo hacer que cada área

de la organización sea capaz de satisfacer mejor las necesidades cambiantes de los clientes, los mercados y las tecnologías, con beneficios para los empleados, los clientes y los accionistas.

Six Sigma no apareció de la noche a la mañana. Sus orígenes se remontan a los años ochenta, tanto en conceptos de gestión empresarial desarrollados en Estados Unidos y en Japón, como a los esfuerzos de <<Calidad Total>> de los años 70's y 80's. Pero su impacto real se ha visto en las olas de cambio y en los resultados positivos que han barrido compañías como GE, Motorola, Johnson & Johnson y American Express.

Hay tres características clave que diferencian Six Sigma de los antiguos programas de mejora de la calidad:

1. *Six Sigma está enfocado en el cliente.* Se convierte casi en una obsesión el mantener a la vista las necesidades de los clientes externos, impulsando el esfuerzo de mejora.
2. *Los proyectos Six Sigma producen grandes retornos sobre la inversión.*
3. *Six Sigma cambia el modo que opera la dirección.* Six Sigma es mucho más que proyectos de mejora. La alta dirección y los directivos por toda la empresa aprenden las herramientas y los conceptos de Six Sigma: nuevos enfoques sobre el modo de pensar, planificar y de ejecutar para conseguir resultados. De muchas maneras, Six Sigma, trata de cómo poner en práctica la idea de trabajar de modo más inteligente, no más duro.

Six Sigma ha producido resultados impresionantes. Pero lograrlos requiere mucho trabajo en equipo. Significa tener sistemas que suministren a los clientes lo que éstos quieren cuando lo quieran. Significa darles a los empleados tiempo y formación para vencer los desafíos del trabajo con herramientas, algunas básicas, otras sofisticadas.

La pregunta *¿Qué es Six Sigma?* puede contestarse de varios modos, entre ellos se presentan las definiciones:

1. Una *medida* estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.
2. Un *objetivo* de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
3. Un *sistema* de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

Las empresas que persiguen la mejora continua basada en la filosofía Six Sigma logran no sólo reducir el nivel de defectos, sino también:

- Reducir costos a través de la eliminación de errores internos.
- Reducir el tiempo de proceso.
- Incrementar su productividad.
- Mejorar la calidad en el proceso de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos.
- Mejorar el nivel de resultados de los procesos de soporte.

Lograr un nivel de calidad alto, considerar la calidad como un imperativo para sobrevivir en el entorno competitivo actual y, por tanto, uno de los factores estratégicos para la gestión de una empresa, ya formaba parte de los objetivos de los programa de TQM. La novedad de la iniciativa Six Sigma radica, en primer lugar, en la formación interna de empleados en todos los

niveles de la organización en métodos estadísticos y, en segundo lugar, en desarrollar una organización interna que sepa enfocar esos recursos humanos, en proyectos que tengan una clara oportunidad de mejora y además un impacto en la cuenta de resultados de la empresa, es decir, que logre resultados tangibles a través de una metodología rigurosa.

El éxito del programa Six Sigma supone algo más que la formación estadística que es básicamente similar a la que se dan en muchas escuelas técnicas o facultades. Implica la difusión de los conocimientos en métodos estadísticos en todos los niveles de la empresa, en la formación a empleados, tanto técnicos como administrativos, para posteriormente lograr su aplicación en la práctica en proyectos seleccionados con criterios claros de modo que se logren mejoras sustanciales en el diseño y optimización de los productos y procesos, reduciendo su variabilidad y con ellos los costos de no calidad.

La iniciativa Six Sigma tiene, por tanto, dos facetas principales. Por un lado su organización y gestión, los procesos y fases para su implantación con éxito en una empresa, los recursos e infraestructura necesarios para abordar el programa con resultados satisfactorios, los criterios clave en la elección de proyectos; por otro lado el conocimiento y dominio en un colectivo de empleados de una amplia variedad de métodos estadísticos.

2.1.1. Definición de Six Sigma como una medida estadística

El programa Six Sigma intenta batir un enemigo de los procesos: la variabilidad, la cual se define como la variación en un producto y está presente en todo proceso real, de modo que no se puede predecir con exactitud el resultado de un proceso antes de que éste suceda. Eso no significa que la variabilidad no se pueda medir. Sí suele ser posible saber el valor medio aproximado de la medida de la cual se está estudiando la variabilidad.

La desviación típica de una variable aleatoria está dada por:

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}\right)}$$

Dónde $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$ siendo x_i de $i=1$, hasta n , los n valores medidos en n actividades distintas.

La letra griega minúscula sigma (σ) se usa como símbolo de la desviación estándar. Sigma (σ) es, por tanto, un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores, en un grupo de artículos o en un proceso respecto a su valor medio, de modo que, *cuanto menor sea σ menor será el número de defectos*. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea σ , menor será el número de valores fuera de especificaciones y, por tanto, el número de defectos.

En cambio, *en la iniciativa de calidad Six Sigma se mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de especificación, de modo que cuanto mayor sea el número de sigmas que caben dentro de los límites de especificación, menor será el valor de sigma y*

por tanto, menor el número de defectos. Es decir, en esta escala un nivel 6 Sigma implica menos defectos que 5 Sigma.

La medida Six Sigma mira cuán bien se satisfacen los requerimientos de los clientes y se desarrolló para ayudar a:

- Enfocar las medidas en los clientes que pagan por los bienes y servicios. Muchos de los parámetros que tradicionalmente han usado las empresas, como son las horas laborales, los costos y el volumen de ventas, evalúan cosas que no están relacionadas con lo que realmente le preocupa al cliente.
- Proveer un modo consistente de medir y comparar procesos distintos. Usando la escala de sigma, podemos evaluar y comparar dos actividades muy distintas pero críticas.

En la figura 2.1 se muestran las fuentes básicas de la variabilidad en un producto.



Figura 2.1 Variabilidad en un producto

El primer paso para calcular el nivel sigma o para comprender su significado es entender qué esperan los clientes. En el lenguaje de Six Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQs (por sus siglas en inglés *Critical to Quality* = Críticos para la Calidad). De hecho, una de las claves de Six Sigma es comprender mejor y evaluar cuán bien opera un proceso con respecto a todos sus CTQs, no sólo uno o dos.

Usamos la medida en sigma para ver cuán bien o mal opera un proceso y para dar a todo el mundo una manera común para expresar esa medida. La tabla 2.2 resume los niveles de desempeño en sigma relacionándolos con el número de defectos por millón de oportunidades o actividades.

Nivel en sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3.4
5	233
4	6 210
3	66 807
2	308 537
1	690 000

Tabla 2.2 Niveles de desempeño en sigma

Al nivel de calidad del 99.99966% de productos conformes, equivalente a un nivel de defectos de 3.4 defectos por millón de oportunidades se le denomina nivel de calidad Six Sigma. Este número tiene en cuenta que existen fuentes de variabilidad en los procesos, pero que éstas están controladas. Se considera un nivel de calidad excelente y, por tanto, un objetivo estratégico a alcanzar si una empresa pretende la satisfacción de sus clientes.

El nivel de calidad medio en esta escala de $\pm\sigma$ permite comparar la calidad de productos, procesos o servicios de una empresa.

Al dar el nivel en $\pm\sigma$ se indica cuántas σ caben dentro del intervalo de tolerancias y, por tanto, cuán pequeña es σ que nos mide la dispersión de nuestro producto respecto a los límites de tolerancias. Cuánto más pequeña sea dicha dispersión, menor será σ , y más σ cabrán en el intervalo de tolerancias y mayor será el número en la escala de $\pm\sigma$.

Con el nivel de calidad medido en sigmas se puede medir la calidad de productos y procesos y eso ayudará a centrar los esfuerzos y recursos de mejora. Ese indicador de nivel de calidad permitirá evaluar el progreso en la mejora de calidad del producto. Para lograr esto se necesita conocer primero que espera el cliente del producto, sus límites de control de especificaciones, definir los procesos claves, su rendimiento y el nivel de calidad en σ correspondiente.

La estrategia competitiva de Six Sigma es, básicamente la siguiente:

Implantar en todos los niveles de la empresa un modelo de gestión empresarial basado en la mejora de procesos, usando el conocimiento derivado del proceso estadístico de datos, con el fin de determinar las acciones oportunas para lograr una calidad que represente un índice final de defectos del producto de sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades.

La medida y la subsiguiente mejora de la calidad de los productos son absolutamente esenciales si se quiere lograr la excelencia en producción. Una empresa debe analizar primero cuál es su nivel de calidad medido en sigmas en cada una de sus secciones a partir del número de defectos por millón de sus productos o servicios. Si una empresa reduce sus defectos por millón aumentará su nivel de calidad medido en sigmas en esta escala de nivel de calidad. Si logra el nivel 6 Sigma significará que sus productos o servicios tienen sólo 3.4 defectos en cada millón de oportunidades.

La escala en sigmas proporciona un instrumento preciso para medir la calidad de las empresas a partir de la calidad de sus productos y permite un benchmarking, una comparación de los esfuerzos realizados en el ámbito interno y externo. A partir de esa referencia el fundamento del enfoque estratégico 6 Sigma resulta muy simple que se puede resumir:

Reducir el número de defectos del producto o servicio logrando un nivel mayor de sigmas (σ), en búsqueda del nivel 6 sigma en el producto acabado, es decir, 3.4 defectos por millón y con ello reducir al mínimo los costos asociados a los problemas de calidad en la empresa.

Si una empresa mejora el índice de calidad medido en sigmas significa que ha reducido sus defectos por millón y, por tanto, ha mejorado la calidad de sus productos. Al lograrlo notará que reducen los costos asociados a la baja calidad del producto (en muchos casos no cuantificados), sobretodo los costos de reproceso y de garantías. Eso se traducirá en una mejora de la cifra de resultados del negocio. Además, aumentará el número de clientes satisfechos con sus productos y eso es vital para aumentar la competitividad de la empresa.

2.1.2. Definición de Six Sigma como una meta

Cuando una empresa viola requerimientos importantes del cliente, genera defectos, quejas y costos. Cuanto mayor sea el número de defectos que ocurran, mayor será el costo de corregirlos, así como mayor el riesgo de perder clientes. Idealmente, una empresa quiere evitar defectos y el costo resultante tanto en dinero como en insatisfacción para el cliente. Pero cuando se tienen muchos clientes, algunos defectos ocurrirán inevitablemente. El problema es que incluso un número aparentemente bajo de defectos puede representar un gran número de clientes insatisfechos.

La meta Six Sigma es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libre de defectos. La noción de <<cero defectos>> no funciona aquí; Six Sigma reconoce que hay siempre lugar para los defectos, aún en los mejores procesos o en el mejor producto. Pero con un nivel de funcionamiento correcto del 99.99966%, Six Sigma fija un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

El impacto de lograr Six Sigma puede fácilmente apreciarse si comparamos el desempeño de varios aspectos de una empresa con alguna otra buena que funciona al 99%. Los costos de operar con una calidad del 99% pueden tener un alto impacto en la cuenta de resultados.

La meta de Six Sigma es especialmente ambiciosa cuando se tiene en cuenta que antes de empezar con una iniciativa Six Sigma, muchos procesos en muchas empresas operan a niveles de 1, 2 y 3 sigma, especialmente en áreas de servicios y administrativas. Esto significa que ocurren de 66 000 a 700 000 errores por millón de oportunidades. En realidad, resulta un shock para la gente ver el bajo nivel de desempeño de sus procesos y productos. Algunos hechos sobre los efectos secundarios de operar a un nivel bajo de sigma son los siguientes:

- Un cliente insatisfecho le contará su infeliz experiencia a entre nueve y diez personas, o incluso más si el problema es serio.
- El mismo cliente sólo se lo dirá a cinco personas, si el problema se manejó satisfactoriamente.

- El 31% de los clientes que experimentan problemas de servicio nunca registra sus quejas, porque <<es demasiado complicado>>, no hay un canal de comunicación fácil o porque piensan que a nadie le importa.
- De ese 31% sólo un 9% volverá a tener negocios con la empresa.

De hecho, los defectos pueden resultar en clientes perdidos, y estos que abandonan les cuentan a otros sus experiencias, haciendo que sea mucho más difícil recuperarse de los defectos. A medida que los clientes se hacen cada vez más exigentes e impacientes, estos niveles altos de defectos ponen a la empresa en un serio riesgo.

Cuando una empresa adopta el emblema Six Sigma, está diciendo en realidad: “Nos gustaría tener el mayor número posible de actividades relacionadas con los clientes y de productos funcionando tan cerca del nivel Six Sigma como sea posible”. Como 3.4 defectos por millón es una meta desafiadora, un objetivo mucho más inmediato puede ser pasar de 2 a 3 sigma. Representaría reducir los defectos de más de 300 000 por millón a menos de 70 000.

Mantener contentos a los clientes es bueno y rentable para el negocio. Un 5% de aumento en la retención del cliente se ha visto que ha significado aumentar los beneficios más del 25%. Se estima que las compañías pierden entre un 15% y un 20% de ingresos cada año, por sus procesos inefectivos e ineficientes, e incluso algunos dicen que la cifra es mayor. Six Sigma provee una meta que aplica tanto a productos como a servicios y fija objetivos a corto plazo que sean factibles mientras busca objetivos a largo plazo para el negocio.

2.1.3. Definición de Six Sigma como un modelo de dirección

Una gran diferencia entre Six Sigma y programas aparentemente similares del pasado es el grado en el que la dirección juega un papel crucial al controlar regularmente los resultados y logros del programa. La formación por sí sola no es un sistema de dirección. Un sistema de dirección requiere pedir responsabilidades por los resultados y revisiones regulares para garantizar los resultados. Si se piden responsabilidades y hay revisiones regulares, los directivos pueden empezar a usar Six Sigma como una guía para liderar su negocio.

Numerosas empresas utilizan la metodología Six Sigma como obligatoria en sus plantas. Un directivo cita tres razones:

1. Se hace imperativo cuando hay que evaluar y mejorar la capacidad de los procesos.
2. Es un medio para reducir la complejidad de diseños de productos y procesos al tiempo que se aumenta fiabilidad.
3. Es una puesta en escena para combatir lo que muchas veces se refiere a la “mala suerte”; esta puesta en escena es válida no sólo en el taller sino en cualquier lugar de la organización.

En la figura 2.3 se muestran las oportunidades para la mejora.

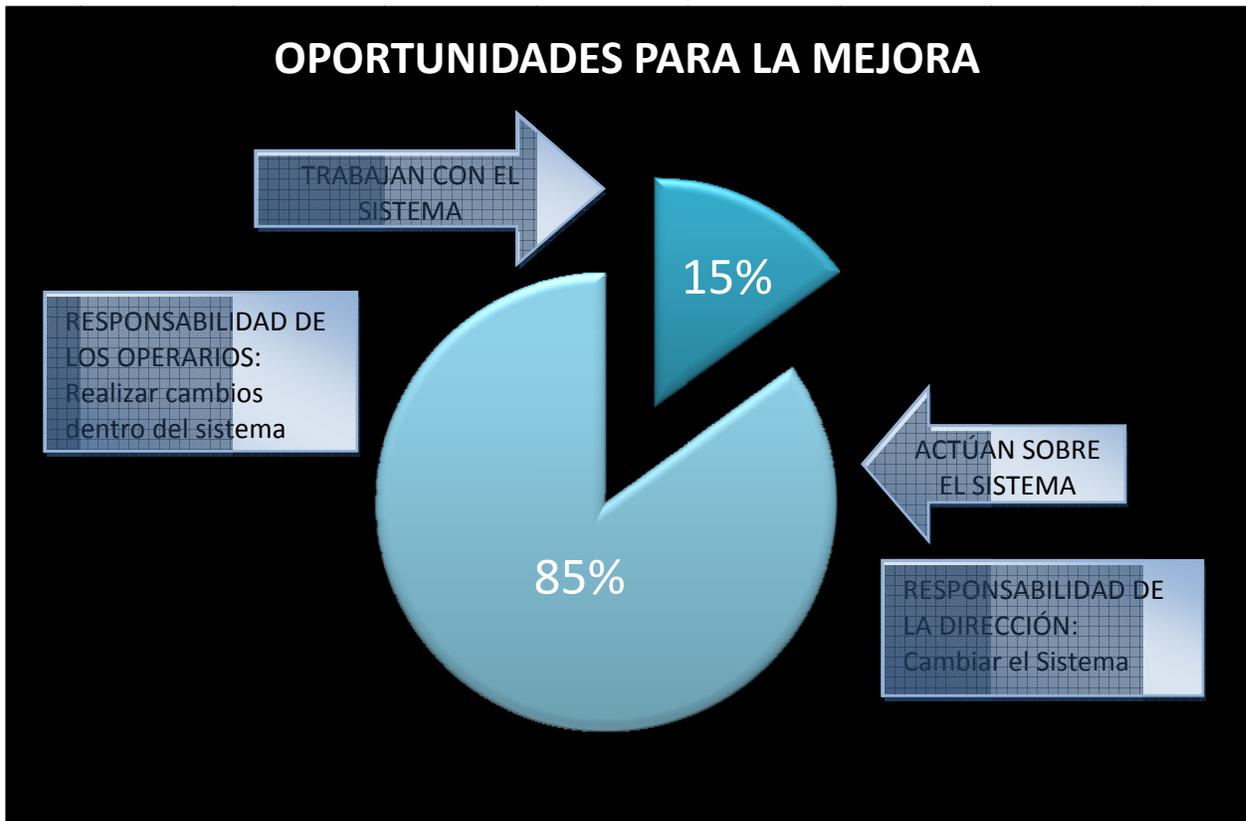


Figura 2.3 Oportunidades para la mejora

Se puede decir que la metodología Six Sigma gira sobre dos aspectos importantes:

- El fabricante de calidad es a la vez el fabricante que es capaz de producir a bajo costo. Es menos costoso fabricar bien a la primera que gastar dinero en ajustes, correcciones y también reprocesos.
- La calidad se puede cuantificar, y es más, la calidad tiene que cuantificarse. El diagnóstico y el seguimiento de la calidad es un compromiso de calidad a largo plazo. A corto plazo, Six Sigma se sustenta en medidas más que en experiencias, juicios y creencias pasadas. Si no se puede medir, no se sabe dónde está; si no se sabe dónde está, se encuentra a merced del azar.

Al ser una herencia de las filosofías de Deming y Juran, Six Sigma tiene como principal fundamento el establecer un compromiso con los clientes para ofrecer productos de la más alta calidad a un menor costo.

Six Sigma es una metodología rigurosa que utiliza herramientas y métodos estadísticos para *definir* los problemas; tomar datos, es decir, *medir*, *analizar* la información; emprender mejoras; *controlar* procesos; rediseñar procesos o productos existentes o hacer nuevos diseños,

con la finalidad de alcanzar etapas *óptimas*, retornando nuevamente a alguna de las otras fases, generando un ciclo de mejora continua; a semejanza del ciclo Deming, Motorola diseñó sus diez puntos:

Los diez puntos de Motorola:

1. Priorizar oportunidades de mejora.
2. Seleccionar el equipo apropiado.
3. Describir totalmente el proceso.
4. Realizar un análisis del sistema de medición.
5. Identificar y describir los procesos / productos críticos potenciales.
6. Aislar y verificar los procesos críticos.
7. Efectuar estudios de capacidad de procesos y sistemas de medición y realizar las mejoras si fueran necesarias.
8. Implantar condiciones óptimas de operación y la metodología de control.
9. Establecer un proceso continuo de mejora.
10. Reducir las variaciones por causas comunes hasta alcanzar Six Sigma.

Las empresas que utilizan la metodología Six Sigma están poniendo más responsabilidad en las manos de la gente que trabaja directamente con los clientes.

De forma breve, Six Sigma es un sistema que combina tanto un fuerte liderazgo como el compromiso y energía de la base. Además, los beneficios de Six Sigma no sólo son financieros. El personal de una empresa Six Sigma, a todos los niveles, encuentra que una mejor comprensión de los clientes, procesos más claros, indicadores con significado, y herramientas de mejora poderosas, hacen que su trabajo sea más efectivo, menos caótico y, a menudo, mejor remunerado.

2.2. Desarrollo histórico del Six Sigma

A principios de los años 80's, las empresas aún medían su calidad en porcentajes, por lo general el número de defectos detectados en 100 piezas. Sin embargo, en muchas industrias el nivel de defectos había mejorado tanto como para permitir contabilizarlo ya no en porcentajes, sino en defectos por millón (DPMO) de piezas.

En 1985, el Dr. Mikel Harry, ingeniero y estadístico en la división de electrónica del gobierno de Motorola Inc., en Phoenix, Arizona (EU), publicó un artículo en el que describía la relación entre fiabilidad de un producto y el nivel de reparación que tenía ese producto durante su proceso de fabricación. Por eso, junto con otros ingenieros de Motorola, diseñó una iniciativa de mejora de calidad basada en eliminar las causas de los problemas antes de que fuese necesario identificar y reparar los defectos, mediante el uso de métodos estadísticos. Curiosamente, fue la división de Comunicaciones de Motorola, dirigida por G. Fisher, la que lanzó un programa de calidad total con el nombre de Six Sigma.

Motorola iba a aplicar esta metodología a procesos distintos de los de fabricación, en ámbitos administrativos y financieros. De modo que en 1987 el entonces presidente de Motorola, Bob Galvin, se atrevió a anunciar el objetivo que se convertiría en el más famoso de los programas de calidad en la industria norteamericana:

<<Lograr un nivel de calidad Six Sigma en nuestros productos y servicios equivalente a sólo 3.4 defectos por millón para el año 1992>>

Para Motorola, la iniciativa Six Sigma representaba un objetivo sin precedentes porque representaba lograr en tan sólo cinco años reducir unas 10 000 veces la tasa de defectos existente entonces en la mayoría de productos y servicios de la empresa, evaluada en unos 35 000 defectos por millón.

La iniciativa Six Sigma tenía un objetivo singular: *la satisfacción total del cliente* porque, citando las palabras de Galvin <<si uno cuida al cliente mejor que la competencia, el negocio se cuida él mismo>>.

¿Qué significaba para Motorola la satisfacción total del cliente? Significaba más que satisfacción con el producto: cumplir o incluso exceder con los requerimientos de los clientes, incluyendo la disponibilidad del producto a tiempo, el soporte técnico, la competencia de la red de ventas, la fiabilidad en la facturación, etc., es decir, la satisfacción del cliente en todas las interacciones que sostiene con la empresa.

Un *defecto* es un fallo en satisfacer al cliente, sea el cliente final o a un cliente interno, entendiéndose como tal a cualquiera en la empresa que recibe el resultado de nuestra actividad diaria, sea un producto, un servicio o un documento.

En ese sentido, la calidad según la iniciativa Six Sigma vendría definida por una prestación de servicios o la entrega de productos a los clientes libre de defectos. El nivel de calidad se mediría contando los defectos por unidad en cualquiera de las actividades que constituyen los procesos de la empresa.

El objetivo sería reducir esos defectos hasta lograr 3.4 defectos por millón de unidades, lo que resultaría en clientes satisfechos además de reducir los costos de garantía y de reproceso internos, con un impacto positivo en la cuenta de resultados.

Es decir, al fijarse un nivel de calidad Six Sigma, Galvin decía que, hiciera lo que hiciera Motorola, fuera fabricar un circuito electrónico o facturar a un cliente, al medir la calidad de ese producto o servicio mediante la cuantificación del número de defectos por millón, tendría una tasa de defectos de sólo 3.4 defectos por millón.

Por supuesto que Motorola no logró el nivel Six Sigma en 1992 en todos sus productos o servicios. Algunos lo lograron, otros no, pero la compañía logró un nivel promedio de unos 150 DPMO, que, como se verá más adelante, es un nivel de unos 5.5. Sigma. Si no se hubiera fijado el objetivo de 6 Sigma probablemente no hubiera logrado ese nivel, ni hubiera reducido drásticamente los costos de no calidad de la empresa mejorando sus resultados financieros.

Por otra parte según la experiencia de Motorola, una empresa promedio que opera en un nivel 4 Sigma gastaría más del 10% de sus ventas en reparaciones internas y externas, frente a un productor 6 Sigma que no llegaría al 1%. Es decir, hay una relación inversa entre los costos de no calidad y el nivel de calidad medido en sigmas. A menor nivel en sigmas mayores costos de no calidad medidos en porcentajes sobre la cifra de ventas.

El enfoque Six Sigma parte de la premisa de que las pérdidas de un producto son directamente proporcionales a la variabilidad de la característica de calidad del producto en cuestión. Por ello, en general, la mejora de la calidad pasa por reducir la variabilidad, σ .



De modo que la estrategia básica para la mejora de la calidad pasa por identificar las causas o factores que producen variabilidad y luego ajustarlos de modo que tengamos una variabilidad mínima.

El éxito de Motorola al usar desde entonces como una herramienta de mejora continua esa iniciativa de mejora de calidad que se denominó finalmente Six Sigma y que le permitió reducir sus costos de no calidad y en consecuencia mejorar su cuenta de resultados llevó en la década de los 90's, a varias empresas multinacionales a imitarlas e implementar esa metodología para fortuna, como se verá, del Dr. Mikel Harry.

Harry fue el encargado de establecer el Instituto de Investigaciones Six Sigma en la Universidad Motorola, Schaumburg, IL. (Estados Unidos), donde desarrolló una metodología de mejora continua de la calidad, combinando técnicas y métodos estadísticos ya conocidos, no originales, en un formato que podría haber sido adoptado por cualquier otro, pero que como nadie lo había hecho antes, Harry lo registró como propio: Six Sigma. En esa época hubo varios libros que aún hoy pueden comprarse en la Universidad Motorola.

En 1993, Harry junto con Schroeder dejaron Motorola, que entonces ya afirmaba operar a un nivel próximo al Six Sigma en la mayoría de sus procesos productivos, para incorporarse al grupo ABB (Asea Brown Boveri Ltd.) compañía que desde entonces usa la metodología Six Sigma para mejorar la calidad de sus productos y procesos.

Más tarde, Harry y Schroeder decidieron establecerse por su cuenta como consultores, fundando la Six Sigma Academy en Phoenix, Arizona, Estados Unidos., convirtiéndose de este modo en los <<gurús>> de la iniciativa Six Sigma.

Fue un cliente suyo de Unisys Corp. quien le dio la idea de comparar su método con la disciplina de un cinturón negro (*black belt*) de karate. Harry acuñó entonces el nombre de *black belt* para los expertos en esta metodología.

Conseguir de Harry una licencia para entrenar a un grupo inicial de black Belts no es nada barato. En 1997, el periódico *Globe & Mail* de Toronto, Canadá, informó que la licencia parte de un mínimo de un millón de dólares y un máximo que depende de la cifra de facturación de la empresa cliente pudiendo alcanzar fácilmente varios millones de dólares. Cada grupo de 25 black belts adicionales cuesta 150, 000 dólares adicionales. A sus 50 años, Harry tiene una salud financiera envidiable, cuya solidez se evidencia por su rancho de 8 hectáreas, el Rancho Sigma, 140 km al norte de Phoenix, donde se divierte como cowboy.

En realidad, Harry subcontrata la formación en Six Sigma a varias empresas de consultores, algunos procedentes de Motorola. Él ahora sólo imparte sus brillantes clases a los directivos

principales de empresas multinacionales -sus potenciales clientes, ya que los costos de la licencia hacen prohibitivo el programa a las pequeñas y medianas empresas- pero uno puede aún verlo, mucho más joven, en videos que aún vende la Universidad de Motorola, que por cierto imparte aún su propio programa de formación: el *Motorola's Six Sigma Black Belt Program*.

De modo que durante los años 90's varias corporaciones multinacionales han aplicado esta iniciativa de calidad de un modo riguroso y disciplinado con un éxito notable, reduciendo sus costos de calidad de un modo tan drástico que ha compensado los costos elevados de la formación inicial. Algunas de ellas han sido: Sony Corp., General Electric, Allied Signal, Bombardier Aerospace, Raytheon, Texas Instruments, Kodak, Polaroid, Lockheed Martin Corp., Honeywell, Whirlpool, Bayer, Johnson & Johnson, Rexam, Dow Chemical, Seagate Technology, Black & Decker, DuPont, Federal Express, Navistary y Siebe Appliance Controls. En Europa, el Club Europeo Six Sigma incluye a ABB, Allied Signal, Ericsson, Philips, Siemens y Whirlpool.

Una de las empresas que más éxito ha tenido con Six Sigma, General Electric, definía su objetivo al adoptar este programa: <<Convertirse en una compañía con productos, servicios y transacciones virtualmente sin defectos>>, citando a Jack Welch, el entonces presidente y jefe ejecutivo, que adoptó Six Sigma en 1995, siguiendo los consejos de L. Bossidy, director de Allied Signal. En 1997, Jack Welch le decía a un periodista del *Wall Street Journal*:

<<Tienes que decirle a tu gente que la calidad es crítica para sobrevivir, tienes que pedirle a todo el mundo que se forme (en los métodos Six Sigma), que tienen sus incentivos económicos ligados a ellos, tienes que decirles: "Debemos hacer esto".>>

Jack Welch asoció hasta el 40% de los bonos de sus ejecutivos a la implementación del programa Six Sigma, no sólo en las áreas de producción y diseño, sino también en servicios financieros y administrativos. Hasta entonces los bonos de esos ejecutivos sólo dependían de los beneficios. Quizás fuese uno de los motivos por los que el programa se implantó con éxito en toda la empresa.

De modo que Sony Corp. y General Electric son dos ejemplos de empresas que tienen un compromiso a largo plazo con la calidad de sus productos –bienes y servicios- como el factor estratégico más relevante en su gestión e intentan lograr la satisfacción de sus clientes con este nuevo enfoque, una filosofía de gestión que pretende obtener una ventaja competitiva mediante la satisfacción plena de las necesidades y expectativas de los clientes.

2.3. Principios de Six Sigma

Se pueden dividir los elementos críticos de Six Sigma en seis principios. Estos principios –soportados por las muchas herramientas y métodos Six Sigma- ofrecen una vista preliminar de cómo funciona Six Sigma en una organización.

2.3.1. Verdadero enfoque en el cliente

El cliente es la persona más importante de la compañía, se depende de él, es el objetivo del trabajo, es el que trae sus requerimientos para satisfacerlos y al cumplir éstos, obtener una retribución económica. El cliente es el que decide si el producto es de calidad o no, existen internos que son todas aquellas etapas que tienen nuestros procesos dentro de la empresa y

existe un área responsable que dictamina el cumplimiento de sus requerimientos, y externos que son los que aprueban o no el producto terminado que ofrece la empresa.

Como ya se ha mencionado, a menudo las empresas que lanzan Six Sigma se han sorprendido de describir lo poco que comprenden de verdad a sus clientes. En Six Sigma, el enfoque en el cliente es la prioridad principal. Las medidas del nivel de desempeño en Six Sigma, empiezan con el cliente. Las mejoras Six Sigma se definen por su impacto en la satisfacción y creación de valor para el cliente.

De acuerdo a lo anterior, el primer paso es crear los medios para establecer una negociación de requisitos por parte del cliente para que el proveedor los cumpla, como segundo paso se definirán los criterios o aspectos que el cliente considera de valor y tercer paso asegurar que nuestros procesos puedan cumplir con dichos requisitos.

Negociación cliente-proveedor

El cliente definirá y priorizará las necesidades y expectativas de los productos y servicios que obtendrá en función de cinco aspectos básicos: calidad, costo, logística en la entrega, servicio/seguridad, y finalmente responsabilidad; el proveedor deberá de cumplirlos.

- Calidad. Especificaciones dimensionales, atributos, funcionalidad, fiabilidad, etc.
- Costo. Precio competitivo en la compra.
- Logística en la entrega. Tiempos de entrega de acuerdo a las necesidades de producción, considerar al proveedor externo en los planes de producción internos.
- Servicio y seguridad. Disponibilidad, tiempos de respuesta cortos, garantía, contratos de mantenimiento, etc.
- Responsabilidad. Cumplimiento a programas reguladores del medio ambiente y cualquier otro tipo que exista una norma legal, código de ética, garantías, etc.

Un factor clave a negociar es el tiempo, ya que una vez definido el periodo en que el cliente desea sean cumplidas sus demandas, comenzará la cuenta regresiva para que el proveedor pueda cubrirlas, de ahí que se tengan que crear procesos encaminados al cumplimiento de dichas demandas en las fechas acordadas.

Cumplimiento de requisitos

El cumplimiento de los requisitos del cliente sólo se logrará con la participación de la alta dirección, ya que con su apoyo se destinarán los recursos necesarios para la implantación de un plan de trabajo que establezca de manera sistemática la satisfacción de las especificaciones que estableció el cliente en cada uno de nuestros procesos, en dicho plan se involucrará al personal de la empresa para asegurar su cumplimiento.

La voz del cliente

La calidad de un producto es una sensación que el cliente percibe como poseedor de calidad. Los clientes no siempre son capaces de expresar claramente lo que desean en un producto o servicio, pero usualmente saben cuando consiguen lo que buscan. Para cada producto, el cliente tiene una idea que él o ella desea que ese producto alcance o exceda en relación con una

o más de las características del producto. Si el producto alcanza el nivel deseado, el cliente lo considera como un producto de calidad, en caso contrario, el cliente buscará probablemente el producto en otro sitio.

Otros factores son también relevantes. Los clientes quieren productos a precios que estén a su alcance, y los desean cuando los necesitan. Lo que más solicitan los clientes, por supuesto, es que satisfagan las tres condiciones: calidad, venta a buen precio y que estén disponibles cuando se requieran. La compañía que pueda facilitar estos tres requisitos será aquella hacia la cual los clientes se inclinarán más a la hora de comprar.

Los clientes desean productos que encajen en su idea de calidad, y no sólo de vez en cuando, sino permanentemente. Una fuente es considerada percibida como verídica, pero si se descubre sólo una vez que la fuente ha mentido, entonces la fuente se convierte en no fiable. Lo mismo ocurre en los productos.

El deseo de un cliente por la calidad en un producto se identifica con unas especificaciones concretas para ese producto. Las especificaciones no precisan ser solicitadas formal o informalmente. Incluso pueden no estar claramente definidas por el cliente. Pero son especificaciones no obstante. El deseo del cliente para la fiabilidad es sencillamente la exigencia de que estas características o especificaciones existan siempre que el producto sea comprado. La exigencia de que las características se cumplan consistentemente es lo fundamental para el cliente.

La voz del cliente tiene cuatro aspectos. El cliente solicita:

- Que el producto satisfaga ciertas especificaciones (calidad).
- Que estas especificaciones sean cubiertas permanentemente (fiabilidad).
- Un precio razonable (lo más bajo posible).
- Que el producto esté disponible cuando el cliente quiere comprar.

Numerosos mecanismos de realimentación pueden ser utilizados para determinar lo que los clientes desean y cómo estas solicitudes están siendo satisfechas.

Las organizaciones tienen oportunidades cada día para responder a los clientes (ya sean internos, como aliados, o externos, como usuarios finales). Los directores deben ser capaces de:

- Identificar ejemplos de expectativas de clientes variadas y cómo la respuesta de la organización refleja los valores que incrementarían la satisfacción del cliente.
- Reconocer que los clientes tienen diferentes expectativas. Todos los empleados necesitan conocer las expectativas y usar su conocimiento de esos requerimientos para dar una impresión positiva al cliente.
- Entender y reconocer la insatisfacción del cliente, e incluso su neutralidad.

La construcción de la lealtad del cliente

Los clientes tienen requisitos de calidad (establecidos o no). Los requisitos de calidad, tal como se entienden por la organización, deben reflejar totalmente las necesidades establecidas e implícitas del cliente. Se debe tener en cuenta que:

- Un cliente puede esperar un nivel específico de calidad.
- La organización puede cumplir y exceder ese nivel de calidad.
- Cuando una organización sobrepasa los requisitos y añade valor, el cliente recibe una calidad impresionante y está deslumbrado.

Los directores necesitan aprender a identificar las expectativas del cliente, documentar los requerimientos en términos funcionales y determinar si los clientes reaccionan según nuestras expectativas. Cumplir y exceder los requisitos del cliente deslumbra a éste y genera lealtad. Generar lealtad del cliente requiere una detallada atención a los requisitos del cliente que dictará las futuras compras. Las organizaciones deben realizarse las preguntas necesarias para encontrar las bases de las futuras decisiones de compra de los clientes.

Funciones de contacto con los clientes

Cualquier interacción con un cliente, ya sea verbal o escrita, es un punto de contacto con un cliente. En ese punto, la organización puede aprender del cliente y construir y mantener con él una relación más o menos amplia. En este punto es cuando el cliente evalúa cada punto de contacto y se siente mejor o peor con la organización.

A través del entrenamiento, los empleados pueden aprender a escuchar y aprender del cliente durante cada interacción y mejorar las relaciones con el cliente a través del conocimiento y las habilidades relativas a:

- Conocimiento de los productos y servicios de la organización.
- Escuchar a los clientes.
- Solicitud de comentarios por parte de los clientes.
- Anticiparse en la resolución de problemas y fallos.
- Satisfacción y retención de los clientes.
- Cumplimiento de las expectativas de los clientes.

2.3.2. Dirección basada en datos y hechos

Six Sigma lleva el concepto de la <<dirección basada en hechos>> a un nivel nuevo y más poderoso. A pesar de la atención dada en los últimos años a mejores sistemas de información, la gestión del conocimiento y temas por el estilo, la realidad es que muchas decisiones empresariales aún se toman con base en opiniones e hipótesis. La disciplina Six Sigma empieza por clarificar qué medidas son clave para medir cómo va el negocio y luego pasa a la toma de datos y el análisis de variables clave. Así, los problemas pueden ser definidos, analizados y resueltos de una forma más efectiva y permanente.

En un nivel más práctico, Six Sigma ayuda a los directivos a contestar dos preguntas esenciales para poder dar soporte a decisiones y soluciones basadas en datos:

1. ¿Qué datos/información realmente necesito?
2. ¿Cómo usamos esos datos/información del modo más ventajoso?

El psicólogo alemán Dietrich Dorner analiza las dificultades que enfrentan las personas que tienen la tarea de resolver los problemas. Entre las muchas dificultades de los equipos de

resolución de problema, una de las más interesantes es la conducta de “taller de reparación”. Dorner observa que las personas que se dedican a resolver problemas son propensos a cometer los siguientes errores:

- Tienen a actuar sin análisis previo de una situación. Se observa que, dentro de un equipo de resolución de problemas, los malos participantes tienen a actuar antes de recabar información. Esto lleva a la siguiente paradoja: “Mientras menos información recabada, mayor será la disposición a actuar. Y viceversa”.
- Tienen a considerar la resolución de problemas como un suceso de eventos; resolver una cosa y luego la siguiente, y así sucesivamente.
- Tienen a actuar en términos de modelos preestablecidos. Para enfatizar el punto, Dorner observa que quienes resuelven mal los problemas usan conceptos “absolutos”, que no admiten otras posibilidades o circunstancias.
- Se preocupan con las metas explícitas que “representan gran cantidad de mala planeación y medidas contraproducentes”.
- Tienen a resolver los problemas que saben resolver y no los que necesitan ser resueltos.
- No toman en cuenta, o son incapaces de prever, los efectos colaterales y las repercusiones de ciertas medidas (esto se debe a la incapacidad de “ver” los problemas como sistemas).
- Suponen que la falta de efectos negativos inmediatos significa que dieron los pasos correctos.
- Tienen a involucrarse de manera excesiva en “proyectos” y no ven los cambios que surgen.
- Son propensos a actuar de manera cínica.

2.3.3. El proceso como vehículo clave del éxito

Sea que esté enfocado en diseñar productos y servicios, en medir el desempeño, en mejorar la eficiencia o la satisfacción del cliente, o incluso en hacer funcionar el negocio, Six Sigma coloca al proceso como el vehículo clave del éxito. Una de las mejoras más remarcables en los esfuerzos Six Sigma hasta la fecha, ha sido el convencer a los ejecutivos y directivos –en particular en funciones e industrias basadas en servicios- que dominar los procesos es la forma de crear una ventaja competitiva al darle valor a los clientes.

Estas herramientas ayudan a las organizaciones a entender sus procesos para mejorarlos. Los directores deben entenderlas y aplicarlas según las necesiten para desarrollar, implantar y monitorizar un sistema de calidad. Estas herramientas son:

- Diagrama de causa-efecto (o de Ishikawa).
- Hoja de comprobación (Check-sheet).
- Tormenta de ideas.
- Diagrama de flujo.
- Histograma.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de correlación.

2.3.4. Dirección proactiva

De una manera muy simple, ser proactivo significa actuar con antelación a los sucesos en lugar de en reacción a ellos. En el mundo real, sin embargo, una dirección proactiva significa adoptar hábitos que son a menudo, prácticas empresariales abandonadas: definir metas ambiciosas y revisarlas frecuentemente, fijar prioridades claras, enfocarse en la prevención de problemas en lugar de actuar como bomberos y cuestionarse por qué hacemos las cosas en lugar de defenderlas ciegamente.

En lugar de ser aburrido o excesivamente analítico, el ser proactivo de verdad es un punto de partida para la creatividad y el cambio efectivo. Six Sigma, como se verá, contiene herramientas y prácticas que reemplazan los hábitos reactivos con un estilo de dirección dinámico, receptivo, proactivo.

2.3.5. Colaboración sin barreras

El trabajar <<sin barreras>> ha sido uno de los elementos claves en el éxito de Jack Welch. Años antes de lanzar Six Sigma, el entonces presidente de GE trabajaba para derribar las barreras y mejorar el trabajo en equipo dentro a través de las áreas funcionales. Las oportunidades disponibles mediante una mejor colaboración dentro de las empresas y con los proveedores y clientes son enormes. Miles de millones de dólares se pierden cada día debido a la desconexión o a la competencia total entre grupos que deberían estar trabajando para una causa común: proveer valor al cliente.

Cada organización tiene cuatro grupos principales de stakeholders:

- Clientes internos
- Clientes externos
- Proveedores
- Público en general.

Los directores necesitan aprender a identificar a sus stakeholders y determinar cómo equilibrar los legítimos intereses y necesidades de todos los individuos y grupos.

Funciones de un equipo

Para trabajar de forma eficaz para conseguir la meta común en bien de la organización, los empleados necesitan conocer las funciones de un equipo. Los grupos de trabajo tradicionales están típicamente organizados de forma separada y muy especializada con un margen de responsabilidades muy estrecho. En cambio, los equipos están formados por miembros que son responsables de la totalidad de los procesos de trabajo, con cada persona realizando múltiples tareas. Los equipos representan un grupo de personas aportando su pericia, talento y conocimiento.

Una vez definidos los procesos que se van a atacar, se tiene la necesidad de crear equipos de trabajos para cumplir con los requerimientos establecidos.

De manera breve se presenta la importancia y creación de los equipos de trabajo, para poder definir los roles, desde el líder hasta los otros miembros del equipo, la creación de

procedimientos, reglas básicas, establecer relaciones que permitan trabajar colectivamente, explotar sus habilidades, conocimiento y su experiencia.

¿Porqué establecer equipos?

- Los equipos se desempeñan mejor que los individuos.
- Ayudan a crear lazos dentro de la estructura de la empresa.
- Vencen los desafíos con mayor velocidad y calidad.
- Permiten una mayor flexibilidad.
- Enfrentan con mayor fuerza las amenazas que se presentan.
- Se crea más compromiso hacia el trabajo.

Se deben definir los roles, las reglas básicas y la forma de trabajar, se debe estimular y entusiasmar al equipo; a cualquier participante se le deberán responder preguntas de este tipo:

- ¿Por qué estoy aquí?
- ¿Qué papel voy a desarrollar?
- ¿Cuánta influencia tendré en el mejoramiento del proceso?
- ¿Qué procedimientos usaré?
- ¿Cuál debe ser nuestro alcance?
- ¿Cómo será mi interacción con otras personas?
- ¿Cuál es nuestro propósito?

En esta etapa se definen los propósitos u objetivos y como medir el porcentaje de avance del proceso, como registrar y acoplar ajustes sobre la marcha. Aunque no existen reglas generalizadas, una base para contar con un buen equipo sería tratar de cumplir o apegarse a los siguientes puntos:

1. Claridad en metas y objetivos.
2. Plan de mejora continua.
3. Funciones bien definidas por integrante.
4. Comunicación clara.
5. Acuerdos en la toma de decisiones.
6. Participación equilibrada.
7. Empleo del método científico.

2.3.6. Buscando la perfección aceptando algún fallo

¿Cómo se puede sentir el impulso a lograr la perfección y sin embargo tolerar el fallo? En esencia, si se piensa, ambas ideas son complementarias. Ninguna compañía se podrá acercar al nivel Six Sigma sin lanzar nuevas ideas y sistemas, que siempre envuelven algún riesgo. Si la gente que ve maneras posibles de acercarse a la perfección, tiene demasiado miedo de las consecuencias de sus errores, nunca las ensayará.

Afortunadamente, las técnicas que revisaremos para mejorar el desempeño incluyen una buena dosis de gestión del riesgo de modo que el impacto de un revés o un fallo quede limitado. La realidad es que, cualquier compañía que haga Six Sigma su meta, tendrá que mantener la

presión para ser cada vez más perfecta, mientras que tendrá que estar dispuesta a aceptar y a manejar fallos ocasionales.

2.4. Comparación entre la aplicación de la calidad tradicional y Six Sigma

¿Qué hace diferente a Six Sigma de la calidad tradicional? Las diferencias quizás residen en la forma de aplicar las herramientas y su integración con los propósitos y objetivos de la organización, como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta dirección y una actitud proactiva, organizada y sistemática es busca de la satisfacción tanto de las necesidades y objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

En la tabla 2.4 se resumen algunas de las diferencias más notables entre la forma tradicional de enfocar la calidad en las organizaciones y la forma de enfocarla a través de la estrategia de Six Sigma.

Calidad Tradicional	Six Sigma
Está centralizada. Su estructura es rígida de enfoque reactivo.	Está centralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo.
Generalmente no hay una aplicación estructurada de las herramientas de mejora.	Se hace uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de los problemas.
No se tiene soporte en la aplicación de las herramientas de mejora. Generalmente su uso es localizado y aislado.	Se provee de toda una estructura de apoyo y capacitación al personal, para el empleo de las herramientas de mejora.
La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos y datos vagos.	La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos.
Se aplican remedios provisionales o parches. Sólo se corrige en vez de prevenir.	Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas.
No se establecen planes estructurados de formación y capacitación para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.	Se establecen planes de entrenamiento estructurados para la aplicación de las técnicas estadísticas requerida.

Se enfoca solamente en la inspección para la detección de los defectos (variables clave de salida del proceso).	Se enfoca hacia el control de las variables clave de entrada al proceso, las cuales generan la salida o producto deseado del proceso.
---	---

Tabla 2.4 Aplicación de la calidad tradicional y Six Sigma

CAPÍTULO III

IMPLANTACIÓN DE LA FOLOSOFÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA

CAPÍTULO III

IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA SIX SIGMA EN LA EMPRESA

Para poder ser implementado con eficiencia, un programa Six Sigma debe implicar a todas las personas de la organización. En el programa, cada individuo tiene un papel importante en la búsqueda de la excelencia de la empresa. A pesar de lo indicado, se debe destacar el papel importantísimo que en el éxito de la implantación de un programa Six Sigma en la empresa tiene tres figuras:

1. Los “campeones” (champions).
2. Los “cinturones negros” (black belts).
3. Los “cinturones verdes” (green belts).

3.1. Objetivo de las empresas que implantan Six Sigma

La visión de algunas empresas que se deciden por Six Sigma se puede definir como sigue: “Nuestra visión es convertirnos en fabricantes o prestadores de servicios de nivel internacional, ofreciendo productos de nivel internacional”.

Este tipo de fabricante tiene la mejor oportunidad para desarrollar su negocio y sobrevivir, debido a su mayor rentabilidad. Tiene un nivel Six Sigma en todos sus procesos y produce servicios y productos de igual calidad.

