



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SEIS SIGMA COMO SISTEMA DE CALIDAD

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

RODRIGO ALONSO CARRILLO RODRIGUEZ



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA



MEXICO, D. F.

2005

m346889



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

Jurado asignado:

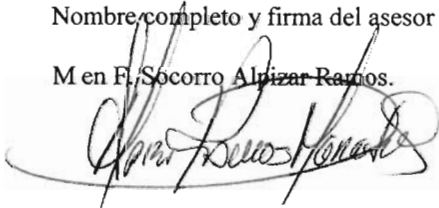
Presidente	Prof. Eduardo Rojo y de Regil
Vocal	Prof. León C. Coronado Mendoza
Secretario	Prof. María del Socorro Alpizar Ramos
1er. Suplente	Prof. José de Jesús Alvarado Pérez
2º. Suplente	Prof. Raúl Lugo Villegas

Sitio en donde se desarrolló el tema:

México, D.F.

Nombre completo y firma del asesor del tema

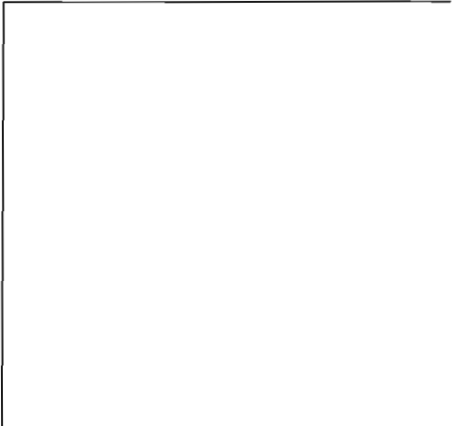
María del Socorro Alpizar Ramos.



Nombre completo y firma del sustentante

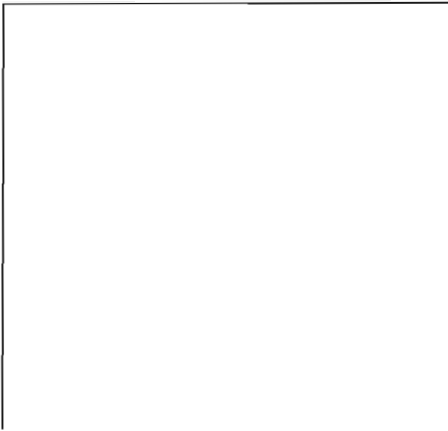
Rodrigo Alonso Carrillo Rodríguez





*Esta es solo parte de una historia  
que no hubiese sido  
posible escribir sin ustedes..*

*...gracias mama, papa.*



“sueña, trabaja y espera”

*Richard Bell*

---

# INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO .....	5
<b>I. SISTEMAS DE CALIDAD</b>	
EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALIDAD.....	6
FILOSOFÍAS PRECURSORAS DE LA CALIDAD.....	12
DR. W. EDWARDS DEMING.....	12
DR. JOSEPH M. JURAN.....	18
KAOURU ISHIKAWA .....	21
PHILIP B. CROSBY.....	25
ARMAND FINGENBAUM.....	27
SHIGEO SHINGO.....	27
GENICHI TAGUCHI.....	29
HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA CLASIFICAR LA INFORMACIÓN.....	30
HISTOGRAMA.....	30
DIAGRAMA DE PARETTO.....	33
DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO.....	36
DIAGRAMA DE FLUJO.....	39
DIAGRAMA DE DISPERSIÓN.....	41
CUADROS DE CONTROL.....	42
GRÁFICOS DE TENDENCIAS.....	49

## **II. GENERALIDADES**

GENERALIDADES DE SEIS SIGMA.....	51
ORÍGENES DE SEIS SIGMA.....	54
CONCEPTOS ESTADÍSTICOS.....	61
ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD.....	62
LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	67
MEDICIÓN DE LA VARIABILIDAD.....	75

## **III. MODELO DMAIC**

DEFINIR.....	80
PLAN DE TRABAJO Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	83
CRITERIOS DE UN PROYECTO.....	85
MATRIZ DE PROYECTO.....	85
ANÁLISIS DE BENEFICIO DEL PROYECTO.....	87
MAPA DEL PROCESO SIPOC.....	89
CUELLOS DE BOTELLA.....	98
VOZ DEL CLIENTE.....	99
CTQ'S.....	107
RESUMEN.....	111
MEDIR.....	113
IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	112
ESTRATEGIA DE MUESTREO.....	118
VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	121
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS.....	130
DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL PROCESO.....	133
ANALIZAR.....	139

DESARROLLAR UN ENUNCIADO ENFOCADO AL PROYECTO.....	136
IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS MEDIANTE ANÁLISIS	
DE PROCESOS Y DATOS.....	136
PRUEBA DE HIPÓTESIS Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	137
DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE).....	141
FINALIZACIÓN.....	142
IMPLEMENTAR.....	143
GENERACIÓN DE IDEAS CREATIVAS DE SOLUCIÓN.....	143
TRABAJO DE IDEAS GENERADAS.....	143
SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	143
PRUEBA EXPERIMENTAL.....	144
EVALUACIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL.....	145
IMPLEMENTACIÓN A GRAN ESCALA.....	145
DESARROLLO DE UN PLAN DE COMUNICACIÓN.....	145
CONTROLAR.....	147
ESTANDARIZACIÓN.....	147
DIAGRAMA DE PROCESO.....	149
DIAGRAMA DE CONTROL.....	149
REPRESENTACIÓN GRÁFICA ANTES Y	
DESPUÉS DE LOS DATOS.....	149
CIERRE ... ..	149
LISTA DE COMPROBACIÓN PARA EL CIERRE.....	150
<b>REFLEXIONES FINALES .....</b>	<b>151</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>154</b>



## INTRODUCCIÓN

Ante el nuevo escenario internacional, las industrias de clase mundial están replanteando su Filosofía de Operaciones en el sentido de hacerla más productiva, con altos estándares de calidad, buscando también la optimización de sus recursos, tratando de lograr la máxima rentabilidad para los accionistas, cumpliendo con la normatividad y sobretodo satisfaciendo las necesidades de los clientes.<sup>1</sup>

La innovación farmacéutica se encuentra a la vanguardia en los países industrializados. Esta innovación es producto de una fuerte industria química básica, programas de investigación muy costosos para desarrollar nuevos fármacos y una red universitaria extensa y de calidad que proporciona de manera constante investigadores y técnicos bien capacitados, así como de un sector tecnológico avanzado, que suministra los equipos y sistemas necesarios, un aparato regulador estatal activo, actualizado y capaz, que asegura la calidad, seguridad y eficacia de los productos farmacéuticos que se fabriquen.

La salud de la población es altamente dependiente de este sector, que se compone por un grupo constituido por pocas empresas, cuyas ventas de capital mayoritario en México es extranjero; representan alrededor del 70% del mercado farmacéutico total. El 30% restante pertenece a aquellas cuyo capital mayoritario es nacional. En el mercado privado, las empresas extranjeras suministran el 80% del total y representan el 35% de las adquisiciones gubernamentales.

Con la firma de tratados bilaterales de México ha adquirido compromisos: por una parte, tiene accesos a mercados muy importantes; por otra parte, abre las posibilidades de que al mercado mexicano llegue mayor diversidad de productos provenientes de otros países, lo que obliga nuestro país a mantener constantemente la calidad de los productos farmacéuticos que se producen, de tal manera que tales productos puedan ser objeto de compra por otros países. Como en cualquier compra, se busca rentabilidad en la adquisición, pero en el caso de los medicamentos este

---

<sup>1</sup> HERRERA ARENAS, Carlos, "Como mejorar la eficacia y la productividad de las empresas farmacéuticas", *Informacéutico*, México, Vol. 11, No. 3, julio 2004, pp. 12-16.

concepto va más allá, ya que se trata de productos que van dirigidos a un grupo muy amplio de la población, es decir, va de por medio la salud de una nación.