Esta visión puede y debe cuantificarse. Técnicamente, calidad Six Sigma equivale a un nivel de calidad con menos de 0.000003 defectos por oportunidad (3 defectos por millón de oportunidades). Desafortunadamente, no hay una regla inmediata, sencilla y fácil para alcanzar tal nivel de calidad. Six Sigma es una metodología que ayudará a alcanzar tal objetivo.

Los objetivos que consiguen las empresas que implantan un programa de Six Sigma están definidos con la tabla 3.1

Características de una empresa Six Sigma	
Empresa 3 σ	Empresa 6 σ
Costos correctivos altos entre el 15% y el 25% de sus ventas.	Costos correctivos bajos menos del 5% de sus ventas.
66 807 defectos por millón de oportunidades (Cpk 1.5)	Nivel de calidad de 99.9997%
Se basa en inspección para localizar defectos.	Se basa en procesos eficaces que no producen fallos.
Cree que la calidad superior es más cara.	Reconoce que trabajar con calidad produce costos bajos.
No posee sistemas estratégicos para recopilar y analizar datos.	Utiliza serias estrategias de mejora continua.

Se conforma con un 99%	Considera que el 99% no es suficiente.
Define internamente sus criterios de calidad.	Basa sus criterios de calidad en función de lo que necesita el cliente.
_____	Establece su propio benchmarking para competir con los mejores del mundo.

Tabla 3.1 Características de una empresa Six Sigma

3.2. Posibles itinerarios de implantación de Six Sigma¹

3.2.1. Transformación del negocio

Generalmente, los empleados atentos y los directivos pueden a menudo ver la necesidad de que una compañía rompa con viejos hábitos y se transforme. Para aquellas organizaciones que tengan la necesidad, la visión y el empuje para lanzar Six Sigma como una iniciativa de cambio a gran escala, este primer itinerario, la *transformación del negocio*, es el enfoque correcto.

Si una empresa se halla en medio de una implementación Six Sigma de transformación de negocio, verá como la alta dirección marca un nuevo ritmo a la organización. La comunicación será amplia e intensiva: vídeos con ejecutivos y compañeros exaltando las virtudes de Six Sigma, desayunos de trabajo y conferencias explicando y debatiendo que es Six Sigma y cómo ayudará, artículos en la revista para empleados y explicaciones de los directores del departamento. Se pueden empezar a escuchar frases como <<una nueva cultura empresarial>>, <<una manera de vivir>> o <<la clave de nuestro futuro>>.

Un cambio dramático estará en marcha. En todas partes, la dirección estará intentando lograr resultados de los cambios así como controlar el impacto. Como empleado, puede encontrarse en un equipo Six Sigma, con el desafío de mejorar un proceso crítico de negocio o un producto clave.

A los equipos formados a lo largo de un itinerario <<transformación de negocio>> a menudo se les pide que miren áreas de procesos claves y que hagan recomendaciones de cambio. Estos equipos pueden someter a escrutinio:

- Como la empresa distribuye sus productos.
- La efectividad del proceso de ventas.
- Desarrollo de nuevos productos.
- Quejas críticas de clientes.
- Defectos de productos y problemas habituales.
- Sistemas de información críticos para la toma de decisiones empresariales.
- Reducciones de costo a gran escala.

Si una compañía escoge el itinerario de transformación de negocio, ese enfoque tendrá impacto en el trabajo de cada uno de los colaboradores de la empresa, en cómo se interaccionará con los clientes y colegas y como el desempeño del trabajo serán evaluados.

¹ *Seis Sigma*, Vilar, Gómez, Fermín, 2003.

3.2.2. Mejora estratégica

Este itinerario ofrece el mayor número de opciones. Una *iniciativa de mejora estratégica* puede limitarse a una o dos necesidades críticas de la empresa, con los equipos y la formación dirigidos a actuar sobre las principales oportunidades o debilidades. O bien, puede ser una iniciativa Six Sigma centrada en algunas unidades de negocio limitadas o áreas funcionales de la organización.

De hecho, a los directamente involucrados, el enfoque de mejora estratégica les parece que abarca tanto como un esfuerzo a nivel de toda la corporación, excepto que no es tan extenso o ambicioso como las iniciativas más agresivas. Por otra parte, un número de empresas que han empezado con este enfoque estratégico más limitado, más tarde han expandido Six Sigma en una iniciativa corporativa de cambio de alcance total y la suya puede evolucionar también de ese modo.

Empresas que han tomado este itinerario de mejora estratégica son: Johnson & Johnson, Sears, American Express y Sun Microsystems. A continuación se muestran dos ejemplos de este enfoque:

- Una gran empresa de equipo y suministros médicos lanzó una iniciativa Six Sigma para corregir cuestiones claves en producción, defectos, costos y productividad. Para el grupo de producción, esta iniciativa muy agresiva y envolvente, aún continúa, mientras que otras pocas áreas de la empresa han tenido contacto con Six Sigma. Animada por los éxitos de esta primera iniciativa enfocada en producción, la empresa ha lanzado desde entonces una nueva iniciativa destinada a solucionar problemas críticos en almacenes y distribución. Pero hasta ahora, Six Sigma no ha sido adoptado como el lema para el cambio en un ámbito corporativo.
- Un líder en innovadores sistemas de ordenador y software se embarcó a principios del año 2000 en una iniciativa Six Sigma que abarcaba toda la empresa. Aunque la iniciativa ha sido descrita como de transformación del negocio, hasta ahora se ha enfocado básicamente en unas cuantas prioridades limitadas. Es probable que la iniciativa Six Sigma de esta empresa llegará a abraccarla toda ella, pero hasta la fecha eso aún está por ver.

3.2.3. Resolución de problemas

Este enfoque usa la ruta a la mejora Six Sigma que deja más tiempo libre. Esta iniciativa se dirige a problemas persistentes señalados que a menudo han sido el enfoque de antiguos programas de mejora que resultaron un fracaso, usando para ello personal formado en el conjunto de herramientas de Six Sigma. Estas herramientas, como se verá más adelante, conducen a un mejor análisis de problemas y de sus soluciones, basadas en hechos y en la comprensión real de las causas y sus necesidades.

El enfoque de resolución de problemas es el mejor para las empresas que quieren iniciar en los beneficios de los métodos Six Sigma sin crear grandes olas de cambio dentro de la organización. Si su empresa adopta este enfoque, existe una elevada probabilidad de que sólo unos pocos estarán de verdad involucrados en el esfuerzo, a menos, claro está, que se cambie de enfoque después. El beneficio de este camino es enfocarse en cuestiones significativas y en atacar las causas raíces, usando datos y un análisis efectivo más bien que la pura intuición.

Como un ejemplo de este enfoque, una gran compañía inmobiliaria ha organizado unas pocas clases de formación y ha puesto a gente a trabajar sobre problemas claves. Aunque la compañía tiene unos cuantos *Black Belts* formados y algunos proyectos completados en unos meses, eso es todo lo que, de momento, se puede predecir. Esta empresa, como la mayoría que toman esta ruta de resolución de problemas, está de momento, por así decirlo, comprobando el estado de los neumáticos de su automóvil Six Sigma.

3.3. Estructura Humana de Six Sigma²

Una vez que la dirección ha escogido un itinerario para Six Sigma, el trabajo real es lograr conjuntar líderes de negocio, equipos de proyecto, líderes de los equipos y facilitadores. Algunos papeles que desempeñarán pueden tener títulos tomados de las artes marciales: *Black Belt*, *Green Belt* y *Master Black Belt*. Estos últimos fueron acuñados por un experto de mejora en Motorola que era un apasionado por el karate. Otros papeles tienen títulos más familiares.

3.3.1. Champions

Estos títulos son comunes en las iniciativas Six Sigma. Normalmente, un *champion* es un ejecutivo o directivo clave que inicia y patrocina a un Black Belt o a un equipo de proyecto. Es de suma importancia contar con un *champion o sponsor*. Este papel envía un mensaje crítico: el Champion, un directivo senior, es el responsable último. En otras palabras, los resultados de Six Sigma no se delegan hacia abajo muchos niveles en la empresa sino que permanecen en manos de la alta dirección y de directivos claves.

El champion o sponsor a menudo es miembro del *Comité de Liderazgo* o Comité de dirección para el negocio. A veces, un sponsor supervisa uno o más champions. En cualquier caso, las responsabilidades del Champion son:

- Garantizar que los proyectos están alineados con los objetivos generales del negocio y proveer dirección cuando eso no ocurra.
- Mantener informados a los otros miembros del Comité de Liderazgo sobre el progreso de los proyectos.
- Proveer o persuadir a terceros para aportar al equipo los recursos necesarios, tales como tiempo, dinero, y la ayuda de otros.
- Conducir reuniones de revisión periódicas.
- Negociar conflictos, solapamientos y enlaces con otros proyectos Six Sigma.

Desafortunadamente, el papel del Champion/Sponsor tiende a recibir la menor formación y preparación, de modo que puede convertirse en uno de los eslabones más débiles en las iniciativas Six Sigma, en especial al principio.

Es preciso que la implantación del proyecto Six Sigma se realice desde el primer nivel del organigrama descendiendo hasta los niveles operativos relacionados con el mismo. El *champion* es el directivo responsable del proyecto en la organización. Se trata de una persona capaz de actuar tanto como consejero tanto de los demás directivos como de los expertos en Six Sigma especialmente en los aspectos financieros. Es de capital importancia que se prioricen las

² *Seis Sigma*, Vilar, Gómez, Fermín, 2003.

actividades Six Sigma hacia los objetivos de mejora del negocio y la competitividad de la empresa: mejora de la calidad, reducción de los ciclos de trabajo, reducción de costos, incremento de la cuota de mercado, mejora de la rentabilidad, etc.

El champion debe ser un entusiasta del proyecto y perseguir especialmente durante su inicio el efecto de resistencia al cambio con el que muy probablemente se encuentre. El champion se enfrentará a típicas tomas de posición tales como:

<<Six Sigma es una iniciativa más de la oficina central para mantenerse y mantenernos ocupados>>.

<<No tenemos suficiente tiempo para realizar nuestro trabajo diario para que además tengamos que volver a estudiar las asignaturas de nuestra época estudiantil que casi nunca hemos utilizado durante nuestra vida profesional>>.

El champion debe prestar especial atención a la selección de las primeras personas que se deben involucrar en el proyecto. La selección de los *master black belt* es fundamental, pues en ellos recaerá una de las funciones principales como es el asesoramiento y la tutoría a los expertos y especialistas en Six Sigma. Otro de los cometidos del champion debe ser el establecimiento del cuadro de control y seguimiento del proyecto. No tendría ningún sentido después de haber insistido tanto en que el enfoque de Six Sigma es racional y que requiere de la cuantificación de los resultados de forma científica.

3.3.2. Master Black Belts

En la mayoría de organizaciones el *Master Black Belt (MBB)* sirve como entrenador, mentor o consultor para los Black Belts que trabajan en una variedad de proyectos. En la mayoría de los casos, el MBB es un experto de verdad en las herramientas analíticas de Six Sigma, a menudo con una formación en ingeniería o ciencias económicas.

En algunas empresas, el MBB toma el papel de agente de cambio de la organización, ayudando a promocionar el uso de los métodos y soluciones de Six Sigma. El MBB también puede actuar como formador a tiempo parcial de los Black Belts y de otros grupos. Finalmente, el MBB puede involucrarse en proyectos Six Sigma especiales: por ejemplo, investigar los requerimientos de los clientes o desarrollando medidas para procesos claves.

Algunos MBB logran su experiencia básica trabajando en los departamentos de <<calidad>> de sus organizaciones. Sin embargo, cada vez más, encontrará que algunos, tras servir durante un tiempo como Black Belts, se les ofrece esa oportunidad y deciden mantenerse en el área de mejora de negocio. Desde luego, necesitan tener las habilidades apropiadas para ocupar el papel de MBB en sus organizaciones.

Como entrenador, el papel del MBB es asegurarse que el (la) Black Belt y su equipo siguen enfocados, completan su trabajo adecuadamente y pasan las etapas sucesivas del proceso de mejora Six Sigma. A menudo, también, el MBB da consejo e incluso participa en tareas como son la toma de datos, los análisis estadísticos, el diseño de experimentos y la comunicación con directivos claves.

Como muchos entrenadores, los MBB tienen varios Black Belts bajo su cuidado. En la mayoría de las empresas, los MBB mismos forman un equipo o al menos una red, aconsejándose unos a otros y trabajando para identificar oportunidades y desafíos en el esfuerzo Six Sigma.

Los Black Belts son más numerosos y son fundamentales para la mayoría de las iniciativas Six Sigma. Los MBB juegan un papel crítico en mantener vivo el proceso de cambio, los ahorros de costos y mejorar la experiencia del cliente.

3.3.3. Black Belts

Teniendo en cuenta todas las cosas, éste es el nuevo papel más crítico en Six Sigma. El Black Belt es una persona de tiempo completo dedicado a enfrentarse con oportunidades de cambio críticas y a conseguir que logren resultados. El Black Belt lidera, inspira, dirige, delega, entrena, cuida de sus colegas y se convierte en casi un experto en herramientas para evaluar problemas y fijar o diseñar procesos y productos.

Normalmente el Black Belt trabaja al lado de un equipo asignado a un proyecto Six Sigma. Él (Ella) es básicamente responsable de lograr que el equipo empiece el proyecto, de que tome confianza, de observar y participar en su entrenamiento, de gestionar la dinámica del grupo y de mantener el proyecto en marcha para lograr resultados con éxito.

Sin un Black Belt fuerte e incansable, los equipos Six Sigma no son normalmente efectivos. El Black Belt debe poseer muchas habilidades, incluyendo una gran capacidad de resolución de problemas, la habilidad de toma y análisis de datos, experto en organización, liderazgo y entrenamiento y un buen sentido administrativo. Además, él (ella) debe ser un adepto a la gestión de proyectos –el arte y la ciencia de hacer que se hagan las cosas a tiempo mediante el esfuerzo de otros.

Los Black Belts –muchos de los cuales se seleccionan entre los mandos intermedios o bien son jefes con futuro en la empresa– se desempeñan por lo general entre año y medio y dos años en esa función, completando entre cuatro y ocho proyectos y/o recibiendo asignaciones especiales. La mayoría de las empresas consideran pertenecer al grupo de Black Belts como una plataforma para otras oportunidades, incluyendo promociones e incentivos. Muy pocos Black Belts descubren que aman tanto el tipo de trabajo que implica esa posición como para seguir una nueva carrera como personal Six Sigma a tiempo completo.

Se trata de personas expertas en Six Sigma tanto en lo que representa como visión o filosofía como en la utilización de su conjunto de herramientas. Son una pieza fundamental en la implantación del proyecto y el primer eslabón de la cadena que el champion debe tensar para tener éxito. Un Black Belt deberá realizar proyectos pero también deberá dirigir a otros expertos y especialistas; por tanto, su capacidad de liderazgo así como su habilidad para las relaciones humanas son especialmente recomendadas. Deberá mostrar: capacidad para aprovechar los puntos fuertes de cada persona de su equipo y comprensión de sus limitaciones; ser capaz de no alardear de sus conocimientos; dirección correcta y eficaz de reuniones de grupo; enfoques <<yo gano, tu ganas>>; ponderación para no sobrecargar a los miembros más positivos de su equipo; motivación del equipo hacia actividades de mejora; receptividad a las críticas, etc.

Un Black Belt es el principal nexo de unión con el champion y, por tanto, con la dirección del proyecto y de la empresa. Deberá también poseer habilidades directivas: enfoque a objetivos, mantenimiento de criterios bajo presión, capacidad para convertir los imprevistos en oportunidades, comprensión de los aspectos básicos que afectan a la buena marcha de la empresa, capacidad para la toma de decisiones... Deberá conocer a fondo el conjunto de herramientas Six Sigma.

3.3.4. Green Belts

Un Green Belt es alguien formado en los métodos Six Sigma, a veces con el mismo nivel que un Black Belt. Pero el Green Belt tiene un trabajo <<real>> y sirve o como miembro de un equipo o como líder del equipo a tiempo parcial. Algunas compañías, destaca GE, han formado a grandes segmentos de su plantilla como Green Belts. El papel del Green Belt es aplicar los nuevos conceptos y herramientas de Six Sigma a las actividades del día a día del negocio.

El Green Belt es una persona con un nivel inferior de especialización en Six Sigma que un Black Belt, generalmente realizando un enfoque más técnico y menos directivo.

Debe conocer también, como utilizar las técnicas estadísticas y de calidad, especialmente en sus aspectos prácticos y de interpretación de resultados. No es necesario que conozca muy profundamente la justificación teórica de las mismas pues siempre tendrá el apoyo de los expertos cuando la modelación de un proceso físico quede fuera del alcance de sus conocimientos. La diferencia con los Black Belts se situaría en que ellos deben profundizar en técnicas estadísticas avanzadas como el diseño de experimentos a tres niveles, diseños con más de una variable de salida, diseños robustos, diseños con variables de bloqueos, análisis de datos históricos, y muchas otras más.

3.4. Metodología Six Sigma (DMAIC)

En la figura 3.2 se muestra el significado de las siglas de la metodología DMAIC.

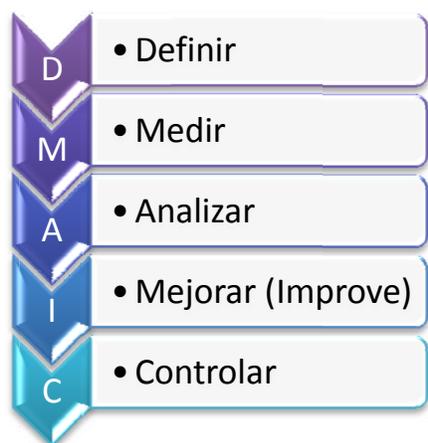


Figura 3.2 Metodología DMAIC

Los equipos de mejora, resolución de problemas y diseño de procesos son los componentes más visibles y activos de una iniciativa Six Sigma, en especial los primeros. Estos

equipos, se crean para resolver problemas organizativos y para capitalizar una oportunidad. Liderados por una Black Belt o un Green Belt, los equipos, de entre tres a diez miembros (cinco o seis es lo recomendable) representan diferentes partes del proceso sobre el que se trabaja.

Una de las cosas más atractivas de los equipos Six Sigma es su diversidad. Los miembros suelen venir de diferentes departamentos, niveles, estudios, habilidades y experiencia. En el equipo, todos son iguales y las contribuciones de cada miembro son claves para lograr las mejoras radicales que busca la iniciativa Six Sigma.

Al juntar gente diversa en un equipo, es crítico tener un proceso común o modelo, que todos pueden compartir para lograr que se haga el trabajo. La respuesta a esta necesidad en Six Sigma es el proceso DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar. Siguiendo este proceso, un conjunto de cinco pasos, flexible pero poderoso, para lograr que las mejoras sucedan y se mantengan, el equipo pasa de una declaración del problema a una implementación de la solución, con muchas actividades en medio. Al trabajar mediante el proceso DMAIC el equipo también interacciona con organizaciones más grandes, entrevistando a clientes, recogiendo datos y hablando con gente cuyo trabajo puede verse afectado por las recomendaciones de solución del equipo. Desde luego, los equipos Six Sigma o equipos DMAIC no surgen espontáneamente. Resultan muy importantes los pasos que llevan a seleccionar los proyectos, formar el equipo, y desplazar el trabajo del equipo al mundo real.

Las fases del proceso DMAIC encuentran sus orígenes en el modelo de Planeación, Realización, Verificación y Acción, de la figura 3.3 que el Dr. Deming propuso hace más de 50 años, y que es el mismo modelo que hoy en día utiliza el sistema de administración de la calidad ISO 9001:2000. Por lo tanto, no es sorprendente saber que, en vista de esta herencia común, existe correspondencia entre las fases del proceso DMAIC y el requerimiento ISO 9001:2000.

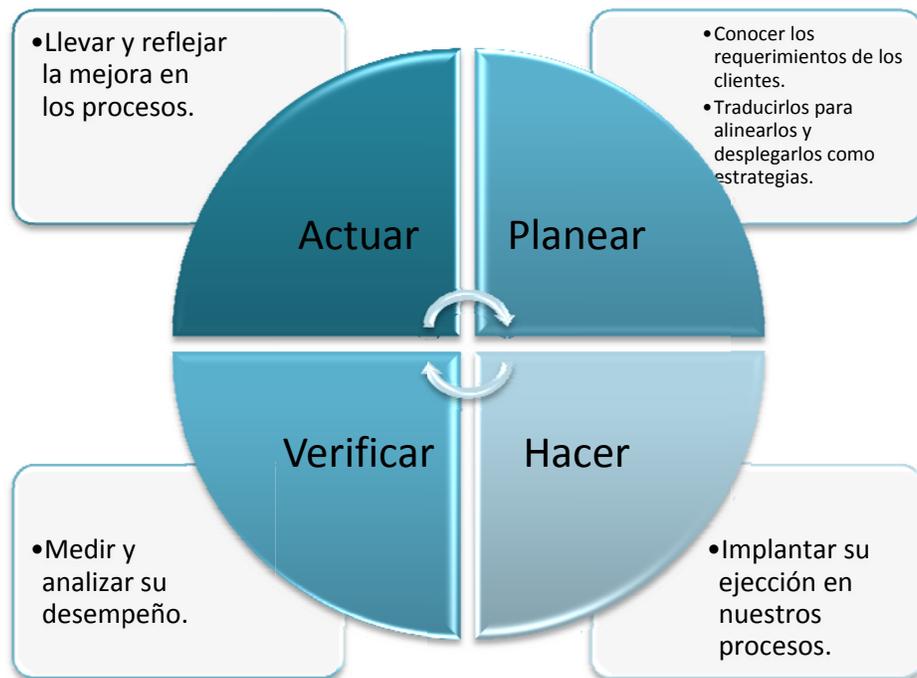


Figura 3.3 Modelo Ciclo Deming

Deming considera que para que una empresa a través de sus recursos humanos y materiales mejore su productividad, elabore productos de buena calidad y alcance una posición competitiva en el mercado tanto interno como externo, es fundamental que los dueños, accionistas y/o directores generales (alta dirección) estén convencidos, comprometidos y sobretodo involucrados para que participen activamente en la implantación.

El Ciclo de Vida del Equipo DMAIC

El ciclo de vida de casi todos los equipos DMAIC consta de varias amplias fases, aunque estas fases pueden variar de una compañía a otra dependiendo del desarrollo de la metodología y del proyecto.

- **Fase 1. Identificar y Seleccionar el Proyecto**

En esta fase, la dirección revisa una lista de proyectos potenciales Six Sigma y selecciona los más prometedores para ser atacados por el equipo. Fijar prioridades adecuadas es difícil pero muy importante para que valga la pena el trabajo del equipo.

Se aconseja a los directivos escoger proyectos basándose en que *tengan significado y sean manejables*. Un proyecto tiene que tener un beneficio real para el negocio y los clientes, y tiene que ser suficientemente pequeño como para que el equipo lo lleve a cabo. Al final de esta fase, el equipo de liderazgo debería haber identificado problemas de alta prioridad y haberles dado un marco preliminar.

El desafío del grupo es claramente articular la necesidad del proyecto para la empresa. Normalmente también se selecciona un Champion o Sponsor para cada proyecto.

- **Fase 2. Selección del Equipo**

Junto al reconocimiento del problema viene la selección del equipo y del líder del equipo (Black Belt o Green Belt). Naturalmente, las dos acciones están relacionadas. La dirección intentará seleccionar los miembros del equipo entre los que tienen un buen conocimiento operativo de la situación pero que no estén tan involucrados en ella que puedan ser parte del problema.

Los directivos inteligentes se dan cuenta de que la participación en un equipo DMAIC no puede darse a gente inútil.

- **Fase 3. Desarrollo del Documento Marco del Proyecto**

El documento marco del proyecto es clave ya que provee una guía escrita para el problema o proyecto. Incluye la razón para llevar a cabo el proyecto, la meta, un plan básico del proyecto, el ámbito y otras consideraciones, y una revisión de los papeles y responsabilidades. Típicamente, partes del borrador del documento son preparados por el Champion y refinadas por el equipo. De hecho, el documento normalmente cambia a lo largo del desarrollo de la metodología DMAIC.

- **Fase 4. Formación del Equipo**

La formación es prioridad número uno en Six Sigma. De hecho, algunos dicen que el término <<formación >> no es el más correcto porque mucho tiempo <<de clase>> se invierte trabajando de verdad en el proyecto del Black Belt o del equipo.

El enfoque de la formación es en el proceso DMAIC y en las herramientas. Generalmente, esta formación dura de una a cuatro semanas. El tiempo total no obstante se alarga. Después de la primera semana el líder del equipo y/o los miembros del equipo vuelven a su trabajo regular pero reservan una porción significativa de su tiempo para trabajar en el proyecto. Después de un intervalo entre dos y cinco semanas viene la segunda sesión de formación, luego otro periodo de trabajo y luego otra semana de formación y así sucesivamente.

- **Fase 5. Ejecución de la Metodología DMAIC e Implementación de Soluciones**

Casi todos los equipos DMAIC son responsables de implementar sus propias soluciones, no sólo de traspasarlas a otro grupo. Los equipos deben desarrollar los planes de proyecto, la formación, el piloto, los procedimientos para las soluciones y son responsables tanto de ponerlos en práctica como de asegurarse de que funcionan –midiendo y controlando los resultados– durante un tiempo significativo.

- **Fase 6. Traspaso de la Solución**

Desde luego con el tiempo, el equipo Six Sigma se disolverá y los miembros volverán a sus trabajos regulares o pasarán a trabajar en otro proyecto. Debido a que suelen trabajar en las áreas afectadas por la solución, los miembros del equipo a menudo se mueven para ayudar a la dirección a gestionar el nuevo proceso o solución y asegurar el éxito.

El traspaso está a veces marcado por una ceremonia formal en la que el propietario oficial, al que se le suele llamar <<Propietario del Proceso>> de la solución, acepta la responsabilidad de mantener las ganancias logradas por el equipo. Algo también importante es que los miembros del equipo DMAIC toman un nuevo conjunto de habilidades y experiencia para aplicar en cuestiones que surgen en el día a día.

Las mayores diferencias o ventajas de la metodología DMAIC resultan ser siete puntos:

1. *Medir el problema.* No se puede sólo asumir que entiende de que va el problema: se tiene que probarlo (validarlo) con hechos.

2. *Enfocarse en el cliente.* El cliente externo es siempre importante, incluso si se está intentando recortar costos en un proceso.

3. *Verificar la causa raíz.* En el pasado, que era malo, sin un equipo estaba de acuerdo en una causa, eso era prueba suficiente. En la actualidad, que es buena, un mundo Six Sigma, se tiene que probar esa causa con hechos y datos.

4. *Romper con los malos hábitos.* Las soluciones que resulten de proyectos DMAIC no deberían ser cambios menores en antiguos procesos. Un cambio de verdad y con resultados requiere nuevas soluciones creativas.

5. *Gestionar los riesgos.* El probar y perfeccionar las soluciones –descubrir sus fallos– es una parte esencial de la disciplina Six Sigma y de un buen sentido común.

6. *Medir los resultados.* El seguimiento de cualquier solución es verificar su impacto real: una mayor confianza en los hechos.

7. *Sostener el cambio.* Incluso la mejora de las nuevas prácticas desarrolladas por un equipo DMAIC puede morir rápidamente si no se alimenta y si no se le da apoyo. El lograr que el cambio dure es la clave final a este enfoque de resolución de problemas más progresivos.

Si los accionistas y/o directores no detectan claramente que a través de la metodología Six Sigma se van a generar ahorros importantes o bien en la ejecución de ciertos proyectos se tendrán mayores ventas, será imposible su puesta en marcha; por ende, cualquier proyecto Six Sigma deberá sustentar su éxito en demostrar claramente la mejora financiera para su autorización.

El diagrama de flujo de la metodología Six Sigma se muestra en la figura 3.4.

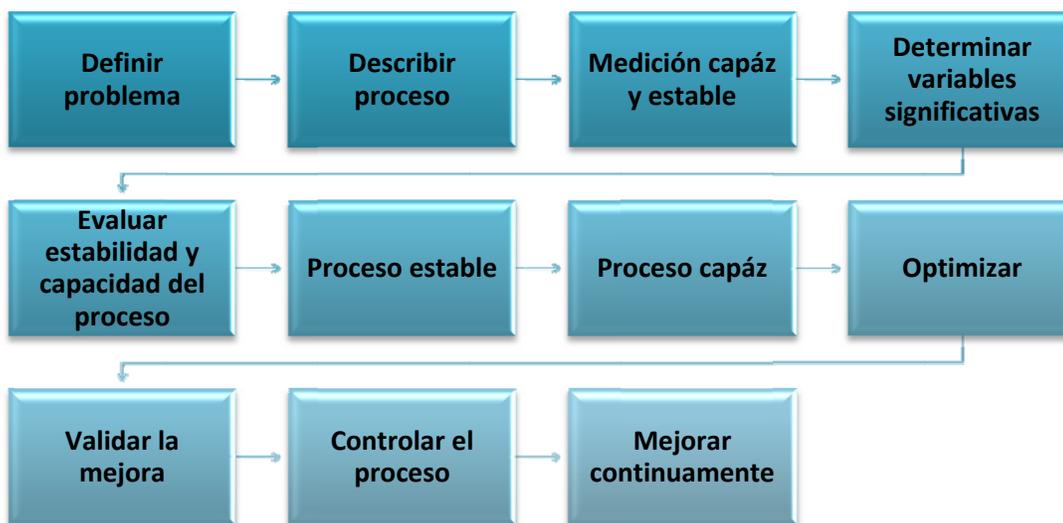


Figura 3.4 Diagrama de flujo de la metodología Six Sigma

El objetivo primario de la metodología Six Sigma es proporcionar a una organización los medios necesarios para aumentar al máximo la eficacia de sus procesos (y con ello la rentabilidad), al tiempo que se hace lo propio con la satisfacción del cliente. Debido a que la eficacia es el acto de producir con un mínimo de pérdida, gasto o esfuerzo innecesario, Six Sigma permite a una organización minimizar los efectos costosos y perjudiciales de lo que se conoce como la fábrica oculta. Visto desde la perspectiva de ISO 9001:2000, Six Sigma es una de las metodologías que pueden usarse para instrumentar la Mejora Continua.

3.4.1. Definir

Definir el problema o seleccionar el proyecto Six Sigma se refiere a describir el efecto provocado por una situación adversa, o el proyecto de mejora que se desea realizar, con la finalidad de entender la situación actual y definir objetivos. Seleccionar el equipo. Preferentemente un equipo interfuncional, con un objetivo definido de manera clara y completa.

Algunas veces, al tratar de enfrentar un determinado problema se tienen creencias acerca de lo que está pasando, ideas vagas o simplemente suposiciones. Estas posturas conducen a tener

una situación problemática inespecífica o ambigua. La manera de actuar asertivamente y poder definir el problema objetivamente es recolectar información y pasarla por alguna de las herramientas que se usan para definir un problema. Las más usadas se muestran en la figura 3.5.



Figura 3.5 Definición de un problema

Este primer paso Six Sigma corresponde con el primero del modelo de Deming llamado Planear. Considera los elementos necesarios para alinear y orientar el proceso de acuerdo a los requerimientos del cliente a través de identificar las entradas y salidas en función de sus necesidades. La primera etapa define el marco del proyecto como un todo y, a menudo, resulta el mayor desafío para un equipo; el cuál, debe plantearse toda una serie de preguntas:

- ¿En qué vamos a trabajar?
- ¿Por qué trabajamos en este problema en particular?
- ¿Quién es el cliente?
- ¿Cuáles son los requerimientos del cliente?
- ¿Cómo se lleva a cabo el trabajo en la actualidad?
- ¿Cuáles son los beneficios de implantar esta mejora?

Este tipo de preguntas resulta una reflexión fundamental sobre el negocio e impulsan nuevas formas de pensar sobre problemas del negocio que fueron a menudo ignorados en el pasado. Una vez que estas preguntas se contestan, al menos en un borrador, podemos desarrollar el documento marco del proyecto. Estos documentos varían de una empresa a otra pero típicamente incluyen:

- Un plan de negocio.
- Declaraciones del problema/oportunidad y objetivos.
- Limitaciones/hipótesis.
- Ámbito.

- Protagonistas y papeles.
- Plan preliminar.

Este plan del proyecto pretende definir y limitar el ámbito del proyecto, clarificar los resultados que buscamos, confirmar el valor del negocio, fijar los límites y los recursos para el equipo, y ayudar al equipo a comunicar sus objetivos y planes. Este plan de proyecto es la primera autorización, y, a menudo la más importante, que debe dar el Champion del proyecto antes de que el equipo siga adelante.

El siguiente trabajo del equipo es identificar el protagonista más importante de cualquier proceso: el cliente. Los clientes pueden ser internos (dentro de la empresa) o externos (los clientes que pagan). Es el trabajo del Black Belt y del equipo lograr una idea clara sobre lo que quieren los clientes –en especial los clientes externos, cuya <<decisión de compra>> determina si la compañía continúa ganando dinero, creciendo y así sucesivamente. Este trabajo que requiere lograr la <<voz del cliente>> (VOC= *Voice of the Customer*) puede ser un desafío. Los clientes mismos a menudo no están seguros de lo que quieren y tienen problemas para expresarlo. Pero en cambio son generalmente muy buenos en describir lo que no quieren. De modo que el equipo debe escuchar la <<voz del cliente>> y traducir el lenguaje de éste es requerimientos significativos.

En la mayoría de las organizaciones, existen suficientes oportunidades de encontrar las mejoras y con ello sugerir un proyecto. Se podrían buscar oportunidades como las que se muestran a continuación:

Satisfacción del cliente: La organización supervisará la información relativa a la percepción del cliente acerca de si la organización ha reunido los requisitos del cliente. Las encuestas de clientes, ya sean mediante cuestionarios por correo, teléfono o, de preferencia, estudios personales, son una excelente manera de evaluar si la percepción de los clientes acerca de la calidad y/o servicio coinciden con la imagen que tiene la empresa sobre su propio desempeño.

Auditorías internas: En particular las llamadas auditorías de valor agregado, son una importante fuente de información valiosa con respecto del desempeño del proceso. Las auditorías de valor agregado van más allá del aspecto de conformidad en cuanto a que se realizan en un esfuerzo de no sólo evaluar la eficacia de un sistema de administración de la calidad, sino asimismo para tratar de determinar la eficacia de todos los procesos. Los informes de la auditoría interna pueden ser una valiosa fuente de información sobre las mejoras del proceso.

Control del producto no conforme: Se deberán tratar las no conformidades tomando acciones para eliminar la no conformidad descubierta. Es claro que los informes de no conformidad son una fuente importante de información para la posible mejora del proyecto.

Una vez que se encuentra una oportunidad de mejora, debe cuantificarse. En otros términos, son inaceptables si las declaraciones son expresadas vagamente. Tales declaraciones vagas del problema, necesitarán reformularse antes de presentarlas a la alta dirección para su revisión.

3.4.2. Medir

Las mediciones son muy importantes en toda empresa, pues con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de sus equipos, de su gente, y se toman decisiones importantes y a veces costosas. Toda medida está sujeta a error.

La etapa de medir es una continuación lógica a la de definir y es un puente a la siguiente. La etapa de medir tiene dos objetivos principales:

1. Tomar datos para validar y cuantificar el problema, la oportunidad. Normalmente, ésta es una información crítica para refinar y completar el primer documento del marco del proyecto.
2. Empezar a obtener los datos y los números que nos puedan dar claves para identificar las causas del problema.

Los equipos Six Sigma adoptan una visión del proceso del negocio y la usan para fijar prioridades y tomar buenas decisiones sobre las medidas que se necesitan. Un proceso tiene tres categorías principales de medidas:

1. *Salida o Resultado*: Las medidas en la salida se enfocan en los resultados inmediatos del proceso (entregas, defectos y quejas) y en los resultados de impacto a más largo plazo (beneficios, satisfacción del cliente, etc.)
2. *Proceso*: Elementos que podemos seguir y medir. Normalmente ayudan al equipo a empezar a señalar las causas del problema.
3. *Entrada*: Elementos que entran en el proceso y se transforman en la salida. Desde luego, unas malas entradas crean unas malas salidas, de modo que medidas a las entradas pueden también ayudar a identificar las causas de un problema.

La primera prioridad del equipo Six Sigma es casi siempre las medidas en la salida que mejor cuantifican los problemas actuales. Esta medida de referencia se usará para completar el documento marco del proyecto; algunas veces si el problema resulta ser más pequeño o diferente de lo que se esperaba, se puede cancelar o modificar. Existen muchas formas de medir el rendimiento en cada fase: entrada, proceso y salida. Los resultados miden el impacto a largo plazo. La figura 3.6 muestra las métricas que se toman en cuenta para cada fase.

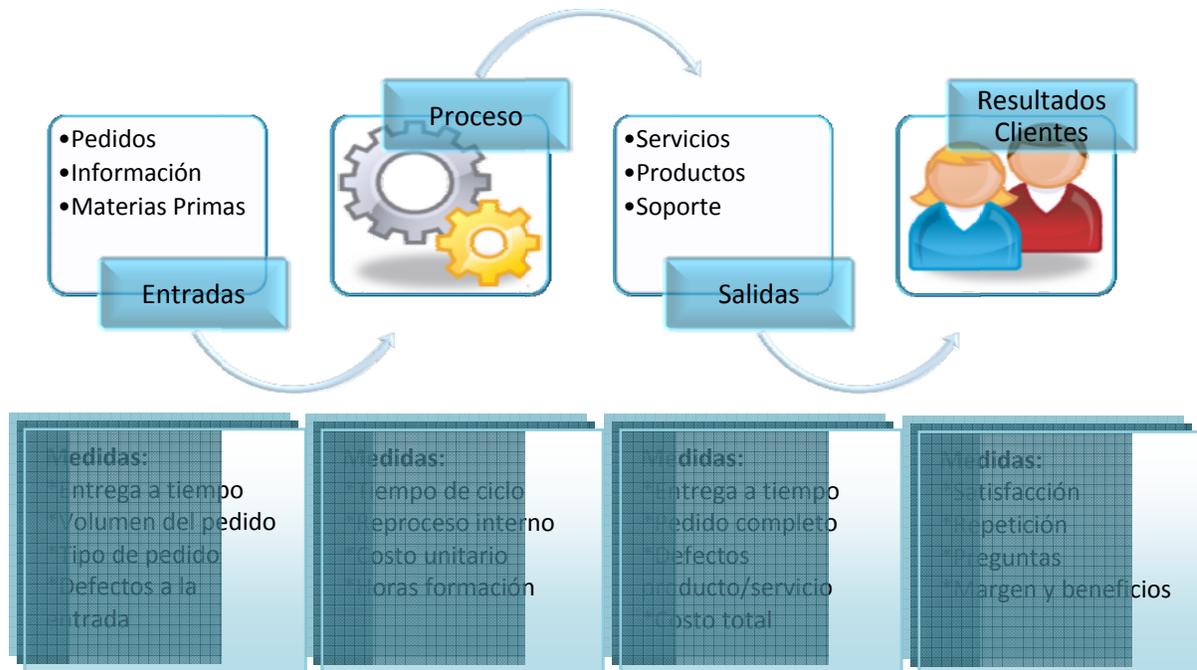


Figura 3.6 Medidas de rendimiento en cada fase

Para empezar a lograr datos sobre las causas potenciales se debe enfocar en medidas en el proceso y en algunas entradas seleccionadas. Una vez que se ha determinado qué se va a medir, el equipo prepara un <<plan de toma de datos>>. Éste es el momento en que los miembros del equipo comienzan el trabajo de conseguir información y cuantificar que ocurre en el negocio.

Algunas de las técnicas más importantes que se aprenden en los cursos sobre DMAIC son la toma de datos, cuántos tomar (muestreo) y cuán a menudo. Conseguir la cooperación de los clientes, los colegas y los proveedores suele ser crítico.

Un hito común en la etapa de medir es desarrollar una medida inicial del nivel en Sigma para el proyecto que se intenta mejorar. Este nivel es bueno para comparar el nivel de desempeño de procesos muy diferentes y relacionarlos con los requerimientos del cliente. Con una lectura del número de defectos o de salidas erróneas de un proceso, se puede calcular el nivel inicial.

Esta fase de medición consiste en seleccionar apropiadamente las variables que afectan al cliente externo o interno que se quiere mejorar. Se debe buscar un método para cuantificarlas y medirlas de forma precisa. Durante esta fase se debe también definir de forma inequívoca el nivel de aceptación, las variables seleccionadas y cuáles son sus niveles aceptables de desempeño. Si no hay datos disponibles, el problema deberá cuantificarse en cuanto a características mesurables importantes, que determinará el equipo. La fase terminará una vez realizadas las primeras mediciones.

3.4.3. Analizar

En esta etapa el equipo Six Sigma entra en los detalles, aumenta su comprensión del proceso y del problema y si todo va como está previsto, se identifica el culpable tras el problema.

Se utiliza la etapa de analizar para descubrir la <<causa raíz>>. A veces, las causas raíces de un problema son evidentes. Cuando no lo son, los equipos pueden moverse rápidamente a través del análisis. A menudo, sin embargo, las causas raíces están enterradas debajo de montones de papel y procesos obsoletos, perdidas entre las complejidades de mucha gente haciendo el trabajo a su manera y sin documentarlo, año tras año. Cuando esto ocurre, el equipo necesitará invertir varias semanas o meses aplicando una serie de herramientas y ensayando varias ideas antes de cerrar el caso.

Uno de los principios de una buena resolución de problemas mediante el DMAIC es considerar muchos tipos de causas, a fin de no permitir que la experiencia pasada o prejuicios ofusquen el juicio del equipo. Algunas de las categorías de causas comunes a explorar son:

- *Métodos*: los procedimientos o técnicas usados para ejecutar el trabajo.
- *Máquinas*: la tecnología, por ejemplo, computadoras, fotocopiadoras o equipo de producción usado en el proceso de trabajo.
- *Materiales*: los datos, instrucciones, números o hechos, impresos y ficheros que, con fallos, tendrán un impacto negativo en la salida.
- *Medidas*: datos de errores obtenidos de la medida de un proceso o acciones para cambiar la gente con base en lo que se ha medido y cómo.
- *Ambiente*: elementos externos ambientales, desde el tiempo a las condiciones económicas que impactan en cómo se lleva a cabo un proceso o negocio.
- *Personas*: una variable clara que afecta a cómo todo el resto de elementos se combina para producir los resultados del negocio.

Los equipos DMAIC enfocan su búsqueda en las causas mediante lo que se conoce como el *Ciclo de Análisis*. El ciclo empieza mediante combinar la experiencia, los datos, medidas y una revisión del proceso y entonces formular una hipótesis inicial sobre la causa. El equipo entonces busca más datos y otra evidencia para ver si corresponde a la causa sospechosa. El ciclo de análisis continúa, refinando la hipótesis o rechazándola hasta que la verdadera causa raíz se identifica y verifica con los datos.

Los principales mecanismos para evaluar e identificar áreas de oportunidad son:

- Evaluación de indicadores contra objetivos.
- Análisis de tendencia de resultados e indicadores.
- Evaluación de impacto de cambios con los clientes.
- Auditorías.

Uno de los grandes desafíos en la etapa de analizar es usar las herramientas adecuadas. Con suerte, con herramientas simples se puede describir la causa. Cuando las causas son más profundas o cuando la relación entre el problema y otros factores es compleja y oculta, es probable que se requieran técnicas estadísticas avanzadas para identificar y verificar la causa.

Con los datos obtenidos en la fase anterior se procede al cálculo de la capacidad del proceso para ser conscientes de la situación en la que se encuentra de forma objetiva. Se debe también llegar a conclusiones sobre cuáles son las causas y variables de entrada responsables de de dicha situación.

Durante la fase del análisis, se recomienda el uso de una bitácora para registrar las actividades. La opción más práctica puede ser una versión electrónica de la bitácora que use el software comercial disponible, o bien quizás las capacidades de Intranet de la empresa. El mantenimiento de bitácoras tiene una larga tradición en las prácticas de investigación e ingeniería, pero por desgracia los profesionales de la calidad o los equipos de mejora los emplean rara vez. Las bitácoras permiten al gerente del proyecto y a los miembros del equipo documentar las actividades que se realizaron durante la investigación.

Las bitácoras no deben confundirse con las minutas de las reuniones del equipo. Los registros no sólo deben incluir lo que salió bien, sino también lo incorrecto o que no funcionó durante las diversas fases del proyecto. Si una sugerencia o el análisis no producen el resultado que se pretendió, también debe documentarse. Es preciso recordar que cuando completa, la bitácora permitirá a los demás leer la historia y evolución del proyecto completo con sus fracasos, frustraciones y éxitos. Una bitácora bien mantenida puede ser una excelente fuente de información para otros equipos que pudieran tener que investigar problemas similares.

3.4.4. Mejorar

En esta etapa se deben crear los elementos necesarios para erradicar las causas que originan desperdicio, mermas, devoluciones, baja productividad, etc., a través de la aplicación de algunas herramientas sencillas en su concepto y funcionamiento. Esta cuarta fase corresponde con el último paso del modelo Deming llamado actuar.

El objetivo que se plantea es establecer planes de acciones derivados del análisis del proceso y es muy importante documentar las correcciones, actividades preventivas de mejora y/o innovación al proceso.

Un procedimiento estructurado para erradicar las causas que originan problemas en los procesos es a través de implantar herramientas sencillas y de bajo costo cuyos resultados y beneficios se puedan valorar en el corto plazo.

Esta etapa –la solución y la acción– es a la que muchos se sienten tentados a saltar desde el inicio del proyecto. De hecho, el hábito de empezar a resolver un problema sin primero entenderlo en tan fuerte que muchos equipos consideran un desafío adherirse al rigor objetivo del proceso DMAIC. Sin embargo, cuando ven el valor de hacerse preguntas, verificar las hipótesis y de usar datos, los miembros del equipo se dan cuenta de cuánto mejor es el enfoque Six Sigma.

Antes de empezar a desarrollar soluciones, muchos equipos vuelven a revisar el documento marco del proyecto y modifican las declaraciones de problema y objetivo para que reflejen sus descubrimientos hasta este punto. Es común también reafirmar el valor del proyecto con los Champions del equipo. Los equipos también modifican el ámbito del proyecto, con base en una mejor comprensión del problema y del proceso. Una vez que el equipo ha realineado los objetivos, la etapa de mejorar permite planificar y lograr los resultados.

Las soluciones creativas de verdad que ataquen las causas principales del problema y que el equipo que trabaja en el proceso considere factibles no se encuentran fácilmente. Y una vez que esas nuevas ideas se desarrollan, tienen que ensayarse, refinarse e implementarse.

Diversos ejercicios de creatividad ayudan al equipo a sacudir su modo de pensar y enfocar la generación de ideas con nuevos métodos. El equipo también puede examinar otras empresas y otras divisiones de la empresa para ver si pueden tomar prestadas de ellas <<mejores prácticas>>.

Una vez que se han propuesto varias soluciones potenciales, las técnicas analíticas regresan y se usan varios criterios, incluyendo costos y beneficios probables, para seleccionar las soluciones más prometedoras y prácticas. La solución <<final>> o series de cambios deben ser siempre aprobadas por el Champion y, a menudo, por el equipo entero de liderazgo.

Las soluciones DMAIC tienen que gestionarse con cuidado y verificarse. Es casi obligatorio hacer una implementación piloto a pequeña escala, los equipos tienen que hacer un cuidadoso <<análisis de problemas potenciales>> para determinar que puede ir mal y prevenir o manejar dificultades. Los nuevos cambios tienen que <<venderse>> a los miembros de la organización cuya participación es crítica. Hay que tomar datos para seguir y verificar el impacto de la solución.

3.4.5. Controlar

Se puede definir control como un grupo de acciones encaminadas a mantener una situación en un estado deseado. La figura 3.7 muestra las diferentes áreas sobre las que se deben aplicar medidas de control.

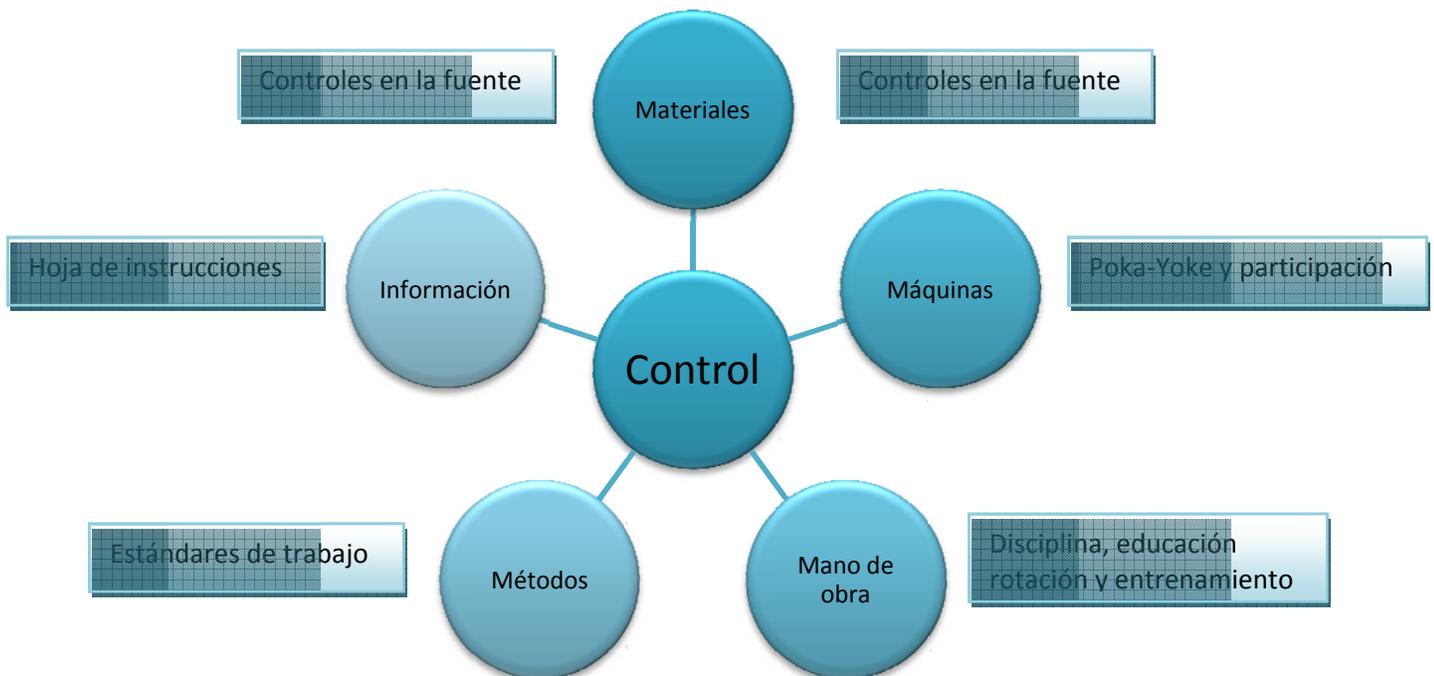


Figura 3.7 Medidas de control en diferentes áreas

Una vez realizadas las mejoras deseadas, se debe establecer un sistema para asegurar su consistencia.

El principal objetivo de la etapa controlar es evitar el efecto <<muelle>> de regresar a los viejos hábitos y procesos. De hecho, el que se logre un impacto a largo plazo en la forma que

trabaja la gente y asegurar que dure, depende tanto de la persuasión y de la venta de las ideas como de la medición y control de los resultados. Ambos son esenciales.

Tareas de control específico que los Black Belts y los equipos DMAIC deben completar incluyen:

- Desarrollar un proceso de seguimiento para verificar el resultado de los cambios implementados.
- Crear un plan de respuesta para tratar los problemas que puedan surgir.
- Ayudar a fijar la atención de la dirección en unas pocas medidas críticas que les den información actual sobre los resultados del proyecto y también de las medidas clave de procesos.

Desde el punto de vista del personal, el equipo debe:

- <<Vender>> el proyecto mediante presentaciones y demostraciones.
- Traspasar las responsabilidades del proyecto a los que se encargan del día a día del proceso.
- Asegurarse del apoyo de la dirección para los objetivos a largo plazo del proyecto.

Controlar debe asegurar:

- Eliminación de actividades que no agregan valor.
- Simplificación y reducción de tiempos de proceso.
- Creación de sistemas a prueba de errores.

Para lograr lo anterior se deberá:

- Estandarizar procesos.
- Automatizar procesos.
- Documentar, crear procedimientos en el proceso, pero sobretodo cumplirlos.
- Romper con el esquema tradicional de funciones.
- Apoyar en la tecnología de información.
- Integrar las lecciones aprendidas durante el proyecto.

En este punto culmina el ciclo de la metodología, dejando a su paso una forma de trabajar que asegure el cumplimiento de los requisitos de los clientes internos y externos, en otras palabras satisfacer todas y cada una de las especificaciones del producto, con el mínimo o cero retrabajo, desperdicio, devoluciones, etc. Para que dicha forma de trabajar se convierta en parte de la cultura de la empresa, se tendrá que demostrar día a día con resultados de óptima eficiencia y productividad.

A continuación se expone algunas barreras que impiden su cumplimiento³:

1. El esquema tradicional de cumplir primero con el programa de producción anteponiendo la calidad, en la mayoría de los casos el líder o líderes son culpables por no establecer un

³ *Seis Sigma*, Vilar, Gómez, Fermín, 2003.

programa con insumos –proveedores confiables, adecuados programas de mantenimiento, capacitación inducida por área, etc.; los resultados, falta de credibilidad de la empresa y posteriormente pérdida inevitable del cliente.

2. La rotación de personal es otra barrera para lograr el control, el compromiso de los seres humanos hacia una nueva cultura sólo se logra a través del tiempo, donde aceptan la necesidad de mejorar su trabajo y mejorarse ellos mismos como personas, hay casos en la industria donde nuevos integrantes sin experiencia no tienen la misma sensibilidad, conocimiento y habilidad para cumplir con los estándares que exigen los procesos y/o productos, y estos detalles han costado millones de dólares a empresas por pararle a su cliente una línea o líneas de producción completas.
3. Finalmente el apoyo de la alta dirección es fundamental para implantar este tipo de metodología, tristemente hay evidencia en la industria de que existe apoyo sólo en sus inicios y luego se olvida o bien hay apoyo porque la metodología “está de moda” y luego desaparecen responsables, compromisos y recursos.

Una vez que se ha logrado que todo el personal de la empresa cumpla satisfactoriamente con los indicadores establecidos para los diferentes procesos día a día, entonces se ha logrado estandarizar los procesos, en ese momento se establecen los procedimientos y se documentan las actividades para seguirlos sistemáticamente y se cierra el ciclo, al cabo de un periodo de tiempo se evalúan nuevamente requerimientos y se inicia con otro ciclo, asegurándose de esta manera la mejora continua.

Finalmente se tendrá que demostrar los gastos erogados hacia el proyecto Six Sigma contra el beneficio obtenido y que permitirá visualizar nuevos proyectos a partir de éste.

El éxito final del proyecto Six Sigma descansa en los que hacen el trabajo en el área en la que se enfocó el proyecto. Idealmente, cuando esta gente vea el valor de las nuevas soluciones desarrolladas por el proceso DMAIC –y los resultados que ofrecen– también empezarán a comprender el potencial que el sistema Six Sigma puede ofrecer.

CAPÍTULO IV

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

CAPÍTULO IV

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

De algún modo, cualquier técnica que le ayude a comprender, gestionar y mejorar un negocio o un proceso, califica para ser una herramienta Six Sigma. Pero algunas técnicas son especialmente claves al planificar y ejecutar proyectos Six Sigma. Comprender cuales son estas herramientas dará una clara perspectiva de cómo funciona el modelo Six Sigma.

Por conveniencia, se han agrupado las herramientas en cinco categorías. Estas categorías no son perfectas; muchas herramientas pueden usarse de varios modos. La clasificación se muestra a continuación:

- Herramientas para generar ideas y organizar la información.
- Herramientas para la obtención de datos.
- Herramientas para el análisis del proceso y de los datos.
- Herramientas para el análisis estadístico.
- Herramientas para la implementación y la gestión de procesos.

Six Sigma tiene muchas herramientas que ayudan a tomar mejores decisiones, resolver problemas y gestionar el cambio. Pero se debe tener precaución con pensar que Six Sigma y las herramientas son la misma cosa. El usar demasiadas herramientas, hacerlas demasiado complicadas, o el pedir que se usen cuando son inútiles, pueden dañar los objetivos de Six Sigma tanto como el no usarlas. Algunas sugerencias para usar las herramientas Six Sigma de manera óptima de acuerdo a las características del proceso, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Usar sólo las herramientas que ayuden a ejecutar el trabajo.
- Mantener el proyecto tan simple como sea posible.
- Cuando una herramienta no sea útil, parar y probar con otra.

A continuación se describe de forma detallada cada una de las herramientas útiles para la etapa de definición del problema y descripción del proceso; así como para que utilizarla, cuándo y cómo hacerlo.

4.1. Tormenta de ideas

Muchos métodos Six Sigma tienen la tormenta de ideas o generación de ideas como punto de partida. El propósito básico de la tormenta de ideas es obtener una lista de opciones para una tarea o una solución –normalmente una larga lista que se acortará para lograr la solución final. Por ejemplo, un equipo puede plantear una tormenta de ideas sobre que clientes entrevistar o que preguntas hacerles. Igual que en cualquier herramienta en la que sea necesario el trabajo en grupo, es de gran utilidad la figura del facilitador. Su misión radica en velar por que los miembros del equipo se mantengan en las mejores condiciones de participación, evitando la presión del tiempo o de cualquier otro factor externo que acote su creatividad. Además debe potenciar la discusión positiva que ayude a que sean presentadas todas las ideas potenciales de los miembros

del grupo, evitando por otra parte discusiones negativas que bloqueen al grupo e impidan el intercambio de ideas.

Más tarde, el equipo puede recurrir a una nueva tormenta de ideas para listar posibles medidas y luego a otra para listar soluciones de mejora creativas.

Para que utilizarla:

- Para producir muchas ideas diferentes en un corto espacio de tiempo.
- Para generar ideas creativas
- Para aumentar la implicación de los miembros de equipo.
- Para estimular y obtener las ideas de distintas funciones.

Cuando utilizarla; en la identificación de:

- Oportunidades de mejora.
- Causas cuando se construye un diagrama de causa y efecto.
- Los clientes y proveedores de un proceso.
- Áreas con problemas en un proceso.
- Fuentes de variación.

Como utilizarla:

- Revisar el tema objeto de la discusión. Por lo general, suele ser mejor que este tema se encuentre en forma de pregunta.
- Asegurarse de que todos los miembros del grupo han entendido perfectamente el tema sobre el que se va a realizar la Tormenta de Ideas.
- Permitir un minuto o dos de silencio para que todos los miembros del grupo puedan pensar respecto a lo que se les ha preguntado.
- Invitar a los miembros del grupo a que digan, por turno, en voz alta sus ideas.
- Continuar con la generación y registro de ideas hasta que se produzca un silencio lo suficientemente grande como para prever que ya no se generarán más ideas.
- Una vez anotadas todas las ideas, se procede a clarificar cualquier cuestión presentada por cualquier miembro del grupo, siendo el momento de eliminar aquellas que, sin necesidad de análisis, se considere por unanimidad que no son viables.

La Tormenta de Ideas no proporciona directamente respuesta a las preguntas representadas en la resolución de un problema. El objetivo de esta herramienta es conseguir una lista muy amplia de posibilidades que se utilizará como punto de partida en el análisis.

Se debe evitar la aparición de sesgos, tanto por enunciados defectuosos del problema como por el incumplimiento de las reglas del juego de esta herramienta (críticas, comentarios, predominio de algunos participantes y falta de participación en otros).

Cuanto más loco, mejor. Las ideas más descabelladas son, generalmente también las más creativas. Por lo general, se trata de ideas vistas con otra perspectiva. Las ideas “locas” suelen conducir a soluciones únicas.

4.2. Diagrama de afinidad

Un diagrama de afinidad es una agrupación de ideas u opciones en categorías. Suele ser la continuación de una tormenta de ideas y ayuda a sintetizar y evaluar ideas. Por ejemplo, después de listar qué clientes entrevistar, el equipo puede crear un diagrama de afinidad de esa lista creando las categorías de clientes nuevos, antiguos y perdidos.

Como la tormenta de ideas, los diagramas de afinidad tienen diversas variaciones. El mejor método es que la gente esté en silencio y agrupe las ideas sin hablar entre ellos.

Para que utilizarla:

- Para producir muchas ideas diferentes en un corto espacio de tiempo.
- Para generar ideas creativas.
- Para aumentar la participación de los miembros de un equipo.
- Para estimular y obtener ideas de distintas funciones.
- Para organizar las ideas de forma creativa.
- Agrupar ideas iguales

Cuando utilizarla:

- Cuando los hechos o conceptos no se encuentren claramente delimitados, sean complejos o excesivamente amplios. El Diagrama de Afinidad permitirá representar un “mapa” de estos hechos o conceptos.
- Cuando, debido a la gran cantidad de incidencias detectadas, éstas impidan determinar con claridad las causas concretas de la situación.
- Cuando sea conveniente utilizar un nuevo enfoque, tanto en la actuación como en el análisis de un tema. Permitirá al grupo romper con los conceptos tradicionales, ampliando su campo de pensamiento.
- Cuando no se conozcan de forma clara los pasos a dar para salir de una determinada situación, siendo necesario una ayuda para poner en marcha con éxito una solución.
- Cuando sea necesario el consenso de un grupo para abordar una actuación.

Cómo utilizarla:

- Formar el equipo correcto. Reunir a las personas correctas que deben recoger las ideas y la información. Este equipo deberá estar formado por aquellas personas que dispongan del conocimiento necesario para tratar las distintas dimensiones del problema o tema en cuestión. Igual que en cualquier herramienta en la que sea necesario el trabajo en grupo, es de gran utilidad la figura del facilitador.
- Realizar un proceso de tormenta de ideas respecto al tema en cuestión. En ocasiones, no siempre se utiliza un proceso de Tormenta de Ideas para recoger los datos. Cuando las ideas provienen de un conjunto de personas cuyo número no es manejable en un proceso de este tipo, el diagrama de afinidad se utiliza para organizar datos obtenidos con mecanismos distintos a este proceso. En estos casos los datos se suelen obtener de encuestas.

- Registrar las ideas. Las ideas que durante el proceso de Tormenta de Ideas se hubieran registrado en un pizarrón se transcribirán a tarjetas. Se debe hacer hincapié en que las ideas deben transcribirse tal y como se han establecido, dado que el objetivo es “capturar la esencia del pensamiento”.
- Recoger las tarjetas, mezclarlas y repartirlas de forma aleatoria sobre una superficie lo suficientemente grande.
- Agrupar las tarjetas. Las tarjetas son agrupadas en grupos relacionados por el equipo completo y en silencio.
- Crear tarjetas cabeceras. Las tarjetas cabeceras de cada agrupación se caracterizan por dos elementos muy importantes. En primer lugar, se debe identificar de forma clara el “hilo” común que une a las ideas que cuelgan de él. En segundo lugar, debe ser capaz de recoger el “sentir” de los comentarios del grupo. Es necesario discutir cada agrupación y buscar una tarjeta que capture la idea central que mantiene juntas a las tarjetas de la agrupación. Esta tarjeta, si existe, será la cabecera de la agrupación.
- Transcribir el diagrama de afinidad. Revisar todos los pasos dados y el resultado global. Suele ser conveniente establecer un periodo de discusión de estos resultados, estando abierto el equipo a la posibilidad de que sean necesarias modificaciones.

Esta herramienta es una forma eficaz de analizar grandes cantidades de datos de tipo ideas. Permite que afloren a la superficie estructuras que permanecen latentes en los datos. Ayuda a equipos de trabajo a alcanzar consenso, a ser creativos ante un problema o cualquier situación. Evita la creación de ganadores y perdedores.

4.3. Estructura o diagrama de árbol

Un árbol de estructura se usa para mostrar los enlaces o jerarquía entre las ideas resultado de la tormenta de ideas. Los objetivos y las posibles soluciones se pueden conectar mediante una estructura en árbol. Se puede usar esta técnica para ligar las necesidades principales de los clientes, tales como un valor adecuado o más requerimientos específicos como bajo costo de instalación, bajo costo de mantenimiento y así sucesivamente.

Es un método utilizado para representar el conjunto completo de actividades que es necesario realizar con el fin de alcanzar un objetivo denominado principal y los objetivos secundarios relacionados con éste. En un contexto general, se usa para identificar los “métodos” necesarios para conseguir “un objetivo”.

Para que utilizarla:

- Identificar ideas en detalle creciente.
- Identificar aquellos elementos que pudieran haberse olvidado durante el proceso de tormenta de ideas previo al diagrama de afinidad o al de relaciones.
- Para mostrar los enlaces o jerarquía entre las ideas resultado de la tormenta de ideas.
- Para ligar las necesidades principales de los clientes.

Cuando utilizarla:

- Para traducir necesidades definidas inadecuadamente (mal o incompletas) en características operativas.
- Para explorar todas las causas posibles de un problema.
- Para identificar las actividades iniciales a realizar a nivel departamental en la consecución de un objetivo global de empresa.

Como utilizarla:

- Acordar entre los miembros del equipo la definición del asunto, problema u objetivo a abordar. Esta definición debe ser clara, sencilla y concisa, pudiendo ser el resultado o no de un Diagrama de Relaciones o de un Diagrama de Afinidad.
- Generar todas las actividades, métodos o causas posibles relacionadas con el tema a tratar.
- Trasladar a tarjetas individuales las ideas registradas durante la Tormenta de Ideas.
- Representar el Diagrama de Árbol.
- Revisar el Diagrama de Árbol completo con el fin de asegurar que no existen “lagunas” en la cadena secuencial/lógica. Comprobarlo, revisando cada paso, comenzando con las actividades básicas situadas en el extremo derecho de la mesa o pizarra.

El Diagrama de Árbol, junto con el Diagrama de Afinidad, es una de las herramientas más naturales y más utilizadas de las herramientas de gestión y planificación. Si se realiza adecuadamente, refleja el mundo real de la implantación de la mejora continua. Permite enfocar la atención en los detalles más pequeños de la implantación que hacen inevitable la consecución del siguiente nivel del árbol.

4.4. Diagrama matricial

El Diagrama Matricial es una herramienta que ordena grandes grupos de características, funciones y actividades de tal forma que se pueden representar gráficamente los puntos de conexión lógica existente entre ellos. También muestra la importancia relativa de cada punto de conexión en relación con el resto de correlaciones.

Para que utilizarla:

- Para que un equipo pueda identificar, analizar y clasificar de forma metódica la existencia o no de las relaciones entre dos o más conjuntos de ideas, así como la fuerza de dichas relaciones en caso de que existan.

Cuando utilizarla:

- Cuando sea necesario visualizar los patrones de responsabilidad entre distintas áreas de forma clara.
- Cuando sea necesario llegar a un consenso por parte de un equipo con relación a pequeñas decisiones mejorando la calidad de la decisión tomada.
- Cuando sea necesaria la disciplina en un grupo de trabajo en el análisis de un gran número de factores.

Cómo utilizarla:

- Generación de los conjuntos a comparar. El diagrama matricial es, por lo general, una herramienta que se utiliza como paso posterior a los resultados obtenidos previamente mediante otra herramienta; por ejemplo, el diagrama de árbol. En caso de que no se haya utilizado otra herramienta con anterioridad, se pueden determinar los conjuntos a analizar utilizando el proceso de tormenta de ideas.
- Determinación del formato de la matriz. Elegir de entre los formatos existentes, la matriz idónea para el análisis en particular.
- Situar los conjuntos en los ejes de la matriz. Si los elementos constituyentes de los conjuntos provienen de un diagrama de árbol, se pueden utilizar directamente las mismas tarjetas.
- Seleccionar los símbolos a utilizar. Por lo general, el equipo debe elegir entre los existentes o inventar los símbolos más adecuados para el análisis.
- Registro de las relaciones en la matriz.
- Análisis. El análisis de un diagrama matricial consiste fundamentalmente en identificar la existencia de pautas:
 - Elementos de un conjunto sin relación con los del otro.
 - Elementos de un conjunto con una relación muy fuerte con los del otro.
 - Zonas de fuerte relación o de débil relación entre conjuntos de elementos.

Las conclusiones de este análisis dependerán del tipo de matriz utilizada.

4.5. Diagrama causa-efecto

Herramienta utilizada para relacionar causas y efectos. Se puede utilizar para estructurar el resultado de una sesión de tormenta de ideas. De una forma inmediata, ordena ideas de acuerdo a unas categorías predefinidas.

Generalmente se utiliza para:

- Identificar características y parámetros claves.
- Identificar las distintas causas que afectan a un problema.
- Lograr entender un problema por parte de un grupo.

Una técnica popular es el diagrama causa-efecto, de espina de pescado o Ishikawa. Además de tener muchos nombres, esta herramienta toma ideas de otras técnicas. El diagrama de pescado se usa en sesiones de tormenta de ideas para determinar posibles causas de un problema (o efecto) y coloca las posibles causas en grupos o afinidades; las causas que llevan a otras causas se unen como en una estructura de árbol. El valor del diagrama causa-efecto es ayudar a reunir las ideas colectivas de un equipo sobre que puede ocasionar un problema y ayudar a los miembros del equipo a pensar en todas las causas posibles mediante clarificar las categorías principales.

Los diagramas causa-efecto no dirán la causa concreta. Más bien, ayudarán a desarrollar hipótesis adecuadas sobre dónde enfocar la medida y hacer un análisis más profundo sobre la causa raíz.

Cuándo utilizarla:

- En el despliegue de características claves.
- En la búsqueda de las causas posibles de un problema.
- Para la organización de los resultados de una sesión de tormenta de ideas.
- En la identificación de las fuentes de variación de un proceso.
- En la realización de un diseño de experimentos.

Cómo utilizarla:

- Establecer y acordar con el grupo de trabajo la definición del problema objeto de la discusión. Esta definición constituirá el “efecto”.
- Mediante una sesión de tormenta de ideas, determinar las categorías más importantes de causas del problema. Si existe algún problema en este punto, recordar que un efecto en particular puede estar relacionado con numerosas causas; no obstante, suele ser práctico resumir en las siguientes categorías principales, por ejemplo:

Área de Fabricación:

- Hombres (mano de obra)
- Máquinas
- Materiales
- Métodos
- Mediciones
- Entorno

Área de Administración:

- Hombres
- Políticas
- Procedimientos
- Entorno

Estas categorías son sólo una sugerencia, debiendo utilizarse aquellas categorías principales que ayuden a que emerja la creatividad de las personas.

- Escribir el “efecto”, dentro de un recuadro, a la derecha de una pizarra u otra superficie de presentación. Trazar una línea horizontal que ocupe toda la pizarra y que termine en la caja donde se encuentre representado el efecto.
- Escribir las causas principales determinadas en el paso anterior al final de líneas oblicuas que parten de la línea horizontal mencionada antes. Un diagrama de causa y efecto bien detallado tiene la apariencia de una espina de pescado; de ahí su nombre alternativo *diagrama de espina de pescado*. A partir de este completo listado de causas posibles, es más sencillo identificar y seleccionar aquellas más probables con el fin de realizar su análisis.

Cuando se examina cada causa, se hace buscando posibles desviaciones respecto a lo especificado o pautas sospechosas. Recordar que se deben identificar y curar las causas de los problemas, no los síntomas.

- Mediante una sesión de tormenta de ideas, generar todas las posibles causas del problema. Conforme vayan apareciendo las ideas, se deberán escribir como subcausas relacionadas con las distintas causas principales. En el caso de que exista más de una relación, cada subcausa puede escribirse en más de una posición.

4.6. Matriz de priorización

Herramienta utilizada para priorizar actividades, temas, características de productos/servicios, etc., según criterios de ponderación conocidos utilizando una combinación de las técnicas de diagrama de árbol y diagrama matricial. Fundamentalmente, es una herramienta utilizada para la toma de decisiones.

Se utiliza para establecer un orden de prioridad entre las distintas opciones presentadas a la hora de llevar a cabo un plan de acción.

Cuando utilizarla:

- Cuando después de haber identificado un conjunto de temas clave y de generar las posibles opciones para tratarlos, sea necesario realizar una selección de entre estas opciones.
- Cuando existe desacuerdo respecto a la importancia relativa de los criterios de selección elegidos por los integrantes del grupo.
- Cuando los recursos disponibles en la puesta en práctica del programa de mejora, son limitados.
- Cuando existe una interrelación muy fuerte entre las opciones generadas.

Cómo utilizarla:

Dependiendo de la complejidad del tema y del tiempo disponible para realizar la priorización, la construcción de estas matrices sufre variaciones.

Fundamentalmente existen dos alternativas, el Método del Criterio Analítico Completo y el Método de Consenso de Criterios.

El Método del Criterio Analítico Completo es el más complejo y riguroso de entre las matrices de priorización y por lo tanto el más costoso. Por ello está justificada su utilización cuando:

- La decisión a tomar es crítica para la organización.
- Existen más de un criterios que pueden ser aplicados en la toma de decisiones.
- Todos los criterios juegan un papel significativo en la decisión.

Cuando se utiliza este método, existen tres pasos básicos en el proceso de priorización:

- Establecer prioridades y asignar pesos a los distintos criterios.

- Establecer prioridades entre los temas/opciones con base en cada criterio en particular.
- Establecer prioridades y seleccionar los mejores temas/opciones con base en todos los criterios.

El Método de Consensos de Criterios es el proceso simplificado del Método del Criterio Analítico y se utiliza cuando exista consenso respecto a la importancia de los criterios.

4.7. Diagrama de Pareto

Un diagrama de Pareto es un gráfico de barras que subdivide un grupo en categorías y las compara desde la mayor a la menor. Se usa para buscar las piezas más importantes de un problema o de los contribuyentes a una causa. El diagrama de Pareto le ayuda a descubrir cuáles de las cuestiones o problemas tiene el mayor impacto, de modo que se pueda enfocar el proyecto y soluciones en pocas cuestiones, pero que sean las de mayor impacto. El diagrama de Pareto se apoya en la llamada <<Regla del 80-20>>: La mayoría de los problemas (80%) surgen relativamente de pocas causas (20%).

El objetivo del diagrama de Pareto es presentar información de manera que facilite la rápida visualización de los factores con mayor peso, para reducir su influencia en primer lugar.

El Diagrama de Pareto separa los factores vitales de los triviales. Se pueden incorporar costos al diagrama, así como ponderar las características de control, considerándose características de control aquellas que produzcan un impacto mayor (económico, de % de producto defectuoso, de reclamaciones, etc.)

La determinación de características de control debe ser llevada a cabo por un equipo multifuncional de las siguientes áreas preferentemente:

- Ingeniería de diseño
- Ingeniería de fabricación
- Producción
- Calidad

Con conocimientos del producto y de los procesos que se están analizando, informados respecto al contenido del programa de control y mejora de procesos así como una formación específica en herramientas de análisis y resolución de problemas: análisis de Pareto, tormenta de ideas, AMEF y Diagrama Causa-Efecto.

Para que utilizarla:

- Para priorizar acciones necesarias para resolver problemas complejos.
- Para separar los “pocos y vitales” de los “muchos y triviales”.
- Para separar las causas que contribuyen a un problema en importantes y no importantes.
- Para medir la mejora después de realizar los cambios consiguientes.

Cuando utilizarla:

- Cuando se analicen datos por grupos con objeto de revelar pautas desconocidas.

- Cuando sea necesario ordenar una serie de problemas o condiciones en orden de importancia relativa para seleccionar el punto de arranque en la actividad de resolución de problemas, identificando las causas básicas de los mismos, separando las pocas causas vitales de las muchas causas triviales.
- Cuando sea necesario relacionar causas y efectos, comparando un Gráfico de Pareto clasificado por causas con otro clasificado por defectos.
- Cuando se evalúe una mejora comparando los datos anteriores a ésta con los posteriores.

Como utilizarla:

- Decidir como clasificar los datos.
- Elegir el periodo de observación del fenómeno.
- Obtener los datos y ordenarlos.
- Preparar los ejes cartesianos del diagrama.
- Diseñar el diagrama.
- Construir la línea acumulada.
- Añadir las informaciones básicas.

Algunas consideraciones que se deben hacer al realizar un Diagrama de Pareto son:

- Señalar claramente la unidad de medida (unidades, unidades monetarias o porcentajes) etc.
- El gráfico está basado en el principio de Pareto: 80% de los problemas provienen del 20% de las causas. A pesar de que los porcentajes no siempre son exactamente 80/20, usualmente si se cumple esta relación entre los “pocos y vitales y los muchos y triviales”.
- El mejor gráfico de Pareto es aquel que utiliza una medición que refleja el costo de los problemas para la organización. Cuando el número de elementos sea proporcional a este costo, el número de elementos será una buena medición. Sin embargo, suele ser más útil medir pesos, tiempo o cualquier otra unidad más relacionada con costo.
- Si se utilizan dos escalas de medición, cuidar que ambas escalas sean coherentes.

4.8. Histograma

Un Histograma o Gráfico de Frecuencia, otro tipo de gráfico de barras, muestra la distribución o variación de los datos sobre un rango: tamaño, edad, costo, intervalo de tiempo, peso y así por el estilo.

Su objetivo es visualizar la dispersión, el centrado y la forma de un grupo de datos.

Al analizar los histogramas, se puede mirar la forma de las barras o la curva, la anchura o rango (del mayor al menor) de la muestra o el número de sucesos en las barras. Si se colocan los requerimientos del cliente en un histograma, se podrá fácilmente ver si se está satisfaciendo o no las necesidades de los clientes.

Para qué utilizar la herramienta:

- Permite visualizar de forma rápida la tendencia central, variación y forma de la distribución de las mediciones representadas.
- Permite observar pautas distintas de la de aleatoriedad de las mediciones representadas.
- Proporciona información para reducir la variación y eliminar la causa de los problemas.
- Permite observar la repetibilidad en la producción de una característica de calidad.
- Muestra gráficamente la relación existente entre la capacidad de un proceso y las especificaciones de ingeniería.
- Permite evaluar de forma visual si un conjunto de mediciones se distribuye de forma normal.

Cuándo utilizarla:

- En la toma de mediciones de una característica resultado de un proceso.
- En la realización de análisis de capacidad del proceso.
- En el análisis de la calidad de un producto en su recepción.
- En el análisis de la calidad de un producto previamente a su expedición.
- En el análisis de la variación.

Como construirla:

- Definir una escala horizontal apropiada.
- Marcar los límites reales de todas las clases de la distribución que se quiere representar.
- La escala no necesita empezar en cero, pero si un intervalo de clase antes del límite inferior de la clase más baja.
- Las frecuencias se representan en la escala vertical, la cual debe empezar en cero, no tener cortes o interrupciones y ser lo suficientemente amplia para incluir la mayor de las frecuencias de la distribución.
- La combinación de las dos escalas debe producir un rectángulo, en el que se dé una relación aproximada de 1, a 5 entre la base y la altura.

Los histogramas proporcionan información respecto a la distribución seguida por los datos representados. Esta información está relacionada con los siguientes aspectos:

1. *Tendencia central.* Observar alrededor de qué valor están los datos agrupados. En distribuciones simétricas, este valor central será aproximadamente el valor medio de dichos datos.
2. *Variabilidad.* Observar la dispersión de los datos alrededor del valor central de agrupamiento.
3. *Forma.* Observar la forma del histograma en lo que respecta a: simetría, uno o más "picos", características de las colas del histograma, etc.

Antes de extraer conclusiones sobre el análisis de un histograma, se debe asegurar de que los datos son representativos de las condiciones normales del proceso. Si los datos son antiguos o existiera algún interrogante acerca de datos sesgados o incompletos, es mejor obtener nuevos datos para confirmar las conclusiones.

Es necesario recordar que la interpretación del histograma es a menudo simplemente una teoría que debe ser todavía confirmada con análisis adicionales y observaciones directas del proceso en cuestión.

4.9. Gráfica de tendencias

La gráfica de tendencias es una herramienta que muestra la variación de una característica de interés de un proceso, durante cierto periodo. Su objetivo es monitorear el comportamiento de dicha característica de interés de un proceso.

Los diagramas de Pareto o histogramas no muestran cómo cambian las cosas con el tiempo. Esa es la misión de un gráfico de tendencia.

Para interpretar una gráfica de tendencias se consideran los siguientes factores:

- Se deben buscar patrones como ciclos, tendencias o cambios.
- Observar si la línea media representa el valor que se desea que tenga el proceso.
- No todas las variaciones son importantes.

4.10. Diagrama de flujo

El Diagrama de Flujo es una representación gráfica de las distintas etapas de un proceso, en orden secuencial. Puede mostrar una secuencia de acciones, materiales o servicios, entradas o salidas del proceso, decisiones a tomar y personas implicadas. Puede describirse cualquier proceso, de fabricación o de gestión, administrativo o de servicios.

Se utiliza generalmente:

- Para mejorar el entendimiento común de un proceso.
- Para estandarizar y documentar los procesos.
- Para identificar los puntos de medición de los procesos.
- Para identificar fuentes de variación de los procesos.
- Para generar ideas respecto a la mejora de los procesos.
- Para identificar actividades sin valor añadido.

El Diagrama de Flujo se utiliza generalmente cuando:

- El grupo inicie el estudio de un proceso en particular, como el primer y más importante paso a dar a la hora de conocerlo, entenderlo y encontrar mejoras potenciales: ¿cómo es en realidad el proceso?
- Se diseña un proceso mejorado: ¿cómo se quiere que sea el proceso?
- En la planificación de un proyecto.
- Cuando sea necesario mejorar la comunicación entre personas involucradas en un mismo proceso.

La creación de un diagrama de flujo se describe en los pasos siguientes:

- Definir el proceso que se desea representar. Reflejarlo por escrito en una tarjeta y posicionarla en la parte superior de la superficie de trabajo.
- Discutir y acordar las fronteras del proceso, así como el nivel de detalle al que se va a construir el diagrama:
 - Inicio del proceso
 - Fases y contenido del proceso
 - Término del proceso
- Realizar una sesión de tormenta de ideas para determinar todas las etapas del proceso. Escribir cada una de estas etapas en una tarjeta. No importa la secuencia.
- Ordenar las tarjetas en la secuencia apropiada.
- Listar las entradas y salidas del proceso. Escribirlas en una tarjeta y situarlas en el punto apropiado del flujo del proceso.
- Cuando se encuentren incluidas todas las etapas del proceso y exista unanimidad del grupo respecto a que el diagrama es correcto, trazar líneas que muestran dicho flujo.
- Con objeto de tener una mayor “visibilidad” del proceso, las distintas actividades se suelen enmarcar en símbolos especiales. La simbología más usada se muestra en la figura 4.1.

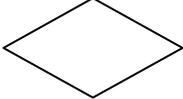
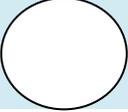
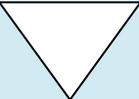
Símbolo	Significado	Ejemplo
	Operación	Operación de taladrar o surtir
	Toma de decisión	¿Fabricar o comprar?
	Inspección	Auditar
	Demora	Pendiente de firma
	Almacenamiento	Piezas en almacén
	Dirección de flujo	Entradas del proceso

Figura 4.1 Simbología para representación de procesos

Se deben definir claramente las fronteras (principio, contenido y fin) del proceso. Es conveniente utilizar el menor número de símbolos, y lo más sencillo que sea posible, así como asegurarse de que cada símbolo de operación tenga una sola línea de flujo, en caso contrario, hay que sustituirla por un rombo de decisión.

Puede ser necesaria más de una sesión, permitiendo a todos los miembros del grupo adquirir información y reflejarla en el diagrama. Incluso cuando parezca que el diagrama se ha concluido en una sesión, realizar una segunda que permita la reflexión.

4.11. Técnica de grupo nominal

La técnica de grupo nominal se utiliza para jerarquizar propuestas.

El objetivo de la técnica de grupo nominal es lograr consenso entre los participantes de un equipo. En general, puede usarse cuando los asuntos o propuestas por jerarquizar no pueden ser cuantificados, es decir, muy difícil hacerlo.

Aplicada, por ejemplo, a las ideas resultantes en un diagrama de Ishikawa, cada miembro del equipo, de manera individual, jerarquiza las ideas, es decir, les asigna un orden de acuerdo con su importancia. Después se combinan las jerarquizaciones de todos los miembros y se suman. La idea con mayor número será la más importante.

La técnica de grupo nominal es una herramienta creativa empleada para facilitar el análisis de problemas. Este análisis se lleva a cabo de un modo altamente estructurado, permitiendo que al final de la reunión se alcance un buen número de conclusiones sobre las cuestiones planteadas.

Cuando utilizarla:

- Para cristalizar todas las opiniones del grupo, equilibrando la participación.
- Permite al equipo llegar rápidamente a un consenso.
- Hace posible que el análisis se lleve a cabo de un modo altamente estructurado.
- En aquellos problemas en los que pueden aparecer un gran número de soluciones.

Como utilizarla:

- Generación silenciosa de ideas, escribiéndolas.
- Registro de las ideas en un rotafolio eliminando las ideas duplicadas.
- Discusión para la clarificación de las ideas.
- Voto preliminar sobre la importancia de las ideas.

Ventajas

- Reduce la probabilidad de aparición de conflictos.
- Permite la proliferación de un buen número de ideas. Estas son formuladas sintéticamente.
- Se consideran las posiciones minoritarias. Todos los componentes del grupo participan.
- Se garantiza que el éxito de las ideas no dependen de la brillantez en la exposición de las mismas.

4.12. QFD Quality Function Deployment (Despliegue de la Función de Calidad)

El Despliegue de la Función de Calidad es comúnmente conocido con el acrónimo inglés **QFD** (Quality Function Deployment). Fue introducido en Japón por Yoji Akao en 1966, sin embargo

el primer libro (en japonés) sobre este método no se publica hasta 1978 y sólo a partir de 1990 aparece bibliografía en inglés y, más adelante, en otros idiomas.

El QFD puede definirse como un **sistema estructurado que facilita el medio para identificar necesidades y expectativas de los clientes (voz del cliente) y traducirlas al lenguaje de la organización**, esto es, a requerimientos de calidad internos, desplegándolas en la etapa de planificación con la participación de todas las funciones que intervienen en el diseño y desarrollo del producto o servicio. La organización:

- Escucha la voz del cliente (interno y externo).
- Traduce las necesidades en requisitos técnicos o especificaciones de diseño.
- Despliega la voz del cliente, subdividiendo los requisitos primarios del cliente en secundarios y algunas veces en terciarios.

Tiene dos propósitos:

- Desplegar la calidad del producto o servicio. Es decir, el diseño del servicio o producto sobre la base de las necesidades y requerimientos de los clientes.
- Desplegar la función de calidad en todas las actividades y funciones de la organización.

El QFD se pregunta por la calidad verdadera, es decir, por "*qué*" necesitan y esperan del servicio los usuarios. También se interroga por "*cómo*" conseguir satisfacer necesidades y expectativas.

El elemento básico del QFD es la denominada **Casa de la Calidad** (House of Quality) que se muestra en la figura 4.2. Es la matriz de la que derivarán todas las demás. Y es que es éste enfoque matricial lo característico del método, de modo que el despliegue de la calidad utilizará un amplio número de matrices y de tablas relacionadas entre sí.

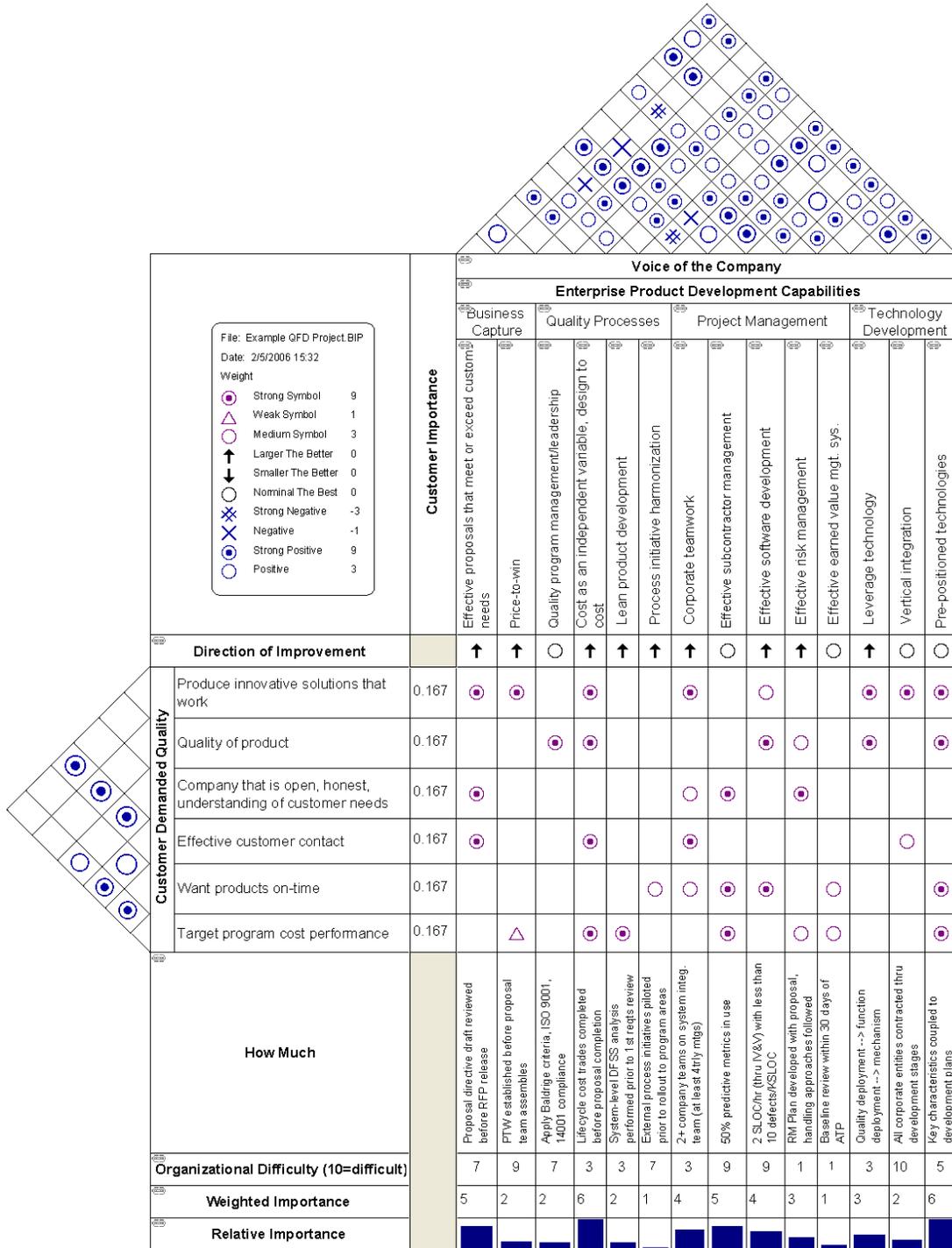


Figura 4.2 Casa de la Calidad (House of Quality)

Se puede fabricar un producto o diseñar un servicio con unas excelentes prestaciones, a un bajo precio y, sin embargo, fracasar por no tener la demanda esperada en el mercado. Esta situación indicaría que el diseño se ha hecho a espaldas del cliente potencial o que, aun habiendo

intentado conocer las expectativas de éste, se ha fracasado a la hora de traducirlas a características del producto / servicio.

La importancia del diseño es, por tanto, fundamental para el éxito. Este diseño debe traducir las demandas expresadas y latentes del cliente a las especificaciones del producto o servicio.

Como se ha mencionado anteriormente, las fuentes de información que se pueden utilizar son variadas. Desde las quejas y reclamaciones hechas por los usuarios (que son pocas, ya que un porcentaje elevado de clientes insatisfechos no declaran su insatisfacción a la organización prestataria abiertamente), hasta cuestionarios administrados a estos, pasando por conversaciones directas (normalmente en grupo).

La cuestión es qué método utilizar para que esa traducción del mundo del cliente al mundo de la organización sea lo más correcta posible. En este sentido, el QFD (Quality Function Deployment) supone una metodología que permite sistematizar la información obtenida del usuario hasta llegar a definir las características de calidad del servicio, adaptándolo a las necesidades y expectativas detectadas. Significa por tanto una herramienta para el diseño del producto o servicio.

Finalmente, se obtendrá una idea precisa de cuáles deben ser las especificaciones del servicio, en qué elementos hay que invertir y de qué manera, para conseguir acercarse a las expectativas del cliente, y ajustar así el servicio de modo que se consigan clientes satisfechos.

El QFD permite obtener información sobre los aspectos del servicio en los que hay que centrarse y, en su caso, mejorar. Para ello, tiene en cuenta las valoraciones del cliente sobre esas variables, referidas al propio servicio (y a la competencia, si se considera oportuno). Su objetivo es la obtención de una Calidad de Diseño de un servicio excelente mediante la conversión de las necesidades del cliente en características de calidad adecuadas, sin omisiones ni elementos superfluos.

Identificar o jerarquizar a los clientes

Este elemento es indispensable para comprender a los clientes y considerar correctamente sus expectativas. Por otra parte, permite seleccionar el/los segmentos de usuarios adecuados para recoger los datos e informaciones necesarios para realizar el Despliegue de la Calidad Demandada y Planificada. En esta fase es imprescindible la participación del Departamento Comercial o de Marketing de la organización, que probablemente poseerá datos al respecto.

Identificación de las expectativas del cliente

Para realizar el diseño de un producto/servicio en función del cliente, es esencial conocer las expectativas de éste, lo que se puede llamar mundo del cliente. Los medios que se disponen para ello, pueden ser los siguientes: Grupos de discusión. Informes sobre quejas. Estudios existentes con base en encuestas realizadas. Informes de responsables de puntos de venta. Publicaciones y artículos. Informaciones sobre la competencia. En esta fase deben implicarse distintos departamentos, como Marketing, Comercial, Organización,... así como personal de línea. El sistema de elección a utilizar es el contacto directo con clientes mediante conversaciones,

preferiblemente en grupo en las que deberemos descubrir las demandas explícitas y latentes sobre el servicio. Estos clientes, a ser posible, deberán conocer también el servicio de la competencia y opinar sobre ellos. Este tipo de informaciones suelen presentar dos inconvenientes: son poco exhaustivas y poco precisas. Ambos, se superan en la fase siguiente.

Conversión de la información en descripciones verbales específicas

Los datos anteriores deben de servir para adquirir una primera orientación sobre las preferencias del cliente. De este modo, se contará con una información base que se reelaborará en esta fase con el fin de presentar un cuestionario completo a una muestra de clientes más amplia. Esta reelaboración es necesaria si se piensa que, normalmente, no se es muy específico al plantear las demandas. Por ejemplo, el grupo de usuarios pueden comentar que les gustaría tener donde elegir al comprar en el establecimiento. A partir de ahí se pueden precisar dos elementos del cuestionario: variedad de productos y variedad de marcas. Se trata de convertir la información directa en información verbal más precisa que permita obtener medidas concretas.

Elaboración y administración de la encuesta a clientes

El último paso de la toma de datos sería administrar una encuesta a usuarios del servicio, que conozcan también la competencia. En este cuestionario se les pide que evalúen, de 1 a 5 (1: no ejerce influencia; 5: ejerce fuerte influencia) la influencia de cada una de las demandas estudiadas a la hora de elegir un establecimiento u otro. Se pide también que valoren cual es la posición, en cada una de esas variables, de la propia empresa y las de las empresas de la competencia, también en una escala de 1 a 5.