Hoy en día, la apertura de la economía mexicana ha causado una creciente competencia tanto para las empresas farmacéuticas nacionales como para las internacionales. Por esto, la calidad de un medicamento debe ser cuidada por la autoridad sanitaria del país al que llega el medicamento. Es muy importante tener la infraestructura para que la autoridad sanitaria pueda vigilar la calidad de cualquier medicamento que entre al territorio y, para que esto se lleve a cabo, es necesario cumplir con los requerimientos sanitarios y comerciales que establezcan los países donde el producto será introducido<sup>2</sup>.

En esta etapa de cambio 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 fracaso.

Cuando se habla de calidad en una empresa, se refiere al mejoramiento continuo de los procesos, productos y servicios que ofrece. Para ello es importante desarrollar proyectos que lleven una metodología clara y que funcione. En la actualidad el concepto de calidad no está muy claro ya que muchas empresas corrigen sus problemas basándose en la intuición y experiencia del operador sin hacer un análisis de lo ocurrido o si es mejor la solución, es decir se corrige en el momento y no se prevé que puedan volver a ocurrir.

La calidad es cuantificable y debe de cuantificarse. Para medir la calidad hay que expresar la calidad en cifras y actuar en función de los valores medidos, estos dos principios tan simples dan lugar a una metodología de mejora continua de la calidad. Esto es cierto para la fabricación de productos, para la prestación de servicios y para el diseño de nuevos productos.

---

<sup>2</sup> PLASCENCIA, Maricela, "El papel de la industria farmacéutica en el nuevo contexto internacional", *Informacéutico*, México, Vol. 8, No. 6, enero 2002, pp. 8-9.

Los enfoques para lograr la calidad varían pero los objetivos son los mismos. Para la mayoría de las empresas preocupadas por esta cuestión, calidad significa ofrecer productos sin defectos y de ese modo lograr clientes satisfechos con esos productos o servicios.

El presente trabajo muestra a Seis Sigma como un objetivo de calidad que se enfoca en la variabilidad requerida por un proceso de acuerdo a su especificación, para que su calidad y confianza alcancen y excedan las demandas o requerimientos de los clientes. El objetivo principal de Seis Sigma es lograr la excelencia en competitividad a través de la Mejora Continua de los Procesos. Los creadores de la metodología 6 Sigma, llevaron este objetivo más allá, creando un programa que involucra liderazgo, infraestructura y herramientas para alcanzar este objetivo.

Seis Sigma es un modelo de calidad originalmente desarrollado por Motorola a principios de los ochentas con el objetivo de alcanzar mejoras e innovaciones a través de todas sus operaciones, reforzado y expandido por otras compañías (notablemente General Electric y Allied Signal). Ofrece herramientas, planteamientos y técnicas para dirigir el desarrollo de mediciones y mejorar el desempeño e identificar áreas de mejora. Utiliza metas enfocadas al cliente y mediciones para manejar la mejora continua a todos los niveles en cualquier empresa. Para lograrlo siguieron el consejo de Joseph M. Juran y Peter Senge de hacer de la calidad parte del plan corporativo del negocio.

Actualmente la *Metodología Seis Sigma* pareciera una metodología novedosa, sin embargo data desde la década de los 80's en *Motorola Company*, cuando el *Ing. Mikel Harry* comienza a influenciar a la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos. Esta iniciativa se convirtió en el eje central para mejorar la calidad en Motorola. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua.

Seis Sigma tiene componentes administrativos y técnicos. En la parte administrativa, se enfoca en tener los índices de medición de los procesos y la metas de manera correcta, los proyectos correctos y a la gente correcta para trabajar en los proyectos y el uso de los sistemas de administración para completar exitosamente los proyectos y mantener las ganancias a través del tiempo. Integra principios de negocios, estadística

e ingeniería para alcanzar resultados tangibles. Antiguamente los niveles de calidad aceptables en las organizaciones era de 3 sigma (0.27% defectuoso ó 99.73% aceptado). Las expectativas del cliente actuales han crecido hasta niveles de 5 y 6 sigmas. Un proceso Seis Sigma alcanza un nivel de 3.4 defectos por millón.

Seis Sigma es, pues, un enfoque de mejora del negocio que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos del negocio, enfocándose en las salidas que son de crítica importancia para los clientes. Como resultado el desempeño del proceso es aumentado, la satisfacción del cliente es mejorada, y los resultados del negocio son impactado a través de la mejora en procesos, productos, y servicios de la compañía.

Se recomienda implementar Seis Sigma en forma gradual, por proyectos liderados por equipos multidisciplinarios dentro de la organización. Los equipos se organizan a diferentes niveles y con distintos grados de conocimiento, habilidades y herramientas.<sup>3</sup>

**Leadership Team:** Compuesto por la alta gerencia. Proveerán todos los recursos para implementar la cultura de Seis Sigma dentro de la empresa.

**Lead Black Belts:** Responsables de mantener las estrategias Seis Sigma alineadas con las estrategias corporativas. Busca áreas para desarrollar proyectos de Seis Sigma.

**Champions:** También conocidos como dueños del proceso. Encargados de darle seguimiento a los proyectos individuales.

**Master Black Belts:** Principalmente están involucrados en entrenamientos de belts y generando nuevos proyectos de Seis Sigma.

**Black Belts:** Entrenados en los métodos estadísticos avanzados. Son los agentes de cambio en la organización. También servirán de guía a los Green Belts.

**Green Belts:** Entrenados en estadística básica y métodos de mejoramiento.

Usualmente trabajan como miembros del equipo, aunque muchas veces son líder de equipos.

---

<sup>3</sup> PYZDEK, Thomas, *The Six Sigma Handbook – The Six Sigma Revolution*, USA, Quality America, 2004, p. 37.

**OBJETIVO GENERAL:**

*Revisión del Sistema de Calidad Seis Sigma*

**OBJETIVOS PARTICULARES:**

- *Analizar la metodología Seis Sigma a un nivel teórico*
- *Introducir al lector en los conceptos de calidad y la metodología Seis Sigma resaltando la importancia de su implementación para el éxito de la aplicación en una compañía*
- *Dar a conocer las fases de la metodología Seis Sigma y su aplicación en proyectos de optimización y mejora de procesos y productos.*
- *Mostrar la aplicación de las herramientas estadísticas básicas y avanzadas para el análisis y mejora de los productos, servicios y procesos organizacionales.*
- *Dar a conocer los beneficios que obtiene una organización al aplicar Seis Sigma*

# CAPÍTULO I

## SISTEMAS DE CALIDAD

### 1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALIDAD

El hombre ha ido buscando la manera de facilitar el proceso de su evolución. A medida que pasa el tiempo, inventa mecanismos cada vez más sofisticados para satisfacer sus necesidades primordiales y a la vez los perfecciona. Al mismo tiempo que el hombre evoluciona, aumentan sus necesidades y su ambición de mejorar su nivel de vida. De la manufactura artesanal, sencilla, dirigida a un público minoritario, pasada a la manufactura industrial, sofisticada, impregnada de ciencia y tecnología, que satisface las necesidades de un mercado más amplio.

La historia de la humanidad esta directamente ligada con la calidad desde los tiempos más remotos, el hombre al construir sus amas, elaborar sus alimentos y fabricar su vestido observa las características del producto y enseguida procura mejorarlo. La práctica de la verificación de la calidad se remota a épocas anteriores al nacimiento de Cristo. En el año 2150 A.C., la calidad en la construcción de casas estaba regida por el código de Hammurabi<sup>4</sup>, cuya regla número 229 establecía que "Si un albañil hace una casa a un hombre y no consolida bien su obra y la casa que acaba de hacer se derrumba y mata a los ocupantes, ese albañil sería ejecutado."<sup>5</sup>

Por otro lado, los murales egipcios de alrededor de 1450 A.C. muestran actividades de inspección y medición. Durante la edad media surgen mercados con base en el prestigio de la calidad de los productos, ya que los artesanos eran los fabricantes y a su vez éstos mismos eran los que trataban directamente con el cliente lo que permitía que existiese orgullo y reconocimiento por el trabajo desarrollado, con lo cual se popularizó la costumbre de ponerles marcas y con esta práctica se desarrolló el interés de mantener una buena reputación (las sedas de damasco y la porcelana china). De este modo la inspección artesanal de un proceso era responsabilidad del productor.