Despliegue de la calidad demandada

Definidos los datos a obtener y conseguidos éstos, se pasa a realizar el despliegue de la Tabla de Planificación de la Calidad. Se trata de una matriz en la que se tiene, por una parte, los factores acerca de los cuales se ha interrogado a la muestra de clientes. Por otra, se tiene la importancia que se ha dado a cada uno de ellos así como la valoración que han hecho de la empresa y de la competencia. La columna puntos estratégicos permite introducir la orientación estratégica que se quiere dar al servicio. En función de la importancia concedida por el cliente en un factor concreto y la valoración recibida por la propia empresa y las de la competencia, se decidirá la calidad planificada que se quiere obtener en el futuro. Ese será el valor al que se tenderá y, en relación con la situación actual, se asignará un factor de aumento de la calidad en esa variable: Con estos datos, se estará en condiciones de obtener los pesos absolutos (importancia absoluta) de los distintos factores. El siguiente paso es la determinación de los pesos relativos (importancia relativa) de cada una de las variables en la mejora del servicio. Evidentemente, se trata de determinar en qué aspectos hay que comprometer mayor esfuerzo para ajustar el servicio a las demandas del cliente, qué hay que mejorar, en función de la situación actual de la empresa y de la competencia.

Despliegue de la características de calidad

La figura 4.2 indica qué hay que mejorar. Esto ya supone un avance en cuanto al diseño del servicio pero existe otra interrogante a despejar: cómo se mejora. Para ello, es necesario desplegar otro cuadro. Se trata de una matriz de doble entrada donde se cruzan los factores

evaluados con las características de calidad. Las características de calidad se refieren a los elementos propios del mundo de la organización, es decir, aquellos que la empresa puede modificar en determinada medida y que son indicadores cuantificables y medibles por tanto. La elaboración de esta lista de indicadores debe hacerse por parte de un grupo interdisciplinar, pudiendo llevarse a cabo paralelamente a las fases anteriores. Estos indicadores tienen una importancia fundamental ya que representan el mundo de la empresa, y será en ellos sobre los que hay que actuar. La lista resultante deberá ser, por tanto, exhaustiva y consistente. Esta metodología (QFD) permite invertir con el máximo rendimiento en el diseño del servicio, haciéndolo en aquellos elementos relevantes en función del análisis realizado que, como puede observarse, considera las opiniones de los clientes, tanto sobre la empresa como sobre las de la competencia, en las variables sustanciales del servicio.

4.13. Gráficos de control

Se trata de un gráfico de líneas en el que se representan las mediciones de un proceso o producto en función del tiempo. Los puntos representados pueden ser las mediciones reales de una característica de un producto o estadísticos (medias muestrales, desviaciones típicas muestrales, etc.) obtenidos de muestras. El objetivo de los gráficos de control es evaluar, controlar y mejorar procesos.

Un concepto básico en los gráficos de control es el de las causas de variación en un proceso. Las causas de variación se clasifican en causas comunes y causas especiales. Las causas comunes se deben al sistema: diseño deficiente, materiales inadecuados, mala iluminación, etc. Se pueden definir como la circunstancia particular de cada sistema (empresa, etc.). Las causas especiales se deben a situaciones particulares, y no afectan a todos: máquinas desajustadas, métodos ligeramente alterados, diferencias entre trabajadores, etc.

Los gráficos de control sirven para distinguir entre causas comunes y causas especiales de variación. Distinguir estos dos tipos de causas indica cuándo es necesario actuar en un proceso para mejorarlo y cuándo no hacerlo, pues sobreactuar en un proceso estable provoca más variación.

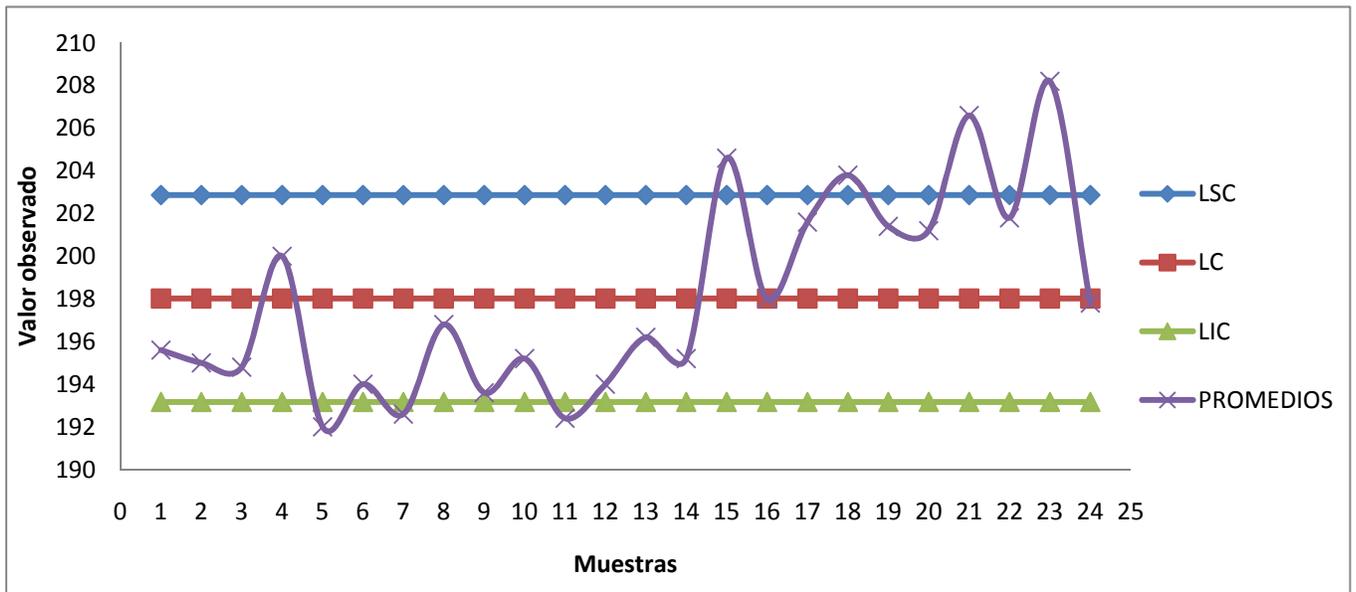
Un **proceso estable** solamente está sujeto a causas comunes de variación (pueden existir también algunas causas especiales de variación pero su efecto sería despreciable), o lo que se conoce como un sistema constante de causas, está en control estadístico y por tanto su variación es predecible dentro de los límites de control.

No significa que necesariamente el proceso tenga poca variación o se encuentre dentro de especificaciones. El mejoramiento del proceso se debe dar a través del sistema. Su capacidad se puede predecir.

En el caso de un **proceso inestable** no necesariamente tiene gran variación, sin embargo ésta no es predecible. El mejoramiento del mismo generalmente se logra a través del personal del área.

Estos gráficos disponen de una línea central que es representativa de la tendencia central del proceso, así como de unas fronteras denominadas límites de control, que son representativas de la variación del proceso cuando sobre él solamente actúan causas aleatorias de variación. Los

límites de control están situados a una distancia de más / menos tres desviaciones típicas a partir de la línea central como se muestra en la gráfica 4.3.



Gráfica 4.3 Gráfico de control de un proceso

Los estadísticos representados más comúnmente son la media muestral, la desviación típica muestral, el porcentaje de producto no conforme y el número medio de defectos por unidad. Todos los procesos tienen variación y los gráficos de control estadístico muestran dicha variación.

Los gráficos de control se pueden utilizar para:

- Representar la variación de los procesos en función del tiempo.
- Identificar cuando sucede un cambio en un proceso.
- Como base para la mejora continua.
- Identificar problemas en procesos.
- Eliminar no conformidades.
- Evaluar el desempeño de un proceso por medio de estudios de capacidad.
- Mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación, y ayudan a la prevención de problemas.
- Mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajustes del mismo.

De acuerdo con la naturaleza de la característica de calidad se distinguen tres tipos de gráficos:

- Gráfico de control por variables.
- Gráfico de control por atributos.
- Gráfico de control por número de defectos.

Siempre que sea posible, es preferible emplear los gráficos de control por variables porque al ser magnitudes medibles aportan mayor información que el resto de los gráficos. Un gráfico de control se emplea con la inclusión de los denominados límites de control. Son tres líneas horizontales que delimitan zonas del área ocupada por el gráfico.

A continuación se describen una serie de pasos previos que se deben seguir para la correcta elaboración de los gráficos de control:

1. *Definir los objetivos* y como se quieren alcanzar. Hay que establecer que características de calidad de los procesos se emplearán, el nivel de reducción de variabilidad que se pretende alcanzar sobre cada una de ellas o qué tipo de gráfico de control es aconsejable emplear, entre otros aspectos.
2. *Seleccionar un método de medición* adecuado de los datos y que será aceptado por todas las personas implicadas en el estudio.
3. *Establecer el criterio de formación de los subgrupos* significativos de datos, en el caso de emplear medidas, rangos o desviaciones. Cada subgrupo debe tener un tamaño constante y adecuado, formado por muestras seguidas que reflejen únicamente causas comunes.
4. *Determinar la frecuencia de los subgrupos*, de tal manera que entre ellos aparezcan las causas especiales que podamos apreciar. Si la variabilidad es grande, la frecuencia deberá ser alta.
5. *Cálculo de los límites de control del proceso*. Las fórmulas de cálculo difieren de un tipo a otro de gráfico. Existen una serie de coeficientes o factores que se emplean para el cálculo de los límites de control de los diferentes tipos de gráficos.

Una vez seleccionadas las características de calidad que serán estudiadas y determinados los gráficos de control más aconsejables en función de ellas, se elaborarán los diferentes gráficos de control para apreciar las posibles variaciones, y en este caso tomar las medidas adecuadas hasta conseguir que el proceso esté bajo control, mediante la eliminación de todas las causas especiales o asignables.

Los siguientes pasos muestran la secuencia de uso de los gráficos de control:

- Definir la característica a medir.
- Definir el punto de inspección (en qué etapa del proceso se va a medir la característica).
- Seleccionar el gráfico de control a utilizar.
- Analizar el sistema de medición.
- Determinar el tamaño del subgrupo (tamaño de la muestra) a medir.
- Determinar la frecuencia de la medición.
- Tomar físicamente las mediciones.
- Representar las mediciones o el estadístico utilizado (dependiendo del gráfico seleccionado), uniéndolas mediante una línea.
- Cuando se considere que sobre el proceso han actuado todas las causas aleatorias posibles (se suele tomar 20 o 25 puntos), calcular la línea central y los límites de control superior e inferior.
- Identificar si hay puntos fuera de los límites de control. Si existieran causas especiales de variación identificadas para estos puntos, recalcular la línea central y los límites de control sin tener en cuenta los valores asociados a estos puntos. Si, a pesar de estar los puntos

fuera de control, no existieran causas especiales asignables a éstos, se mantendrían sus valores en los cálculos de la línea central y límites.

- Extender los límites de control y la línea central en un gráfico en blanco para una toma de 20 o 25 mediciones.
- Es necesario reunir un mínimo de 25 subgrupos de datos. Una cantidad menor no ofrecería la cantidad necesario de datos que permita el cálculo exacto de los límites de control; una cantidad mayor demoraría la obtención de la gráfica de control.
- Tomar nuevas mediciones y representar los puntos correspondientes. En caso de que un punto salga fuera de límites, identificar la causa especial de variación que lo ha provocado y eliminarla.
- Al completar 20 o 25 mediciones, recalcular la línea central y los límites de control con las nuevas mediciones correspondientes a puntos en control. Si los límites así calculados son más amplios que los anteriores, dejar los límites anteriores para una nueva toma de 20 o 25 mediciones. Si los límites calculados son más estrechos, utilizar éstos para la nueva toma de mediciones.
- Seguir con el proceso anterior hasta nuevas instrucciones.

Identificación de las características de control

Se justifica la necesidad de disminuir la variación de una característica de un producto por los costos asociados con dicha variación tanto para el fabricante como para el cliente como se muestra en el esquema 4.4.



Esquema 4.4 Definición de característica de control

Esta disminución se logra mediante un programa de control estadístico de aquellos procesos cuya respuesta son las citadas características. Ahora bien, este programa de mejora tiene un costo y si éste es superior al asociado a la variación, deja en principio de estar justificado el programa.

Se entiende por característica de control de un producto toda aquella que tiene un mayor interés:

- Desde el punto de vista de la utilización del producto, lo que se llaman condiciones de diseño (actuaciones y tiempo de vida para el cliente externo).
- Desde el punto de vista de la fabricación: ajuste, alta probabilidad de ocurrencia de fallo baja probabilidad de detección para el cliente interno.

Las herramientas a utilizar en la determinación de las características de control son la función pérdida, el análisis de riesgo y el análisis de Pareto. Ya revisadas en este trabajo con anticipación.

Definición del punto de inspección

En la cuantificación de la variación asociada a las características de control denominamos punto de inspección al momento en que se van a realizar las mediciones a partir de las cuales se va a estimar la variación. Es útil en esta actividad tener en cuenta la experiencia anterior de piezas y procesos similares, así como la realización de diagramas de flujo de los procesos para obtener una mejor visión del mismo.

Selección de gráficos de control de procesos

La tabla 4.5 resume la selección de los gráficos de control por variables.

Caso a Tratar	Gráfico a utilizar	Tamaño de la muestra
<ul style="list-style-type: none"> Datos de tipo variable Una sola característica a medir Producción alta Característica medible en taller. No necesario apoyo de cálculo. 	(\bar{X}, R)	<ul style="list-style-type: none"> Menor de 10. Preferible 5
<ul style="list-style-type: none"> Datos de tipo variable Una sola característica a medir Producción alta Característica no medible en taller. Necesario apoyo de cálculo. 	(\bar{X}, S)	<ul style="list-style-type: none"> Mayor de 10.
<ul style="list-style-type: none"> Datos de tipo variable Una sola característica a medir Producción baja Imposible de formar subgrupos racionales de 2 o más de 2 elementos. 	(X, RM)	<ul style="list-style-type: none"> 1

Tabla 4.5 Selección de Gráficos de control por variable.

La tabla 4.6 resume la selección de gráficos de control por atributos.

Caso a Tratar	Gráfico a utilizar	Tamaño de la muestra
<ul style="list-style-type: none"> Datos de tipo atributo Más de una sola característica a medir Producción muy alta Tamaño de subgrupo constante o variable Se mide y representa la fracción de unidades no conformes. 	p	<ul style="list-style-type: none"> Superior a 30 pudiendo ser constante o variable.
<ul style="list-style-type: none"> Datos de tipo atributo Más de una característica a medir Producción muy alta Tamaño de subgrupo constante 	np	<ul style="list-style-type: none"> Superior a 30 debiendo ser constante.

<ul style="list-style-type: none"> • Se mide y representa el número de unidades no conformes. 		
<ul style="list-style-type: none"> • Datos de tipo atributo • Más de una característica a medir • Producción muy alta • Tamaño de subgrupo constante • Se mide y representa el número de no conformidades. 	c	<ul style="list-style-type: none"> • Más de una unidad pero constante.
<ul style="list-style-type: none"> • Datos de tipo atributo • Más de una característica a medir • Producción muy alta • Tamaño de subgrupo constante o variable • Se mide y representa el número de no conformidades por unidad. 	u	<ul style="list-style-type: none"> • Más de una unidad pudiendo ser constante o variable.

Tabla 4.6 Selección de gráficos de control por atributos

Análisis del sistema de medición

Se denomina capacidad del sistema de medición a la variación total de los valores obtenidos como resultado de múltiples mediciones de unos mismos elementos por distintos inspectores.

Se considera satisfactorio un sistema de medición que no consuma más de un 10% de la tolerancia especificada, calculando este porcentaje como:

$$\% \text{ de tolerancia} = \frac{\text{capacidad del instrumento}}{LTS - LTI} \times 100$$

Donde:

LTS es el límite de tolerancia superior.

LTI es el límite de tolerancia inferior.

Toma de muestras en los gráficos de control

La eficacia de los gráficos de control depende de la forma de realizar la toma de muestras. En esta toma de muestras es fundamental considerar lo siguiente:

- Las mediciones tomadas deben ser representativas de la producción en el momento de tomar la muestra.
- El tamaño de muestra predeterminado debe mantenerse constante siempre que sea posible. En los gráficos de control por variables más característicos, los gráficos, suele ser normal pequeños tamaños de muestra, tres a cinco mientras que en los gráficos generalmente son mayores de 10.
- En los gráficos por atributos se requieren tamaños de muestra mucho más grandes, aunque pueden ser variables. En realidad, el tamaño de muestra idóneo está en función de la calidad media del proceso. Existen distintos criterios para seleccionar dicho tamaño.

- Las mediciones deben ser independientes estadísticamente entre sí, aunque con objeto de lograr su homogeneidad, las mediciones de un subgrupo deben recogerse en el menor intervalo de tiempo posible.
- Las mediciones deben recogerse y representarse en el orden cronológico de fabricación.
- La frecuencia muestras debe ser siempre mayor en el estudio inicial que en procesos ya conocidos. Los puntos básicos a tener en cuenta son:
 - No establecer tomas de muestra en periodos en los que la experiencia nos garantice continuidad en el proceso.
 - Establecer tomas de muestra siempre que exista posibilidad de actuación de una causa especial: cambios de turno, relevo de operarios, cambios de materia prima, cambios de herramienta, después de mantenimiento de instalaciones, etc.

Determinación del estado de control

Se toman mediciones en los puntos de inspección, se representan en los gráficos correspondientes y se comprueba si dichos puntos se encuentran en estado de control (dentro de los límites de control) o fuera del estado de control (fuera de los límites de control). Cuando se encuentren fuera de control se identifican las causas especiales asignables y se eliminan estas. Los valores correspondientes a los puntos fuera de control con causas asignables identificadas que no participan en el recálculo de los nuevos límites de control.

4.13.1. Gráfico de control por variables

Gráficos de control de tipo variable cuyo objetivo sea vigilar el comportamiento de la tendencia central del proceso y de la variabilidad del mismo a través del rango, mediante la medición de una sola característica. Se recomienda cuando la medición se realiza dentro del propio taller o en el momento de ejecución de un servicio. Los gráficos de control para variables son utilizados para controlar características de calidad medibles en una escala continua como longitudes, alturas, diámetros, etc.

Sus diferentes tipos son:

- Gráfico de medias y rangos
- Gráfico de lecturas individuales
- Gráfico de medias y desviación estándar
- Gráfico de medianas y rangos.

Los parámetros típicos de un gráfico de control son:

- Tamaño de muestra (n)
 - a) Shewhart (1931) recomienda $n=4$ o 5 .
- Frecuencia de muestreo (f)
 - a) En promedio debe haber uno de cada 25 puntos fuera de los límites de control. Si hay más, incrementar la frecuencia. Si hay menos, disminuirla (Pyzdek, 1990).
- Número de muestras

- a) Veinte subgrupos con n=5, o 25 subgrupos con n=4 (100 observaciones individuales).

Las muestras se seleccionan de tal forma que las piezas sean lo más uniforme entre sí. Esto se logra, en general, tomando piezas consecutivas fabricadas en el mismo periodo. La razón de seleccionar los subgrupos (muestras) (Shewhart, 1931; Western Electric, 1956) de esta manera, es para que cada uno de ellos refleje la variación natural (interna, causas comunes) del proceso, y para que las muestras enfatizen la variación existente entre ellas, por ejemplo entre diferentes lotes, trabajadores, ajustes, etc.

Esta variación natural determina el ancho de los límites de control. La variación entre las muestras será debida a las fluctuaciones naturales además de las causas especiales (asignables), en el caso de existir estas últimas. Si existen causas especiales de variación dentro de cada muestra, esto inflará artificialmente la variación del proceso y los límites de control estarán más separados entre sí, con la posible consecuencia de permitir mayores cambios en el proceso sin considerarlos como fluctuaciones fuera de control. Además la interpretación de dichas causas especiales es más difícil, pues provocan estratificación (adhesión a la línea central) y mezclas (adhesión a los límites de control). En la gráfica de medias se compara la variación de las medias de los subgrupos con respecto a la variación interna.

Gráfico de control de medias y rangos

Este tipo de gráfica es una herramienta estadística que muestra el comportamiento de la media (posición) y la variación (dispersión) de cierta característica de calidad de un proceso con respecto al tiempo. Esta gráfica se usa para controlar una característica de calidad continua tomando muestras de tamaño entre 2 y 10.

El objetivo es evaluar, controlar y mejorar la característica de calidad de interés, desde el punto de vista del ajuste de su posición y la reducción de su variación con respecto al objetivo.

Los siguientes cálculos son necesarios para construir un gráfico de control para medias o para rangos como se muestra en la tabla 4.7.

Gráfico	Límites de Control	Líneas Centrales	Puntos a representar	Tamaño del subgrupo n
Medias \bar{X}	$LSC = \bar{X} + A_2\bar{R}$ $LIC = \bar{X} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k}$	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$	n=20 Preferible 3 a 5
Recorridos R	$LSC = D_4\bar{R}$ $LSC = D_3\bar{R}$	$\bar{R} = \frac{\sum R}{k}$	$R = X_{max} - X_{min}$	Constante

Tabla 4.7 Cálculos necesarios para un gráfico de control

Donde:

A₂, D₃ y D₄ son las constantes utilizadas en el cálculo de los límites de control.

k es el número de subgrupos (número de puntos representados).

LCI representa el Límite de Control Inferior.

LCS representa el Límite de Control Superior.

n es el tamaño del subgrupo.

R es el recorrido. Punto a representar en un gráfico de recorridos.

\bar{R} es el recorrido medio. Línea central de un gráfico de recorridos.

X representa las mediciones individuales.

\bar{X} es la media de las mediciones individuales. Punto a representar en el gráfico de medias.

$\bar{\bar{X}}$ representa la media de la media de las mediciones individuales. Es la línea central de un gráfico de medias.

Condiciones para el uso de los gráficos de control por variables

- Tamaño de subgrupo comprendido entre 2 y 10.
- Una sola característica en cada gráfico.
- Producción alta.
- Disponer de entre 20 y 25 grupos para el cálculo de los límites de control y la línea central.
- Pueden utilizarse aunque las mediciones individuales no se distribuyan de acuerdo a una normal dado que las medias se tienden a distribuirse de esa manera.

4.13.2. Gráfico de control por atributos

Los gráficos de control por atributos se usan para medir características discretas, es decir, “medibles” (contables) sobre una escala que solamente toma valores puntuales o discretos, cómo número de defectos o número de artículos defectuosos, por ejemplo.

Sus diferentes tipos son:

1. **Gráfica p:** evalúa la fracción o el porcentaje de unidades defectuosas. El tamaño de la muestra n puede ser variable.
2. **Gráfica np:** evalúa el número de unidades defectuosas, con n constante.
3. **Gráfica c:** evalúa el número de defectos en unidades bien definidas (n constante).
4. **Gráfica u:** evalúa el número de defectos por unidad. El tamaño de la muestra n puede ser variable.

Gráficos de control por atributos “p”

Es un gráfico de control por atributos para evaluar la fracción de unidades no conformes. Esta herramienta se puede utilizar cuando:

- No se puedan obtener datos de tipo variable para la característica a controlar.
- No se puedan obtener tamaños de muestra constantes.
- Se necesiten identificar cambios repentinos en los niveles de calidad de los procesos.

Cómo utilizar esta herramienta:

- Decidir un tamaño de subgrupo tal que se pueda esperar al menos un elemento no conforme.
- Representando proporciones no conformes en un sólo gráfico, disponiendo dicho gráfico de línea central y límites de control.

Algunas condiciones que se deben cumplir para el uso de este tipo de gráficos de control son las siguientes:

- El tamaño de la muestra es tal que la expresión $\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ no contiene ni al cero ni al uno. Como condición más sencilla, exigir que el tamaño de la muestra sea tal que exista al menos una unidad no conforme en cada subgrupo.
- Disponer de entre 20 y 50 mediciones individuales para el cálculo de los límites de control y la línea central.

Los cálculos mostrados en la tabla 4.8 son necesarios para la construcción del gráfico.

Gráfico	Límites de Control	Líneas Centrales	Puntos a representar	Tamaño del subgrupo n
p	$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$ $LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$	$\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$	$\bar{p}_i = \frac{d_i}{n_i}$	Entre 20 y 25 mediciones individuales.

Tabla 4.8 Cálculos necesarios para la construcción de un gráfico de control

Donde:

k es el número de subgrupos (número de puntos representados).

LCI es el Límite de Control Inferior.

LCS es el Límite de Control Superior.

p es la proporción no conforme en un subgrupo. Punto a representar en un gráfico p.

\bar{p} es la proporción no conforme media. Línea central de un gráfico p.

n_i representa el tamaño del subgrupo i.

d_i es el número de unidades no conformes en el subgrupo i.

Gráficos de control por atributos “np”

Gráfico de control por atributos para el número de unidades no conformes. Se utiliza cuando:

- No se pueden obtener datos de tipo variable para la característica a controlar.
- Se puedan obtener tamaños de muestra constantes.
- Se necesiten identificar cambios repentinos en los niveles de calidad de los procesos.

Las condiciones de uso son las mismas que en los gráficos de control por atributos “p” y se utilizan de la misma forma.

Los cálculos mostrados en la tabla 4.9 son necesarios para construir el gráfico de control por atributos “np”.

Gráfico	Límites de Control	Líneas Centrales	Puntos a representar	Tamaño del subgrupo n
np	$LSC = \bar{n}\bar{p} + 3\sqrt{\bar{n}\bar{p}(1 - \bar{p})}$ $LIC = \bar{n}\bar{p} - 3\sqrt{\bar{n}\bar{p}(1 - \bar{p})}$ <p>El LCI se considerará que es igual a cero cuando el valor calculado sea negativo.</p>	$\bar{n}\bar{p} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_k}{k}$	d _i	Entre 20 y 25 mediciones individuales.

Tabla 4.9 Cálculos necesarios para un gráfico de control por atributos “np”

Donde:

k es el número de subgrupos (número de puntos representados).

LCI es el Límite de Control Inferior.

LCS es el Límite de Control Superior.

np es el número de unidades no conformes en un subgrupo. Punto a representar en un gráfico np.

$\bar{n}\bar{p}$ es el número de unidades no conformes medio. Línea central de un gráfico np.

n representa el tamaño del subgrupo.

d_i es el número de unidades no conformes del subgrupo i.

Gráficos de control por atributos “c”

Al igual que los gráficos de control de procesos, se utiliza cuando:

- No se puedan obtener datos de tipo variable para la característica a controlar.
- Se puedan obtener tamaños de muestra constantes.
- Se necesite identificar cambios repentinos en los niveles de calidad de los procesos medido dicho nivel como el número medio de no conformidades por muestra.

Para comenzar a utilizar esta herramienta se debe decidir un tamaño de subgrupo tal que se pueda esperar al menos un elemento no conforme y mantener constante dicho tamaño. Así

mismo, representando el número de no conformidades por muestra en un sólo gráfico, disponiendo dicho gráfico de línea central y límites de control.

Como condición más sencilla de uso, exigir que el tamaño de la muestra sea tal que exista al menos una no conformidad en cada subgrupo. Se debe disponer de entre 20 y 25 mediciones individuales para el cálculo de los límites de control y la línea central.

Los siguientes cálculos de la tabla 4.10 se deben realizar para poder proceder a la construcción del gráfico de control por atributos “c”.

Gráfico	Límites de Control	Líneas Centrales	Puntos a representar	Tamaño del subgrupo n
c	$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$ <p>El LCI se considerará que es igual a cero cuando el valor calculado sea negativo.</p>	$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k}$	c_i	Entre 20 y 25 mediciones individuales.

Tabla 4.10 Cálculos necesarios para un gráfico de control por atributos “c”

Donde:

k es el número de subgrupos (número de puntos representados).

LCI es el Límite de Control Inferior.

LCS es el Límite de Control Superior.

c_i es el número de no conformidades en el subgrupo i. Punto a representar en un gráfico c.

\bar{c} es el número de no conformidades medio. Línea central de un gráfico c.

n representa el tamaño del subgrupo.

Gráficos de control por atributos “u”

Este tipo de gráficos de control por atributos para el número de no conformidades por unidad se utiliza igual que en los gráficos de control de procesos cuando:

- No se puedan obtener datos de tipo variable para la característica a controlar.
- Se puedan obtener tamaños de muestra constantes.
- Se necesite identificar cambios repentinos en los niveles de calidad de los procesos medido dicho nivel como el número medio de no conformidades por unidad.

Al inicio de su uso se debe decidir un tamaño de subgrupo tal que se pueda esperar al menos una no conformidad. Como condición más sencilla para su uso se debe exigir que el tamaño de la muestra sea tal que exista al menos una no conformidad en cada subgrupo, así como

disponer de entre 20 y 25 mediciones individuales para el cálculo de los límites de control y la línea central.

A continuación se muestran los cálculos necesarios para la construcción del gráfico de control por atributos “u” en la tabla 4.11.

Gráfico	Límites de Control	Líneas Centrales	Puntos a representar	Tamaño del subgrupo n
u	$LSC = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ $LIC = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ <p>El LCI se considerará que es igual a cero cuando el valor calculado sea negativo.</p>	$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$	$\bar{u}_i = \frac{c_i}{n_i}$	Entre 20 y 25 mediciones individuales.

Tabla 4.11 Cálculos necesarios para un gráfico de control por atributos “u”

Donde:

k es el número de subgrupos (número de puntos representados).

LCI es el Límite de Control Inferior.

LCS es el Límite de Control Superior.

c_i es el número de no conformidades en el subgrupo i. Punto a representar en un gráfico c.

n_i es el tamaño del subgrupo i.

u_i representa el número de no conformidades por unidad en el subgrupo i. Punto a representar en un gráfico u.

\bar{u} es el número de no conformidades medio por unidad. Línea central de un gráfico u.

4.13.3. Interpretación de gráficos de control

Con respecto a las características de un comportamiento natural o normal (aleatorio) que son:

1. La mayoría de los puntos cerca de la línea central,
2. Pocos puntos cerca de los límites de control, y
3. Ningún u ocasionalmente algún punto fuera de los límites de control,

Un patrón anormal tiene las siguientes características:

1. La ausencia de puntos cerca de la línea central indica un patrón llamado **mezcla**,
2. La ausencia de puntos cerca de los límites de control produce la **estratificación**, y
3. Los puntos fuera de los límites indican **inestabilidad**.

La regla empírica (sin tener el requisito de normalidad, Wheeler y Chambers, 1992) incluye las siguientes características:

- 60-75% de los datos estarán dentro de 1 sigma unidades de la media.
- 90-98% de los datos estarán dentro de 2 sigma unidades de la media.
- 99-100% de los datos estarán dentro de 3 sigma unidades de la media.

El patrón de inestabilidad para gráficos de medias y lecturas individuales se evalúa a partir de considerar la mitad (superior o inferior) de un gráfico de control, y dividir esta zona en tercios como se muestra en la figura 4.12.



Figura 4.12 Mitad de un gráfico de control dividido en tercios

El patrón de **inestabilidad** puede ser provocado por:

- Un sólo punto fuera del límite (se puede tolerar hasta un punto por cada 35 graficados, o dos por cada 100 de ellos sin considerar una situación fuera de control).
- Dos de tres puntos consecutivos en ZA o más allá.
- Cuatro de cada cinco puntos consecutivos en ZB o más allá.
- Ocho puntos consecutivos en ZC o más allá.

El patrón de **estratificación** (adhesión a la línea central) ocurre cuando 15 o más puntos consecutivos están en ZC, ya sea arriba o debajo de la línea central. Las variaciones hacia arriba y hacia abajo son pequeñas comparadas con el ancho de los límites.

El patrón de **mezcla** (adhesión a los límites de control) ocurre cuando ocho puntos consecutivos están en ambos lados de la línea central, y ninguno de ellos está en ZC. Significa que hay muchos puntos cerca de los límites de control.

Existe además un patrón de **tendencias**, el cual es una serie de puntos consecutivos -6 o más sin cambio en dirección (hacia arriba o hacia abajo).

Para una explicación general, el gráfico R se interpreta en primer lugar. Si no está en control estadístico, se deberán investigar y eliminar todas las causas especiales, antes de proceder con la interpretación del gráfico de medias. El gráfico R se considera el más importante en un estudio de capacidad.

El gráfico R está relacionado con la uniformidad. Cuando está fuera de control puede deberse a mantenimiento insuficiente, malas reparaciones (dominio de máquina), trabajadores nuevos o algo que los moleste (dominio del trabajador).

El gráfico de medias representa el centrado del proceso. Acciones relacionadas que pueden manifestarse en ella son: a) ajuste de máquina, b) características particulares de los materiales o las partes usadas, y c) cambio o ajuste en las técnicas de los trabajadores o de los inspectores. Se interpreta siempre y cuando la gráfica R esté en control.

Con respecto a la relación entre el gráfico de medias y las especificaciones, esto se considera solamente cuando las gráficas de medias y las de rangos estén en control. En el caso de distribuciones simétricas, para representar el ancho de la distribución de los valores individuales y compararla con las especificaciones, multiplicar la distancia que hay en el gráfico de medias entre la línea central y algún límite de control, por la raíz cuadrada de n (tamaño de los subgrupos).

Para el gráfico de lecturas individuales es necesario verificar tendencias, observar fluctuaciones. Estas tienen relación con la uniformidad, y buscar ciclos o agrupamientos. El conocimiento del proceso ayudará a encontrar las causas de dichos problemas.

En el caso de gráficos de atributos, como la gráfica p , si ésta fluctúa puede ser: a) que la fracción defectuosa esté cambiando, o b) que ha cambiado la clasificación de artículos defectuosos. Si el comportamiento es errático, las causas más frecuentes son operadores con poca capacitación o partes con poco control.

4.14. Mapa de proceso a primer nivel (Diagrama PEPSC)

PEPSC es un acrónimo de *Proveedor, Entrada, Proceso, Salida y Cliente*. Este mapa de proceso se usa en la fase de Definir del DMAIC y, a menudo, es el método preferido para representar los procesos de negocio principales e identificar posibles medidas.

Este diagrama se utiliza para mostrar las actividades principales o subprocesos en un proceso de negocio, junto con su marco operativo representado por los Proveedores, Entradas, Salidas y Clientes. Se usa para ayudar a definir los límites y los elementos críticos del proceso sin entrar en tanto detalle que se pierda de vista el proceso global.

CAPÍTULO V

DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

CAPÍTULO V

DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

La evaluación y definición de los sistemas de medición consiste en determinar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de estabilidad, repetibilidad, reproducibilidad, linealidad y exactitud.

Un **sistema de medición** es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para signar un número a la característica que está siendo medida.

Importancia de las mediciones

Las mediciones son muy importantes en toda empresa, pues con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de sus equipos, de su gente, y se toman decisiones importantes a veces costosas. Toda medida está sujeta a error.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, la **calibración** de un instrumento de medición se define como el conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de una cantidad obtenida por un patrón de referencia.

La misma norma define **ajuste** como la operación destinada a llevar un instrumento de medición a un estado de funcionamiento y exactitud adecuados para su uso.

Es decir, de acuerdo con lo anterior, calibrar solamente significa comparar y no ajustar o arreglar el instrumento como pudiera creerse comúnmente. La calidad de un sistema de medición se caracteriza por sus propiedades estadísticas: insesgado y varianza cero (idealmente). La evaluación de un sistema de medición significa examinar su variación y los factores que la afectan.

Precisión y Exactitud

La siguiente figura muestra cuatro casos de disparos a un blanco fijo. Se detalla también la evaluación de los disparos desde el punto de vista de su precisión y exactitud. **Precisión** se refiere a la variación o dispersión de los disparos. Poca variación significa un buen grado de precisión. **Exactitud** se define con respecto a su cercanía (sesgo) con el centro del blanco. Mayor cercanía implica un buen grado de exactitud.

Preciso, no exacto

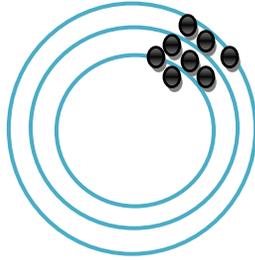


Figura 5.1 Disparos precisos, no exactos

Exacto, no preciso

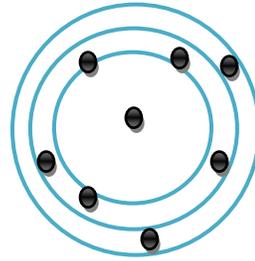


Figura 5.2 Disparos exactos, no precisos

Ni exacto ni preciso

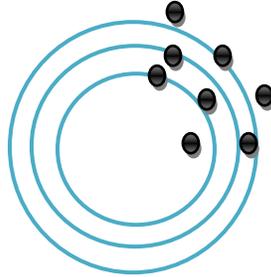


Figura 5.3 Disparos ni exactos, ni precisos

Preciso y exacto

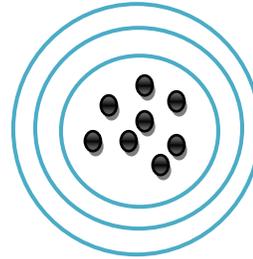


Figura 5.4 Disparos precisos y exactos

La figura 5.1 muestra que los disparos fueron muy precisos respecto a un mismo punto, mientras que no fueron exactos en el centro del blanco.

La figura 5.2 muestra que los disparos tuvieron un mayor grado de exactitud con respecto al blanco pero nada precisos con respecto a un mismo punto.

La figura 5.3 muestra disparos que no coinciden en ningún punto y están totalmente alejados del objetivo.

La figura 5.4 muestra disparos concentrados en el blanco, lo cual los hace precisos y exactos.

Propiedades estadísticas de los sistemas de edición

Todos los sistemas de medición deben poseer las siguientes propiedades estadísticas:

- Estar en control estadístico (estabilidad estadística).
- Su variabilidad debe ser pequeña comparada con las especificaciones y con la variación del proceso.
- Los incrementos de medida no deben ser mayores a 1/10 de lo menor entre las especificaciones y con la variación del proceso (discriminación o resolución).
- Poco sesgo.

La evaluación de los sistemas de medición se efectúa a través de estudios de repetibilidad, reproducibilidad (Gage R&R), exactitud, estabilidad y linealidad.

Los usos de la evaluación son:

1. Aceptar equipo nuevo.
2. Comparar dos equipos entre sí.
3. Evaluar un calibrador sospechoso.
4. Evaluar un calibrador antes y después de repararlo.

5. Antes de implantar gráficos de control.
6. Cuando disminuya la variación del proceso.
7. De manera continua de acuerdo con la frecuencia de medición recomendada en los estudios.

5.1. Exactitud

La exactitud se puede definir como la diferencia entre el promedio de las mediciones hechas por un operario (VP) y el valor real (VR) obtenido con el **máster** (patrón o instrumento de medición usado para medir a los de uso diario). El porcentaje de error se define mediante:

$$\%ERROR = \frac{|VP - VR|}{\gamma} (100)$$

$$\gamma = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ (variación del proceso), o LSE - LIE (tolerancia)}$$

Se espera que este valor sea no mayor de 10%. Los problemas de falta de exactitud pueden deberse a calibración inadecuada, error en el máster, **gáge** (o gauge es el instrumento de medición) desgastado, el calibrador no está hecho para medir esa característica, se está midiendo la característica equivocada, se usa de manera incorrecta.

La figura 5.5 muestra la definición gráfica de exactitud.

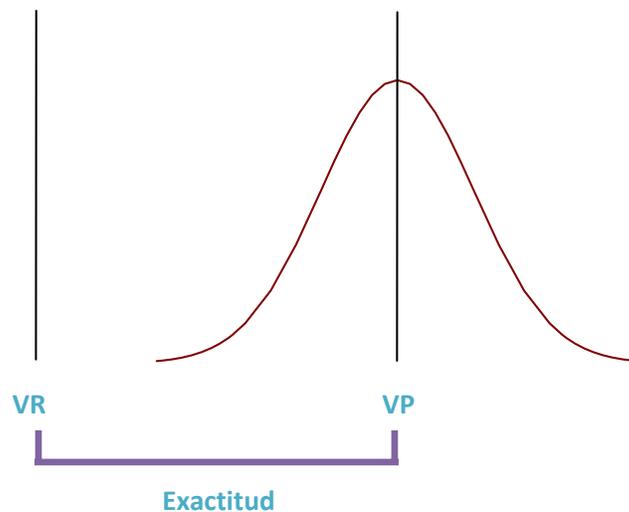


Figura 5.5 Definición gráfica de exactitud

5.2. Linealidad

Linealidad se define como la diferencia en exactitud (sesgo) entre el master y el promedio observado sobre todo el rango de operación del instrumento (gage). Los problemas de falta de linealidad pueden deberse a que el instrumento no está calibrado de manera correcta en los extremos de su rango de operación, existe error en las mediciones máximas y mínimas del master,

el calibrador (instrumento de medición) está desgastado, y /o a que puede ser requerida una revisión del diseño de partes internas del calibrador.

El procedimiento para obtener la linealidad consiste en:

1. Tomar varias piezas que cubran el rango de operación del calibrador y medirlas con el master.
2. Medir cada pieza varias veces por un sólo operador.
3. Obtener el promedio de las mediciones y restarlo del valor del master de cada pieza (exactitud promedio).
4. Ajustar una línea de regresión $y = ax + b$, donde:
a = pendiente,
b = intersección con el eje y,
x = medición del master,
y = exactitud (sesgo) promedio.
n = número de mediciones.

Se deben usar las siguientes fórmulas para definir las variables:

$$a = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{n}$$

$$R^2 = \frac{(n \sum xy - \sum x \sum y)^2}{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}$$

La linealidad se calcula como: $|a|$ (variación del proceso o tolerancia).

El porcentaje de linealidad es 100 (linealidad / variación del proceso o tolerancia).

Se desea un porcentaje de linealidad menor o igual a 10 por ciento.

Existen dos fases en la evaluación de los sistemas de medición:

1. Verificar si los sistemas de medición tienen las propiedades estadísticas necesarias para desarrollar su función.
2. Evaluar periódicamente los sistemas de medición con respecto a sus propiedades estadísticas. Esto es necesario aunque se lleven a cabo calibraciones o mantenimientos periódicos de los instrumentos, para determinar si ha habido o no una degradación de los mismos con respecto al tiempo.

La figura 5.6 muestra la definición gráfica de linealidad.

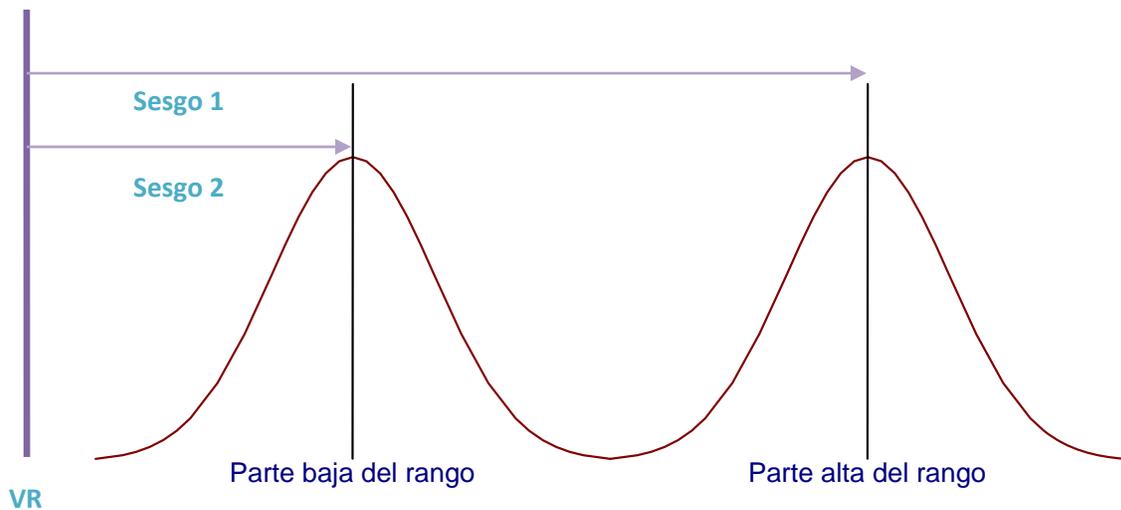


Figura 5.6 Definición gráfica de linealidad

5.3. Estabilidad

La estabilidad es la cantidad de variación en exactitud sobre cierto periodo. Sin evaluar la estabilidad no es posible asegurar evaluaciones confiables sobre las demás propiedades estadísticas. La figura 5.7 muestra la definición gráfica de estabilidad.



Figura 5.7 Definición gráfica de estabilidad

La manera de determinar la estabilidad es a través de un gráfico de control, generalmente medias y rangos.

Interpretación:

1. Si existe una situación fuera de control en los rangos, significa que la repetibilidad no es estable.

2. Si existe una situación fuera de control en las medias, significa que la exactitud ha cambiado. Es necesario encontrar las causas y corregir la situación. Si es debido a desgaste, hay que recalibrar el instrumento.

5.4. Repetibilidad

La repetibilidad o precisión es la variación en las mediciones hechas por un sólo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso. La definición gráfica de repetibilidad se muestra en la figura 5.8.

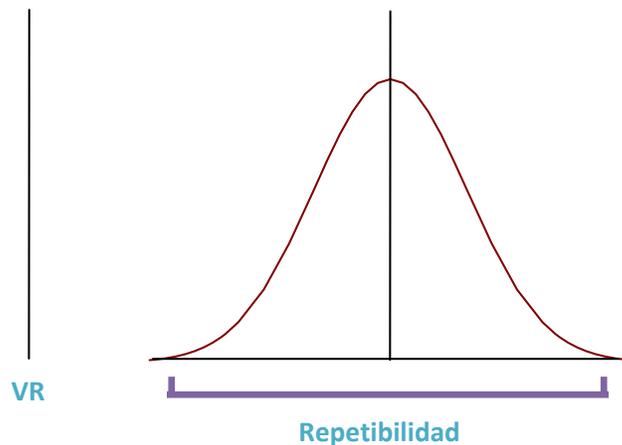


Figura 5.8 Definición gráfica de repetibilidad

La repetibilidad se puede presentar gracias a la presencia de suciedad, fricción, desajuste o desgaste.

5.5. Reproducibilidad

La reproducibilidad se define como la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición. La definición gráfica se muestra en la figura 5.9.

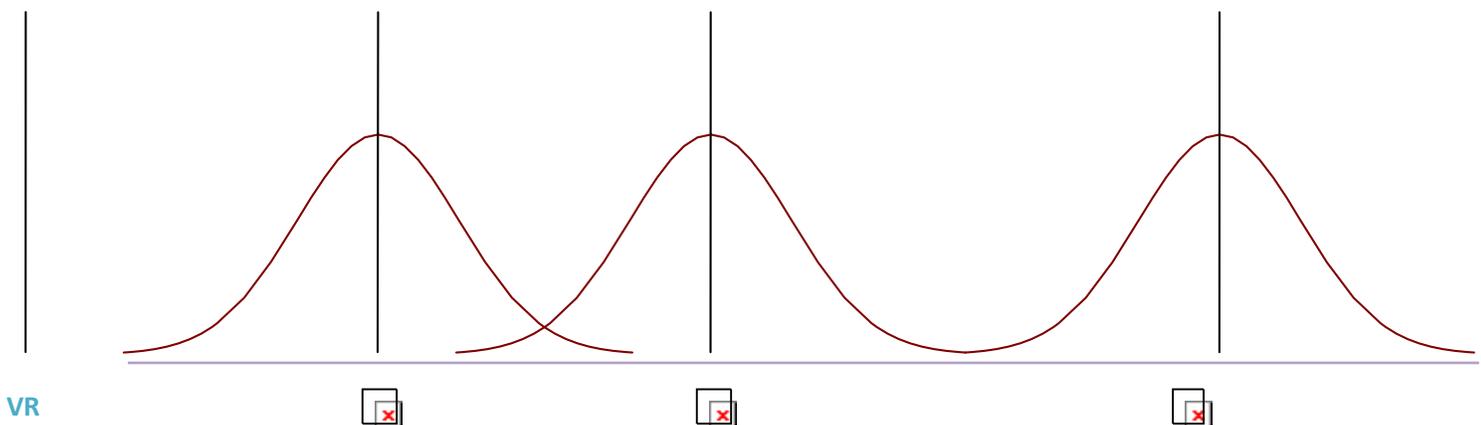


Figura 5.9 Definición gráfica de reproducibilidad

Evaluación de la repetibilidad y la reproducibilidad (GR&R)

La calidad de un sistema de medición normalmente está determinada por las propiedades estadísticas de los datos que se generan. Aunque cada sistema de medición puede tener diferentes propiedades, hay algunas que todos los sistemas deben de incluir:

- Estar bajo control estadístico, es decir, que la variación es debida a causas comunes solamente y no a causas especiales. A lo anterior se le denomina estabilidad estadística.
- La variabilidad del sistema de medición debe ser pequeña comparada con la variabilidad del proceso de manufactura.
- La variabilidad debe ser pequeña comparada con los límites de la especificación.
- Los incrementos en las mediciones deben de ser más pequeños que la variabilidad del proceso o los límites de especificación. Una regla común dice, que los incrementos no deben ser mayores a un décimo del valor más pequeño de la variabilidad del proceso o los límites de especificación.