---

<sup>4</sup> Código de Hammurabi: código de leyes que unifica los diferentes códigos en el imperio babilónico en la antigua Mesopotamia.

<sup>5</sup> Fichas técnicas sobre calidad, Mexico, 1990.

<http://clio.rediris.es/fichas/hammurabi.htm>

Ya en la época de la revolución industrial la situación cambió, de tal manera que el taller artesanal fue cediendo terreno a la fabricación masiva de productos (producción en serie); de esa forma la función de inspección se hace presente y forma parte vital del proceso productivo a la vez que es llevada a cabo por el mismo operario. En este punto, el objeto de la inspección era simplemente señalar los productos que no se ajustaban a los estándares deseados.

Con la llegada de la Revolución Industrial en Inglaterra en el siglo XVIII se define la sustitución progresiva, pero definitiva, de la fuerza y las herramientas manuales por la maquinaria.

Es en este período donde se comienzan a producir piezas intercambiables a gran escala basados en el establecimiento de normas que buscaban producirlas con dimensiones similares entre toda la producción.

#### σ LAS CUATRO ERAS DE LA CALIDAD<sup>6</sup>

La calidad, como la conocemos ahora, ha ido evolucionando a través de cuatro eras:

1. Inspección (siglo XIX):

Detección y solución de los problemas generados por la falta de uniformidad del producto.

2. Control Estadístico (30's):

Enfocado al control y métodos estadísticos de los procesos para la reducción de los niveles de inspección. Se establecen normas estrictas a proveedores al mismo tiempo que se crean tablas de muestreo.

3. Aseguramiento de la Calidad (50's):

Necesidad de involucrar a todos los departamentos de la organización en la calidad. Surge el control estadístico de procesos.

4. Administración. Estrategia de la Calidad Total (90's):

Se fija importancia en el mercado y en las necesidades del consumidor, reconociendo el efecto estratégico de la calidad como una oportunidad de competitividad.

---

<sup>6</sup> GUTIERREZ, Mario, "Administrar para la calidad, conceptos administrativos del control total de calidad", 2da Edición, México, 1989, P. 20.

## σ LA PREHISTORIA DE LA CALIDAD<sup>7</sup>

Según Feigenbaum, el control de calidad hasta el fin del s.XIX se caracterizó por ser realizado totalmente por los operarios, lo que denominó Control de Calidad del Operario. Posteriormente en el período de la Primera Guerra Mundial se dio el Control de Calidad del Capataz y entre las dos guerras aparece el Control de Calidad por Inspección o lo que conocemos como el Control de Calidad Moderno.

## σ EL CONTROL DE CALIDAD MODERNO<sup>8</sup>

En 1931, Walter Shewhart publicó "Economic Control of Quality of Manufactured Products" (Control Económico de la Calidad de Productos Manufacturados), en el que se plantean los principios básicos del control de la calidad, sobre la base de métodos estadísticos, centrándose en el uso de Cuadros de Control. Convirtiéndose así en el padre del Control de Calidad Moderno (aunque algunos autores dan esta paternidad a Deming, debemos considerar que los estudios de Deming se basaron inicialmente en los de Shewhart).

Después del aporte de Shewhart, en 1941 y 1942 se aprobaron y publicaron los "Estándares Z" conocidos como los estándares de la Guerra, que enfocaban el uso de los Cuadros de Control para el análisis de datos y su aplicación durante la producción. Y también en 1941 Leslie E. Simons publicó "Un Manual de Métodos Estadísticos para Ingenieros".

Estos tres aportes eran lo único con que se contaba en el campo del control de calidad durante los años cuarenta en el mundo occidental, donde hasta ese momento la calidad y el mejoramiento no tenían ninguna importancia para las empresas, sino hasta 1947, en que un grupo de empleados de Johns-Manville terminaron de rodar y editar un video llamado "Control de Calidad Moderno" con el objetivo de promover los aspectos básicos del control de calidad en su empresa entre los empleados e indirectamente a la gerencia: cuadros de control, histogramas, límites para gráficos de barras y cuadros R, así como muestreo. Fue tan exitoso, que trascendió a la empresa y fue utilizado en muchas otras durante décadas. Sin embargo, la concientización real sobre la importancia de la calidad no se asentó en occidente sino hasta los años 80.

---

<sup>7</sup> Ibid., p. 24

<sup>8</sup> SCHULDT, Johannes, "Historia de la Administración de la calidad", Luxembourg, 1998, pp. 78.



### σ MIENTRAS EN EL JAPÓN...<sup>9</sup>

Después de la II Guerra Mundial, el Japón se encontraba frente a la nada fácil tarea de reconstruir su país. En aquel momento, las fuerzas de ocupación de los EEUU, decidieron apoyar en la reconstrucción de la economía y la infraestructura de manera directa, con el objetivo de evitar que el Japón recuperara su capacidad bélica.

Llevaron al Japón un importante número de expertos estadounidenses para ayudar en la labor, pero antes de esto, debían ganar la confianza de los japoneses, quienes aún los veían como los enemigos. Para ello crearon la CCS (Civil Communication Section), que debería difundir mensajes pro-EEUU en la población, entre otros a través de programas de radio. Lamentablemente, la población no contaba con radios.

Se construyeron establecimientos industriales orientados a la fabricación de radios, pero luego de la guerra, los administradores experimentados del Japón fueron alejados de puestos de esta naturaleza por su labor durante la guerra y el personal con el que se contaba carecía de formación y experiencia, por lo que el resultado fue productos de bajísima calidad.

Para apalear este problema se creó el NETL (National Electric Testing Laboratory), con la responsabilidad de controlar la calidad. Sin embargo, poco tiempo después se reconoció que esta estrategia nunca podría alcanzar buenos resultados en el largo plazo, así que se reorientaron los esfuerzos hacia la capacitación de esta nueva generación de administradores. Programa que se realizó conjuntamente por la CCS y la JUSE (Unión de Científicos e Ingenieros del Japón).

### σ EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD<sup>10</sup>

Entre los temas de la capacitación, se incluyó el Control Estadístico de la Calidad (SQC – Statistical Quality Control) y especialmente los aportes en este campo de Walter Shewhart. La JUSE vio en esta temática una razón, tal vez la principal, de la victoria de los EEUU en la guerra y orientó su interés hacia este campo, solicitando a la CCS que les recomendará a expertos que pudieran profundizar y reforzar el tema.

En aquel entonces Shewhart no estaba disponible, así que recomendaron a un profesor de la Universidad de Columbia, que había estudiado y aplicado los métodos

<sup>9</sup> GUTIERREZ, Mario, *op. cit.*, nota 6, pp. 41-46

<sup>10</sup> SCHULDT, Johannes, *op. cit.*, nota 8, p. 92

de Shewhart, W. Edwards Deming. Ya en 1947 Deming había estado en el Japón como parte de una misión de observación económica, por lo que los japoneses ya lo conocían, facilitando su incorporación como instructor. En 1950, durante dos meses, Deming entrenó a cientos de ingenieros y administradores, así como a ejecutivos de primer nivel, enfocándose principalmente en tres aspectos claves:

- el ciclo PDCA
- las causas de las variaciones
- el control de procesos con Cuadros de Control

#### $\sigma$ ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

Al inicio los resultados fueron bastante buenos, pero poco a poco se regresaba a la situación inicial, bajó la motivación a nivel de trabajadores, la información recolectada no era exacta y los ejecutivos no mostraban interés en continuar con el SQC. Para tratar de solucionar este dilema, la JUSE invitó a Joseph M. Juran para realizar conferencias y charlas respecto del Rol de la Gerencia en la Promoción de las Actividades de Control de Calidad. Esta visita marcó el salto en Japón de los primeros pasos en Calidad hacia la Calidad Total, al introducir aspectos como la definición de las políticas de calidad y la planificación de la calidad. Que se reforzó con el lanzamiento en Japonés del libro " The Practice of Management " de Peter Drucker, en el que se plantea la Administración por Objetivos.

Los Japoneses fusionaron las enseñanzas de Deming y Juran con la Administración por Objetivos y dieron los primeros pasos hacia la Planeación Estratégica de la Calidad y hacia la Administración de la Calidad Total (TQM – Total Quality Management). Se creó el Premio Deming, el más prestigioso premio que una empresa japonesa puede obtener. Se entrega una vez al año, a la empresa que haya realizado el mayor avance en calidad, sobre la base de estándares tan exigentes que sobrepasan ampliamente el ISO 9000 o cualquier otro estándar en este campo.

La mayor parte de los avances en Calidad y Administración de las últimas décadas, como Hoshin Kanri, JIT y muchos otros, derivan de estudios realizados por empresas en el mundo occidental a empresas ganadoras de este premio. El nombre del premio es un tributo japonés a quien iniciara los grandes avances en calidad en Japón: Edwards W. Deming.

### σ CONTROL DE CALIDAD EN TODA LA COMPAÑÍA (CWQC)<sup>11</sup>

En 1957 Kauro Ishikawa publica un libro en el que se resalta la importancia de la Administración y las Políticas Operacionales, base de lo que se conoce como el Control de Calidad en Toda la Compañía (Company-Wide Quality Control- CWCQ), que en términos generales es muy parecido al Control de Calidad Total.

Juran hizo otra visita en 1960, en la que hizo hincapié en la responsabilidad de la gerencia en la definición de objetivos y en la planificación para mejorar, que abrió las puertas al Hoshin Kanri o Policy Deployment

### σ CERO CONTROL DE CALIDAD

Durante los 60's Shigeo Shingo desarrolló Poka Yoke y los sistemas de inspección en la fuente. Y para 1977 planteó formalmente Cero Control de Calidad como una estrategia para conseguir Cero Defectos, lo cual -a su criterio- nunca se conseguiría con la forma en que el Control Estadístico de la Calidad enfocaba el problema.

### σ DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD

En 1972, el astillero de la Mitsubishi en Kobe hace un gran avance en los conceptos modernos de calidad, profundizando y centrando los conceptos del Hoshin Kanri. Esto resultó en un enfoque ampliado de la Calidad desde el diseño de un producto hasta su consumo o uso, lo que se llamó Despliegue de la Función de Calidad o QFD (Quality Function Deployment), que derivaría posteriormente en el concepto de Concurrent Engineering

### σ EL MÉTODO TAGUCHI

En la década de los 80's Genichi Taguchi introdujo el DOE como parte del Método Taguchi.

### σ CERO DEFECTOS

En 1985 Motorola acuña el término Sigma 6 como objetivo de calidad.

### σ LOS CONCEPTOS JAPONESES LLEGAN AL OCCIDENTE

---

<sup>11</sup> GUTIERREZ, Mario, *op. cit.*, nota 6, p. 47

En 1986 Deming publica " Out of the Crisis " (Fuera de la Crisis), donde explica detalladamente su filosofía de calidad , productividad y posición competitiva, incluyendo sus famosos 14 Puntos para la Administración (actualmente conocidos como los 14 Puntos de Deming).

### σ ISO 9000

En 1987 aparece la serie ISO 9000, la cual reúne el trabajo de la ISO en Administración y Aseguramiento de la Calidad desde 1979 y que ha llegado a convertirse hoy día en uno de los estándares más importantes de calidad.

### σ LO QUE VIÑO DESPUES

En 1994 Deming publica su libro " The New Economics ", en el que plasma su Sistema del Conocimiento Profundo, necesario –según Deming- para transformar el estilo gerencial actual en uno óptimo.

## 2. FILOSOFÍAS PRECURSORAS DE LA CALIDAD

### σ DR. W. EDWARDS DEMING (1900-1993)<sup>12</sup>

El Dr. Deming, uno de los grandes exponentes de los enfoques de calidad, es reconocido internacionalmente por su aportación a la transformación de la industria japonesa, revolucionando su sistema de administración y elevando considerablemente sus niveles de calidad y productividad.

Discípulo del Dr. Shewart, quien desarrolló las técnicas de control estadístico de procesos y las gráficas de control, el Dr. Deming utilizó y difundió ampliamente el círculo de Shewart: planear, hacer, verificar y actuar, que finalmente ahora se le conoce como círculo de Deming y es uno de los aspectos medulares de su filosofía de calidad.

Fueron tales sus aportaciones a la industria japonesa que en agradecimiento la unión de ciencia e ingeniería japonesa (JUSE), instituyó el premio anual Deming para las aportaciones a la calidad y confiabilidad de los productos.

---

<sup>12</sup> GLABOR, Andrea, "Deming, el hombre que descubrió la Calidad", Buenos Aires, Ediciones Granica, 1992.

En 1960 el emperador del Japón le concedió la medalla de la segunda orden del tesoro sagrado y ha recibido también diversas condecoraciones en estados unidos, su país natal.

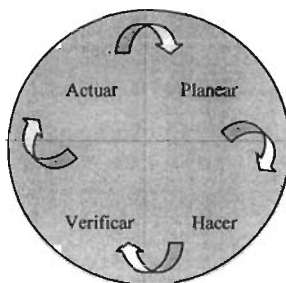
El Dr. Deming promovió fuertemente el uso del control estadístico de los procesos para el ogo de la calidad y el cambio planeado y sistemático a través del círculo de Deming.

### CIRCULO DE DEMING

El círculo de Deming es una metodología recomendada para la realización de cualquier actividad que permite lograr los resultados esperados en forma sistemática, partiendo de información confiable para la toma de decisiones. El círculo de Deming tiene cuatro fases:

1. Planear. En esta etapa deben cumplirse cuatro pasos:
  - Definir los objetivos por lograr.
  - Determinación de la situación actual, realizando un diagnóstico y definiendo los problemas por resolver y las áreas de mejora, priorizadas en orden de importancia.
  - Definición de las acciones de mejora, necesarias para pasar de la situación actual a la situación deseada ( objetivos definidos)
  - Establecer a través de un plan de trabajo, todos los pasos que deben seguirse para la implementación de las acciones de mejora.
2. Hacer. Esta etapa es la de implementación de la solución definida. Es importante que se efectúe el plan tal y como fue diseñado y que se establezcan mecanismos de control, para ir evaluando los progresos y/o corrigiendo las fallas.
3. Verificar. La fase de verificación permite comparar los resultados obtenidos, contra los esperados. La verificación se da en dos momentos: mientras se implementa el proceso y cuando ya se tienen los resultados. La verificación permite comprobar si lo que se planeó y ejecutó cumplió efectivamente con lo esperado.
4. Actuar. De acuerdo con los resultados de la verificación, deben ir haciéndose los ajustes y replanteando las acciones para lograr los beneficios esperados. Si los resultados se lograron deben estandarizarse y sistematizarse los procedimientos para asegurar el mantenimiento de los resultados

Este es un proceso de mejora continua, en el que se van estableciendo metas, que una vez logradas, nos conducen a buscar buenas mejoras de calidad.



Circulo de Deming

Glabor, Andrea. "Deming, el hombre que descubrió la Calidad"

### CONTROL DEL PROCESO

Como ya lo hemos comentado el Dr. Deming fue uno de los discípulos del Dr. Shewart, y su enfoque de calidad esta basado en sus conceptos. De alguna manera fue tan exitoso en la difusión e implementación de estos conceptos, que en la actualidad se le atribuyen.

En 1924 el Dr. Shewart inicia el control de calidad llamado control estadístico, el cual se basa en el uso de gráficas y empleo de métodos de cálculo simplificado.

El concepto base del control de proceso, como ya lo hemos visto, es el control de la variabilidad. Tanto Shewart como Deming, reconocen dos tipos de causas de variabilidad en el proceso, cuya confusión al identificarlas y tratar de controlarlas causa frustración y provoca también mayor variabilidad. Estas causas son las causas comunes y las causas especiales.