Los procedimientos deberán asegurar que los sistemas de medición evalúen las siguientes propiedades estadísticas: repetibilidad, reproducibilidad, exactitud, estabilidad y linealidad.

Colectivamente, estos procedimientos son a veces llamados “estudio de instrumentos R&R” porque evalúan las propiedades estadísticas reproducibilidad y repetibilidad. En general, son fáciles de usar en un ambiente manufacturero y aunque tienen fundamento estadístico, su uso y entendimiento por cualquier tipo de empleado es sencillo.

Estos estudios toman en cuenta la variación del operador o quien usa el instrumento, la variación del instrumento o equipo de medición, la variación conjunta de los dos, la variación de la característica a medir y la variación total.

Normalmente el valor de R&R no deberá rebasar de un 30% con respecto a la variación total o la tolerancia para considerar que se tiene un sistema de medición confiable.

Al método de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) se le conoce como medios y rangos o método largo. Es la combinación de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad.

Los pasos para el estudio son:

1. Calibrar el instrumento.
2. Seleccionar 2 o 3 operarios que midan por lo menos dos veces las mismas 10 piezas (numeradas) en orden aleatorio.
3. Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunos fuera de ella.
4. Llenar el formato de R&R o usar algún software.

Se concluye que:

- Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son:
 - El calibrador necesita mantenimiento.
 - El calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido.
 - Mejora la sujeción o la localización de la pieza.

- Existe mucha variación entre las piezas.
- Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetibilidad, las causas posibles son:
 - El operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador.
 - Las calibraciones en la escala del instrumento no están claras.
 - Tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación de calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad.

5.6. Método del rango

El método del rango es un método corto que se usa como una aproximación en la evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad de un sistema de medición. Se recomienda usar cinco piezas y dos operadores.

Las siguientes fórmulas se utilizan para obtener los valores de este método:

$$GR\&R = \frac{5.15 \bar{R}}{d^*_2}$$

Donde:

$d^*_2 = 1.19$ para estudios con 2 operadores y cinco piezas.

$$\%GR\&R = \frac{100 GR\&R}{Var Pro}$$

$$Var Pro = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

d_2 de un gráfico de control, tomando en cuenta que $d^*_2 \neq d_2$

Si no se tiene la variación del proceso (Var Pro), se puede usar la tolerancia. En este caso, %GR&R tiene un valor inaceptable.

5.7. Método del Anova

Otro método alternativo al estudio largo de R&R es el Análisis de Varianza (ANOVA). El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otros o más conjuntos de datos.

Las ventajas del ANOVA con respecto al método tradicional son las siguientes:

- Las varianzas pueden ser estimadas con mayor exactitud.
- Se puede obtener mayor información (como la interacción entre las piezas y los operarios).

Se considera un modelo de efectos aleatorios para los factores operadores, piezas (partes), operadores-por-pieza y réplicas.

Los componentes de variación considerados son:

$$\sigma^2_{Gage (RR)} = \sigma^2_{Reproducibilidad} + \sigma^2_{Repetibilidad}$$

$$\sigma^2_{Reproducibilidad} = \sigma^2_{op} + \sigma^2_{p.op}$$

$$\sigma^2_{Repetibilidad} = \sigma^2$$

Variación total = var.piezas + var. op. + var. pzas-por-op. + var. repetibilidad (error)

5.8. Estabilidad y capacidad

La estabilidad y la capacidad, que son las características requeridas por un sistema de medición, se componen a su vez de otros elementos.

La estabilidad incluye la reproducibilidad, es decir, que las mediciones no deben cambiar por el efecto del tiempo o por cambios en operadores o en el medio.

La capacidad, en cambio, necesita de sensibilidad, es decir, de repetibilidad (precisión) y exactitud (sesgo).

Se recomienda que la capacidad del sistema de medición tenga un Cp mayor a 4, es decir, que la variación de las medidas sea menor a la mitad de la variación del proceso.

Cuando un proceso de fabricación es estable, se pueden usar con toda confianza durante el periodo de vigilancia los límites de control obtenidos a partir de las observaciones del periodo base. Si cualquiera de los valores de la media y el rango durante el periodo base estuvieran fuera de los límites de control, ello indicaría una probable falta de estabilidad del proceso.

La capacidad del proceso se puede establecer al iniciarse el proyecto, mediante un estudio preliminar o piloto, o vigilar de forma continua durante la producción (ejecución). La capacidad del proceso se puede definir como el intervalo de la variación que incluirá casi todos los productos que se obtengan mediante el proceso.

Al realizar el estudio preliminar, es importante minimizar los efectos de los factores esencialmente ajenos al estudio. Tales factores son variaciones no naturales de material, ajustes del proceso y deterioro del mismo. De aquí que deban utilizarse materiales homogéneos, no realizar ajustes durante el estudio y, si se produce el deterioro del proceso durante esta fase, calcular su efecto y restarlo.

Una vez observadas y explicadas esas condiciones, se puede realizar un estudio de capacidad reuniendo los datos necesarios (al menos 50 observaciones; mejor si son 100 o más) y calculando la desviación estándar de dichos datos definida en la expresión:

$$\text{Capacidad del proceso} = 6\sigma$$

La mejor calidad obtenible o la menor fracción defectuosa, se puede denominar capacidad del proceso, siempre que sean alcanzables por simple modificación del mismo.

CAPÍTULO VI

DETERMINAR LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS

CAPÍTULO VI

DETERMINAR LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS

Las variables del proceso definidas deben ser confirmadas por medio de análisis de varianza, diseño de experimentos y/o estudios multivari, para medir la contribución de esos factores en la variación del proceso. Adicionalmente, para analizar el proceso se pueden usar pruebas de hipótesis e intervalos de confianza. Una vez encontrados los factores críticos, se ajusta el proceso y se reduce su variación.

Una vez que se han detectado los requerimientos críticos del cliente, estos se deberán traducir en variables críticas de salida del proceso, el siguiente paso es saber que variables son las que se deben considerar críticas en la entrada para registrar sus valores o datos para posteriormente analizarlos y controlarlos. En la mayoría de los procesos se sabe cuáles son las variables críticas de entrada que se tienen que registrar y medir, sin embargo, se puede dar el caso donde se tengan que manejar una gran cantidad de variables para obtener el resultado deseado y no se sabe con certeza cual o cuales se deberán seleccionar, en este caso habrá que emplear una herramienta llamada Diseño de Experimentos que ayudará a determinar las variables que tienen una influencia significativa en el resultado del proceso.

6.1. Teorema del límite central

Este teorema se basa en la suposición de que se toman muestras de tamaño suficientemente grande y que se calculan las medias de dichas muestras. Sin importar cuál sea la distribución original (unidades individuales), la distribución de las medias de dichas muestras será normal. La figura 6.1 muestra una representación gráfica del Teorema del Límite Central.

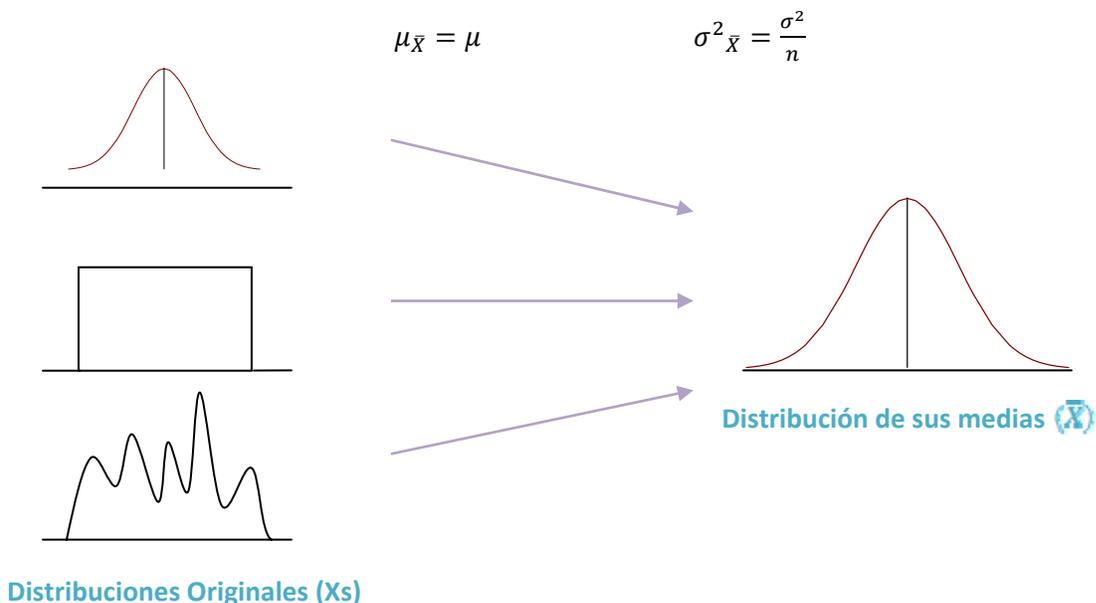


Figura 6.1 Representación gráfica del Teorema del límite central

La variación de la distribución de los datos originales es mayor que la variación de la distribución de sus medias muestrales, como se muestra en la figura 6.2

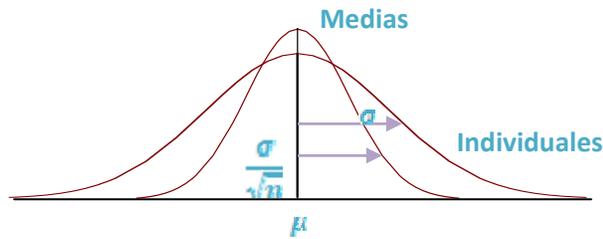


Figura 6.2 Variación de la distribución de los datos

6.2. Pruebas de hipótesis e intervalos de confianza

En esta sección se introduce el uso de las pruebas de hipótesis y los intervalos de confianza como herramientas de análisis de un proceso.

La prueba de hipótesis (PH) es un procedimiento estadístico usado para tomar una decisión, con base en una muestra, en cuanto al valor que puede tener algún parámetro (media, varianza, proporción, diferencia entre medias o proporciones, o cociente entre varianzas), o sobre la distribución que puede tener la población de donde provienen los datos:

Los elementos de una Prueba de Hipótesis son:

- Las hipótesis. La que se desea probar (H_0) y su complemento (H_a).
- La(s) muestra(s). La información que se obtiene de la población o poblaciones.
- El estadístico de prueba (EP). Es una variable aleatoria que resume la información de la muestra.
- La región de rechazo de H_0 (RR H_0). Es una parte de la distribución de referencia en la cual si el EP se encuentra ahí, se rechaza H_0 .
- La decisión. Decidir si se rechaza o no a H_0 .
- El nivel de confianza de la prueba ($1-\alpha$).

Los tipos de errores y sus probabilidades se definen como:

$$\alpha = p(\text{error tipo I})$$

$$\alpha = p(\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ verdad})$$

$$\beta = p(\text{error tipo II})$$

$$\beta = p(\text{aceptar } H_0 | H_0 \text{ falsa})$$

Para realizar una prueba gráfica de normalidad el procedimiento es el siguiente:

1. Obtener los datos.
2. Elaborar la tabla correspondiente.
3. Graficar en papel probabilístico normal.

4. Si los datos siguen una trayectoria aproximadamente lineal, se acepta su normalidad.

6.2.1. Prueba de hipótesis e intervalo de confianza para una media

La prueba de hipótesis e intervalo de confianza para una media se define como:

$$\begin{array}{l} H_0: \mu = \mu_0 \\ H_a: \mu > \mu_0 \\ \mu < \mu_0 \\ \mu \neq \mu_0 \end{array}$$

$$a) \quad n \geq 30 \quad EP: Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad IC = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

b) $n < 30$, población normal

i. Varianza conocida

$$EP: Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad IC = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

ii. Varianza desconocida

$$EP: Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad IC = \bar{X} \pm t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

6.3. Diseño y análisis de experimentos

La herramienta menos conocida por lo general pero la más efectiva de la iniciativa Six Sigma es el Diseño de Experimentos (DOE). Conocer el DOE puede resultar una ventaja competitiva para las empresas que quieren minimizar la variabilidad de sus productos y procesos. Es una herramienta que se emplea para encontrar de manera eficiente la relación causa efecto entre numerosas variables de entrada o procesos y la variable de salida.

Otros beneficios son:

- Optimización de procesos y formulaciones.
- Reducción en la variación del proceso y producto mejorando robustez.
- Investigación de variables del proceso.
- Investigación de variables que producen ruido.
- Reducción de costos y mejorar eficiencias.
- Centrar un producto en su nominal.
- Obtener un mejor conocimiento de los procesos.
- Mejorar de forma significativa la calidad.
- Mejorar los índices de capacidad.
- Identificar características de control.

El Diseño de Experimentos es la herramienta que consiste en realizar cambios activos, sistemáticos y controlados de las entradas a los procesos bajo estudio y posteriormente observar los efectos en los resultados obtenidos de estos procesos.

El Diseño de Experimentos es, en la actualidad, una de las herramientas más importantes dentro del marco de la iniciativa Six Sigma. Aporta una metodología para reducir la variabilidad propia de las características de calidad de los productos, y la variabilidad 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 costo. La calidad es el mejor camino para lograr el éxito y, bien planteada, logrará la reducción de costos. En este sentido, el DOE desempeña un papel realmente importante en la optimización de procesos, productos y servicios. Dentro de lo que pueden denominarse herramientas de mejora Six Sigma, el DOE se enmarca dentro del grupo de técnicas que persiguen la optimización y la mejora continua. El DOE 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.

El DOE es una valiosa herramienta para obtener una mejora apreciable de la calidad, mediante un proceso de experimentación con diferentes valores de las características o factores clave que afectan la respuesta de los procesos o productos sometidos a estudio. Suministra al técnico una forma de interrogar al proceso. No obstante, no sustituye al conocimiento técnico ni a la experiencia, pero permite al técnico ser más efectivo a la hora de eliminar la variabilidad en los procesos que afectan negativamente a su calidad.

El DOE es el cambio intencionado de las entradas de un proceso para observar cambios en la salida o salidas del proceso. Un proceso es un conjunto de pasos o una serie repetible de actividades que produce un producto o un servicio. Las entradas son factores que influyen en el comportamiento del proceso. Pueden incluir máquinas, materiales, métodos, personal, factores medioambientales, etc. La salida del proceso es una característica que se registra para determinar la calidad del proceso. Esa salida o respuesta puede ser el número de piezas defectuosas, el tiempo de servicio a un cliente, la altura de una capa metálica, etc.

El DOE pretende el cambio sistemático de los factores a la entrada que se cree que influye en la respuesta del proceso. Midiendo la salida del proceso se determinará que factor afecta la respuesta y con qué intensidad.

El objetivo del DOE es mejorar las prestaciones del nuevo producto y de su proceso productivo reduciendo la variabilidad de las características del producto o proceso que se consideran claves para garantizar la satisfacción del cliente. Todo producto o proceso presenta una variabilidad respecto a los objetivos previstos –especificaciones– en las magnitudes que definen la calidad del producto. Lo que interesa es lograr que la media de las características que se miden en el producto coincida con las especificaciones deseadas, los valores objetivo con la mínima dispersión o variabilidad: usando términos estadísticos, con la menor desviación estándar posible.

El Diseño de Experimentos permite lograr dos objetivos:

1. Detección: Identificar qué factores de entre todos los técnicamente posibles son las fuentes principales de variabilidad en las características elegidas que garantizan la calidad de las prestaciones del producto o proceso.
2. Modelado: Una vez identificados estos factores, determinar a qué valores deben ajustarse para que las características deseadas logren las especificaciones deseadas con la mínima variabilidad (o desviación estándar) mediante el modelado de la respuesta en función de los factores identificados.

El uso de esta herramienta es necesario porque si se intenta resolver el problema experimentando a base de cambiar el nivel de los factores uno cada vez, dejando los demás constantes, no se puede determinar si existen interacciones entre esos factores, y las interacciones están presentes en muchos casos. Para su diseño es imperativo repetir las condiciones del experimento dos o más veces, con el objeto de medir el error, es decir, la variabilidad entre las corridas realizadas bajo las mismas condiciones experimentales (variación de la causa común) y la diferencia entre las respuestas debido a un cambio en las condiciones de un factor (cambio especial).

Existen tres principios básicos a ser considerados en todo diseño y análisis de un experimento:

1. El *orden* de los experimentos debe ser *aleatorio*. Aleatorizar el orden de las pruebas neutraliza fuentes de variación que pueden estar presentes durante el experimento. En general, dichas fuentes de variación son desconocidas, y pueden ser muchas, por ejemplo, cansancio del trabajador durante la realización de las pruebas o durante la medición de las mismas, cambios de voltaje, cambios de humedad, etc.
2. Es recomendable *replicar* cada experimento. La razón es obtener un estimado del error, tanto para ver qué tan bien el diseño representa al proceso, como para poder comparar los factores y determinar si son activos o no. Se define como *réplica genuina* la obtenida en una sola prueba o medición para cada combinación de los factores, y volver a repetir dichas condiciones para cada réplica adicional, en lugar de tomar varias muestras o mediciones de una vez en cada combinación. Lo opuesto a las réplicas genuinas implican un mayor tiempo al realizar las pruebas y un costo también mayor, pero es la mejor manera de obtener un estimado más preciso del error.
3. Ocasionalmente pueden existir variables presentes en un experimento, cuyo efecto no se desea probar y que incluso pueden afectar o encubrir la influencia de las variables con las que se desea experimentar. En este caso es necesario neutralizar o bloquear el efecto de tales variables nocivas.

El Diseño de Experimentos es una técnica ampliamente utilizada en la actualidad en la metodología Six Sigma pero sus orígenes se remontan a los años veinte cuando Ronald Fisher desarrolló esta técnica estadística aplicándola en la agricultura. Sus trabajos se difundieron a otros países durante las décadas de los años treinta y cuarenta y a otros sectores como la biología, la medicina y la industria en general. Fisher continuó elaborando esta técnica junto a Yates, desarrollando los diseños factoriales a dos y tres niveles. En 1946, Plackett y Burman desarrollaron los diseños de identificación que permiten identificar entre varias variables cuáles afectan de modo significativo a la respuesta de interés.

No obstante, fue Genichi Taguchi quien reexportó desde Japón esta técnica a Estados Unidos y Europa a partir de los años ochenta, a partir del desarrollo de métodos propios caracterizados por el empleo de las matrices ortogonales.

Después de la II Guerra Mundial, Taguchi fue requerido por la empresa Bell 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 consiguió mediante el método que define su filosofía: *reducir los efectos de las causas o variables en la respuesta*, en este caso el efecto del ruido en la señal.

La reducción del impacto de las causas o variables sobre la respuesta deseada hace que ésta sea robusta o inmune a variaciones en esas variables: por eso Taguchi dice que se hace esa respuesta robusta, se dota al producto o proceso que se caracteriza con esa respuesta, de <<robustez>>. Se trata pues, de que esas variables no afecten a aquello que realmente interesa.

El procedimiento que se muestra a continuación es el método Taguchi, el cual es una opción usada para experimentar en un proceso y determinar los factores significativos que lo afectan, se basa en diseñar productos y procesos cuya actuación no se vea afectada por condiciones externas para construir y usar un plan experimental. El método incluye un juego de tablas que permiten investigar las principales variables y sus interacciones con un número mínimo de ensayos.

La técnica Taguchi pone mucha importancia en la reducción de la variabilidad de productos y procesos; en otras palabras para hacer productos y procesos más robustos y menos susceptibles a cambios debido a la influencia de la variación de los materiales, condiciones de operación, máquinas, líneas de producción, equipos y cambios de operadores.

En lugar de concentrarse en las variables del proceso, a menudo es mejor intentar ajustar el nivel de variables que producen ruido.

Se define el ruido como aquellas variables que son difíciles o imposible de controlar y que afectan el proceso, son a menudo medioambientales como temperatura y humedad, pero puede incluir variación de lote a lote de materiales y el uso de operadores y máquinas diferentes.

Un proceso robusto es aquél que no cambia con ruido cambiante. Esta es una parte importante de la técnica de Taguchi.

Aunque el concepto es bastante simple, seleccionar la tabla más apropiada e interpretar los resultados puede ser difícil. Hay riesgo de tener una conclusión no adecuada. Por consiguiente siempre es aconsejable verificar cualquier resultado de una matriz Taguchi.

La metodología de diseño de Taguchi está compuesta de 4 fases principales, cada una de las cuales contiene un determinado número de pasos, los cuales se resumen en la figura 6.3.

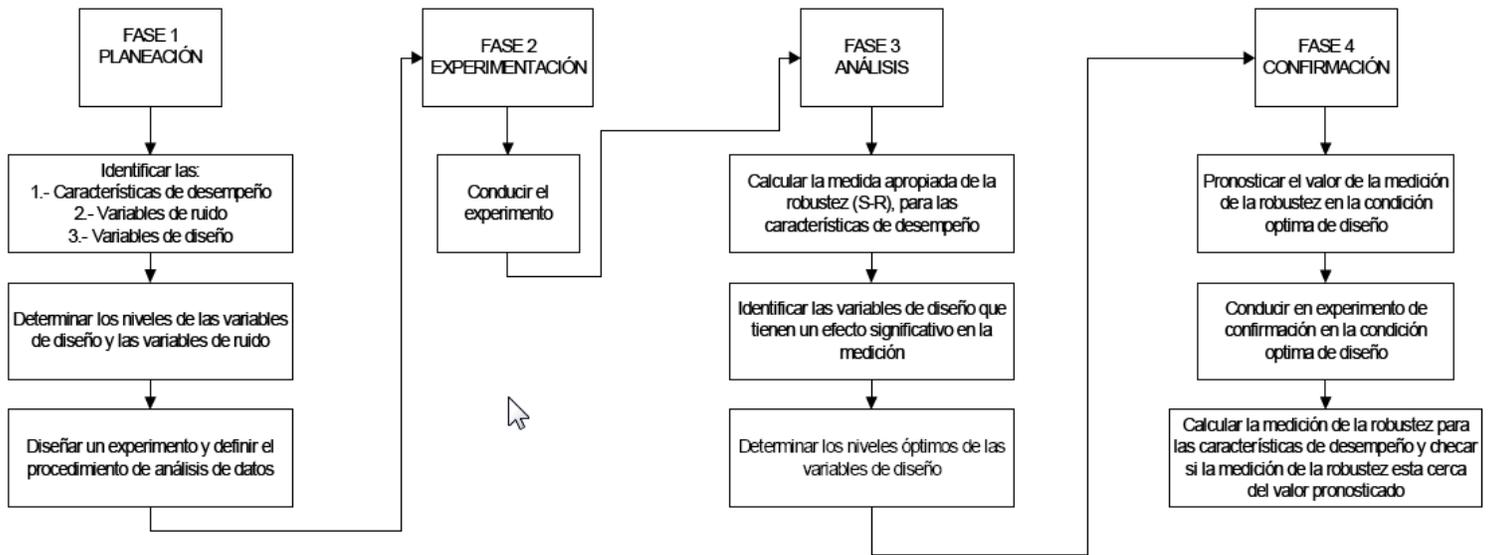


Figura 6.3 Metodología de diseño de Taguchi

De acuerdo con la metodología de Control y Mejora de Procesos, el Diseño de Experimentos se utiliza para adquirir un conocimiento completo de los procesos y fundamentalmente en dos casos particulares:

1. Cuando en un proceso se han identificado y eliminado todas las causas especiales de variación y sin embargo el proceso sigue sin estar en estado de control estadístico, o
2. Cuando una característica de control no cumple el mínimo de capacidad a pesar de estar el proceso en estado de control.

La característica que distingue al DOE en comparación con otras herramientas de mejora de calidad es que esta metodología requiere cambios activos en un proceso para identificar las variables claves del proceso y entorno, industrial o de servicios, es importante reconocer que el DOE es el método más económico de conocer y mejorar un proceso.

La figura 6.4 muestra el modelo del proceso y los objetivos de DOE.

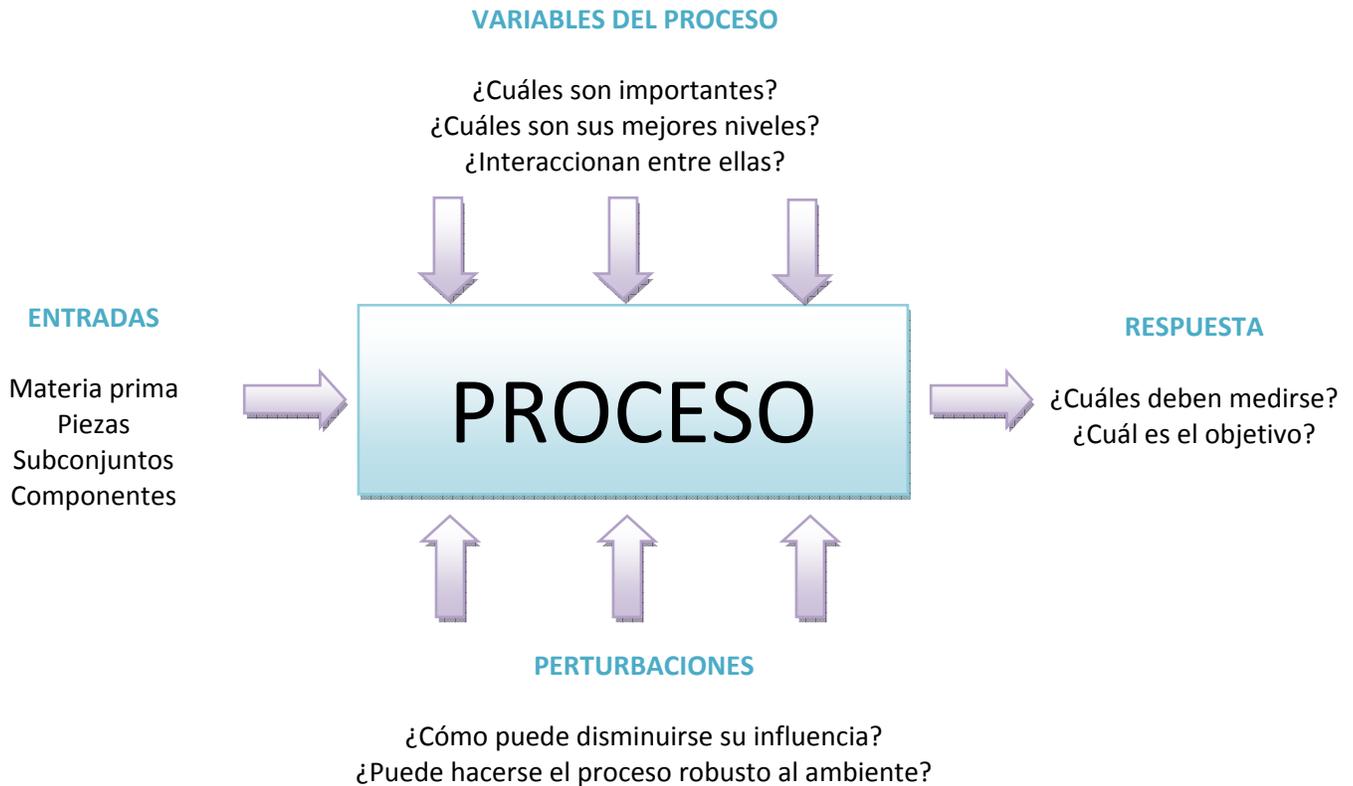


Figura 6.4 Modelo del proceso y los objetivos de DOE

La mejor manera de evitar problemas futuros de calidad es utilizar el DOE desde las primeras etapas del ciclo del producto para diseñar productos de calidad. Requiere el uso de prototipos o simulaciones para evaluar los distintos diseños de los componentes de un conjunto (con criterio basado en las actuaciones), así como el ajuste de estos componentes en un conjunto (criterios de fabricación). El DOE puede ser utilizado también en etapas posteriores a la de diseño, como es durante la fabricación, aunque en muchas ocasiones todos los esfuerzos de mejorar un proceso en esta etapa no son capaces de remediar un diseño no adecuado.

Terminología del Diseño de Experimentos

En la tabla 6.5 se muestra parte de la terminología requerida para discutir el Diseño de Experimentos. Se consideran las distintas columnas de la tabla. Su contenido es la *matriz de diseño completo* de un diseño sencillo. En este diseño hay tres variables del proceso (factores, entradas, variables independientes o variables de control) etiquetadas con las letras A, B y C. Para cada factor se han seleccionado dos niveles (dos valores de cada factor a los que se van a realizar los distintos experimentos individuales). En las columnas debajo de cada letra identificativa de un factor se pueden ver los niveles indicados con los números 1 y 2. El número 1 indica el nivel bajo del factor mientras que el 2 indica el nivel alto. Por ejemplo, si la temperatura fuese un factor, el 1 podría ser 100° y el 2, 150°. Los niveles también pueden designarse con -1 y +1 para el nivel bajo y alto respectivamente. En ocasiones se simplifica más señalando sólo (+) y (-).

e.e.	Variables del Proceso			Variables de Respuesta		
	A	B	C	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	1	1	1	5.4	5.9	5.1
2	2	1	1	6.1	5.8	6.4
3	1	2	1	7.2	7.5	6.9
4	2	2	1	3.7	4.1	3.9
5	1	1	2	9.3	9.8	10.1
6	2	1	2	5.5	5.1	4.9
7	1	2	2	8.3	7.7	8.6
8	2	2	2	10.7	9.8	10.4

Tabla 6.5 Terminología del diseño de experimentos.

Cada fila representa un experimento elemental o combinación de tratamientos. Un *experimento elemental* (e.e.) es una combinación particular de los niveles de los distintos factores. Al observar la tabla, que se denomina *matriz de diseño*, podemos comprobar que están representadas todas las posibles combinaciones. Ésta es una característica de una de las familias de diseños existentes (diseños factoriales completos). No todos los diseños incluyen todas las combinaciones posibles (diseños factoriales fraccionados).

Para cada experimento elemental se obtiene un resultado, observación o medida de la variable de respuesta. La variable respuesta refleja alguna característica de calidad del proceso o producto. El objetivo del experimento es llegar a conocer de qué forma la combinación de tratamientos afecta a la variable respuesta. De esta forma se identifican las variables del proceso que tienen una mayor influencia en la respuesta. También se identifica la combinación de tratamientos más deseable para los objetivos del proceso.

En el diseño del ejemplo de la tabla se obtienen tres mediciones de la respuesta para cada experimento elemental con el fin de proporcionar una estimación mejor de cómo se comporta la variable respuesta con cada combinación de tratamientos y también una estimación del error experimental. A estas repeticiones se les denomina replicaciones o réplicas.

La figura 6.6 muestra la representación gráfica del diseño.

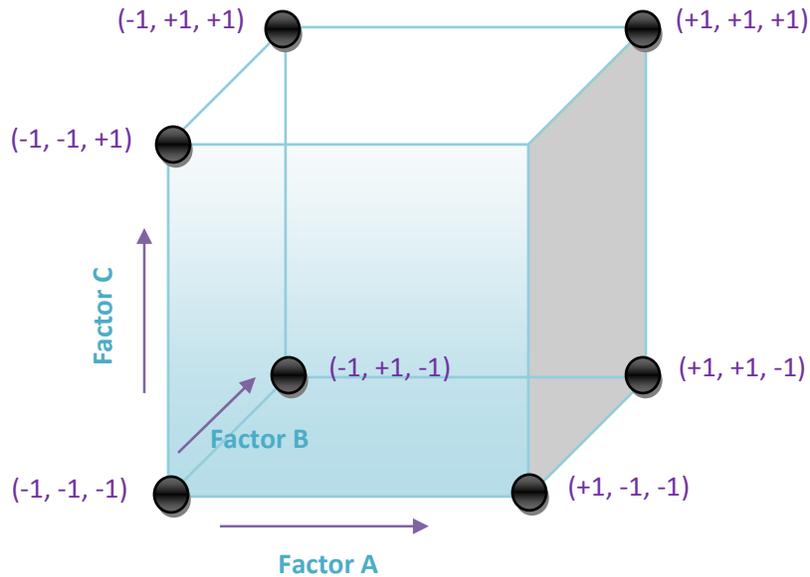


Figura 6.6 Representación gráfica del diseño de experimentos

Principios Fundamentales de la Experimentación

- **Control experimental.** Implica el control por parte del investigador de las variables del proceso y de otras fuentes de variación de una forma activa y sistemática de tal manera que exista una alta probabilidad de identificar las relaciones existentes entre las variables del proceso y las variables de respuesta existiendo al mismo tiempo una baja probabilidad de que factores que no están incluidos en el diseño afecten a la variable de respuesta.
- **Aleatorización.** Protección del experimento frente a todas las posibles fuentes de influencia exterior e interior con sesgo. El investigador puede proteger el experimento mediante el uso de la Aleatorización. Las herramientas estadísticas utilizadas para analizar el experimento tienen como supuesto de partida que varios aspectos del experimento se han realizado utilizando la Aleatorización y las restricciones en ésta producen distintas situaciones de análisis de resultados.

La aleatorización se aplica tanto a la selección de los elementos o materiales utilizados en el experimento (unidades experimentales) como a la secuencia de los experimentos elementales, que también se realiza en orden aleatorio.

- **Replicación.** Supone obtener dos mediciones o más para cada combinación de tratamientos. La replicación proporciona una estimación del error experimental y una estimación más precisa de los efectos de los factores, ayudando también en el análisis del experimento.

- **Comprender las relaciones del proceso.** Relaciones existentes entre variables del proceso, relaciones existentes entre las variables de respuesta y relaciones entre ambos tipos de variables.

Secuencia típica del proceso experimental

Cada experimento es único, por lo que puede llevar a error el presentar una secuencia típica del proceso experimental. La secuencia mostrada en la figura 6.7 es típica de la que sigue un equipo cuando comienza una serie de experimentos en un proceso.

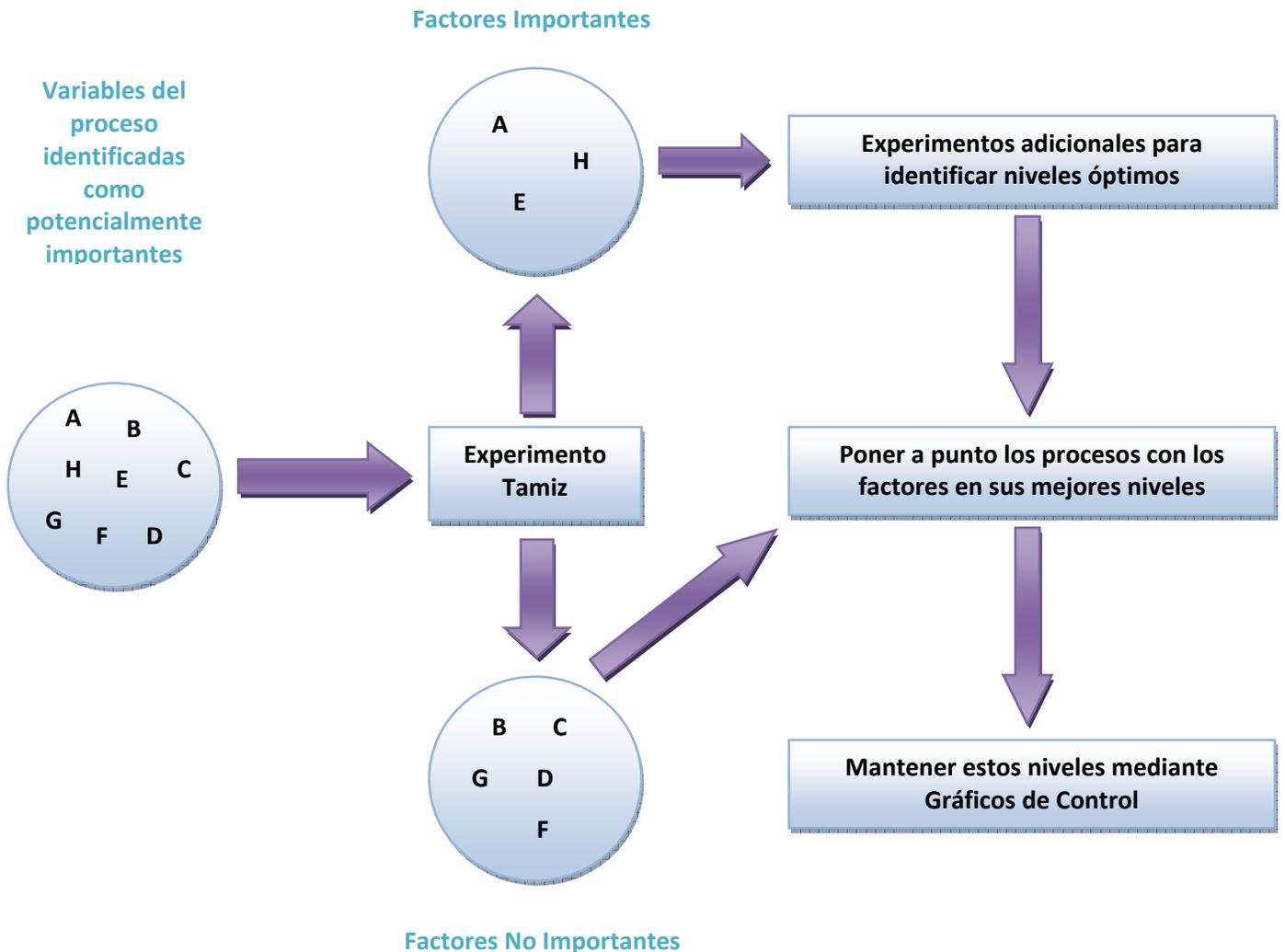


Figura 6.7 Secuencia típica del proceso experimental

Típicamente, el primer paso es identificar un gran número de variables de proceso que pueden afectar a la variable de respuesta. El experimento inicial es un experimento que hace de "tamiz" en el sentido de que su objetivo es identificar de entre todas las variables candidatas aquellas que realmente tienen un efecto importante en la variable de respuesta. Este enfoque es eficaz porque los siguientes experimentos se concentrarán en aquellas variables del proceso que se sabe que son importantes.

Después de este experimento tamiz, se dispondrán de dos conjuntos de factores: los importantes y los no importantes. Son factores importantes aquellos que en análisis estadístico indica que tienen un efecto significativo en la variable de respuesta. Son factores no importantes aquellos que cuando varían no le afecta, o le afecta ligeramente, a la variable de respuesta. Los factores importantes se estudian mediante experimentos adicionales que identificarán sus valores más deseables o “mejores niveles”.

Por lo general, se necesita tiempo para implantar los resultados del experimento en el entorno de producción. Supone poner a punto el proceso con los factores del mismo en sus mejores niveles. Existen mejores niveles tanto para las variables importantes como para las no importantes. Para las importantes se consideran mejores niveles aquellos que producen un funcionamiento óptimo del proceso mientras que para las no importantes los mejores niveles son aquellos que producen inferior costo. Por último, una vez que el proceso está funcionando en sus niveles óptimos, se mantiene mediante la aplicación de gráficos de control.

Comparación entre el Control Estadístico de Procesos y el Diseño de Experimentos

Los papeles jugados por cada una de las técnicas son fundamentalmente los que se muestran a continuación:

Control Estadístico de Procesos

- Utiliza técnicas dentro del propio proceso productivo.
- Detecta problemas.
- Realiza una observación pasiva del proceso.
- Vigila las características de productos y/o parámetros de control del proceso.
- Se utiliza para mantener el proceso en una región óptima.

Diseño de Experimentos

- Utiliza, por lo general, técnicas fuera del proceso productivo.
- Identifica fuentes del problema.
- Realiza cambios activos en el proceso.
- Identifica los parámetros claves del proceso.
- Identifica las regiones óptimas del proceso.

Ambas herramientas tienen papeles complementarios. Ninguna herramienta por separado es tan potente como su uso conjunto. Tanto el CEP como el DOE son potentes herramientas de mejora de calidad y su potencia sólo puede ser mejorada cuando se aplican en conjunto.

Tipos de Variables en el Diseño de Experimentos

- **Variables de respuesta.** También denominadas *respuestas, salidas o variables dependientes*. Su identificación es una de las tareas más importantes. Estas variables son mediciones utilizadas para evaluar el proceso mediante el experimento, por lo que su selección requiere considerar:
 - Qué aspectos del proceso son importantes.
 - La capacidad de medir la variable de respuesta de una forma precisa y fiable.

- Las variables de respuesta pueden ser cualitativas o cuantitativas, siendo éstas últimas preferibles cuando se pueda elegir, debido a que las cualitativas son menos sensibles y requieren un mayor número de experimentos elementales.
 - Es mejor disponer de múltiples variables de respuesta independientes en un experimento, porque proporcionan un mayor conocimiento del proceso ayudando a evitar la obtención de resultados con comportamientos inferiores a los óptimos. Estos resultados se obtienen cuando el investigador enfoca su atención en la optimización de un aspecto del proceso sin tener en cuenta, aunque sea inadvertidamente, otros aspectos también importantes.
 - La inclusión de variables de respuesta altamente correlacionadas es un despilfarro, dado que estas variables añaden poca información adicional.
- **Variables del proceso.** También denominadas *variables de control del proceso, factores, variables controlables o variables de control del proceso.*
 - Estas variables son aquellos factores del proceso que pueden ser controlados por el investigador y que se piensa que están relacionadas con la variable de respuesta. Lo normal es empezar con una gran lista de variables candidatas y, mediante consideraciones de costo o dificultad de su variación, llegar a una lista más pequeña. Hay que llegar a una solución de compromiso entre dos objetivos contrapuestos: entender el proceso y hacer mínimo el costo del experimento.
 - Aunque el costo del experimento es menor cuanto menor sea el número de variables a estudiar, el desestimar excesivas podría ocasionar que se perdiera un aspecto importante del proceso. No existen reglas para seleccionar el mejor conjunto de variables del proceso. La decisión principalmente depende de la experiencia y los conocimientos técnicos, así como de consideraciones económicas respecto al presupuesto concedido para conocer el proceso.
 - Pueden ser cualitativas o cuantitativas y, también igual que antes, son preferibles las cuantitativas, dado que proporcionan un mayor conocimiento del proceso.
 - **Perturbaciones.** Son condiciones o factores que pueden afectar a la variable de respuesta, pero que no son controlables de una forma activa durante el proceso de fabricación, aunque puedan serlo durante el experimento.
 - Lo peligroso con estas variables es no tenerlas en cuenta.
 - El experimento se puede proteger del efecto de estas variables mediante el uso de diseños y procedimientos adecuados: aleatorización, formación de bloques, análisis de covarianza, etc.

- Estas variables pueden hacer peligrar el resultado del experimento de dos formas: enmascarando efectos de ciertos factores y hacer que variables del proceso que son importantes no lo parezcan y lo contrario, que variables sin importancia parezcan importantes.
- Cuando no se siguen los procedimientos adecuados, nunca se sabe si los resultados del experimento son verdadero reflejo del proceso o un artificio de algunas variables desconocidas.

El Método Experimental. Conocimiento del Proceso

La mayoría de los fabricantes no conocen sus procesos de una forma tan profunda como sería ideal. Las siguientes preguntas ayudan a saber si se conocen en forma los procesos:

- ¿Se han identificado que factores y parámetros de éstos son importantes en los procesos?
- ¿Se podría afirmar, documentándolo con datos, que los procesos están funcionando de una forma óptima?
- ¿Se podría representar una curva de cómo reacciona cada proceso cuando se modifican los valores de sus factores?
- ¿Se sabe cuáles son las interacciones existentes entre los factores más importantes de los procesos?

La mayoría de las industrias deberían contestar que no a las preguntas anteriores. El objetivo de la experimentación es aprender cosas respecto a los procesos.

El aprendizaje en este contexto se define como el proceso de llegar al conocimiento del comportamiento de las variables de respuesta cuando se modifican los valores de las variables del proceso.

El Método Experimental. Modelo del Proceso

La representación de un modelo del proceso nos ayudará a entender las relaciones existentes entre los distintos elementos del proceso.

Los elementos más importantes de un proceso, y las preguntas que deben hacerse con respecto a cada elemento, son los siguientes:

- a) Las entradas del proceso:
 - Materias primas.
 - Piezas.
 - Componentes.
 - Subconjuntos.

¿Puede minimizarse la variación de estos elementos antes de realizar el experimento?

¿Puede hacerse robusto el proceso frente a su variación?

- b) Las variables del proceso:
 - ¿Cuáles son importantes?
 - ¿Cuáles son sus mejores niveles?
 - ¿Existen interacciones entre ellas?
- c) Las perturbaciones y variables ambientales:
 - ¿Cómo puede minimizarse su influencia?
 - ¿Puede hacerse robusto el proceso frente a las variables ambientales?
- d) El resultado del proceso:
 - ¿Qué variables de respuesta deben medirse?
 - ¿Cuáles son los objetivos de las variables de respuesta?

El Método Experimental. Resumen del experimento

Una forma adecuada de resumir un experimento es representar los resultados como se muestra en la figura 6.8. Cada variable respuesta se representa en función de las distintas variables del proceso. En estos ejemplos, existen dos niveles o valores distintos para las variables del proceso y se ha representado la respuesta media a cada nivel.

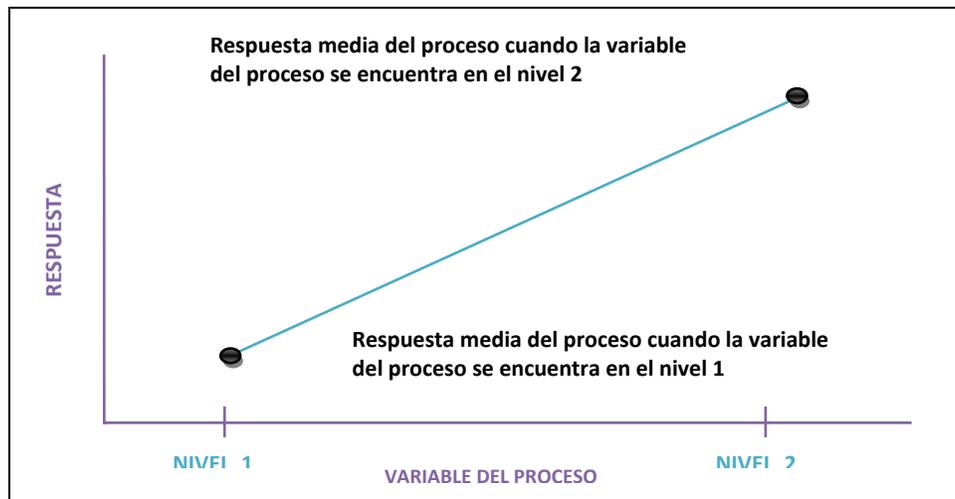


Figura 6.8 Resumen del experimento

El Método Experimental. Explorar el proceso.