Las causas comunes de variabilidad, son las causas ocasionadas por el sistema mismo. Las causas especiales son eventos circunstanciales y efimeros ajenos al sistema mismo. Un ejemplo de causa común lo da el Dr. Deming en su libro, *calidad, productividad y competitividad*:

" En determinada prisión tiene lugar un motín. Los oficiales y los psicólogos presentan un informe detallado sobre esta prisión, ignorando el hecho de que las causas eran comunes a la mayoría de las prisiones, y que el motín podría haber ocurrido en

cualquier parte <sup>13</sup> la causa del problema podemos decir que es de una naturaleza especial: Supongamos que estamos ante una prisión modelo que durante los últimos cinco años a mantenido indicadores de tranquilidad interna con magníficos programas de rehabilitación social y de reintegración exitosa de los internos de la sociedad.

En cierta ocasión sucede un incidente de violencia entre los internos. Al investigarse las causas se detecta que el incidente fue generado por un grupo de reos de reciente ingreso y que ningún interno de más de seis meses en prisión participó, incluso que dichos internos trataron de impedir la violencia. En este caso la causa del problema podemos decir que es de una naturaleza "especial".

#### ERRORES EN LA IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS COMUNES Y ESPECIALES

Lo que se necesita para eliminar una causa especial, es completamente distinto de lo que debe hacerse para mejorar el proceso.

Pueden darse por tanto dos tipos de errores con sus consecuencias no deseables:

- a) Atribuir una variación o un error a una causa especial cuando la realidad es que la causa pertenece al sistema (causa común)
- b) Atribuir una variación o un error al sistema (causa común) cuando la realidad es que la causa es especial.

#### IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE DE CALIDAD <sup>14</sup>

El Dr. Deming resume su filosofía de calidad en la aplicación de 14 factores, que de aplicarse en los organismos mejorarán notablemente la calidad de sus resultados y son los siguientes:

1. *Crear perseverancia en el propósito de mejorar productos y servicios con la meta de ser competitivos, mantenerse en el negocio y generar empleos.*

No solo pensar en el presente, sino tener una visión de largo plazo que garantice la permanencia y el éxito en el futuro. Este prior punto implica destinar recursos para la innovación, la investigación y la capacitación.

---

<sup>13</sup> DEMING, Edwards. *Calidad, productividad y competitividad*, p. 245.

<sup>14</sup> GLABOR, Andrea, *Op. Cit.*, nota 12, pp. 32-52.

2. *Adoptar la nueva filosofía. Nos encontramos en una nueva era económica. Los directivos deben ser conscientes del reto, deben aprender sus responsabilidades, y hacerse cargo del liderazgo para cambiar.*

Implica romper viejos paradigmas y reconocer los cambios que han ocurrido dentro de los organismos y del mundo externo. Los viejos patrones, en muchas ocasiones ya no son útiles.

3. *Dejar de depender de la inspección para lograr la calidad. Eliminar la necesidad de inspeccionar masivamente, poniendo, desde el principio, la calidad en el producto.*

Deben aplicarse la prevención y planificación del proceso desde el principio. Asegurar que los procesos estén diseñados para producir los resultados que esperamos.

4. *Mejorar de manera constante y permanente el sistema de producción y servicio, con el fin de alcanzar la calidad y la productividad, y reducir así, continuamente, los costos.*

Esto implica nuevamente incorporar la calidad desde el diseño y establecer un programa permanente de mejora continua.

5. *Eliminar las barreras que le quiten al trabajador su derecho a sentir orgullo por su trabajo. La responsabilidad de los supervisores debe cambiarse para que en lugar de dar importancia a cifras escuelas, más bien enfatizen el logro de la calidad.*

Muchos de los problemas de los organismos, son parte del sistema mismo de la organización. A veces falta entrenamiento, no existen procedimientos de trabajo, faltan recursos, y sin embargo se le exige al trabajador que haga bien las cosas. La labor de los directivos es facilitar todo lo necesario para que un trabajador pueda realizar bien su trabajo.

6. *Desechar el miedo de manera que cada uno pueda trabajar con eficacia para la compañía.*

Es importante crear una cultura en donde el trabajador pueda sentirse seguro para expresar sus opiniones, para aprender de sus fallas, para negociar con sus compañeros y hasta con sus jefes.



7. *Destruya las barreras entre departamentos. El personal de investigación, diseño, ventas y producción debe trabajar como equipo para prever los problemas de producción y de uso que puedan surgir en el producto o servicio.*

Es importante que se logre un verdadero trabajo de equipo dentro del organismo. Las estructuras funcionales han creado barreras y feudos entre un departamento y otro que obstaculizan la comunicación, la coordinación y el logro de buenos resultados.

8. *Instituir un programa moderno de capacitación.*

Si se quiere lograr calidad, toda la gente debe estar habilitada para desarrollar bien su trabajo. Este sistema de entrenamiento debe considerar las diferencias individuales y proporcionar a cada persona el mejor medio para su aprendizaje.

9. *Eliminar lemas, exhortos y objetivos que pidan a los trabajadores, cero defectos y nuevos niveles de productividad.*

Si hay muchos aspectos que mejorar en el organismo, los trabajadores se sentirán frustrados por considerar que sólo a ellos se les responsabiliza por la calidad de los productos y servicios mientras que la institución no realiza su parte de la tarea, proporcionando todos los recursos y resolviendo los principales problemas en la organización.

10. *Eliminar los estándares de trabajo (cuotas) en planta. Sustituirlos por liderazgo.*

Si el aumento de la calidad y la productividad simplemente descansa en establecer cuotas de trabajo, puede ser contraproducente, al orientar a los trabajadores simplemente a cumplir la cuota sin importar la calidad de lo que se haga. No basta con establecer metas, es necesario definir planes concretos para alcanzarlas.

11. *Implementar el liderazgo. El objetivo de la supervisión debería consistir en ayudar a las personas, y a las maquinas y los aparatos para un trabajo mejor.*

El rol de jefe o supervisor simplemente ha cambiado. Lo que se requiere son líderes que inspiren, que muestren el camino, que apoyen a sus colaboradores y que logren su compromiso con los objetivos buscados.

12. *Instituir un programa vigoroso de educación y automejora.*

Los procesos de mejora continua no se refieren únicamente a los productos o a los servicios. Requieren de personas que continuamente estén capacitándose y superando.

13. *Acabar con la práctica de hacer negocios con base en el precio. En vez de ello, minimizar los costos. Tender a tener solo un proveedor para cualquier artículo, con una relación a largo plazo de lealtad y confianza.*

Si se trabaja sólo con base en el precio podemos tender a comprometer la calidad de nuestros productos o servicios al adquirir materias primas de baja calidad.

14. *Poner a todo el personal de la compañía a trabajar para conseguir la transformación. La calidad es tarea de todos.*

Los directivos tienen que dar a conocer su visión al organismo y establecer planes claros que involucren a todos en esta importante tarea.

#### σ **DR. JOSEPH M. JURAN (1904-)**<sup>15</sup>

El Dr. Juran es uno de los pioneros en la promoción de los enfoques de calidad, ha hecho aportaciones muy importantes a nivel internacional que le han llevado a recibir condecoraciones en 12 países y como el Dr. Deming, la más alta condecoración que puede obtener un ciudadano extranjero en Japón: la Medalla de la Segunda orden del Tesoro Sagrado.

Sus aportaciones en la modernización y revolución de la Industria Japonesa estriban en haber logrado transmitir a los gerentes de nivel alto y medio, que el control total de la calidad no es un instrumento que debe aplicarse sólo en la planta, sino que es un instrumento para la gerencia completa. Destacó ante ellos que el control estadístico impulsado únicamente por los ingenieros tiene un límite y con sus seminarios abrió las puertas para el establecimiento del control total de la calidad tal como se conoce hoy.

---

<sup>15</sup> GITLOW, H. S., "*Planificando la Calidad, la productividad y una posición competitiva*", México, Ventura Ediciones, 1991, p. 115.

El Dr. Juran nos define la calidad: como “adecuación al uso”, lo cual implica que los productos y servicios cuenten con las características que el usuario ha definido como útiles.

Distingue dos tipos de calidad: calidad de diseño y calidad de conformancia.<sup>16</sup>

- La **calidad de diseño** se refiere a que el producto satisfaga las necesidades del usuario y que contemple el uso que va a dársele.
- La **calidad de conformancia** tiene que ver con el grado en que los productos o servicios se apegan a las características de calidad definidas.

Juran establece que el proceso para lograr la calidad se basa en tres principios, que forman lo que se conoce como Trilogía de Jurán:

- Planificación de la calidad
- Control de la calidad
- Mejora de la calidad

La trilogía de Juran tiene una analogía en la gestión financiera usada en las empresas y la cual se realiza por medio de tres procesos de gestión<sup>17</sup>:

- Planificación financiera
- Control financiero
- Mejora financiera

### PLANIFICACIÓN DE LA CALIDAD<sup>18</sup>.

A través de este proceso se diseñan los productos y servicios necesarios para lograr cumplir con las expectativas de los clientes. También se definen los procesos que deberán seguirse para la elaboración de dichos productos y servicios.

---

<sup>16</sup> JURAN, J., GRZYNA, F., “*Manual de Control de Calidad*”, 4ta Ed., México, McGraw-Hill, 1996, Vol. 2, p.43.

<sup>17</sup> Información proporcionada por el Prof. Eduardo Rojo y de Regil.

<sup>18</sup> JURAN, J., “*Juran y la planificación para la calidad*”, España, Ediciones Diaz de Santos, 1990, pp. 87-92.

Planificación de la calidad “es la actividad para desarrollar los productos y procesos requeridos para satisfacer las necesidades de los clientes. Comprende una serie de pasos universales que pueden resumirse de la manera siguiente:

- Fijar los objetivos de la calidad
- Identificar a los clientes (los que serán afectados por los esfuerzos por cumplir los objetivos)
- Determinar las necesidades de los clientes
- Desarrollar características del producto que respondan a las necesidades de los clientes
- Desarrollar procesos que sean capaces de cubrir esas características.
- Establecer controles de proceso, y transferir los planes resultantes a las fuerzas operativas.

#### **CONTROL DE CALIDAD<sup>19</sup>.**

Este proceso se sigue durante la elaboración de los productos y los servicios para asegurar que se cumplan con los objetivos de calidad definidos y para corregir las desviaciones en caso necesario.

Este proceso consta de los pasos siguientes:

- Evaluar el comportamiento de la calidad real.
- Comparar el comportamiento real con los objetivos de la calidad.
- Actuar sobre las diferencias”

#### **MEJORA DE LA CALIDAD<sup>20</sup>.**

Este proceso tiene como objetivo elevar los niveles de calidad alcanzados y se lleva a cabo a través de equipos de mejora, que definen y desarrollan proyectos de investigación y experimentación, aplicando ideas innovadoras, para el mejoramiento de la calidad.

Este proceso es el medio para elevar el comportamiento de la calidad hasta unos niveles sin precedentes (“avances”). La metodología consta de una serie de pasos universales:

---

<sup>19</sup> *Ibid.*, pp. 93-94

<sup>20</sup> *Ibid.*, p. 95

- Establecer la infraestructura necesaria para asegurar la mejora anual de la calidad.
- Identificar las necesidades específicas para mejorar (los proyectos de mejora).
- Crear para cada proyecto, un equipo que tenga la responsabilidad clara de dirigir el proyecto hacia un fin satisfactorio.

Proporcionar los recursos, la motivación y la formación necesarios para que los equipos:

- Diagnostiquen las causas
- Fomenten el establecimiento de remedios
- Establezcan controles para que perduren los logros.

#### σ **KAOURU ISHIKAWA (1915-1989)**<sup>21</sup>

El Dr. Ishikawa, graduado del departamento de Química aplicada de la Facultad de Ingeniería de la universidad de Tokio en 1939 y posteriormente obtuvo su doctorado en Ingeniería en la misma universidad. Puso gran énfasis en la aplicación de los métodos estadísticos y el control de calidad, para revolucionar la filosofía administrativa de los organismos. Asimismo en que el control de la calidad debía ser aplicado no sólo en las actividades de producción, sino en todas las actividades de la empresa, tales como ventas, abastecimientos y administración en general, de hecho el Control total de la Calidad tiene objetivos muy amplios:

- Mejorar la productividad en el Organismo
- Mejorar la calidad de los productos que se elaboran
- Aplicar la calidad a todas las actividades de la compañía
- Que los beneficios que se obtengan se dividan entre consumidores, empleados y accionistas.
- Mejorar el nivel de vida de la gente.

Al Dr. Ishikawa se le considera el pionero del movimiento de Círculos de Calidad, que se extendió en todo el Japón y posteriormente a otras partes del mundo.

---

<sup>21</sup> GITLOW, H. S, *Op. Cit.*, nota 15, p. 119.

## FUNDAMENTOS DEL CONTROL TOTAL DE CALIDAD<sup>22</sup>

El Dr. Ishikawa enfatiza que hay una diferencia importante del Control Total de Calidad en Japón en comparación con la consideración que hacen en otros países. En Japón se le da un sentido humanista. Las seis características que lo definen son las siguientes:

- El control de calidad en toda la compañía: todos los departamentos y todos los empleados deben participar, es un enfoque integral.
- Educación y entrenamiento industrial, como un pilar fundamental para el desarrollo de la cultura de calidad.
- Actividades de los círculos de calidad.
- Auditorias de control de calidad
- Aplicación de métodos y herramientas estadísticas
- Promoción de las actividades de control total de calidad en toda la nación.

Ishikawa enmarcó seis puntos principales para una nueva Filosofía Administrativa:

- Primero calidad, las utilidades son consecuencia.
- El consumidor orienta la calidad, no el productor.
- El siguiente proceso es el consumidor.
- Hablar con hechos y datos: mediante la aplicación de métodos y herramientas estadísticas.
- Administración que respete al hombre: democracia industrial.
- Administración funcional.

A continuación se desarrollan cada uno de estos puntos:

### PRIMERO CALIDAD<sup>23</sup>

El Dr. Ishikawa dice al respecto "Si ponemos énfasis primero en la Calidad, las utilidades serán consecuencia y se incrementarán a largo plazo, pero si ponemos énfasis en las utilidades a corto plazo, perderemos en el largo plazo nuestra competencia internacional y las utilidades. Si el objetivo de la Administración es primero hacia la calidad, la confianza de los consumidores irá incrementándose gradualmente, los productos serán más demandados y la utilidad a largo plazo crecerá

---

<sup>22</sup> ISHIKAWA, K., *¿Qué es el control Total de la Calidad? La modalidad japonesa*, EU, Grupo Editorial Norma, 1992, p.32.

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 33

y consecuentemente la estabilidad administrativa de la empresa se logrará. Si ponemos énfasis en la utilidad perderemos la competencia en un largo plazo aunque consigamos utilidades en el corto plazo.

Estas ideas son fáciles de decir, pero actualmente somos más aptos a pensar primero en utilidades, en lugar de calidad; en el área de trabajo sólo se piensa en "reducción de costos".

#### **CONTROL DE CALIDAD ORIENTADO AL CONSUMIDOR<sup>24</sup>**

El productor orientado al Control de Calidad debe pensar desde el punto de vista del consumidor. El control total de Calidad se enfoca producir bienes y servicios que satisfagan las necesidades y requerimientos de los consumidores. No encontramos nada nuevo en esta idea, pero este concepto revolucionario es muy difícil de llevar a la práctica. La tendencia es que existe un mercado de vendedores en vez de un mercado de compradores; en el mercado de vendedores ellos venden los productos hechos de acuerdo con su gusto en lugar de que estén acordes con las necesidades y requerimientos de los consumidores.

El Dr. Ishikawa enfatiza la necesidad de conocer la manera en que el producto es utilizado por el consumidor. Hace énfasis en la necesidad de estar verificando continua y sistemáticamente quejas y devoluciones por parte de los consumidores y así darles soluciones definitivas.

#### **EL SIGUIENTE PROCESO ES EL CONSUMIDOR (ROMPIENDO EL SECCIONISMO)**

Todos los departamentos deben entender que su rol no es "cumplir con tareas" sino servir de manera útil al siguiente paso en el proceso. Su misión debe ser pensar como pueden servir mejor al siguiente proceso. Esto implica romper las barreras organizativas y fomentar realmente un trabajo de equipo.