El objetivo es entender las relaciones existentes entre las variables de proceso y las variables de respuesta. En el caso de diseños de experimentos a dos niveles, la elección de estos niveles es crítica para el éxito del experimento. Los resultados pueden variar considerablemente dependiendo de los valores (niveles) elegidos para realizar el experimento.

El Método Experimental. Objetivos del experimento.

Se debe identificar un objetivo para cada variable de respuesta del experimento. Existen cuatro tipos distintos de objetivos:

- Nominal,
- Hacer mínimo,
- Hacer máximo,
- Hacer robusto.

Por lo general, el objetivo más común es que la respuesta sea lo más cercana a un valor objetivo que puede ser el nominal. En este caso, encontrar los mejores niveles de los factores del proceso en encontrar aquellos valores que centran la respuesta en la especificación.

En ocasiones, el objetivo puede ser hacer mínima la respuesta. Casos de este tipo ocurren cuando la respuesta es la variación, los costos, el porcentaje de elementos defectuosos, etc.

Algunas respuestas, como la producción, el rendimiento, etc., tienden a hacerse máximos. El objetivo es identificar qué valores de las variables del proceso logran hacer que la respuesta sea máxima.

Localizar las regiones robustas de un proceso puede verse como un caso particular del objetivo de hacer mínimo, porque lo que se intenta es minimizar el impacto de algunos factores en la respuesta. La robustez es un tema importante, por lo que merece ser tratado aparte. Hacer que un proceso sea prácticamente insensible a la variación de las variables molestas o a la variación entre los distintos lotes de distintos proveedores es un objetivo importante. Es una de las áreas de mayor ahorro de costos. Se considera el caso en el que existe mucha variabilidad entre los distintos lotes de materia prima recibidos por una empresa. El material puede estar dentro de especificaciones, pero la variación existente entre los distintos lotes es lo suficientemente grande como para requerir que se fabrique una preserie cuyo fin es identificar los valores que debe tomar el proceso para cada lote. Si el proceso fuera robusto a esta variación entre lotes, se tendría un ahorro de todos los costos asociados a estas puestas a punto.

Preparación del Programa Experimental

La necesidad de realizar experimentación generalmente es el resultado de un programa de mejora de la calidad de los procesos. En dicho programa debe establecerse debidamente cuáles son los objetivos del experimento y los criterios necesarios para saber si se han alcanzado dichos objetivos cuando se finalice la experimentación.

Como cualquier otra herramienta o técnica de mejora, la experimentación funciona mejor cuando es realizada por un equipo. Se debe crear un equipo que esté compuesto por un grupo de personas que conozcan y entiendan el problema específico que se debe solucionar. La herramienta es tan específica que suele ser necesario un facilitador estadístico.

El primer trabajo que debe abordar el equipo es la identificación de las variables de respuesta del proceso. Éstas son las variables que definen la calidad del proceso o producto resultado del proceso. Después de cada experimento elemental, se registran los valores de una o más variables de respuesta, en aquellas unidades que previamente se hayan acordado por el equipo.

Las variables de respuesta deben ser, siempre que se pueda, cuantitativas y el equipo debe definir el procedimiento de medición (punto de inspección, instrumentación a utilizar, etc.).

Si se produce una desviación respecto a los procedimientos, se deberá registrar porque cualquier desviación respecto a los procedimientos acordados podría invalidar el experimento.

Una vez que se han listado las variables de respuesta que se van a observar en el experimento, el equipo centra su atención en la identificación de las variables del proceso.

Las variables del proceso, cuya variación es la que va a provocar la variación observada en las variables de respuesta, son las que van a participar en el experimento y pueden ser tanto cualitativas como cuantitativas. Las variables del proceso tienen como característica que son perfectamente controlables durante el proceso productivo, es decir, se pueden establecer los valores que se deseen para ellas.

En ocasiones también se pueden identificar las perturbaciones, que podemos definir como aquellas variables que son imposibles de controlar en el entorno real de producción (aunque puedan ser controlables en el entorno experimental) y cuya variación puede dar lugar a que exista variación en las variables de respuesta.

Cuando el equipo acaba la identificación de las variables del proceso, la lista suele ser excesiva. Es necesario reducir ese listado a un número manejable de variables. La experiencia de las personas que han participado en la selección es fundamental en la priorización de las variables. El criterio de selección debe apoyarse en la experiencia previa que el equipo tenga sobre si una variable es muy probable que afecte o no a la respuesta del proceso. También se utilizarán criterios de tipo económico, como puede ser el costo de los cambios de nivel de la variable.

Después de desarrollar la lista de variables del proceso (y perturbaciones cuando sea aplicable), el equipo debe decidir los valores a los que van a ser ensayadas estas variables, los denominados *niveles*.

La selección de niveles exige escoger una solución de compromiso. Cuanto más separados se encuentren los valores de los niveles, más sensible será el experimento; pero, cuando el experimento se realice durante la producción, estos niveles no podrán estar más separados que los límites de tolerancia de la especificación. Cuando el experimento se realiza fuera del entorno productivo, suelen escogerse unos niveles entre un 10 y un 15% fuera de los límites de la especificación.

Selección del Diseño

Después de identificar las variables de diseño y sus valores de ensayo, se seleccionan los experimentos elementales (e.e.) que van a formar parte del experimento. Cada e.e. es una única combinación de valores de ensayo.

Por ejemplo, si un experimento se va a realizar con tres variables del proceso (presión, catalizador y tiempo de reacción) con los niveles siguientes: la presión a 1 y 1.5, el catalizador a dos niveles (el del fabricante A y el del fabricante B) y un conjunto de tiempos de 20 y 60 minutos, un e.e. puede consistir en realizar el proceso a una presión de 1.5 con el catalizador B durante un tiempo de 60 min. El diseño del experimento es el conjunto de e.e. que configura el experimento.

Para el ejemplo anterior, un diseño de experimentos podría consistir en los siguientes e.e. que se muestran en la figura 6.9.

e.e. No.	Presión	Catalizador	Tiempo
1	1	A	20
2	1.5	A	20
3	1	B	20
4	1.5	B	20
5	1	A	60
6	1.5	A	60
7	1	B	60
8	1.5	B	60

Figura 6.9 Diseño de experimentos elementales (e.e)

La selección del diseño consiste en la elección de un conjunto de experimentos elementales que proporcione la información deseada de la forma más eficiente.

Teniendo en cuenta que al final, a mayor número de experimentos elementales, más tiempo será necesario para realizarlos y mayor el costo de la experimentación, en la selección del diseño se deberá tener en cuenta que el experimento se realizará dentro de los límites del presupuesto disponible. Además, en caso de que el experimento se realice en el entorno de producción, se tendrá en cuenta que usualmente no es posible mantener máquinas fuera de producción durante un periodo largo de tiempo.

Es regla general que en aquellos experimentos con muchas variables de diseño, no es práctico ensayar todas las posibles combinaciones de valores de ensayo. En vez de esto, se selecciona un subconjunto del total de posibles experimentos elementales. Es lo que llamamos un experimento fraccionado. Se debe decidir el número de distintos e.e. a incluir en el experimento. Un e.e. es distinto de otro si tiene una combinación diferente de valores de ensayo. Después, se debe decidir si los e.e. deben ser duplicados; es decir, realizar replicaciones. Cuando un conjunto de valores de ensayo se realiza más de una vez, se dice que el diseño es replicado.

El número de e.e. distintos en el experimento determina la resolución del diseño. El número de replicaciones determina su sensibilidad.

- **Resolución del Diseño.** Determina el tipo y cantidad de información que puede extraerse de un experimento. Los diseños de baja resolución (con pocos experimentos elementales) son capaces sólo de estimar los efectos independientes de las variables de diseño y no pueden estimar los efectos de sus interacciones. Por lo general, los diseños de baja resolución son realizados usualmente al principio para identificar las variables de diseño que son significativas. Los diseños de alta resolución se utilizan para identificar las interacciones entre las variables de diseño.
- **Sensibilidad.** La sensibilidad de un experimento determina con cuánta precisión se puede distinguir entre la variación causada por las variables del proceso y la causada por el error aleatorio. Cuanto mayor sea la replicación, mejor será la sensibilidad del experimento.

En la selección del diseño, también se tendrá en cuenta si se encuentra en una fase inicial de la experimentación o en una fase avanzada. La fase inicial se caracteriza por disponer de poca información y muchas variables del proceso candidatas a participar en el experimento. En este caso, se seleccionarían diseños de baja resolución.

Hay muchos tipos diferentes de diseños estándar, algunos más complejos que otros. Cada diseño tiene sus puntos fuertes y débiles y es apropiado para una situación particular.

Realización del Experimento

La realización del experimento de acuerdo a lo planificado es fundamental para obtener unos resultados de confianza.

Antes de comenzar el experimento, la matriz de ensayo debe ser aleatorizada. La matriz de ensayo se sabe que es el resumen donde se plasma el diseño del experimento. Por lo tanto, hablar de aleatorización de la matriz es lo mismo que hablar de la aleatorización del experimento. La aleatorización afecta a dos cosas fundamentales:

- a) Aleatorización de la secuencia de los e.e.
- b) Aleatorización en la asignación de las unidades experimentales a cada experimento elemental.

La aleatorización de la secuencia de ensayos es un paso muy importante que debe hacerse antes de la realización del experimento, siendo su objetivo fundamental mitigar el efecto de cualquier factor desconocido que pudiera resultar en un sesgo en los resultados del experimento. Por lo general, se denomina *orden de ensayo u orden de experimentación* al orden obtenido al aleatorizar la secuencia de experimentación y *orden natural u orden original* al orden obtenido mediante el generador de diseño.

Siempre es preferible realizar experimentos en los que la secuencia de experimentación ha sido aleatorizada, aunque existen ocasiones en las que esta aleatorización es impracticable física o económicamente.

Un experimento en el que los ensayos no se realizan de forma aleatoria es vulnerable a los efectos de las perturbaciones. El riesgo real que se corre es no reconocer que una variable oculta que no ha sido considerada como variable del proceso introduzca un efecto sesgado en el experimento. Esta situación no sería detectada hasta que no se realizaran los ensayos de verificación de los resultados cuando en estos no se confirmara la predicción.

El proceso de experimentación consta de una serie de etapas preestablecidas de carácter genérico, como se muestra en la figura 6.10

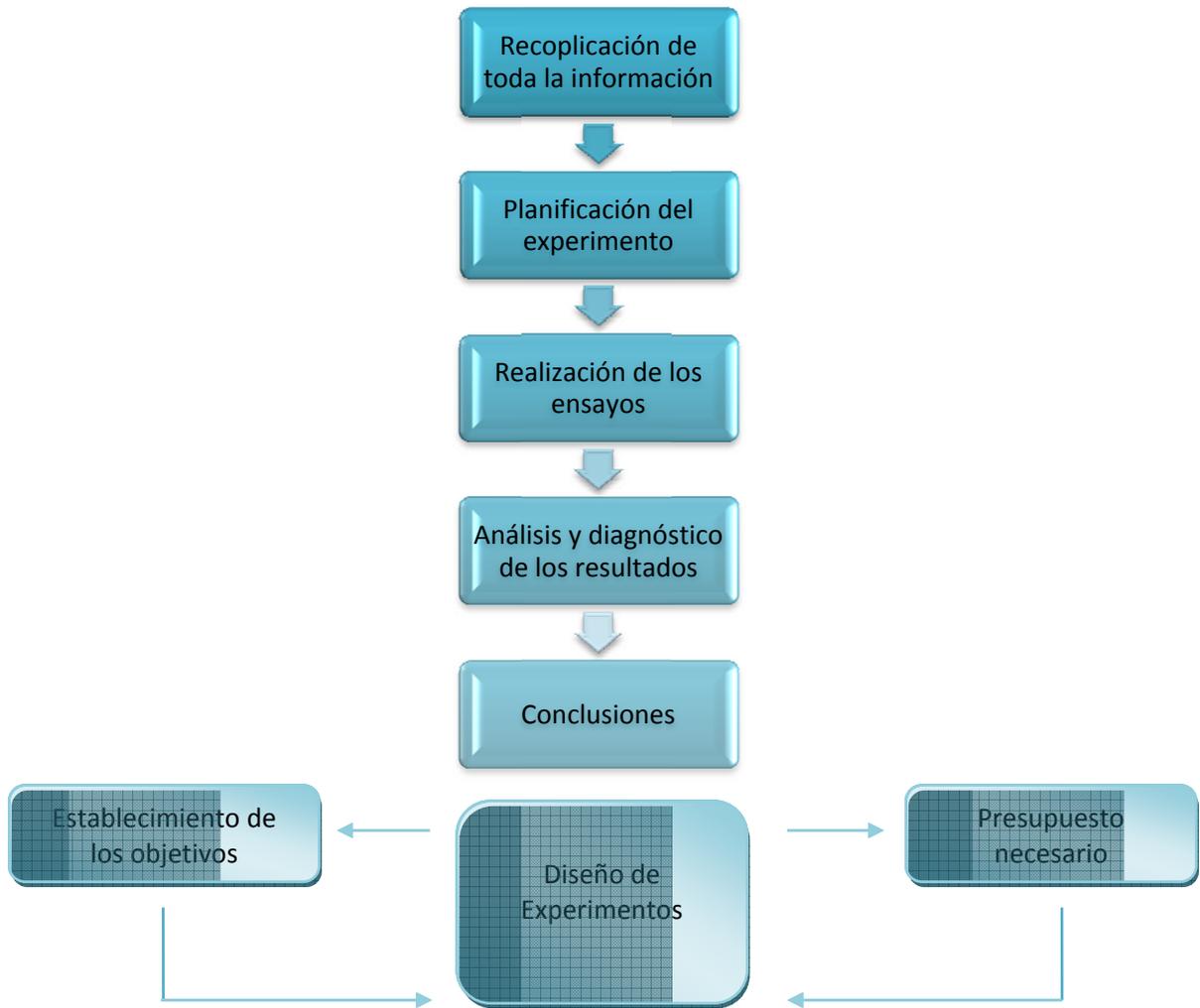


Figura 6.10 Proceso de experimentación

- 1. Recopilación de información.** Recopilar toda la información necesaria y hacerlo de forma adecuada será fundamental para lograr la efectividad del experimento. Hay que conocer perfectamente el proceso o producto que se someterá a estudio, la problemática que existe, así como todo lo relacionado con la toma de datos.
- 2. Establecimiento de los objetivos principales.** Es imprescindible conocer de antemano cuáles son los objetivos que se tratarán de alcanzar con el experimento. Será preciso que todo el grupo de trabajo que realizará el estudio consensue 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.** Ésta trata de analizar los aspectos clave y los factores del proceso o producto que influyen de manera determinante, de evaluar los niveles de dichos aspectos, 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 efectos de memoria. De esta forma se obtiene mayor objetividad y precisión.
6. **Análisis y Diagnóstico 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, etc.

Análisis de Resultados

El análisis de los resultados consiste fundamentalmente en determinar el efecto que cada variable del proceso que ha participado en el diseño tiene sobre las variables de respuesta. El cambio medio sufrido por la variable de respuesta del proceso que se puede atribuir al cambio en los niveles de una variable del diseño se le denomina el “efecto principal” de esta variable. Se puede utilizar un gráfico denominado “gráfico de efectos principales”, para mostrar la magnitud y dirección del efecto de cada variable de diseño (esto es, el tamaño del efecto y si aumenta o disminuye la salida).

En la figura 6.11, se dibuja una línea entre el valor de la salida media correspondiente al primer nivel de la variable de diseño y el valor de salida media correspondiente al segundo nivel de la variable de diseño. La diferencia entre las dos medias se denomina *efecto principal medio de la variable de diseño*. Si los dos niveles de la variable de diseño están codificados como +1 y -1, la pendiente de la recta coincide con el efecto principal dividido por 2. La pendiente de la línea mide el cambio medio en la salida por cada unidad de cambio en la variable de diseño. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será el impacto de la variable de diseño en la salida

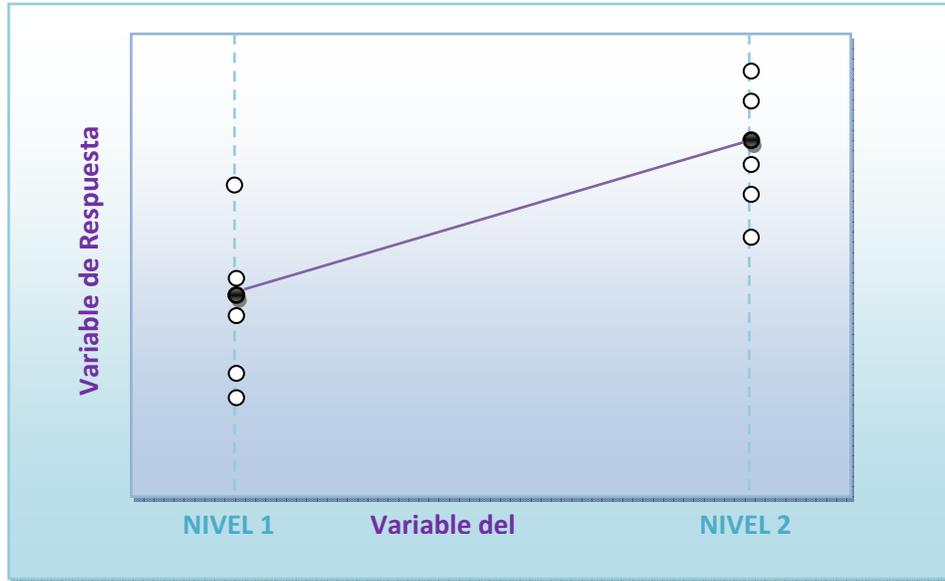


Figura 6.11 Análisis de resultados

A continuación, se determina qué cantidad de la variación de la salida es debida a los cambios efectuados en las variables de entrada y cuanta debida al error experimental. Para ello suele utilizarse el método ANOVA. Este método identifica la cantidad de variación explicada por cada variable de diseño (y cada interacción) y la cantidad explicada por el error. Se calcula un estadístico F que es utilizado para determinar la probabilidad de que la variación observada sea realmente resultado sólo del error experimental. Sólo aquellas variables que impactan en la salida más allá de lo que podría ser explicado por la variación aleatoria son consideradas “estadísticamente significativas”. Se dice que estas variables “contribuyen a la señal”.

En el caso de que sea imposible que la variación fuera causada por una fluctuación aleatoria (error), se considera significativa la variable de diseño o la interacción.

Las variables no significativas pueden descartarse y los siguientes experimentos pueden concentrarse en los valores significativos.

Una forma de ilustrar la significancia de los efectos es dibujar un diagrama de Pareto de los valores absolutos de sus pendientes. Si el impacto de una variable de diseño excede un cierto nivel de “ruido” (error), entonces se considera significativo. Si, por el contrario, los cambios en la característica de calidad se encuentran en una región que puede ser explicada por el error experimental, la variable de diseño es considerada estadísticamente no significativa. En la figura 6.12, las variables A, F, H y E están por debajo del nivel y se consideran estadísticamente no significativas. Las variables B, C, G y D tienen un efecto no explicable por el error experimental y, por lo tanto, son estadísticamente significativas.

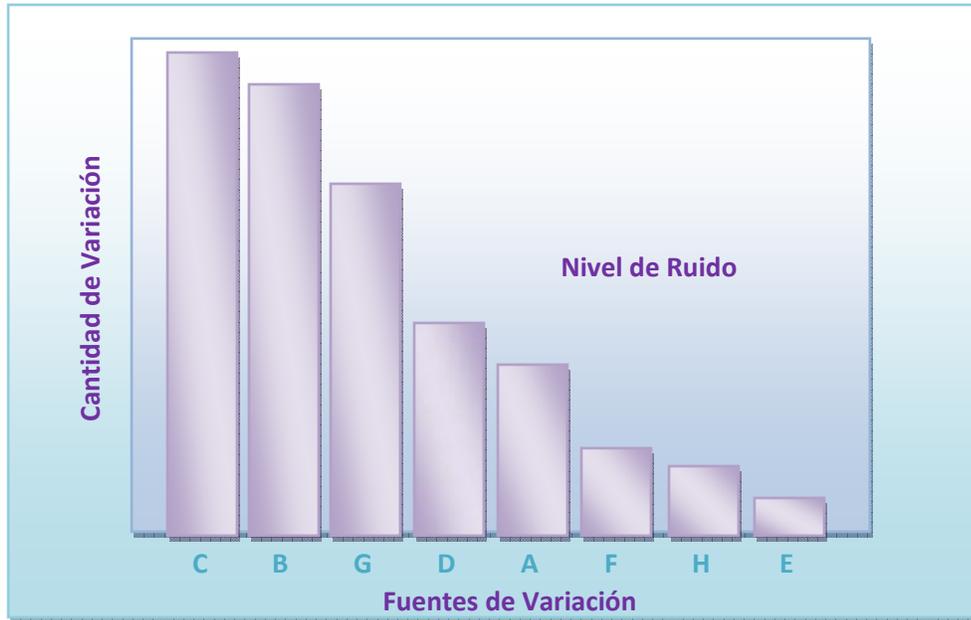


Figura 6.12 Diagrama de Pareto

Después de identificar los factores claves del proceso, se deben determinar los “mejores” niveles de operación. Los “mejores” se refieren a aquellos valores que están más cercanos a cumplir el objetivo experimental (que la salida sea mínima, máxima o un valor tomado como objetivo).

El Diseño de Experimentos proporciona un modelo matemático del comportamiento del proceso. A las diferencias encontradas entre los valores que predice el modelo y los valores reales observados en la experimentación se denominan *residuos*. Dichos residuos son una muestra del error aleatorio y es parte del análisis comprobar que los residuos no se oponen a los supuestos realizados respecto al error experimental. Estos supuestos son que los residuos se distribuyen de forma independiente de acuerdo a una distribución $N(0, s)$. En el análisis de los residuos se utilizan técnicas gráficas y contrastes estadísticos formales.

Determinación de la Aceptabilidad de los Resultados

En la fase de análisis, el resultado puede revelar que algo no ha ido bien en el experimento. Por ejemplo, puede haber sucedido algo no planificado durante el experimento que introduzca variación adicional en los resultados y, por lo tanto, haya hecho disminuir la sensibilidad del experimento. También es posible que la resolución elegida para el diseño no sea la adecuada. En cualquier caso, se deberá repetir el experimento desde la fase en que haya ocurrido el fallo.

El último paso es comprobar en el entorno de producción que los resultados obtenidos del experimento se repiten en el proceso productivo.

La relación del diseño de experimentos con la metodología Six Sigma se da durante la ejecución de la etapa mejorar, específicamente en:

- a) Optimizar y robustecer el proceso. Si el proceso no es capaz, se deberá optimizar para reducir su variación. Se recomienda usar diseño de experimentos, análisis de regresión y superficies de respuesta.
- b) Validar la mejora. Realizar estudios de capacidad.

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

Una vez ajustado el proceso y disminuido su variación se evalúa la capacidad del proceso. Un estudio de capacidad es un procedimiento ordenado de planeación, recolección y análisis de información, con la finalidad de evaluar la estabilidad de un proceso, y la capacidad que éste tiene para producir dentro de especificaciones. Los estudios de capacidad miden la variación y el centrado de un proceso con respecto a sus especificaciones.

Para poder realizar estas mediciones sobre el proceso que fue ajustado, se procede al uso de los diversos tipos de gráficos de control, los cuáles fueron explicados en el *Capítulo IV Definición del Problema y Descripción del Proceso*, específicamente en el punto 4.13.

7.1. Capacidad del proceso

Una vez que el proceso se encuentra bajo control, es decir, no hay puntos fuera de los límites de control ni patrones, se procede al cálculo de la capacidad del proceso (la capacidad del proceso para producir piezas dentro de especificaciones).

El índice de capacidad potencial es una comparación entre los límites de especificación (tolerancia) y los límites del proceso sin tomar en cuenta la localización del centro del proceso en comparación con los límites de especificación. Si un proceso no es potencialmente capaz, definitivamente tampoco tiene capacidad real.

Una manera de evaluar la capacidad del proceso para producir dentro de especificaciones, es comparar el ancho de la especificación con el ancho del proceso.

La figura 7.11 muestra la representación gráfica de los límites de especificación y de un proceso por medio de una distribución simétrica (aunque ésta no sea la verdadera representación de todo proceso, se puede tratar de usar una transformación para lograr normalidad).

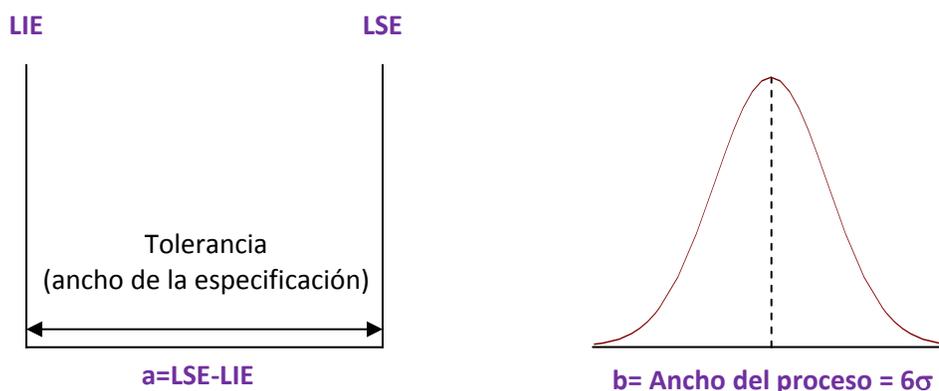


Figura 7.11 Representación gráfica de límites de especificación.

El **índice de capacidad potencial** se define como:

$$C_p = \frac{a}{b} = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad s = \hat{\sigma}$$

que representa una comparación de anchos, sin tomar en cuenta la ubicación del proceso. Indica el número de veces que el proceso “cabe” dentro de la especificación.

Para tomar en cuenta las fluctuaciones de la media del proceso, se considera una “ventana” de operación de $\pm 1.5\sigma$. La amplitud de dicha ventana de operación está basada en la incapacidad de las gráficas de control de Shewhart a reaccionar rápidamente a cambios por abajo de este valor.

Considerando $LIE = -3\sigma$ y $LSE = +3\sigma$, y el proceso centrado en cero, entonces $C_p = 1$, y su fracción defectuosa es 0.27%. Tomando en cuenta la ventana de operación de entonces en el caso extremo, el porcentaje del proceso que está fuera de las especificaciones es de 6.68%, porque la fracción defectuosa se expresa mediante:

$$p(X > 3\sigma) = p\left(Z > \frac{3\sigma - 1.5\sigma}{\sigma}\right) = p(Z > 1.5) = 0.0668$$

Así, $C_p = 1$ significa que la fracción defectuosa no será mayor de 6.68% mientras que las fluctuaciones de la media del proceso no sean mayores de $\pm 1.5\sigma$ sobre el proceso centrado.

De la misma forma, $C_p = 2$ significa una fracción defectuosa igual a 3.4 ppm = 0.00034% (clase mundial), considerando el proceso centrado en el extremo de la ventana de operación ($\pm 1.5\sigma$).

Considerando el proceso no centrado, posicionado en la fracción defectuosa (FD) se define como:

$$FD = p(X > 6\sigma) = p\left(Z > \frac{6\sigma - 1.5\sigma}{\sigma}\right) = p(Z > 4.5)$$

$$FD = 3.4 \text{ ppm}$$

Considerando el proceso centrado, se expresa mediante:

$$FD = p(X > 6\sigma) + p(X < -6\sigma) = 2p\left(Z > \frac{6\sigma - 0}{\sigma}\right) = 2p(Z > 6) = 2(9.9012E10^{-10}) \\ = 0.00198 \text{ ppm}$$

Como Cp no toma en cuenta la ubicación (centrado) del proceso, es necesario definir otro índice que si la considere como se muestra en la figura 7.12.

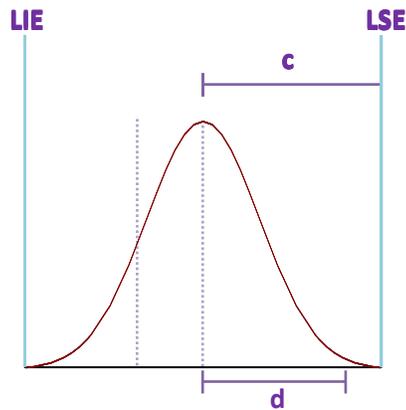


Figura 7.12 Definición del índice de capacidad real.

Al comparar c/d se puede ver el centrado del proceso en relación con la mitad de la variación del mismo.

c = la distancia entre el centro del proceso (media) y el límite de especificación más cercano.

d = la mitad del ancho del proceso.

El **índice de capacidad real (Cpk)** queda definido como:

$$Cpk = \frac{|LE - \bar{X}|}{3s} \quad \text{si } LIE \leq \bar{X} \leq LSE$$

$$Cpk = \frac{|LE - \bar{X}|}{3s} \quad \text{si } \bar{X} > LSE \text{ o } \bar{X} < LIE$$

siendo LE el límite de especificación más cercano a la media del proceso.

Para el caso de tolerancia unilateral se define:

$$Cpk = \frac{|LE - \bar{X}|}{3s}$$

en ese caso LE es el único límite de especificación. Dicho índice será negativo si la media está fuera de la especificación.

1. El índice **Cp** se usa para evaluar el proceso. Separa variación de centrado.
2. El índice **Cpk** se usa para dar seguimiento al proceso con respecto al tiempo. Evalúa variación y centrado con base en un sólo número.

De acuerdo con Gunter (1989), se puede decir que Cpk representa la tolerancia disponible cuando el proceso necesita el 100% de esta.

7.2. Rendimiento de un proceso (Yield)

El rendimiento tradicional de un proceso se obtiene dividiendo el número de piezas que entran entre el número de piezas que son producidas de acuerdo con especificaciones.

El **rendimiento de primera vez** (First-Time Yield Y_{FT}) corresponde al número de piezas hechas bien la primera vez en cada fase del proceso.

El **rendimiento en cadena** (Rolled Throughput Yield, Y_{RT}) es el producto del rendimiento en cada paso del proceso. En este caso no se incluye el retrabajo.

El concepto de la **fábrica oculta** surge cuando una compañía está utilizando recursos adicionales por no hacer bien sus productos a la primera vez.

Al retrabajo o al desperdicio se le considera como la fábrica oculta.

7.3. Métrica de Six Sigma

La métrica de Six Sigma evalúa el proceso basado en el nivel sigma (σ), con la finalidad de estandarizar dicha evaluación y poder comparar diferentes procesos entre sí.

Los pasos de la métrica son:

1. Identificar los CTQs (CCC, características críticas de calidad) del proceso. Son las características o requerimientos de los clientes.
2. Definir oportunidades de defecto. Cualquier paso en el proceso en donde un defecto pueda ocurrir en una CCC.
3. Buscar defectos en productos o en servicios. Contar los defectos o fallas para satisfacer CCCs en todos los pasos del proceso.
4. Calcular *dpmo* individual. Para cada una de sus fases.
5. Convertir a niveles sigma individual. Para cada una de sus fases.
6. Resumen del análisis. Elaborar la tabla con los resultados finales. Calcular Y_{FT} , *dpmo* (proceso), la distribución de defectos y comentar sobre el nivel de calidad del proceso.
7. Detección de áreas de oportunidad. Jerarquizar las fases del proceso con base en sus niveles sigma.

La tabla 7.13 presenta los elementos de la métrica SS.

dpu	dpu = defectos por unidad (promedio) dpu = número de defectos / número de unidades
dpmu	dpmu = defectos por millón de unidades = $(dpu)(10^6)$
dpo	dpo = defectos por total de oportunidades (i) $dpo = \text{número de defectos} / \text{número de oportunidades totales (i)}$
dpmo	dpmo = defectos por millón de oportunidades $dpmo = dpmu / \text{número de oportunidades por unidad} = (dpo)(10^6)$
Y_{FT}	Y _{FT} = rendimiento de primera vez $Y_{FT} = [1 - dpmo / 10^6]n$ (n = número de oportunidades de defectos por unidad)

Tabla 7.13 Métricas de Six Sigma

La diferencia entre dpmu y dpmo es que una unidad puede tener varias oportunidades de cometer defectos.

Si cada unidad solamente tiene una oportunidad en la que pueda ocurrir algún defecto, **dpmo = dpmu**. Originalmente **ppm** significa unidades defectuosas por cada millón, independientemente del número de defectos en dichas unidades.

Actualmente el objetivo de Motorola es tener 3.4 ppm considerando ppm como el número de defectos por cada millón de unidades. En este caso, ppm = dpmu.

Si cada unidad se compone de cierto número de oportunidades de ocurrencia de un defecto, entonces ppm = dpmo.

El procedimiento para obtener el nivel sigma de un proceso en el caso de atributos es:

1. Obtener el dpmo.
2. Si el valor en el cuerpo de la tabla Z está en notación científica, expresar dpmo en dicha notación con un entero y dos decimales.
3. Buscar el valor Z en la tabla Z del apéndice.

CAPÍTULO VIII

OPTIMIZAR Y ROBUSTECER EL PROCESO

CAPÍTULO VIII

OPTIMIZAR Y ROBUSTECER EL PROCESO

Después de evaluar la estabilidad y capacidad del proceso, si ésta última resultara insatisfactoria, se deberá optimizar el proceso. Para ello se puede volver a usar diseño de experimentos e/o incorporar análisis de regresión y/o superficies de respuesta.

Las siguientes herramientas son útiles durante esta etapa de la metodología Six Sigma para tomar decisiones referentes a la optimización y robustecimiento de los procesos, que al inicio de la metodología fueron analizados mediante herramientas cualitativas descritas en capítulos anteriores.

8.1. Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una herramienta gráfica que representa una variable en función de otra ayudando a identificar la posible relación existente entre ambas.

Para que utilizarla:

- Para estudiar la relación posible entre dos variables.

Cuando utilizarla:

- A la hora de identificar causas raíces potenciales de problemas.
- Después de una sesión de tormenta de ideas estructurada con un diagrama de causa y efecto con el objeto de determinar objetivamente si una causa y un efecto determinados se encuentran relacionados.
- Cuando sea necesario determinar si dos efectos que parecen estar relacionados entre sí tienen la misma causa.

Cómo utilizarla:

- Recoger parejas de datos correspondientes a las dos variables entre las que se sospeche exista relación.
- Trazar los ejes horizontal y vertical del diagrama de dispersión.
- Etiquetar los ejes. La variable que está siendo investigada como posible causa situarla en el eje horizontal y la variable “efecto” en el eje vertical.
- Representar gráficamente todas las parejas de datos en el diagrama.

Los puntos representados forman una pauta que es necesario interpretar. La agrupación de los puntos y la dirección de esta agrupación nos proporciona información relativa al tipo de relación existente entre ambas variables y a la fuerza de dicha relación. Cuánto más se agrupen los puntos alrededor de una línea, más fuerte será la correlación existente entre ambas variables.

Incluso cuando el diagrama de dispersión muestra la existencia de relación entre dos variables, no se debe afirmar que una variable es causa de la otra. En muchas ocasiones, la relación es a través de una tercera variable oculta.

Cuando se representan los datos en el gráfico, cuanto más se ajusten los puntos a una línea, mayor será la relación existente entre ambas variables.

Cuando el diagrama de dispersión se muestre que no existe evidencia de relación, comprobar la posibilidad de realizar una estratificación. Se debe ser creativo a la hora de decidir cómo utilizar el diagrama de dispersión para descubrir una causa raíz.

8.2. Causalidad y Casualidad

Causalidad implica una relación de causa-efecto entre las variables, casualidad no. Por ejemplo, la relación entre la potencia disipada por un foco incandescente vs la cantidad de luz emitida por él, es del tipo causal, es decir, existe una relación física de causa-efecto, mientras que en un estudio realizado en Inglaterra sobre la relación entre el número de nacimientos de seres humanos y el aumento en la población de cigüeñas durante un periodo de muchos años, resultó una relación directa y fuerte... ¡por casualidad!

Cuando no existe causalidad, el modelo no se puede usar para controlar el proceso pero sí para predecirlo.

8.3. Análisis de regresión

Como se mencionó anteriormente, a través del diseño de experimentos se puede saber cuál o cuáles variables se deberán controlar en un proceso, sobre todo cuando se presentan varias; el siguiente paso sería conocer si existe un tipo de relación numérica entre dichas variables, la herramienta regresión permite conocer esa relación a través de una ecuación matemática que representa normalmente a la variable Y como una variable que está en función de X o que depende de X.

El análisis de regresión es una técnica usada para relacionar a través de un modelo, una o más variables independientes con una variable dependiente (respuesta). Se le puede dar los siguientes usos:

- Descripción. Para representar el comportamiento de un proceso.
- Predicción y estimación. Predicción es con base en un valor X desconocido. Estimación es con base en un valor conocido de X.
- Control. Para obtener cierta respuesta deseada de un proceso.

A continuación se presentan los tipos de regresión más comunes que se podrían presentar en la práctica:

- Regresión Lineal Simple
- Regresión Lineal Múltiple
- Regresión Lineal Polinomial
- Regresión Curva

- Regresión Logarítmica

En caso de que se llegara a tener alguna relación entre las variables X y Y se establece su ecuación; el beneficio es determinar de acuerdo a los datos de X el intervalo de valores en que se moverá Y para estar preparados si sale de una especificación establecida y de esta manera sólo controlar una variable.

La figura 8.1 ilustra un diagrama de dispersión entre dos variables, siendo representado por un modelo de línea recta $y = mx + b$. Dicho modelo es una representación imperfecta (como todo modelo) de la relación entre ese par de variables, pero es una manera práctica y útil de hablar de tal relación. La relación real, constituida por la variación de cada uno de los puntos del diagrama, puede ser representada de manera estadística por el modelo $y = \beta_0 + \beta_1 + \varepsilon$.

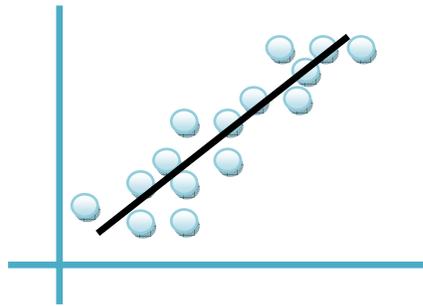


Figura 8.1 Diagrama de dispersión entre dos variables

8.3.1. Regresión lineal simple

El modelo de regresión lineal simple (de un sólo factor) se refiere a la relación que puede existir entre una variable independiente y una variable de respuesta. El modelo y la interpretación de sus componentes se muestran a continuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 + \varepsilon$$

y = variable dependiente a modelar (respuesta).

x = variable independiente (predictor de y).

ε = componente de error (medición + variación natural). Variable aleatoria (VA).

β_0 = intersección. Si los datos incluyen cero, representa la media de la distribución de y cuando $x = 0$. No tiene un significado particular si los datos no incluyen cero.

β_1 = pendiente. Es el cambio en la media de y por cada cambio unitario de x .

La estimación de los parámetros del modelo es por medio del método de mínimos cuadrados que consiste en minimizar el error del modelo:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$\hat{\beta}_0 = y - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$S_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}$$

$$S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

El **coeficiente de determinación** es la proporción de la variación explicada (representada) por el modelo de regresión.

$$R^2 = r^2 = \frac{SSR}{SSy} \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

$$S_{yy} = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$$

$$SSR = \hat{\beta}_1 S_{xy}$$

El **coeficiente de correlación** lineal muestral (r o R) representa el grado de asociación lineal entre x y y. Se define por:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{yy}S_{xx}}} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \pm \sqrt{R^2}$$

Su rango de operación está entre -1 y 1 y su interpretación se muestra en la figura 8.2

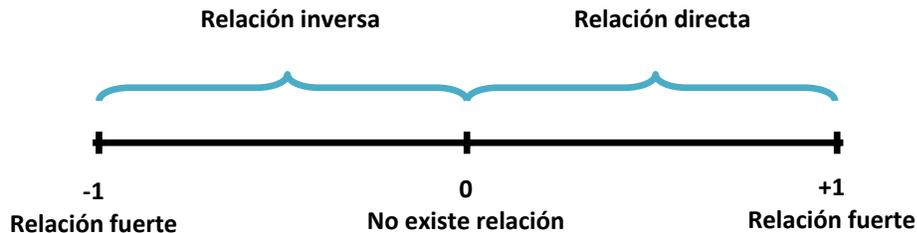


Figura 8.2 Rango de operación

El modelo de regresión incluye el término del error, y se supone que dichos errores siguen una distribución normal con varianza constante y que son independientes entre sí. El cumplimiento de las suposiciones puede generar un modelo inestable desde el punto de vista de que diferentes muestras pueden producir modelos diferentes con conclusiones opuestas.

Los residuos representan el término del error en el modelo (ϵ) y se expresa con la siguiente fórmula:

$$\text{Residuos } e_i = y_i - \hat{y}_i$$

Al efectuar experimentos, se deberá registrar el orden en el que fueron realizados. La **prueba de independenciam** consiste en graficar los residuos vs el orden de cada experimento. Si se

observan fluctuaciones aleatorias en una banda horizontal, la independencia se acepta. En caso contrario se deberá repetir el experimento teniendo cuidado con la aleatoriedad de las pruebas. En caso de que el estudio no sea experimental, es importante buscar el orden en que se obtuvieron las observaciones.

La figura 8.3 muestra la prueba gráfica de independencia en donde se observa aleatoriedad en el comportamiento de los residuos y por tanto no existe dependencia.

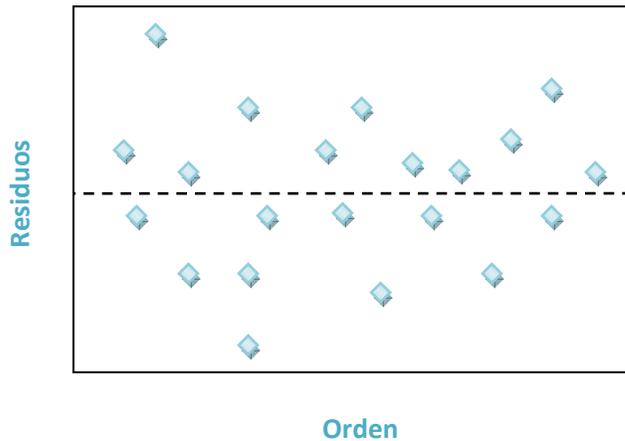


Figura 8.3 Prueba gráfica de independencia

En las figuras 8.4 y 8.5 se presentan los casos en los cuales los errores no son independientes.

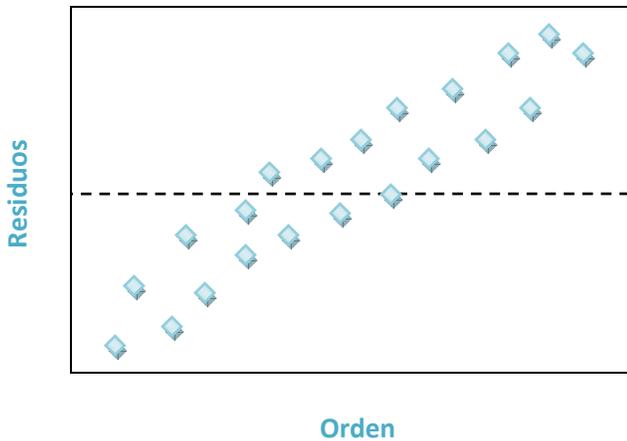


Figura 8.4 Prueba gráfica de no independencia

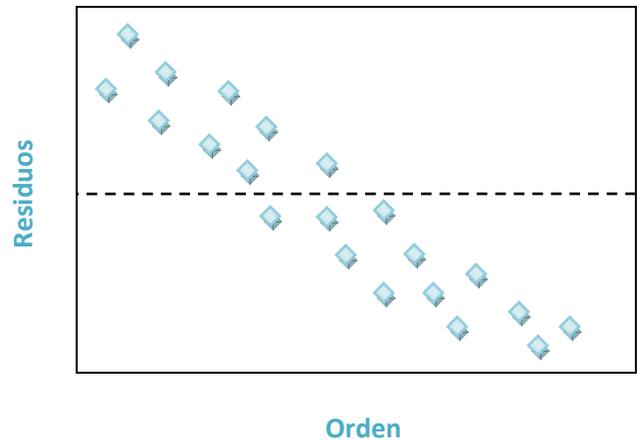


Figura 8.5 Prueba gráfica de no independencia

Al graficar residuos contra otras variables no involucradas en el modelo se puede saber si éstas deberían incluirse cuando la gráfica de los residuos contra dichas variables presente un patrón como el mostrado en la figura 8.6

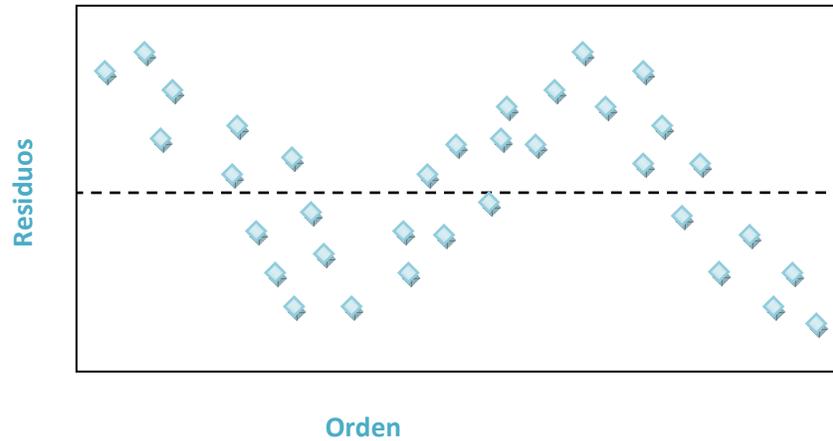


Figura 8.6 Gráfica de residuos contra otras variables no involucradas en el modelo

8.3.2. Regresión lineal múltiple

El análisis de regresión múltiple consiste en generar modelos de regresión con más de una variable independiente (X_s). El modelo de regresión lineal múltiple se representa por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

donde

n = número de datos

p = número de parámetros (β_s)

k = número de variables (x_s)

La relación entre el número de parámetros y el número de variables es $p = k + 1$.

β_i ($i = 1 \dots k$) representa el cambio esperado en la respuesta “ y ” cuando x_i cambia una unidad, manteniendo constantes las demás X_s . A las betas se les llama coeficientes de correlación parcial.

β_0 representa la intersección del hiperplano de regresión.

Si el rango de los datos (X_s) incluye $x_1 = x_2 = \dots = x_k = 0$, β_0 representan la media de “ y ” cuando $x_1 = x_2 = \dots = x_k = 0$.

El modelo en forma matricial es

$$\vec{y} = \vec{X}\vec{\beta} + \vec{\varepsilon}$$

donde

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\vec{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

$$\vec{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}$$

La solución matricial es $\vec{\beta} = (\vec{x}' \vec{x})^{-1} \vec{x}' \vec{y}$

Para tener el modelo

$$\vec{y} = \vec{X} \vec{\beta}$$

Para efectuar la prueba de independencia, es necesario registrar el orden en el que se realizaron las mediciones o pruebas.

8.3.3. Regresión polinomial

La regresión Polinomial es un caso particular de regresión líneas en el cual los parámetros (β_s) son lineales.

El modelo Polinomial de segundo orden y una variable es

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon$$

β_0 = valor de E(y) cuando y si $x = 0$.

β_1 = parámetro de translación de la parábola (derecha, izquierda).

β_2 = razón de curvatura (hacia arriba o hacia abajo).