#### **HABLAR CON HECHOS Y DATOS**

El Dr. Ishikawa considera que lo más importante son los hechos y éstos deben ser expresados a través de datos virtuales y finalmente cuando hayan sido evaluados usando métodos estadísticos, se podrán tomar acciones.

---

<sup>24</sup> *Ibid*, p. 34

- Los Hechos

Lo más importante es ver los hechos y verificarlos. Los ingenieros en las plantas de manufactura están acostumbrados a pensar sin ver los hechos. El proceso debe ser observado en silencio por una semana o 10 días. Estar bien interiorizado de los hechos o del fenómeno es el primer paso.

- Expresar los Hechos usando Datos

Los hechos deberán ser expresados como datos, pero como los datos a veces son difíciles de obtener:

- ✓ Cuando vea los datos dude
- ✓ Cuando vea el instrumento de medición dude
- ✓ Cuando vea el análisis químico dude

Por que los datos pueden ser de tres tipos:

**Datos Falsos.** Son provocados por el malestar de los altos directivos, cuando se les dice "verdades" que no les agradan. La actitud lógica de los subordinados es generar datos falsos para protegerse a ellos mismos. A menos que la alta Administración no cambie su actitud de rechazo o enojo hacia los datos verdaderos, los datos falsos no desaparecerán.

**Datos mal tomados.** Los datos a veces son mal tomados, debido a la ignorancia sobre la utilización de los mismos o por descuidos.

**Datos no disponibles.** Existen objetos que no pueden ser medidos en forma directa: por ejemplo al definir las características de calidad de un automóvil para medir aspectos tales como conducción confortable, comodidad, etcétera, tienen que obtenerse otras medidas indicadoras y tomarlas como datos.

Si los trabajos dependen sólo de la experiencia, percepción e intuición, es signo de que la compañía no tiene tecnología; la administración sólo puede ser mejorada usando hechos, datos y métodos estadísticos.



### σ PHILIP B. CROSBY (1926-2001)<sup>25</sup>

Crosby, un importante consultor de calidad en los Estados Unidos, ha promovido intensamente su filosofía de calidad en las empresas.

Ha dado a conocer su enfoque a través de dos libros de amplia difusión: *La calidad no cuesta* y *Calidad sin lágrimas*. En estos libros hace énfasis en que los costos por mala calidad representan hasta un 30% de los gastos de una compañía, por lo que todo lo que se pueda hacer para evitar una mala calidad, será en realidad una inversión para la compañía.

Hizo muy famosa su afirmación de que "*Calidad es hacer bien las cosas desde la primera vez*", que mucho se ha criticado por una interpretación rígida del concepto. Lo que Crosby quiere dar a entender es que cuando algo debe ser corregido se añaden costos extra tanto para el productor como para el cliente.

#### FUNDAMENTOS DE CALIDAD

Para Crosby la administración por calidad se basa en cuatro principios fundamentales:

1. Calidad es cumplir con requisitos.
2. El sistema para asegurar la calidad es la prevención.
3. EL estándar de desempeño: cero defectos.
4. El sistema de medición: los costos de calidad. Lo que cuesta el incumplimiento con los requisitos.

#### LOS 14 PASOS DE LA ADMINISTRACIÓN POR CALIDAD<sup>26</sup>

Los pasos para implementar un programa de mejora de calidad en el organismo y que permitirán la aplicación de los cuatro principios fundamentales son:

1. Establecer el compromiso de la Dirección por la Calidad. Si la administración no se compromete, cualquier esfuerzo no tendrá la suficiente fuerza para tener éxito.

---

<sup>25</sup> CROSBY, P. "*Calidad sin lágrimas. El arte de administrar sin problemas*". México, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., 1995, pp. 9-25

<sup>26</sup> *Idem*

2. Formar el equipo para la mejora de calidad (EMC). Es importante que exista una estructura dentro de la compañía, dedicada a coordinar y supervisar los esfuerzos del organismo en mejora de calidad,
3. Capacitar al personal con los conceptos de calidad. Todo el personal debe estar bien entrenado en el manejo de las herramientas para la aplicación de este enfoque y crear un lenguaje común en el organismo.
4. Establecer mediciones de calidad. Con el objeto de prevenir y controlar el proceso, asegurando así el nivel de calidad requerido.
5. Evaluar los costos de calidad. Sobre todo medir los costos causados por el incumplimiento, las correcciones, los desperdicios.
6. Crear conciencia sobre la calidad. Es muy importante hacer una labor de difusión y de convencimiento de todo el personal hacia la nueva filosofía.
7. Tomar acciones correctivas. Impulsar permanentemente las medidas necesarias para asegurar el cumplimiento de los niveles de calidad requeridos.
8. Planificar el "día cero defectos". Este suceso marca el compromiso de todo el organismo con la nueva filosofía y con la incorporación a las prácticas de trabajo de los cuatro principios fundamentales.
9. Festejar el día "cero defectos". Es importante involucrar a toda la compañía en la celebración y reconocimiento por los logros alcanzados en cada uno de los departamentos en función de las metas y los compromisos adquiridos.
10. Establecer metas. Todo organismo debe estar encaminado al logro de metas que permitan monitorear los avances y determinar si se va en la dirección correcta.
11. Eliminar las causas del error. La manera de llegar al logro de cero defectos, no es eliminando los errores, sino eliminando las causas de los errores.
12. Dar reconocimiento. Los logros alcanzados en los diferentes departamentos deben ser estimulados y promovidos a través de mecanismos permanentes de reconocimiento. Se requiere reforzar las prácticas exitosas de la nueva cultura de calidad.
13. Formar equipos de calidad. Tener una estructura para la mejora de calidad a todo lo largo y ancho del organismo, a través de los equipos de trabajo enfocados a la implementación de mejoras en todo.
14. Repetir todo el proceso. El último paso del proceso es volver a empezar. La calidad no debe ser un programa en el organismo, sino una forma de vida.

**σ ARMAND V. FINGENBAUM (1922- )<sup>27</sup>**

Ingeniero doctorado por el MIT, fue quien acuñó el nombre de CONTROL DE CALIDAD, viendo enfoque sistémico (las partes y sus interrelaciones). Escribió un libro en los años 40's con el nombre de Control de Calidad, en donde establece que el CTC se logra cuando todas las áreas y todas las personas de una institución trabajan hacia la calidad.

Define Calidad Total como un sistema efectivo de los esfuerzos de varios grupos en una organización para la integración del desarrollo, del mantenimiento y la mejora de la calidad con el objetivo de hacer posibles marketing, ingeniería, producción, y servicio a satisfacción total del consumidor y al nivel más económico.

**σ SHIGEO SHINGO (1909-1990)<sup>28,29</sup>**

Shigeo Shingo era un ingeniero industrial de la Toyota, a quien se le acredita el haber creado y formalizado Cero Control de Calidad (ZQC), un enfoque del Control de Calidad que resalta mucho la aplicación de las Poka Yoke, un sistema de inspección en la fuente.

Poka Yoke es un enfoque que combina Mistake-Proofing (A Prueba de Errores), con prevención de los errores en el puesto de trabajo, detección de errores (auto-chequeos), e Inspección en la Fuente. Se plasma en dispositivos mecánicos o electrónicos sencillos o complejos que se incluyen en el proceso productivo o trucos ingeniosos en el diseño de productos o procesos para evitar que se cometan errores.

Durante la década de los 40's, Shingo estudio y aplicó el Control Estadístico de la Calidad. En 1961, luego de una visita en Yamada Electric, Shingo comenzó a introducir instrumentos mecánicos sencillos en los procesos de ensamblaje, con el objetivo de prevenir que las partes sean ensambladas erróneamente, entre otras que daban señales de alerta cuando un operario olvidaba una de las partes (Poka Yoke).

En 1967 mejoro estos instrumentos, introduciendo inspección en la fuente y haciendo más sofisticados los Poka Yoke, reduciendo la utilidad del control estadístico de la calidad, ya que no se daban errores.