8.4. Métodos de selección de variables

La **regresión por pasos** consiste básicamente en introducir una a una aquella variable independiente que cumpla los requisitos estadísticos prefijados para su incorporación; sin embargo, en determinado nivel del proceso, cualquier variable previamente incorporada puede ser eliminada si no cumple los requisitos estadísticos prefijados para su permanencia. Tales requisitos estadísticos pueden también establecerse por diferentes medios.

La **regresión de mejores subconjuntos** desarrolla modelos de regresión de las mejores combinaciones de las variables y calcula algunas medidas de desempeño.

8.5. 5 S's

El proceso de las 5 S's es una metodología japonesa que garantiza en corto plazo aumentar la productividad, se aplican de manera universal con el fin de ser más competentes y asumir una cultura de calidad.

Las 5S's nombran las principales actividades a seguir tanto en el trabajo como en el ámbito personal, y se requiere de una participación en conjunto para lograr el éxito de este sistema. Las 5s's son una estrategia sistemática de llevar a cabo una práctica disciplinada de un buen mantenimiento y óptima organización del lugar de trabajo dentro de un área.

Este proceso tiene como objetivo que el participante entienda los principios de orden y limpieza sobre los cuales se fundamenta el programa japonés de 5 S's y la importancia de su implantación, para lograr un clima organizacional rentable y productivo, aplicando así esta disciplina en su área de trabajo.

Algunos beneficios personales que se obtienen aplicando las 5S's:

- Ayuda a adquirir autodisciplina.
- Mejora la cooperación y el trabajo en equipo.
- Ayuda a adquirir mayor compromiso y responsabilidad.
- Mejora la seguridad personal.
- Ayuda a mejorar la imagen.
- Contribuye a desarrollar buenos hábitos.
- Desarrolla el autocontrol.
- Disminuye el nivel de estrés.
- Mejora el estado de ánimo de los colaboradores.
- Motivación.

Algunos beneficios en los que contribuyen las 5 S's en el trabajo:

- Eliminan tiempos y movimientos de búsqueda innecesarios.
- Eliminan un alto porcentaje de las causas de los problemas.
- Alarga la vida de los equipos y reduce descomposturas.
- Facilita el control del lugar.
- Elimina inventario innecesario.
- Se conservan áreas con mayor espacio.
- Motivan también a lograr un lugar agradable de trabajo.
- Se agiliza el tiempo de inicio de labores.
- Mejoran el nivel de seguridad en el área de trabajo.
- Proporciona confianza y seguridad en el personal.
- Ayuda a que la institución crezca ya que con limpieza y orden se pueden alcanzar más fácilmente los objetivos.

Los pasos del proceso 5's se detallan a continuación:

Primera “S” SEIRI (Clasificar)

Consiste en seleccionar y esperar lo que sirve de lo que no sirve, describiendo todos los elementos que se encuentran en nuestras áreas de trabajo y seleccionando los que realmente necesitamos, “Sólo lo necesario, sólo la cantidad necesaria y sólo cuando se necesita”.

Se debe implementar en un corto periodo de tiempo en toda la organización. Hay que eliminar todo aquello que se piense conservar “por si se necesitara”, porque realmente se usa muy poco o casi nada.

Los objetos innecesarios deben ser retirados inmediatamente sin titubeos, hay que tomar en cuenta que le puede servir a otra área, pero si no, se debe tirar. Las cosas de poco uso causan ineficiencia. Se deben guardar en lugares lejanos plenamente identificadas.

Una manera de poder realizar esta clasificación es mediante el uso de una “Tarjeta Roja”, que es una etiqueta para señalar los objetos que se usan muy poco, no más de dos meses para saber si realmente no se usa, se anota en la tarjeta la fecha de caducidad, esto con el propósito de deshacerse de ellos posteriormente en un lugar denominado “Etiqueta Roja”, controlando estos objetos con un formato que enliste e identifique los mismos.

Separar lo que sirve de lo que no sirve es una actividad que permite darse cuenta que había muchas cosas guardadas que no se sabía que se tenían y sólo ocupaban espacio.

Segunda “S” SEITON (Ordenar)

Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Para esto hay que asignar un lugar para colocar cada elemento no sin antes haber tomado en cuenta los siguientes criterios:

- ¿Se usa?
 - Frecuentemente: conservarlas a la mano
 - Pocas veces: conservarlas poco lejos
 - No se usa: darlo de baja o tirarlo

- ¿No sirve?
 - Se usa: se manda a reparar
 - No se usa: se tira
 - Si no se puede tirar o reparar, se procede a darlo de baja y mandarlo a una bodega general.

No se trata de mover las cosas para ponerlas en otro lugar, se trata de **planificar** en conjunto, anticipadamente y por escrito. Esta planeación consiste en evitar poner las cosas donde pudieran estorbar (cuidando los aspectos de seguridad requeridos), hay que decidir cuál es el lugar más conveniente para cada cosa, tomando en cuenta la frecuencia de uso y el orden en que son utilizadas, colocándolas en lugares de fácil acceso para su inventario o localización. Una vez asignado el lugar, se debe garantizar que éste sea fijo.

La metodología sugiere cuatro apoyos visuales para ordenar y garantizar el lugar fijo de cada cosa (un apoyo visual es cualquier señal que indique dónde o como debe acomodarse). Estos apoyos visuales son los siguientes:

Utilizar etiquetas para identificar donde deben ir las cosas.

Dibujar el contorno, éste método es útil cuando tenemos muchos objetos juntos, cuando las cosas están lejos del lugar en donde se utilizan o están colocadas sobre la misma superficie. Se puede *dibujar la huella* si las cosas están colgadas sobre la pared o se encuentran sobre superficies en dónde la única manera de distinguirla es por su forma, cuando objetos idénticos son utilizados en diferentes procesos y deben guardarse por separado; puede pintarse cada huella de diferente color.

El método de *hacer ranuras* puede ser útil cuando necesitamos poner los objetos en una superficie o cerca del área de trabajo pero necesita estar orientado de tal forma que facilite su acceso, éste método deberá apoyarse en el uso de etiquetas.

Al ordenar se eliminan muchos tipos de desperdicio:

- Dificultad al buscar algo.
- Dificultad al utilizar las cosas.
- Dificultad al regresar las cosas a su lugar.

Tercera “S” SEISO (Limpiar)

El objetivo de esta “S” es crear un ambiente de trabajo limpio, donde la gente pueda trabajar cómodamente, que todo lo que se requiera esté limpio y funcional y que por ende, aumente la eficiencia. De nada sirve tener un lugar ordenado y clasificado, si nuestros elementos están sucios o no funcionan.

Este proceso deberá ser supervisado periódicamente por un responsable designado, estableciendo un calendario de limpieza. Para esto hay que considerar que la limpieza debe compartirse equitativamente entre todos.

Limpiar también implica inspeccionar, detectar las fuentes que provocan la basura y/o contaminación para aislarse y prevenirse, implica establecer estándares (quién, cómo, cuándo y dónde). Algunas veces puede ser necesario formular una tabla de fuentes de suciedad para determinar las acciones correspondientes para combatirlas equitativamente.

La tercera “S” (limpiar), abarca más allá de lo visual, es también “sanear” el ambiente de trabajo para mejorar la salud de todos, corrigiendo la iluminación, aumentando la ventilación para alejar humos y malos olores eliminándolos completamente, excluyendo fuentes de polvo o todo aquello que pueda representar un peligro para la salud y bienestar de las personas.

Cuarta “S” SEIKETSU (Estandarizar)

Estandarizar es garantizar que siempre exista orden y limpieza en nuestro lugar de trabajo. Para esto hay que considerar los siguientes pasos:

1. *Diseñar un formato de verificación* adecuado del área, útil y entendible para todos. Este formato describirá que hacer, cómo hacerlo, quién lo hace, cuándo lo hace y verificación de que se hizo; esto se utiliza cuando una segunda persona comprueba que estuvo completo el trabajo hecho por alguien.
2. *Preparar una lista de chequeo*, es decir, llenar el formato diseñado. Aquí se puede asignar responsabilidades para varias tareas o rotar tareas entre compañeros.
3. *Compartir actividades comunes en limpieza* para asegurarse que el trabajo esté siendo realizado por todos de la misma manera, es importante compartir las actividades de limpieza entre la gente del departamento para las áreas comunes.
4. *Definir un programa de limpieza* donde se incluyan todas las actividades, los responsables y las fechas.
5. *Identificar un lugar para la lista de verificación*. Buscar un lugar dentro del área, en un lugar visible para cualquier persona. Así será fácil ver si el trabajo se ha hecho y los auditores pueden utilizarla también.
6. *Establecer un calendario para los auditores*. El último paso de la estandarización sugiere que se elabore un calendario para auditar el seguimiento que se ha dado a la lista de verificación, y asegurar que todo lo requerido para limpieza y organización se esté llevando a cabo.

Quinta “S” SHITSUKE (Institucionalizar)

Ésta quinta “S” se ocupa del elemento humano. Se completa cuando las personas adquieren como disciplina la cultura de la limpieza (autodisciplina).

Se debe dar seguimiento para lograr que todos tengan el hábito de cumplir con el procedimiento que se definió para tener orden y limpieza en las áreas de trabajo, observando que los sistemas antes aplicados estén actualizados y sigan siendo prácticos. Si esta quinta “S” no se cumple, de nada servirá todo lo anterior, y en poco tiempo se volvería al punto de partida.

La autodisciplina debe mostrarse desde el director general, jefes de área y departamento, así como supervisores y responsables del proyecto. Implica una campaña que debe mantener las reglas que ya están determinadas.

Las 5 S's es una herramienta cuya implantación no necesita de grandes cantidades de dinero pero si mucho tiempo en lograr conciencia por parte de todo el personal de la empresa, se necesitan varios facilitadores de todo tipo de niveles, desde la gerencia hasta el personal operativo primario para que el objetivo primordial que es la autodisciplina se cumpla.

La forma en que puede ayudar es en el momento que el personal cumple sistemáticamente con los procedimientos que se tienen establecidos a través de los procesos de manufactura, de esa forma se tendría la seguridad que dicho personal es capaz de recolectar datos, registrarlos, analizarlos y tomar acciones correctivas.

8.6. Poka Yoke

Poka Yoke es otra técnica de calidad, desarrollada por el ingeniero japonés Shingeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La finalidad del Poka Yoke es la de eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible.

La finalidad del Poka Yoke es la de eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible.

Un dispositivo Poka Yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo. El sistema Poka Yoke, o libre de errores, son los métodos para prevenir errores humanos que se convierten en defectos del producto final.

El concepto es simple: si los errores no se permite que se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado, es de alto valor para el cliente. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples.

Shingeo Shingo recomienda los siguientes puntos en la aplicación del Poka Yoke:

1. Control en el origen, cerca de la fuente del problema; por ejemplo, incorporando dispositivos monitores que adviertan los defectos de los materiales o las anomalías del proceso.
2. Establecimiento de mecanismos de control que ataquen diferentes problemas, de tal manera que el operador sepa con certeza que problema debe eliminar y cómo hacerlo con una perturbación mínima al sistema de operación.
3. Aplicar un enfoque de paso a paso con avances cortos, simplificando los sistemas de control sin perder de vista la factibilidad económica. Para usar el Poka Yoke de manera efectiva, es necesario estudiar con gran detalle la eficiencia, las complicaciones tecnológicas, las habilidades disponibles y los métodos de trabajo.
4. No debe retardarse la aplicación de mejoras a causa de un exceso de estudios. Aunque el objetivo principal de casi todos los fabricantes es la coincidencia entre los parámetros de diseño y los de producción, muchas de las ideas del Poka Yoke pueden aplicarse tan pronto como se hayan definido los problemas con poco o ningún costo para la compañía. El Poka Yoke enfatiza la cooperación interdepartamental y es la principal arma para la mejora continua, pues motiva las actividades de resolución continua de problemas.

Un sistema Poka Yoke posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100% de las partes producidas, y la segunda es si ocurren anomalías puede dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método Poka Yoke en reducir defectos va a depender del tipo de inspección que se esté llevando a cabo, ya sea: en el inicio de la línea, auto-chequeo, o chequeo

continuo. Los efectos de un sistema Poka Yoke en la reducción de defectos varían dependiendo del tipo de inspección.

Para tener éxito en la reducción de defectos dentro de las actividades de producción, se debe entender que los defectos son generados por el trabajo, y que toda inspección puede descubrir los defectos. Se tienen tres tipos de inspección:

- Inspección de criterio
- Inspección informativa
- Inspección en la fuente

Existen dos funciones reguladoras para desarrollar sistemas Poka Yoke:

- Métodos de control
- Métodos de advertencia

Métodos de Advertencia

Este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz o sonido. Si el trabajador no se da cuenta de la señal de advertencia, los defectos seguirán ocurriendo, por lo que este tipo de método tiene una función reguladora menos poderosa que la de métodos de control.

En los casos en que una luz advierte al trabajador; una luz parpadeante puede atraer con mayor facilidad la atención del trabajador que una luz fija. Este método es efectivo sólo si el trabajador se da cuenta, por lo que en ocasiones es necesario colocar la luz en otro sitio, hacerla más intensa, cambiar el color, etc. Por otro lado el sonido puede atraer con mayor facilidad la atención de la gente, pero no es efectivo si existe demasiado ruido en el ambiente que no permita escuchar la señal, por lo que en este caso es necesario regular el volumen, tono y secuencia.

En muchas ocasiones es más efectivo cambiar las escalas musicales o timbres, que subir el volumen del mismo. Luces y sonido se pueden combinar uno con el otro para obtener un buen método de advertencia.

Métodos de Control

Existen métodos que cuando ocurren anomalías apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación previniendo que siga ocurriendo el mismo defecto. Estos tipos de métodos tienen una función reguladora mucho más fuerte que los de tipo preventivo, y por lo tanto este tipo de sistemas de control ayudan a maximizar la eficiencia para alcanzar cero defectos.

No en todos los casos que se utilizan métodos de control es necesario apagar la máquina completamente, por ejemplo cuando son defectos aislados (no en serie) que se pueden corregir después, no es necesario apagar la máquina completamente, se puede diseñar un mecanismo que permita “marcar” la pieza defectuosa, para su fácil localización; y después corregirla, evitando así tener que detener por completo la máquina y continuar el proceso.

Clasificación de los métodos Poka Yoke

1. Método de contacto. Son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anomalías en el acabado o las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.
2. Método de valor fijo. Con éste método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben repetirse un número predeterminado de veces.
3. Método del paso-movimiento. Estos son métodos en los cuales las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones son realizadas con movimientos predeterminados. Este efectivo método tiene un amplio rango de aplicación, y la posibilidad de su uso deben considerarse siempre que se esté planeando la implementación de un dispositivo Poka Yoke.

Las compañías líderes en la revolución de calidad han aprendido que pueden mejorar la calidad de sus productos y servicios más rápidamente cuando se enfocan a mejorar sus procesos que usan para elaborarlos. Un proceso que es flexible, fácil de manejar y a prueba de errores es un sistema robusto. Un proceso debe ser efectivo, eficiente y robusto si desea ser considerado de gran calidad. La clave para disminuir los errores, es identificar la fuente, ver que lo ocasiona y buscar una solución. Al tener la solución hay que crear un dispositivo Poka Yoke que permita no volver a cometer el mismo error. Los dispositivos pueden llegar a ser muy simples, no necesariamente tienen que ser complicados y costosos. El crear un sistema robusto es anticiparse a las posibles causas y situaciones que puedan generar algún tipo de problema; lo cual permitirá una fácil adaptación de un dispositivo Poka Yoke. Las características principales de un buen sistema Poka Yoke:

- Simples y baratos
- Son parte del proceso
- Se ubican cerca o en el lugar donde ocurre el error.

8.7. Benchmarking

Es detectar las mejores prácticas que tienen compañías nacionales y/o extranjeras en diferentes aspectos: manufacturero, tecnológico, administrativo, recursos humanos, mantenimiento, medio ambiente, etc., para tomarlo como referencia y compararlo con lo que hace una empresa actualmente, la idea es a través de dicha referencia establecer acciones encaminadas a emularlo.

Es fundamental establecer un método de recolección de información inducido, para saber qué se debe preguntar, cómo poder implantar la mejora y quiénes lo deben llevar a cabo. La figura 8.7 muestra las principales etapas del Benchmarking.

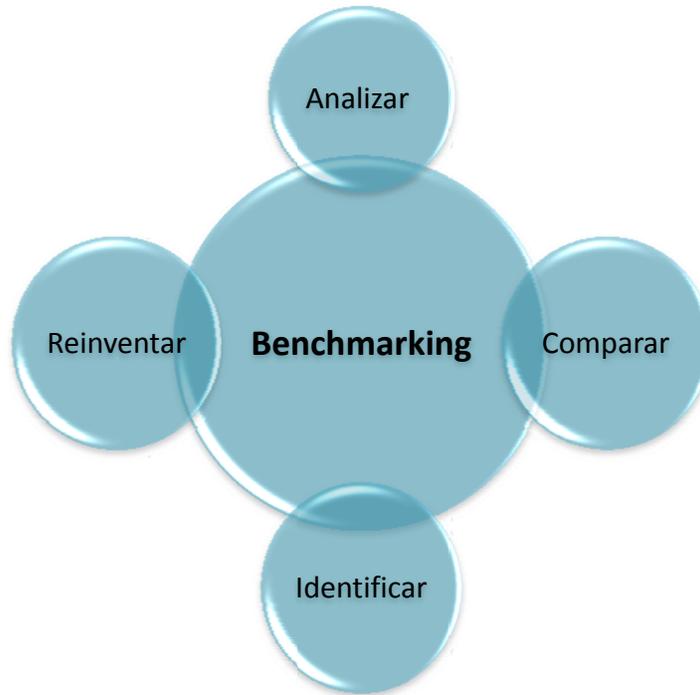


Figura 8.7 Etapas del Benchmarking

Durante la recopilación y análisis de información, se seleccionan los medios para recopilar información: entrevistas, cuestionarios, investigaciones, obtención de documentos, etc. Es importante que los responsables de la actividad reciban el apoyo de la organización para que se gestionen convenios cuando sea necesario y para que se faciliten los recursos necesarios para obtener la información. La información se entrega a los miembros del equipo. Posteriormente se realizan talleres de trabajo en los que se analizan y discuten las posibilidades de mejora identificadas, de acuerdo con las necesidades originales, y se producen recomendaciones para la acción.

La forma en que ayuda esta herramienta es a través de comparar lo que hacen otras empresas a favor de mejorar la calidad de los procesos y productos y establecerlo en nuestra compañía.

El Benchmarking es una técnica de gestión empresarial que pretende descubrir y definir los aspectos que hacen que una empresa sea más rentable que la otra, para después adaptar el conocimiento adquirido a las características de la propia empresa. Es una valiosa herramienta que proporciona un enfoque disciplinario y lógico para comprender y evaluar de manera objetiva las fortalezas y debilidades de una empresa, en comparación con lo mejor de lo mejor. Lo que debe quedar claro es que el benchmarking no implica prácticas fuera de la legalidad. Esta técnica nada tiene que ver con el espionaje industrial o la copia, ni debe tener como resultado un cambio brusco de la cultura empresarial que rija la propia organización, sino recabar la información suficiente con el fin de poder negociar en las mejores condiciones con todos los implicados en los procesos de creación de valor de una empresa; hacer la competencia más dura a los demás, y descubrir nuevos nichos de mercado.

Técnicas de Benchmarking

Hay cinco niveles a los que hay que atender para realizar el proceso de Benchmarking:

Benchmarking Interno

El análisis de la cadena de valor de la empresa propia aportará los primeros datos sobre los cuáles son los aspectos que mejor y peor funcionan en la compañía. Se puede completar este estudio con consultas a los empleados y directivos de la propia empresa.

A pesar de que el benchmarking interno parece sencillo porque este país se caracteriza por ser muy comunicativo, hay un factor cultural que puede dificultar este proceso, el miedo al despido. Este miedo puede llevar a que algunos empleados se pongan a la defensiva y la información pierda parte de su valor. Sin embargo, para recabar información en el exterior la actitud es distinta, el empleado piensa que se le consulta por ser un buen conocedor del país, no porque existan segundas intenciones.

En muchas empresas, operaciones de negocios semejantes se realizan en múltiples instalaciones, departamentos o divisiones. Esto es especialmente cierto en las multinacionales, que funcionan a nivel internacional. Por esta razón, muchas compañías inician sus actividades de benchmarking comparando internamente sus prácticas comerciales. Aunque no es probable que se descubran las mejores prácticas de manera interna, identificar las mejores prácticas comerciales internas es, no obstante, un punto de partida excelente.

El argumento más poderoso para efectuar un benchmarking interno es que, a pesar de que forman parte de la misma organización, las diferencias geográficas, de enfoque organizacional y cultura casi siempre dan como resultado diferencias en los procesos laborales. Como consecuencia del descubrimiento de “innovaciones locales”, muchas empresas han sido capaces de obtener una ventaja rápida al transferir dicha información a otras operaciones dentro de la propia compañía.

La mayoría de los expertos defienden el benchmarking interno como el mejor punto de partida para una compañía que se inicia en esta técnica, pues permite a una empresa hacer un ensayo previo del alcance de un estudio externo y establecer sus objetivos de benchmarking en términos comerciales realistas, aunque sencillos y concentrados. Si no se hace esto antes de visitar otra compañía, simplemente se regresa con un lío de información y se tendrán dificultades para adecuarla a lo que se hace internamente.

Benchmarking Primario

Se recaba información directamente de la competencia. Se recomienda la consulta a los antiguos empleados de otras empresas, aunque no siempre resulta esta práctica por los convenios de confidencialidad firmados por los trabajadores con las empresas.

Otra fuente muy buena de información son los clientes y proveedores de la competencia, a pesar de que “parte de esta información estará viciada, ya que será un intento de negociación por parte del otro, para convertirse en cliente”.

Este nivel de benchmarking también es conocido como benchmarking competitivo y es el método más ampliamente comprendido y aplicado. Los empleados saben que esta clase de información es valiosa porque están conscientes de que las prácticas de un competidor afectan a los clientes, potenciales o actuales, proveedores y observadores de la industria. La ventaja clave cuando se lleva a cabo un proceso de benchmarking entre sus competidores es que ellos emplean tecnologías y procesos iguales o muy similares a los propios, y las lecciones aprendidas se transfieren mutuamente, por lo general, con mucha facilidad.

Benchmarking Cooperativo

Consiste en la realización de un intercambio de información con las empresas competidoras. La técnica cooperativa siempre es más sencilla en el ámbito internacional, porque la competencia se percibe como más lejana y menos peligrosa que la nacional. En este caso, acudir a un consultor externo al que encargue un estudio en común puede dejar suspicacias, ya que aportaría información que se compartiría equitativamente entre estas empresas.

Se debe tener en cuenta que los que son competidores en el propio país, pueden ser aliados en el exterior.

Benchmarking Funcional

Al igual que el benchmarking competitivo, el benchmarking funcional se orienta hacia los productos, servicios y procesos de trabajo. Sin embargo, las organizaciones comparadas pueden o no ser competidores directos. El objeto del benchmarking funcional se aplica en general. Con frecuencia se le denomina genérico porque se dirige a funciones y procesos comunes para muchas empresas, sin importar la industria a la que pertenezcan, incluyendo la manufactura, ingeniería, recursos humanos, mercadotecnia, distribución, facturación y nómina, por mencionar a sólo unos cuantos.

Actualmente se ve este deseo de obtener descubrimientos a través de los esfuerzos de benchmarking en organizaciones que están en etapas de reingeniería. Estas empresas seleccionan a sus socios de benchmarking con base en sus enfoques innovadores hacia los procesos comerciales. Al estudiar “procesos análogos en una variedad de industria en una variedad de industrias”, confían en descubrir un abanico de ideas aplicables para llevar a cabo la reingeniería.

Benchmarking Secundario

Se recopila información de dominio público, sobre un sector de actividad, las empresas competidoras, los mercados, los clientes, proveedores, etc. El objetivo es descubrir cuál es el valor añadido de otras empresas, cuáles son los competidores, y cuales sus debilidades y fortalezas.

Además de clasificar las investigaciones de benchmarking por su sujeto, esto es, interno, competitivo, funcional, etc., es posibles clasificarlas en término de sus metas. Así, existe el “benchmarking de desempeño, el estratégico y el de procesos”. Clasificar el benchmarking de esta manera es útil porque permite que cualquier organización construya sus capacidades de benchmarking de manera gradual. Al iniciar con el benchmarking de desempeño, se requiere muy pocos recursos, se familiariza mediante una inversión mínima. Cuando sea cómodo recopilar y utilizar la información, será posible continuar con el establecimiento de sociedades con un

conjunto específico de compañías, para entender mejor los aspectos estratégicos. Finalmente, cuando se tenga la capacidad de adaptar la información del benchmarking, se iniciará un programa de capacitación de equipos para que ayuden a los grupos de trabajo a conducir sus propios estudios de benchmarking de procesos.

La metodología general para realizar un proceso de benchmarking se muestra en la figura 8.8



Figura 8.8 Metodología general de Benchmarking

CAPÍTULO IX

CONTROLAR EL PROCESO

CAPÍTULO IX

CONTROLAR EL PROCESO

En este paso se deberá monitorear y mantener en control al proceso. Es necesario desarrollar AMEF y planes de control e incluir técnicas afines como *gráficas de control*, *precontrol*, *gráfica CUSUM* y *gráfica EWMA*.

En ésta última fase se deben establecer los mecanismos para evitar errores y poder estandarizar los procesos a fin de satisfacer permanentemente las especificaciones de los clientes. Los objetivos del plan de control son asegurar los siguientes puntos:

- La eliminación de actividades que no agregan valor.
- La simplificación y reducción de tiempos de proceso.
- Creación de sistemas a prueba de errores.

Para lograr lo anterior se deberá:

- Estandarizar procesos.
- Automatizar procesos.
- Documentar, crear procedimientos en el proceso, pero sobretodo cumplirlos.
- Romper con el esquema tradicional de funciones.
- Apoyar en la tecnología de información.
- Integrar las lecciones aprendidas durante el proyecto.

En este punto culmina el ciclo de la metodología, dejando a su paso una forma de trabajar que asegure el cumplimiento de los requisitos de los clientes internos y externos, en otras palabras satisfacer todas y cada una de las especificaciones del producto, con el mínimo o cero retrabajo, desperdicio, devoluciones, etc. Para que dicha forma de trabajar se convierta en parte de la cultura de la empresa, se tendrá que demostrar día a día con resultados de óptima eficiencia y productividad.

Desde el punto de vista del personal, el equipo debe:

- Vender el proyecto mediante presentaciones y demostraciones.
- Traspasar las responsabilidades del proyecto a los que se encargan del día a día del proceso.
- Asegurarse del apoyo de la dirección para los objetivos a largo plazo del proyecto.

Puede ser difícil imaginarse a un equipo retirarse de un proyecto en el que han invertido meses y pasar a otros proyectos o volver a su trabajo habitual, pero eso es lo que hacen siempre los equipos. El éxito final del proyecto Six Sigma descansa en los que hacen el trabajo en el área en la que se enfocó el proyecto.

El Figura 9.1 muestra el Diagrama de Flujo correspondiente al procedimiento de control y mejora de procesos.

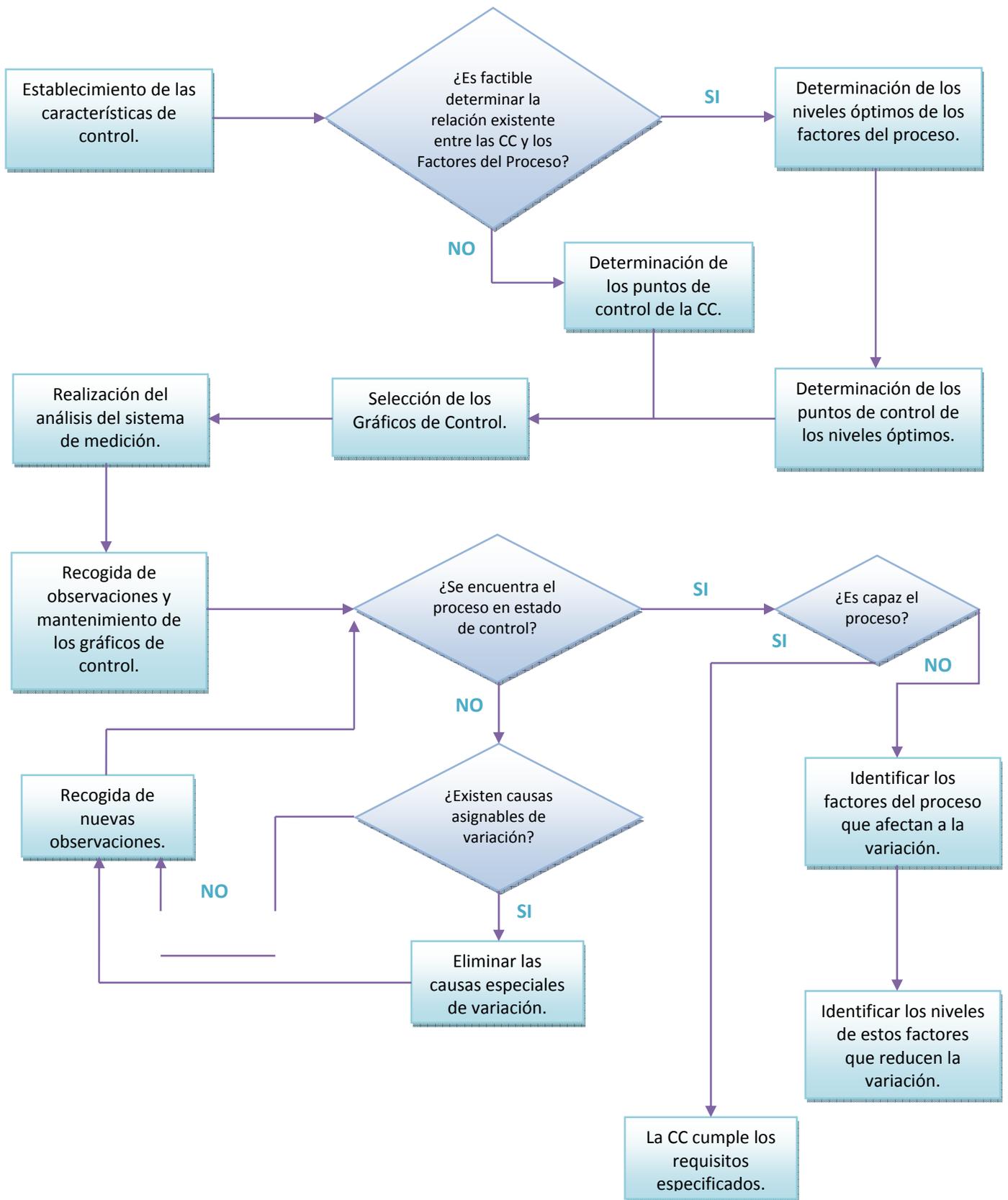


Figura 9.1 Diagrama de Flujo correspondiente al procedimiento de control y mejora de procesos.

Determinación de las características de control

Se justifica la necesidad de disminuir la variación de una característica de un producto por los costos asociados con dicha variación tanto para el fabricante como para el cliente. Esta disminución se logra mediante un programa de seguimiento, control y mejora de aquellos procesos cuyas respuestas son las citadas características. Ahora bien, este seguimiento, control y mejora tiene a su vez un costo y si éste es superior al asociado a la variación, deja de estar justificado el programa. Por ello, a partir de este momento, cuando se haga referencia al seguimiento y control de una característica se entenderá que se está hablando de una característica en la que está justificada esta actuación. A estas características, para distinguirlas del resto, se denominan Características de Control (CC).

Se entiende por CC de un producto aquellas características que tienen un mayor interés, tanto desde el punto de vista de la utilización del producto, lo que se llaman condiciones de diseño (actuaciones y tiempo de vida para el cliente externo) como del de fabricante (ajuste, alta probabilidad de ocurrencia de fallo y baja probabilidad de detección para el cliente interno).

¿Cómo se puede determinar que características se pueden considerar CC? En algunos casos, cuando un proveedor trabaja como subcontratista de otro, las CC pueden venir determinadas por el cliente, tanto con criterios de diseño (actuaciones y tiempo de vida) como de fabricación (ajuste entre el producto entregado por el subcontratista y la integración por parte del cliente) debiendo estar definidas en la documentación objeto del contrato.

Cuando se trata de determinar las CC por un fabricante o por un subcontratista que quiere establecer CC adicionales desde el punto de vista de su propia fabricación, se pueden citar los siguientes métodos de determinación de la CC de un elemento:

- El primer paso es la adquisición de datos respecto a las características de un producto determinado. Estos datos, que deben estar relacionados con criterios de fabricación (formas y ajuste) y con criterios de diseño (actuaciones y vida en servicio), se recogen de toda la documentación disponible: planos, especificaciones de diseño y de fabricación, estadísticas de rechazos tanto internos como externos, reclamaciones en garantía, utilización del producto, etc.
- A ésta información siempre hay que añadir la experiencia de aquellas personas que está relacionadas con el proceso.
- Con los datos obtenidos se utilizarán como criterio general de elección de las CC los siguientes conceptos:
 - El impacto económico de la variación
 - El efecto de la variación.

Determinación de la relación entre Características de Control y factores del proceso

El nombre de este programa es Control y Mejora de Procesos. Aunque la calidad del producto se establece en función del comportamiento de sus características, no se debe olvidar que los gráficos de control, como herramienta estadística, son mucho más eficaces cuando el

control se realiza, no sobre características del producto, sino sobre los propios factores del proceso.

Con base en la experiencia, historial de rechazos internos y externos y cualquier otra información que apoye a lo anterior, debe establecerse una relación de todos los procesos relacionados con las CC. Esta relación se establecerá en orden de prioridad, basándose en el impacto relativo que cada uno tiene en la variación de la CC.

A continuación se ejemplifica mediante la figura 9.2 la “cascada” de relaciones entre las características de control y los valores (niveles) de los factores de los procesos relacionados.

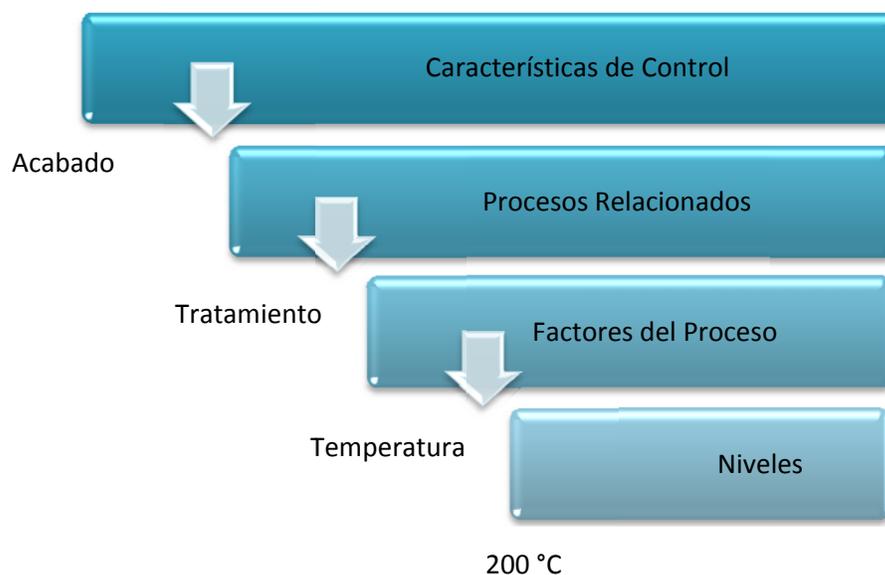


Figura 9.2 Relación entre las características de control y los valores (niveles)

De esta forma, se puede expresar que para cumplir con la característica de control *Acabado*, se tiene el proceso *Tratamiento* relacionado a esta característica, en el cuál es importante tomar en cuenta el factor *Temperatura* manteniendo el nivel en 200°C.

A la hora de establecer las relaciones existentes entre las CC y los factores de los procesos relacionados, existen básicamente dos métodos. El primero es realizar cambios razonables, documentados y controlados, en los procesos relacionados con la característica clave que se piensa que tienen una mayor contribución en la variación de la misma y tomar nuevas mediciones para analizar los resultados (método de prueba y error).

El segundo es el uso de Diseño de Experimentos, utilizado como herramienta estadística para determinar en qué grado distintos procesos afectan a las características de control. Este método identifica aquellos parámetros y sus valores (niveles) que, afectando a estas características, producen la menor variación posible.

Puesto que efectuar cambios en los procesos sin conocer las posibles interrelaciones entre ellos puede producir un enorme costo en tiempo y esfuerzo, siempre que no existan razones demostradas para lo contrario, se debe utilizar el segundo método para estudiar la relación

existente entre los parámetros de los procesos, sus valores y la variación de las características de control.

Aquellos parámetros que contribuyen a la variación de la característica de control son denominados “parámetros de control” del proceso. La relación obtenida mediante estas herramientas estadísticas debe ser confirmada a través de la comprobación en un entorno real de fabricación.

Cualquier información sobre los parámetros de control del proceso será reflejada en documentos formales tales como procedimientos, especificaciones, manuales, etc. No obstante y como criterio general, siempre que sea posible, esta información será reflejada directamente en la documentación de fabricación.

Los diagramas causa-efecto ayudan a visualizar las relaciones entre las características de control y los factores/niveles de los procesos relacionados. Como lo muestra la figura 9.3

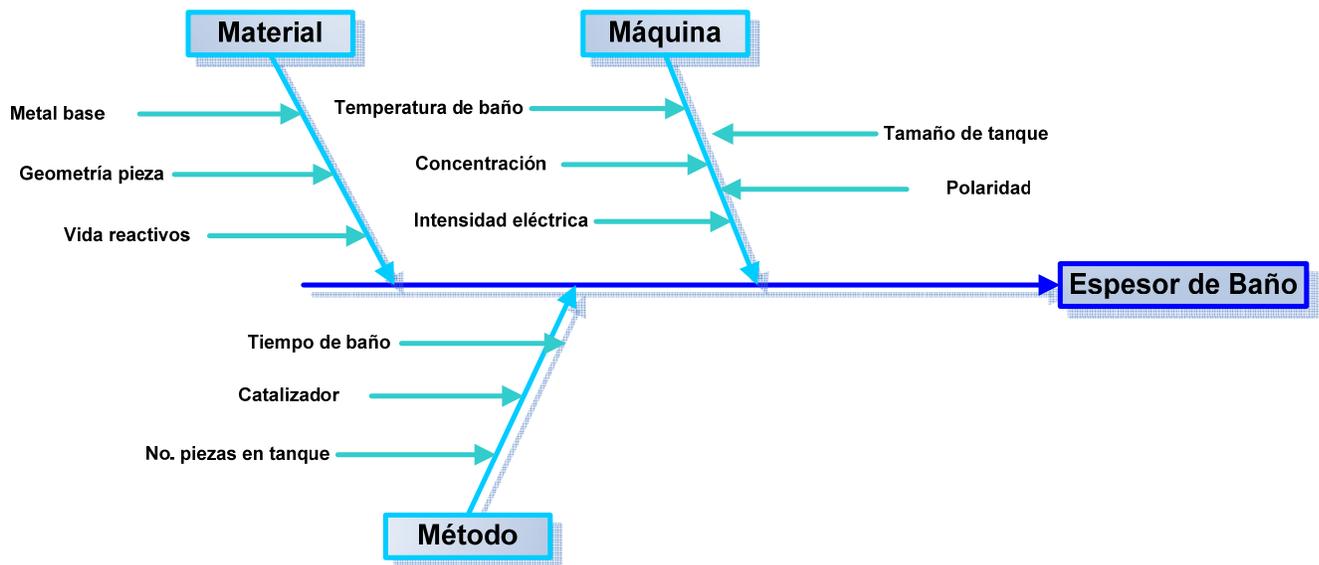


Figura 9.3 Diagrama causa-efecto

Determinación de los niveles óptimos de los factores del proceso

El objetivo final es controlar los procesos a través de la identificación de conjuntos de valores establecidos para los parámetros de control del proceso. Estos valores son aquellos que proporcionan el valor objetivo de la característica de control y / o una disminución de la variación en el resultado del proceso.

Mediante la verificación de estos parámetros de control, es posible evitar la medición de las características clave en las piezas, reduciendo drásticamente el número de gráficos de control mantenidos para piezas individuales. La determinación de los niveles óptimos de los factores del proceso puede ser responsabilidad del mismo equipo del paso anterior.

Determinación de los puntos de Control de CC / Niveles

Una vez determinadas las características consideradas CC o los factores de control y sus niveles, el siguiente paso es cuantificar la variación asociada a éstos.

En primer lugar, hay que decidir en qué momento se van a realizar las mediciones, a partir de las cuales se va a estimar la variación.

La elección es muy simple: desde el primer momento en que sea posible. Hay dos motivos fundamentales: el primero es, si existe algún problema, poder actuar desde el primer momento y el segundo es si la variación es excesiva e inutiliza la pieza, asegurar que el valor añadido a ésta y, por lo tanto, el despilfarro, sea mínimo. Además, si es posible, se elegirá un punto de inspección tal que permita la recogida de datos al operario responsable del proceso.

Es útil en esta actividad tener en cuenta la experiencia anterior de piezas y procesos similares así como la realización de diagramas de flujo de los procesos, para obtener una mejor visión del proceso.

Selección de los gráficos de control

La cuantificación de la variación de las CC o de los factores de los procesos asociados se realiza mediante la utilización de los gráficos de control. Ahora bien, dependiendo del tipo de datos (variables o atributos) del volumen de fabricación (series cortas o largas), del tipo de inspección (destrucciona o no, costosa o económica) se utilizan distintos tipos de gráficos de control. Si la elección del gráfico no es afortunada, el análisis y las conclusiones extraídas del mismo serán erróneas.

Existen fundamentalmente dos tipos de gráficos de control: gráficos de control por variables y gráficos de control por atributos. Se utilizarán los gráficos de control por variables cuando la característica a estudiar sea de tipo cuantitativo (intervalo o ratio), mientras que cuando la característica sea de tipo cualitativo (nominal u ordinal) se utilizarán los gráficos de control por atributos.

Análisis del sistema de medición

Los resultados de la medición deben recoger únicamente la variación debida a las causas comunes y especiales de variación sin que estos resultados se vean afectados por variación inducida por el propio proceso de medición. Por ello, antes de realizar las mediciones de las características de control, hay que analizar el sistema de medición.

Este análisis consiste en realizar un estudio de R&R de los instrumentos de inspección y ensayo involucrados en la medición de la CC / Nivel.

Se considera satisfactorio un sistema de medición que no consuma más de un 10% de la tolerancia especificada para la CC. Dicho porcentaje se calcula como:

$$\% \text{ de tolerancia} = \frac{\text{capacidad del instrumento}}{LTS \times LTI} (100)$$

Entendiendo por capacidad del instrumento la variación total de los valores obtenidos como resultado de múltiples mediciones de unos mismos elementos por distintos inspectores .

Recogida de observaciones y mantenimiento de los gráficos de control

Una vez seleccionado el gráfico de control y analizado y validado el sistema de medición, el siguiente paso es establecer el tamaño y la frecuencia muestral. Entendemos por tamaño muestral el número de observaciones necesarias para representar caso punto del gráfico de control.

Entendemos por frecuencia muestral los intervalos de tiempo en los que se van a recoger las observaciones.

Tanto los tamaños como la frecuencia muestral se encuentran recogidos con sus particularidades en el desarrollo de cada gráfico.

Tamaño de muestra

- a) Siempre mayores en el estudio inicial (primera evaluación de la variación del proceso), que en procesos ya conocidos.
- b) Siempre mayores el procesos marginales y / o erráticos que en procesos con un comportamiento correcto y repetitivo.
- c) Función del gráfico a utilizar:
 - Unidad en gráficos (XI, RM)
 - < 10 en gráficos (\bar{X} , R)
 - > 10 en gráficos (\bar{X} , S)
- d) En los gráficos de control por atributos, el tamaño de muestra idóneo es función de la calidad media del proceso. Por ejemplo, en un gráfico p, en el que la proporción media de unidades defectuosas es \bar{P} el tamaño de muestra n ha de ser tal que se cumpla:

$$\bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n_i}} \geq 0$$

$$\bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n_i}} \leq 1$$

En el desarrollo de cada gráfico por atributos se incidirá sobre el tamaño de muestra más adecuado. Una regla sencilla que es aplicable a todos los gráficos por atributos es que el tamaño de muestra n ha de ser tal que en todas las muestras haya al menos un defecto (gráficos c y u) o una unidad defectuosa (gráficos n y np).

Frecuencia muestral

- a) Siempre mayor en el estudio inicial (primera evaluación de la variación del proceso), que en procesos ya conocidos.
- b) Siempre mayor en procesos marginales y/o erráticos que en procesos con un comportamiento correcto y repetitivo.
- c) El intervalo ha de ser tal que nos garantice que la muestra va a ser representativa de la población que se pretende estudiar. Por una parte, intervalos muy cortos donde no ha existido oportunidad de efectuar cambios sobre el proceso no proporcionan más información y, sin embargo, sí encarecen el proceso. Si por el contrario, con una idea de economía, el intervalo es muy dilatado, lo más probable es que pasen desapercibidas las causas especiales. Como cada proceso bajo estudio tiene unas características completamente diferentes de los demás, no existen reglas fijas referentes al intervalo de toma de muestra (cada 6 horas, dos veces por turno, para cada lote de fabricación, etc.).

Para establecer el intervalo idóneo, se debe estudiar cada proceso teniendo en cuenta la experiencia con procesos similares.

Los puntos básicos a tener en cuenta son:

- No establecer tomas de muestra en periodos que la experiencia nos garantice la continuidad del proceso.
- Establecer tomas de muestra siempre que exista posibilidad de actuación de una causa especial:
 - Cambio de turno.
 - Relevo de operarios.
 - Cambio de materia prima.
 - Cambio de herramienta.
 - Parada y arranque de la instalación, etc.

La determinación de los puntos de inspección, selección de los gráficos de control, selección del tamaño y frecuencia muestral debe ser llevada a cabo por un grupo interdepartamental con personas de las siguientes áreas:

- Ingeniería de fabricación.
- Producción.
- Calidad (ingeniería y verificación).

con conocimientos del producto y de los procesos que se están analizando, informadas respecto el contenido del programa de control y mejora de procesos, así como una formación específica en herramientas de análisis y resolución de problemas: análisis de Pareto, tormenta de ideas, análisis de riesgo y diagrama causa-efecto, y herramientas estadísticas: diseño y análisis de gráficos de control.

Una vez que se ha realizado la construcción de los gráficos de control (punto de inspección, determinación, análisis y validación del sistema de medición, establecimiento del tamaño y frecuencia muestrales) estos gráficos acompañando a la documentación de fabricación

pasan al taller. Salvo que la inspección o ensayo sean tan especializados que deban ser realizados por personal técnico especializado, la responsabilidad de la cumplimentación será del operario responsable de la fabricación.

Determinación del estado de control del proceso

El estado de control estadístico de un proceso se determina directamente a partir del gráfico de control construido con los datos que ha proporcionado. Los gráficos de control disponen de límites que marcan la tolerancia natural del proceso, denominados límites de control.

Se considerará que un proceso cuya respuesta es una CC se encuentra en estado de control estadístico en un periodo de tiempo t si los puntos representados a lo largo de ese periodo se encuentran todos dentro de los límites de control.

Cuando el proceso no se encuentra en estado de control, es necesario averiguar qué es lo que ha ido mal. Las figuras 9.4 y 9.5 muestran gráficos de control, los cuales avisan dónde y cuándo han sucedido los cambios o causas especiales de variación.

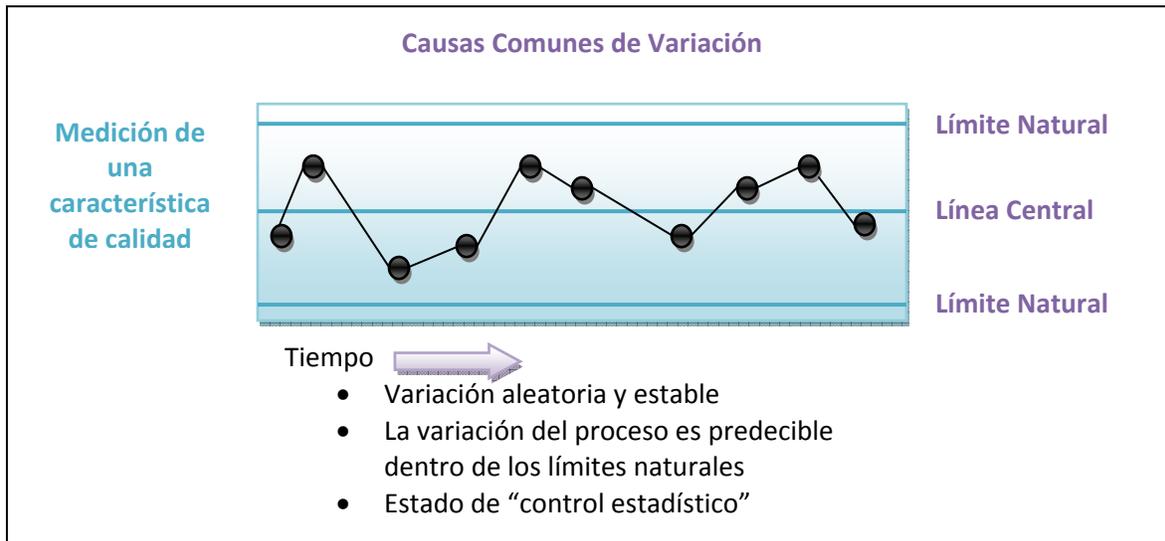


Figura 9.4 Gráfico de control de un proceso estable

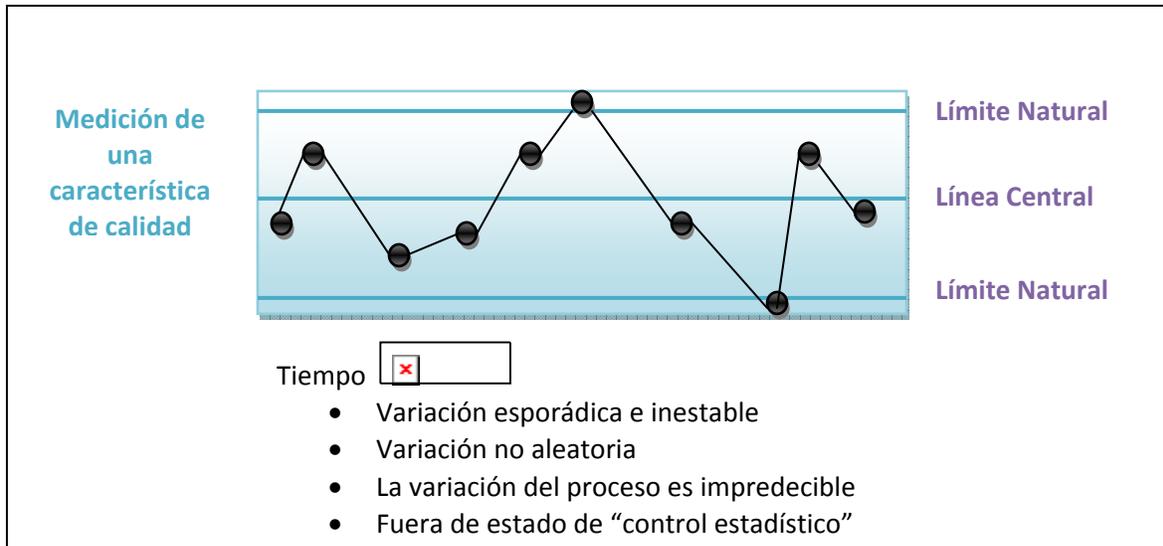


Figura 9.5 Gráfico de control de un proceso inestable

Causas asignables, su eliminación y recogida de nuevas observaciones

Si se puede asignar una razón a éstas causas especiales de variación, se denominarán causas asignables. La responsabilidad de dar la voz de alarma cuando aparece alguna señal de que el proceso tiene algún problema es de la misma persona que cumplimenta el gráfico de control.

Todas aquellas condiciones del sistema de fabricación que contribuyen a la aparición de causas asignables deben ser eliminadas. La acción correctiva consiste en eliminar la causa que ha creado la condición fuera de control. Por lo general, las razones de aparición de estas causas especiales asignables son fácilmente encontradas por la persona encargada de realizar el proceso. Es buena práctica que, independientemente de quién sea el responsable del mantenimiento de los gráficos de control, la persona responsable del proceso lleve un registro de todas aquellas observaciones de cambios en el entorno de producción, procedimientos, materiales, instalaciones, etc. La responsabilidad del establecimiento y seguimiento de las acciones correctoras puede ser un grupo constituido por las mismas personas que diseñaron los gráficos de control. Una vez que se han establecido las acciones correctoras se realiza una nueva recogida de datos para comprobar la efectividad de éstas. Si realmente han sido efectivas, el proceso se encontrará en estado de control y se podrá pasar a calcular la capacidad del proceso.

Análisis de capacidad del proceso

Cuando la CC se encuentra en estado de control estadístico, es el momento de estudiar si el proceso es capaz o no.

El estado de control de un proceso garantiza la homogeneidad de sus resultados, pero no se este resultado es aceptable.

Si la variación del proceso debida a causas comunes es superior a la tolerancia de la especificación, el proceso producirá un producto homogéneamente defectuoso.

Por lo tanto, es necesario estudiar la variación natural del proceso en comparación con la variación permitida por la especificación.

Es lo que se denomina un estudio de la capacidad del proceso. Si la variación natural del proceso es inferior a la permitida por la especificación diremos que el proceso es capaz y, por lo tanto, el producto resultado del mismo satisface los requerimientos.

Procesos en estado de control estadístico y no capaces

¿Qué sucede si el proceso no es capaz? Es decir, se encuentra un producto que tiene variación constante y predecible puesto que el proceso se encuentra en estado de control pero que esta variación es superior a la máxima permitida por la especificación.

Ahora el problema es más complicado. La solución es clara: reducir la variación debida a las causas comunes, pero la dificultad estriba en llevarla a cabo. Al contrario que la eliminación de las causas especiales de variación que suele ser simple y económica, la eliminación de la variación debida a causas comunes suele ser más costosa.

Antes de pasar a estudiar la reducción de la variación debida a causas comunes, se realiza un último esfuerzo en reducir las causas de variación especiales en aquellos procesos que, no siendo el responsable directo de la fabricación de la CC, sí están de alguna forma relacionados con ella.

Mediante una investigación de todos los subsistemas y sus procesos de transformación que aportan algo en la fabricación de la característica clave, se pueden encontrar las fuentes potenciales de variación debidas a causas comunes. La variación de estos procesos está asociada a los factores del proceso y a sus valores asignados (niveles).

En la identificación sistemática de todos los procesos, sus parámetros y los valores de los parámetros que se piensa son causas potenciales de variación de las CC, se utilizan las siguientes herramientas de análisis y resolución de problemas: tormenta de ideas, diagramas de flujo de los procesos y diagramas causa-efecto.

Una vez identificadas todas las fuentes potenciales de variación debida a causas comunes, se ordenan los procesos relacionados con las CC en orden de prioridad con base en el impacto relativo que cada uno tiene en la variación de la CC. Mediante el uso de gráficos de control, se vigilarán estos procesos identificando y eliminando las causas asignables de variación. Por lo general, la eliminación de las causas asignables de variación de todos los procesos relacionados con la CC hace que ésta pase a cumplir los requerimientos, es decir, que sea capaz. Si después de eliminar todas las causas especiales de variación de los procesos relacionados con la CC, esta sigue sin cumplir los requerimientos, sólo queda un camino para reducir la variación debida a causas comunes: utilizar el diseño de experimentos como herramienta estadística para determinar en qué grado afectan a la CC los distintos procesos, sus factores y sus niveles.

Mediante el diseño de experimentos, se identificarán aquellos parámetros y sus valores que, afectando a las CC, producen la menor variación posible. Este método se utiliza hasta que se logra la CC cumpla los requerimientos.

9.1. Control de los elementos de la producción

Los elementos de la producción son:

- Métodos
- Materiales
- Mano de obra
- Máquinas e
- Información

Dichos elementos de la producción están interactuando dentro de una planta, en forma parecida a la mostrada en la figura 9.6

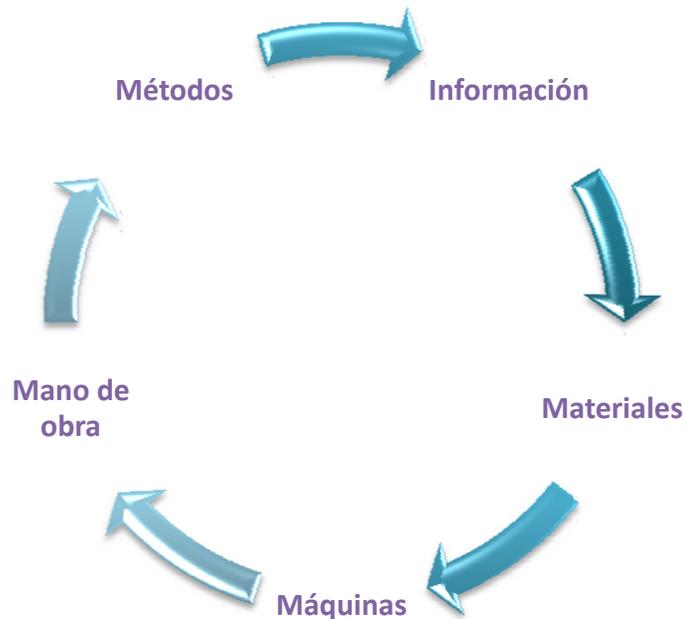


Figura 9.6 Control de los elementos de la producción

Para que el número de problemas sea reducido, al igual que un mejoramiento en el desempeño del proceso, es necesario un factor muy importante relacionado con cada uno de los elementos de la producción. Ese factor vital es el control de todos los elementos mostrados en la figura anterior. Se puede definir **control** como un grupo de acciones encaminadas a mantener una situación en un estado deseado, como se muestra en la figura 9.7.

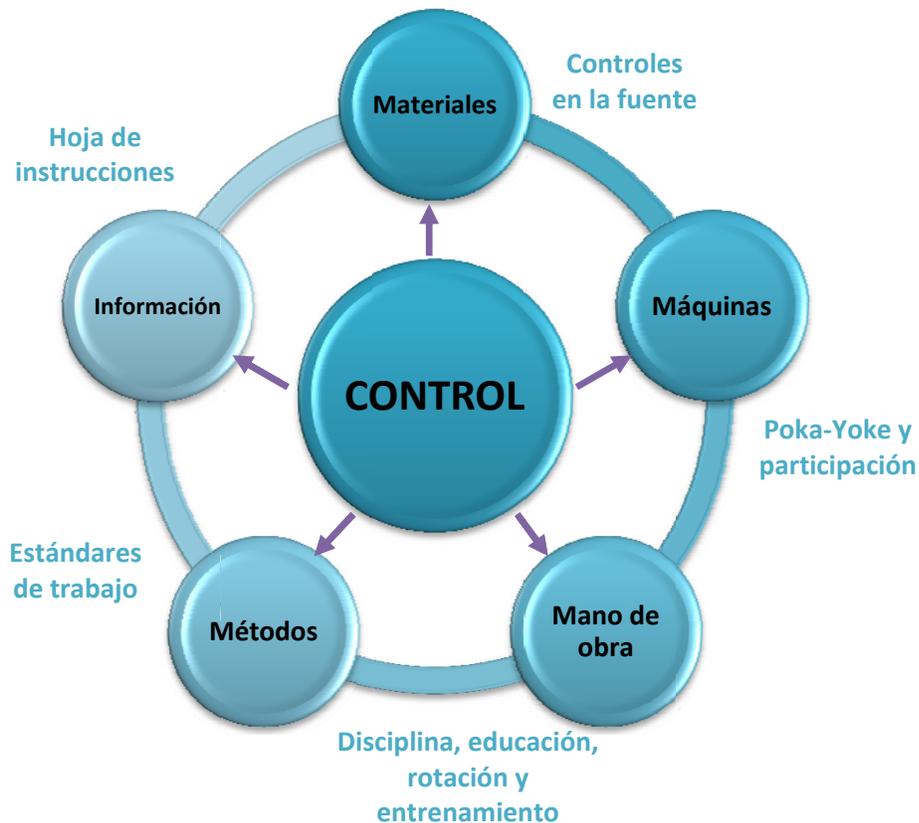


Figura 9.7 Esquema de control de un proceso

9.2. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)

Trabajar bajo el entorno de Six Sigma es mucho más que trabajo en equipo. Implica utilizar una serie de técnicas para ayudar a desarrollar y fabricar productos de calidad. Los objetivos y herramientas típicas que se usan en proyectos Six Sigma para reducir la variabilidad en los tres procesos que afectan más a la calidad de producción: diseño, producción y aprovisionamiento.

Diseño

- Diseño de experimentos
- Diseño Robusto
- AMEF.

Producción

- Herramientas básicas del control de calidad
 - Histograma
 - Diagrama de Pareto
 - Diagrama de espina de pez (Ishikawa)
- AMEF
- Control estadístico de procesos

- Diseño de experimentos.

Aprovisionamiento

- Control estadístico de los procesos de proveedores
- Diseño de experimentos en los procesos de proveedores.

Los equipos de proyectos Six Sigma usarán estas herramientas de mejora en función de la complejidad del proceso o producto. De entre éstas destaca por su utilidad el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas).

El Análisis de Modo y Efecto de Fallas 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 el 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.

Este análisis es un grupo sistemático de actividades con el propósito de:

1. Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o procesos, y los efectos de dichas fallas.
2. Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.
3. Documentar todo el proceso.

De la propia definición del AMEF se deduce que se trata de una herramienta de predicción y prevención. La aplicación de éste método se puede enmarcar en primer lugar dentro del proceso de diseño de nuevos productos, para los que se aplicará 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.

El AMEF también es aplicable a la mejora de productos ya existentes, y por otro lado, a los procesos de fabricación, pero extendiéndose a cualquier tipo de proceso, de ahí que sea realmente herramienta poderosa. En el primer caso, se habla de AMEF de diseño, mientras que en el segundo caso se trata de AMEF de proceso.

Evolución Histórica

Como predecesores del AMEF, existían algunos métodos de análisis de problemas *a priori*, de los cuales se puede 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 AMEF, propiamente dicho, se utilizó por primera vez en Estados Unidos, en la década de los 60's, en la industria aeroespacial militar, en la cual se estableció una especificación del método (norma MIL-STD-16291); ya en la siguiente década se extendió a las empresas automovilísticas, de las cuales Ford fue pionera en utilizar este método que pronto sería utilizado por el resto de la industria del automóvil.

Esta técnica es un método de análisis de fiabilidad cualitativo dirigido a identificar los modos de fallo cuyas consecuencias afectan de forma significativa al funcionamiento del producto en una aplicación determinada. Este método es muy recomendado para su uso durante las revisiones de diseño del producto y del proceso de producción que efectúa el equipo de proyecto Six Sigma.

Las características del AMEF son: minimizar la probabilidad de una falla o minimizar el efecto de la falla; se efectúa previamente a la finalización del concepto (diseño) o previamente al inicio de la producción (proceso); es un proceso interactivo sin fin, y es una manera de documentar el diseño y el proceso.

El AMEF de diseño evalúa lo que podría resultar mal con el producto durante su uso y durante su manufactura como consecuencia de debilidades del diseño.

El AMEF de proceso se enfoca en las razones de fallas potenciales durante manufactura, como resultado del incumplimiento con el diseño original, o el incumplimiento de las especificaciones de diseño.

Aunque los problemas o las fallas generalmente surgen durante la producción, realmente se originan en las fases de planeación y diseño del producto.

El uso del AMEF se enfoca en nuevos diseños, nueva tecnología o procesos nuevos, cuando se hacen modificaciones a diseños o procesos existentes, cuando se usa un diseño o proceso existente en un nuevo ambiente, o en un nuevo lugar, o una nueva aplicación. Sin embargo también se puede usar en procesos que ya están instalados y funcionando, y también como técnica de solución de problemas.

El AMEF de diseño se debe llevar a cabo antes que la liberación de los dibujos de producción. Incluye la fase de desarrollo del producto.

No se basa en los controles del proceso para corregir las deficiencias en el diseño, pero sí toma en cuenta las limitaciones técnicas y físicas de manufactura y ensamble (capacidad del proceso, limitaciones del endurecimiento del acero, etc.)

El AMEF de proceso se debe llevar a cabo antes que el herramental de producción, y debe tomar en cuenta todas las operaciones de manufactura, desde componentes individuales hasta ensambles.

No se basa en cambios en el diseño para corregir las deficiencias en el proceso, pero si lo considera para la planeación del proceso de manufactura para cumplir con las expectativas del cliente.

En figura 9.8 se muestra un diagrama AMEF y su relación con las herramientas de diseño para Six Sigma.

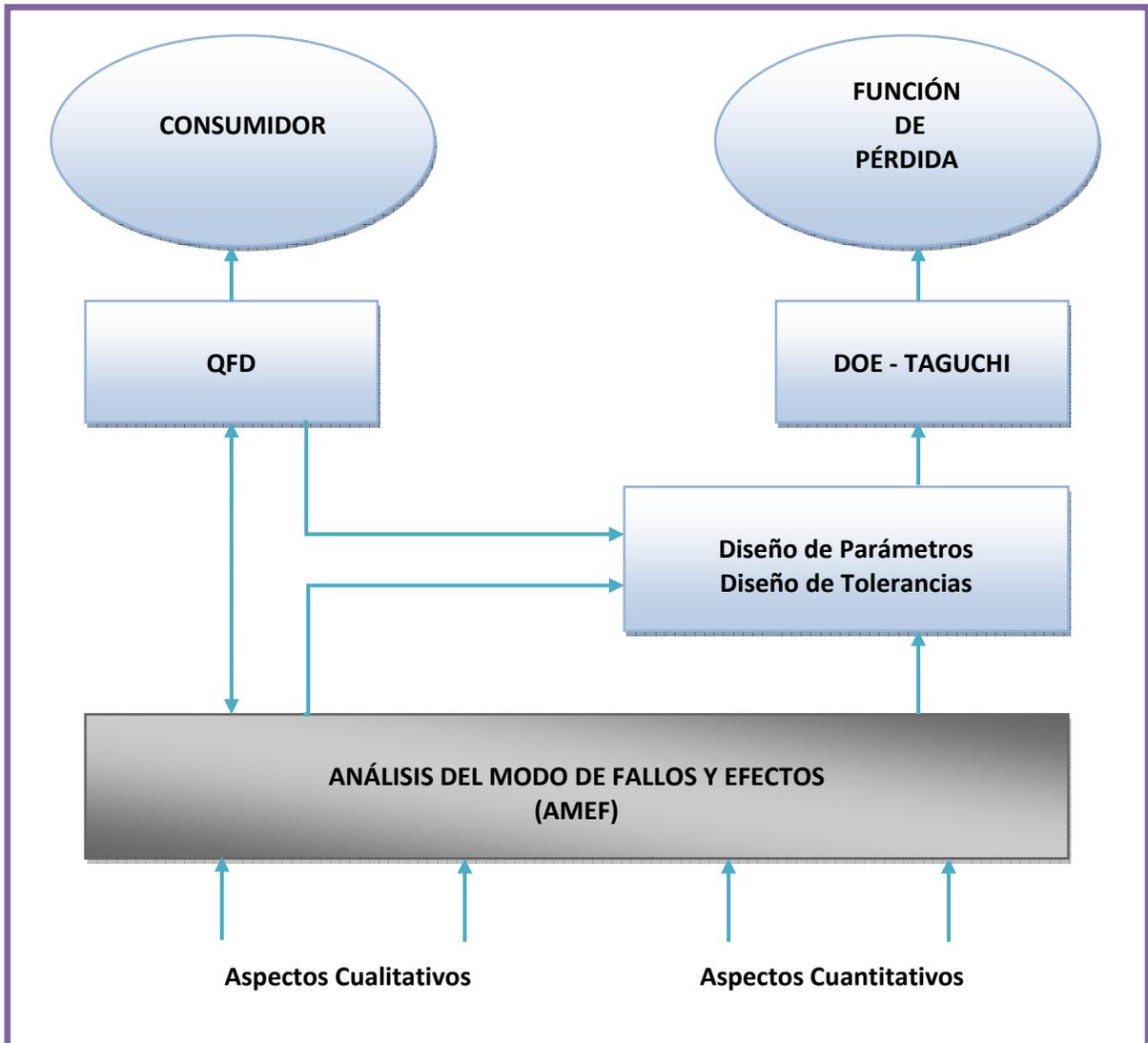


Figura 9.8 Diagrama AMEF y su relación con las herramientas de diseño para Six Sigma

Principios y Objetivos

La Metodología AMEF 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 AMEF, son necesarios la coordinación y el entendimiento de todos los departamentos afectados, es decir, se trata de un equipo multifuncional típico de los equipos de Ingeniería Concurrente. Se trata de un método sistemático, existiendo una disciplina de realización.

Como objetivos del AMEF se señalan:

- Análisis de los fallos que pueden afectar a un producto o sistema y las consecuencias de aquellos sobre los éstos.
- Identificación de los modos de fallo, así como 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 AMEF

La elaboración de un AMEF concierne a un equipo pluridisciplinar constituido por todos los departamentos involucrados en el diseño de un producto o proceso, y se habla de proceso, sin limitar únicamente al proceso de fabricación, sino siendo válido y extensible a cualquier tipo de proceso.

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

La siguiente lista muestra los pasos del AMEF (de diseño y de proceso):

1. Seleccionar al equipo y realizar lluvia de ideas (equipo formado por personal de diferentes áreas).
2. Elaborar diagrama de bloques (diseño) o diagrama de flujo (proceso).
3. Obtener datos de fallas y llenado de la forma (modos de falla).
4. Análisis de la información. Pueden ser análisis cuantitativos o cualitativos. Se puede usar lluvia de ideas, Ishikawa, DOE, simulación para obtener información sobre los efectos de las fallas y estimar la severidad, ocurrencia y detección.
5. Recomendar acciones de mejoramiento.
6. Evaluar las acciones (confirmar efectividad de las acciones y recomendar mejoras –llenar las columnas apropiadas).
7. Continuar con las mejoras (documento dinámico).

Para el inicio del AMEF de diseño es necesario:

1. Desarrollar una lista de lo que se espera que sea el diseño, y lo que no se espera que sea.
2. Elaborar un diagrama de bloques del sistema, subsistema y/o componente a ser analizado (estos diagramas deberían acompañar al AMEF).

Para el inicio del AMEF de proceso se requiere:

1. Desarrollar una lista de lo que se espera que sea el proceso, y lo que no se espera que sea.
2. Elaborar un diagrama de flujo del proceso, que incluya las características del producto y del proceso asociadas en cada operación. Dicho diagrama debería acompañar al AMEF.

En la figura 9.9 se presenta esquemáticamente las etapas de la elaboración de un AMEF partiendo del equipo de trabajo pluridisciplinar al que se ha hecho referencia.

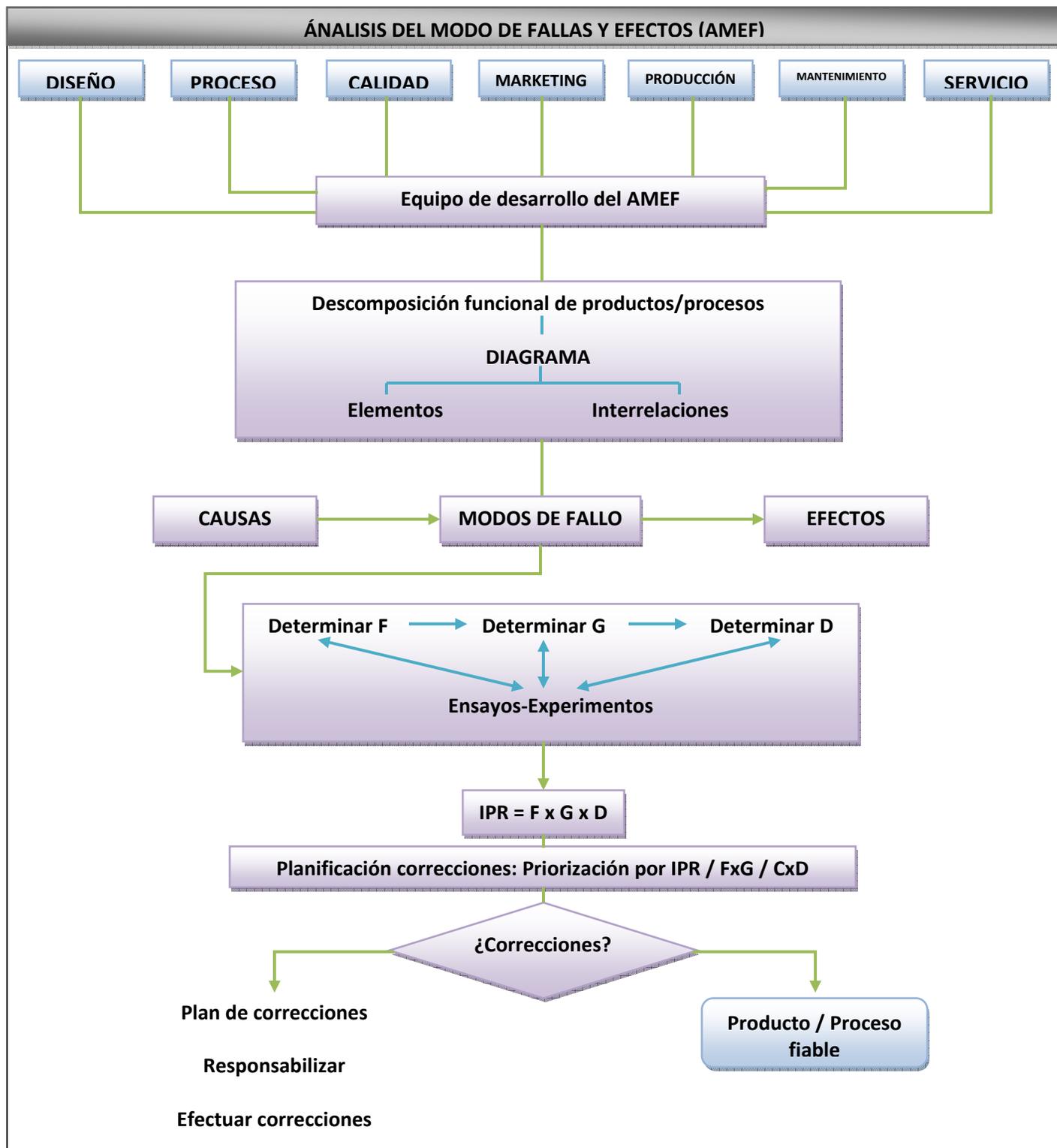


Figura 9.9 Esquema de la elaboración de un AMEF

Modos de fallo, efectos y causa

Por lo que hace referencia a los **modos de fallo**, elementos fundamentales del estudio, se definirán 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, pero no necesariamente, de ahí que exista la posibilidad de que el cliente no lo detecte, pero se debe considerar como tal.

Una función puede conllevar varios modos de fallo. Éstos se expresan en términos físicos: fatiga, vibraciones, corrosión, bloqueo, pandeo, desalineación, circuitos con fugas, etc.

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

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.

Otros elementos de gran importancia en el AMEF son los **efectos** de fallo. Éstos han tenido lugar precisamente como consecuencia de los fallos, cuando éstos se han dado; por otra parte, 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 del producto.

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

- Sin consecuencias
- Ligeras molestias
- Descontento
- Gran descontento
- Problema de seguridad.

Los efectos, además, debe ser evaluados globalmente, es decir, aparte de la importancia del efecto por sí misma, hemos de 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 los cinco sentidos o por instrumentos de medición y comprobación.

Otros elementos, que junto a modos de fallo y efectos son determinantes son las **causas** de los fallos.

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

Las causas de fallos se pueden definir como las maneras que el modo de fallos puede ocurrir. Se deben relacionar todas las causas potenciales atribuibles a cada modo de fallos. Estas causas deben ser descritas lo más concisamente posible y en términos claros de forma que permitan llevar a cabo acciones correctivas que vayan dirigidas a esas causas concretas. Por tanto, se debe evitar cualquier ambigüedad en su descripción. Vibraciones, calor, dimensiones excesivas

o cortas, excentricidad, fragilidad, falta de lubricación, 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. Cuando el número de causas es elevado, se hace difícil hallar esa relación de dependencia, entonces es recomendable apoyarse en herramientas estadísticas, de las cuales el DOE o métodos de Taguchi serían las más apropiadas para los objetivos.

Por otra parte, en todo proceso, sistema o pieza, existirán distintos modos de fallo, producido por diversas y variadas causas, y con diferentes efectos asociados.

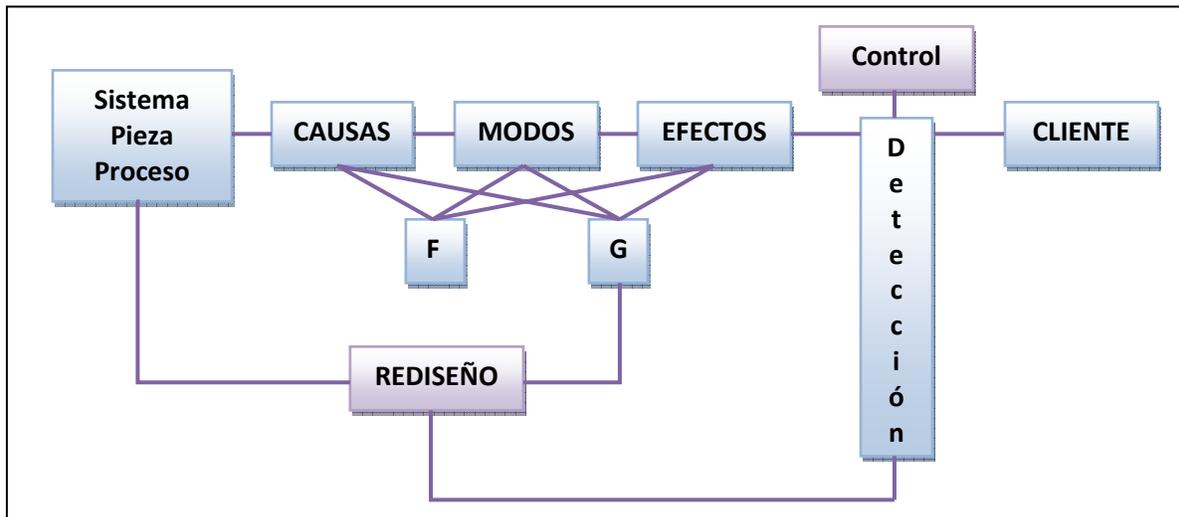
Controles necesarios

En este punto del documento se describirán los controles previstos para evitar que se produzcan los fallos, es decir, los modos de fallos, y en todo caso detectar lo que ocurran.

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 en práctica en sistemas análogos. Cualquier 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 éste 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 del área responsable del proyecto.

En la figura 9.11 se muestran los elementos que intervienen en un AMEF y sus relaciones y repercusiones en 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 se denominará índice de prioridad de riesgo (IPR). Al exponer el esquema de las etapas de la elaboración del AMEF se ha anticipado ya el cálculo del IPR a partir de estos tres coeficientes (F, G y D).

Coeficiente de Frecuencia (F)

Se define como coeficiente de frecuencia la probabilidad de ocurrencia de un modo de fallo, valorándose 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 ésta dé lugar al modo de fallo, y puesto que ambas cosas son necesarias, el coeficiente de frecuencia será el producto de ambas probabilidades.

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_a). 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.

Deberá evaluarse luego la probabilidad, que una vez ocurrida la causa de fallo, como consecuencia de ésta se produzca el modo de fallo asociado a ella ($P_{a/b}$). Para el cálculo de esta probabilidad se debe suponer que tanto la causa y 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 (P_m) vendrá dada por el producto de ambas probabilidades:

$$P_m = P_a \times P_{a/b}$$

La tabla 9.12 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:

Coeficiente de Frecuencia (F)	Probabilidad $P_m = P_a \times P_{a/b}$
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 < 1/1000
5	1/1000 a < 3/1000
6	3/1000 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 9.12 Coeficiente de frecuencia

En la práctica, a veces, el cálculo de estas probabilidades es difícil, debido a que en ocasiones puede resultar difícil 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 acotará la probabilidad por su valor subjetivo más alto, debiéndose anotar en el documento AMEF que la estimación efectuada es subjetiva, y en posteriores seguimientos ir ajustando este valor estimado.

La acción de mejora que puede llevarse a cabo en el AMEF, con respecto al coeficiente de frecuencia, es reducir su valor, para lo que se pueden llevar a cabo dos acciones: a) Cambiar el diseño, de modo que se reduzca la probabilidad de aparición de fallo, y b) Incrementar o mejorar los sistemas de control para impedir que se produzca el fallo.

Coeficiente de gravedad (G)

El coeficiente de gravedad es una valoración de la afectación ocasionada 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 9.13, atendiendo a: a) la insatisfacción del cliente; b) la degradación de las prestaciones, y c) el costo y el tiempo de la reparación del perjuicio ocasionado.

Hay varias alternativas para minimizar este índice:

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

G	Fallo	Percepción del Cliente
1	Menor	Sin consecuencias
2	Sin degradación de las prestaciones	Ligeras molestias
3		
4	Con señal anticipada	Indispone
5		
6	Degradación notable de las prestaciones	Descontento manifiesto
7		
8	Con señal anticipada	Gran descontento y/o gastos de reparación
9	Avería manifiesta	Gran descontento y/o gastos de reparación
10	Sin señal anticipada	Problema de seguridad

Tabla 9.13 Coeficiente de gravedad (G)

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, como puede apreciarse en la tabla 9.14. 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.

Del mismo modo se define la detección como 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:

- a) Se puede añadir o mejorar los sistemas de control de calidad, y
- b) Modificación del diseño.

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 9.14 Coeficiente de Detección (D)

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

El índice IPR se obtiene del producto de los tres que se acaban 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 tengan 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, calculando el producto de la frecuencia, la gravedad y el índice de no detección para todas las causas de fallo.

$$IPR = F \times G \times D$$

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 los histogramas.

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 (\bar{V}).

Análisis y mejora de diseños con el AMEF

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 siguiente orden que se muestra:

- a) Mejora o cambio en el diseño del componente o sistema.
- b) Mejora o cambio en el proceso, y
- c) Incremento en el control y por tanto mejorar la detección.

Ello es así porque la tendencia actual es introducir la calidad en las etapas iniciales de diseño, ya que ello redundaría en mejores resultados a menor costo, 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 costo 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 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, en la columna correspondiente se incluirá un símbolo indicativo (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 de fallo. Para ello el análisis preventivo es el más apropiado, y la previsión siempre parte de un rediseño, haciéndolo más robusto.
3. Reducir la gravedad de fallo. Será primordial reducir o eliminar todas aquellas causas de fallo cuya gravedad sea alta, para ello 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 no 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 cálculos nuevos para actualizar el IPR.

Asimismo, existirán nuevas acciones correctoras sobre las últimas aplicadas, y de nuevo se calculará el IPR, pues el AMEF es 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 figuren la acción, el departamento y el responsable de tales acciones.

Se deberán 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 los plazos previstos. Además de controlar que las acciones recomendadas sean implantadas correctamente.

El responsable debe llevar a cabo las acciones correctivas, de la selección del personal que las realizará y de que son 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 AMEF es un documento vivo que debe ir actualizándose conforme se vayan realizando cambios de diseño, acciones correctivas, revisiones, etc.

9.3. Plan de Control

El plan de control es una continuación del AMEF en donde se registra información de control importante principalmente para las características críticas señaladas en el AMEF, como se muestra en la figura 9.15.

Concepto de autocontrol

De acuerdo con Juran y Gryna, para estar en estado de autocontrol, la persona se le debe proveer:

- a) Información sobre lo que debe hacer,
- b) Información sobre su desempeño, y
- c) Medios para regular su desempeño (autoridad y habilidad).

Concepto de dominancia

También de acuerdo con Jurán y Gryna, el concepto de dominancia se manifiesta en el o los factores que son determinantes para el buen funcionamiento de un proceso. Existen varios tipos de dependencia o dominancia:

1. Mano de obra. El sistema es sensible al conocimiento y habilidades del operario. Sus formas recomendadas de control son las gráficas de control p y c, hojas de verificación, Poka-Yoke y auditorías de proceso.
2. Materiales. El sistema es sensible a los materiales/componentes (formulación, almacenamiento, variación). Sus formas de control son las gráficas de control, reportes de laboratorio, Poka-Yoke e inspección.
3. Máquinas. El sistema es sensible a los parámetros de operación de las máquinas, vida y/o reparación de herramientas, variación entre posiciones, aditamentos de sujeción. Su control se basa en autoajustes de parámetros, y gráfica de medias y rangos. Para el

caso de aditamentos, su control son los procedimientos de carga, ajustes y mantenimiento y muestreo. En el caso de sus herramientas, es necesario verificar la primera pieza, control de lotes y Poka-Yoke.

4. Métodos. El sistema es sensible al ajuste inicial (set up), al mantenimiento preventivo de los equipos (limpieza, reparación, reemplazo), y a los sistemas de medición. Su control se ejerce por medio de un set up adecuado, verificar la primera pieza y control de lotes. En cuanto a mantenimiento, es necesaria una correcta programación, y dispositivos de aviso.
5. Medio. El sistema es sensible a los efectos del medio, como temperatura, humedad, polvo, vibración. Su control se debe realizar por medio de revisiones periódicas y primera pieza.

Formato del plan de control

Compañía / Planta	Fecha inicio	Departamento	Preparado por	Hoja
				/
	Última rev.	Proceso	Aprobado por	No. Documento

Parámetro	Crítico	Medición		
		Especificación	Instrumento	Responsable

Medición				Método de control	Plan de reacción
Lugar	Registro	Frecuencia	Muestra		

Figura 9.15 Formato de un plan de control

Un plan de reacción es un procedimiento que indica las actividades por realizar en caso de que exista alguna anomalía en el funcionamiento del proceso.

9.4. Precontrol

El precontrol es una técnica estadística que indica el desempeño de un proceso con respecto a sus especificaciones. El objetivo es controlar la capacidad del proceso para producir dentro de especificaciones y prevenir defectos.

Requisitos del precontrol

1. Cualquier proceso en donde se pueda pedir y modificar la característica de calidad de interés.
2. Procesos o continuos o discretos (piezas).
3. Que la producción total sea de tres o más piezas.
4. No es necesario que la distribución de la característica de calidad sea normal, ni que el proceso esté control estadístico.
5. No existe suposición alguna ni requisitos adicionales.

Ventajas del precontrol

1. Se puede usar en corridas cortas o largas.
2. No es necesario graficar el precontrol. Se puede llevar la gráfica cuando sea necesario demostrar el seguimiento en alguna corrida.
3. Trabaja con especificaciones en lugar de límites de control.
4. Señala el tiempo de ajuste del proceso o de un cambio de herramienta.

9.5. Gráfica CUSUM

La Gráfica de Sumas Acumuladas (CUSUM) de medias es usada para detectar cambios pequeños o medianos en la media del proceso, de una manera más rápida que los gráficos de control de Shewhart.

Uso de los gráficos de Shewhart

1. Para detectar cambios de magnitud 2σ o mayores.
2. Se requiere simplicidad.
3. Los costos de muestreo son bajos.

Uso de la gráfica CUSUM

1. Cuando se tiene la necesidad de una respuesta rápida (de dos a cuatro veces más rápido que una gráfica Shewhart) ante cambios pequeños, en el rango de 0.5σ a 2σ . Sin embargo puede ser lenta para detectar cambios grandes. Se recomienda si:
2. Los costos de muestreo son altos y hay que reducirlos, y cuando se necesita saber cuándo ocurrió el cambio en el proceso.
 - a. Se tienen largas corridas de producción.
 - b. La varianza del proceso es estable.
 - c. El proceso puede ajustarse para trabajar en un valor objetivo específico.

CUSUM Tubular

La CUSUM tubular es el procedimiento más sencillo de usar con respecto a otros enfoques. Es necesario calcular:

$$C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_i^+ - 1]$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_i^- - 1]$$

$$C_0^+ = C_0^- = 0$$

C_i^+ y C_i^- son desviaciones del objetivo
 μ_0 = valor objetivo

$$K = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} = \frac{\delta\sigma}{2}$$

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ es el cambio (fuera de control) que desea detectar.

9.6. Gráfica EWMA (Exponentially Weighted Moving Average)

La Gráfica EWMA tiene una función similar a la de la gráfica CUSUM, pues también es usada para detectar cambios pequeños en la media del proceso. Es más fácil de operar que la CUSUM, y se usa típicamente con tamaños de muestra $n=1$. Su ventaja es que se puede usar en modelación de series de tiempo y para pronosticar, y es insensible a la suposición de normalidad.

Se puede combinar con las gráficas de Shewhart para detectar tanto cambios grandes como pequeños.

Diseño de la gráfica EWMA

Las cantidades que se grafican son las Z_i 's, donde $Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}$, siendo $Z_0 = \mu_0$.

λ es la ponderación de las observaciones. Es una constante entre 0 y 1. Un rango más frecuente es entre 0.05 y 0.25. Los valores más populares son 0.05, 0.10 y 0.20. Una regla práctica es usar valores pequeños de λ para detectar cambios más pequeños.

Si el tamaño de muestra es $n > 1$, usar el promedio de cada subgrupo en lugar de x_i , y $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ en lugar de σ .

Los límites de control son:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}$$

Los cuales, para i grande, se estabilizan en:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}}$$

L es una constante que tiene que ver con el ancho de los límites. Un valor muy común es $L=3$, aunque para valores de λ menores o iguales a 0.1 conviene usar L en el rango de 2.6 a 2.8, siendo 2.7 un valor aceptable.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó en forma práctica los pasos y las técnicas principales, no sólo estadísticas, sino también organizacionales, para conocer, entender y poder aplicar la metodología Six Sigma en una organización.

De acuerdo con la investigación realizada, se identificó un gran número de escritos referentes a la metodología Six Sigma; sin embargo, no se encontró alguno que convergiera en ambas vertientes de aplicación (estadística y organizacional) para su implementación en una empresa; dado lo anterior, el presente trabajo integró tanto las técnicas y herramientas estadísticas, como aquellas que son aplicables al área de negocio, así como a su organización.

Consideramos que es de suma importancia tener una metodología con estas características, ya que, dentro de una organización, los esfuerzos realizados por convertirse en una empresa Six Sigma, si bien es cierto, nacen dentro de los niveles de mando altos, la implementación tangible de las herramientas y los procedimientos se realiza en todos los niveles de la empresa, y principalmente el área operativa será aquella que arroje los resultados deseados para poder llegar a ser una empresa de calidad Six Sigma.

Como Ingenieros Industriales, el estudio de una metodología de calidad como ésta, nos permitió identificar las amplias áreas de oportunidad que existen para la implementación del modelo de calidad Six Sigma en las empresas, ya que actualmente, sólo un pequeño número de organizaciones trabajan bajo los principios de calidad Six Sigma, lo que nos permitió darnos cuenta que si bien, existe información referente al tema, no está difundido adecuadamente dentro de las empresas en nuestro país.

Internamente, dentro de la propia Universidad, y más específicamente en la Facultad de Ingeniería, sólo existe una materia donde se imparte este tema de forma general, lo cual influye en la difusión de la metodología en el ramo industrial y de servicios.

Existen algunas formas de especialización Six Sigma, como son mediante cursos o diplomados de formación de Green Belts o Black Belts, mediante lo cual el profesionista posee las armas para poder trabajar bajo este esquema de calidad y contribuir a la competitividad de la empresa de una forma significativa.

Como consecuencia del estudio e investigación de forma integral de la metodología Six Sigma, podemos concluir que a pesar de que los esfuerzos por trabajar bajo un esquema de calidad Six Sigma son muchos, los beneficios son aún mayores cuando los resultados de operación de la empresa se ven reflejados en la satisfacción tanto de clientes internos como externos, lo cual convierte a la empresa en una organización competitiva, de alto nivel y sobre todo, de calidad mundial. Algunos de los principales beneficios son los siguientes:

- Reduce costos a través de la eliminación de errores internos.
- Reduce el tiempo de proceso.
- Incrementa la productividad de la empresa.
- Mejora la calidad en el proceso de desarrollo de nuevos productos.
- Mejora la calidad en el proceso de lanzamiento de nuevos productos.

- Mejora el nivel de resultados de los procesos de soporte.

La metodología Six Sigma como conclusión es, un conjunto de herramientas que aplicadas correctamente, permiten a una empresa convertirse en una organización oferente de productos con un nivel de calidad mundial; no es una iniciativa sencilla o fácil de aplicar, pero si una vía para el logro de posicionamiento en el mercado con una alta ventaja competitiva; así como la certeza de saber que todo lo que esa organización produce (ya sean productos o servicios) cumplirán más allá de las expectativas del cliente.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Escalante Vázquez, Edgardo J. Seis-Sigma Metodología y Técnicas, LIMUSA, México, 2008.

Lamprecht, James A. El Six Sigma Desmistificado. Como implantar un sistema Six Sigma sin invertir una fortuna, PANORAMA, México, 2004.

Miranda Rivera, Luis Néstor. Seis Sigma. Guía para principiantes, PANORAMA, México, 2006.

Besterfield, Dale H. Control de Calidad. Cuarta Edición, Prentice Hall, México, 1995.

Gutiérrez Pulido, Humberto., De la Vara Salazar, Román. Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma, McGraw Hill, México, 2009.

Gómez Fraile, Fermín., Vilar Barrio, José Francisco., Tejero Monzón, Miguel., Seis Sigma, FC EDITORIAL, España, 2003.

Lowenthal, Jeffrey N. Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma, FC EDITORIAL, España, 2002.

Pande, Peter S., Neuman, Robert P., Cavanagh, Roland R. Las Claves de Seis SIGMA, McGraw Hill, México, 2002.

Miranda Jiménez, Adanelli., Álvarez Rosales, Ernesto., Pineda Fierro, Julieta., Juárez Zepeda, Rafael., Dávila López López, Raymundo, Desarrollo de una metodología para la certificación de pequeñas y medianas empresas (manufactura y servicios), Facultad de Ingeniería, UNAM, 2004.

Palom Izquierdo, Francisco Javier., Círculos de Calidad. Teoría y Práctica, Marcombo Ediciones Técnicas, México, 1987.

Galgano, Alberto., Los 7 Instrumentos de la Calidad Total, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 1995.

Vilar Barrio, José Francisco., Las 7 Nuevas Herramientas para la mejora de la Calidad., Fundación CONFEMETAL Editorial, España 1997.

Pande, Peter S., Neuman, Robert P., Cavanagh, Roland R., The SIX SIGMA WAY. How GE, Motorola, and other top companies are HONING THEIR PERFORMANCE, McGraw Hill, USA, 2000.

Nava Carbellido, Victor Manuel., ¿Qué es la calidad? Conceptos, gurús y modelos fundamentales, Limusa, México, 2006.

Barba, Enric., Boix, Francesc., Cuatrecasas, Lluís., Seis Sigma. Una iniciativa de calidad total, Gestión 2000, Barcelona, 2000.

Pande, Peter S., Holpp, Larry., ¿Qué es Seis Sigma?, McGraw Hill, España, 2002.

MESOGRAFÍA

MESOGRAFÍA

<http://www.mercadeo.com/archivos/six-sigma.pdf>

<http://www.isixsigma.com/>

<http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/circulo-calidad.htm>

<http://www.ejournal.unam.mx/rca/201/RCA20103.pdf>