<sup>27</sup> SCHULDT, Johannes, *op. cit.*, nota 8, p. 92

<sup>28</sup> UDAONDO, M., "*Gestión de Calidad*", España, Ediciones Díaz de Santos, 1992. pp.21, 26-27

<sup>29</sup> SHIGEO Singo, "*Una Revolución en la Producción: El sistema SMED*", The Productivity Press, USA 1985.

En 1977, luego de una visita a la planta de la división de máquinas de lavar de Matsushita en Shizuoco, donde se consiguió un mes entero sin defectos en una línea de ensamblaje con 23 operarios. Shingo llegó, definitivamente, a la conclusión de que el Control Estadístico de la Calidad no era necesario para conseguir cero defectos, sino que bastaba la aplicación de Poka Yoke e Inspección en la Fuente, siendo esto la base del Cero Control de Calidad

Desarrolló y formalizó el Cero Control de Calidad que es un enfoque del Control de Calidad que destaca la aplicación de las Poka Yoke.

Se basa en la premisa de que los defectos se dan porque ocurren errores en el proceso. Por tanto, no habrá defectos si existe la adecuada retroalimentación (inspección) y si se toman las acciones necesarias en el lugar donde se pueden dar errores. Para ello debemos utilizar inspecciones en la fuente, auto-chequeos y chequeos sucesivos como técnicas de inspección.

La idea principal de este concepto es de interrumpir el proceso cuando ocurre un defecto, definir la causa y corregirla, que es el principio de Justo a Tiempo (JIT) en lo que se refiere a la calidad. Por ello no es necesario realizar muestreos y aplicar Control Estadístico de la Calidad, para conseguir Cero Defectos.

La aplicación práctica de este enfoque se basa, por tanto, en investigar minuciosamente la ingeniería de los productos y los procesos, en vez de realizar campañas de motivación con eslóganes y exhortaciones a la calidad, mostrando abiertamente las estadísticas de los defectos.

El nombre de este enfoque suele generar algunas controversias, ya que sugiere que no se controla la calidad, cuando en realidad existe una inspección total, del 100% de los productos y de todos los procesos, a través de los dispositivos Poka Yoke. El punto es que bajo este enfoque se busca generar procesos "perfectos" o incapaces de generar productos defectuosos por lo que el control de calidad, desde un punto de vista tradicional no existe.

### σ GENICHI TAGUCHI (1924-)<sup>30</sup>

Ingeniero en electrónica con doctorado en Estadística, reconocido por sus estudios de *capacidad del proceso* y su metodología de *diseño de experimentos*, conceptos introducidos en la década de los 80's como parte del Método Taguchi. Cuatro veces merecedor del famoso Premio Deming por sus trabajos en pro de la calidad, define Calidad Total como la pérdida mínima impartida a la sociedad por el producto desde el momento en que se despacha (considerando re-procesos, mantenimiento, desechos, tiempo sin ser usado a causa de fallas, reclamos por garantías, y bajo rendimiento del producto).

Sus teorías sobre *Design of Experiments (DOE)*, que combinan métodos de Ingeniería con métodos estadísticos, permiten reducir notablemente el número de experimentos a realizar cuando se trata de verificar la influencia de un cierto número de parámetros en un elemento, con el consiguiente ahorro en tiempo y dinero.

EL DOE es un enfoque usado para identificar los factores o pasos que más contribuyen a la generación de variaciones dentro de las especificaciones de un producto. El DOE se enfoca a identificar los factores que afectan el nivel de respuesta de un producto o proceso a determinados agentes, a fin de generar un modelo matemático predictivo. Uno de los usos más importantes del DOE es el Diseño de Parámetros, es decir las tolerancias y los valores nominales que formarán parte de los objetivos de calidad.

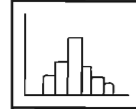
### 3. HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA CLASIFICAR LA INFORMACIÓN

Por medio de estas herramientas, la información se organiza para facilitar su análisis y hacer inferencias que ayuden a identificar problemas y algunas de sus causas, así como priorizar o generar soluciones. Dentro de este grupo de herramientas tenemos las siguientes: histograma, diagrama de Pareto y estratificación.

---

<sup>30</sup> UDAONDO, M., *Op. Cit.*, nota 28, pp 21, 27

Las 7 herramientas del Control de Calidad, definidas por Deming son:



### σ HISTOGRAMA<sup>31</sup>

La variabilidad es un fenómeno inherente a todos los fenómenos que existen en la naturaleza. Aunque esperemos resultados estandarizados siempre existirá un grado de variabilidad en los mismos. La variabilidad asociada con los datos nos proporciona la información sobre los procesos, que podemos utilizar para tomar decisiones.

#### OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

La finalidad de esta herramienta es representar en forma gráfica la variabilidad de los datos.

#### VENTAJAS DE SU APLICACIÓN

Permite obtener un panorama completo de la información:

- ¿Cual es el valor más común?
- ¿Qué tan variables son los datos?
- ¿Hay un solo pico?
- ¿Hay discontinuidades?
- ¿Hay sesgos?

#### PROCEDIMIENTO

PASO 1: Se determina el número de datos. Por ejemplo: 50 calificaciones de alumnos.

95, 66, 78, 83, 54, 97, 80, 80, 91, 95  
 93, 84, 53, 56, 75, 70, 92, 85, 76, 69  
 99, 72, 69, 60, 77, 68, 87, 90, 90, 100  
 86, 78, 95, 68, 79, 98, 78, 88, 88, 70  
 90, 65, 78, 88, 70, 83, 85, 96, 88, 90

PASO 2: Se determina el rango, el cual resulta de la diferencia entre el dato mayor y el menor, ( $r = \text{dato mayor} - \text{dato menor}$ ) siguiendo el ejemplo el rango sería:

$$R = 100 - 53 = 47$$

<sup>31</sup> KUME, H., "Herramientas Estadísticas Básicas para el mejoramiento de la Calidad". España, Grupo Editorial Norma, 1992. p. 50

PASO 3. Se determina el intervalo de clases a formar ( k ). Las clases representan las agrupaciones que hemos hecho de los datos: días de la semana, edades, calificación, etcétera. El cálculo del número de clase se define tomando como referente el rango y su ubicación en la tabla siguiente:

Rango	Número de clases
Menos de 50	5 a 7
50 a 99	6 a 10
100 a 250	7 a 11
Más de 250	10 a 20

En este caso escogemos 6 clases ya que tenemos 50 datos.

Cuando los datos ya tienen un valor predeterminado, la definición de clases puede obviarse. Ejemplos de esto serían: la escolaridad, los meses del año, zonas geográficas, etcéteras.

PASO 4. Se determina el intervalo o ancho (H), de la clase. La fórmula para calcularlo es la siguiente: Rango entre el número de clases.  $H = R / K$ . en el ejemplo que desarrollamos el tamaño del intervalo sería:

$$\frac{47}{6} = 7.8$$

PASO 5. Se clasifican los datos en una sola clase para definir el límite superior y el límite inferior de cada clase. Para tal efecto, se toma la medición individual menor de los datos. Este será el límite inferior de la primera clase, en nuestro ejemplo es 53. Para calcular el límite superior se le suma el tamaño del intervalo:  $5.3 + 7.8 = 60.8$  y así sucesivamente hasta la última clase.

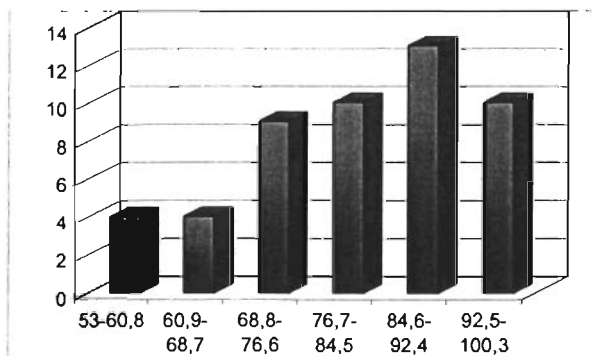
Para evitar errores en la clasificación de los datos, que solo deben pertenecer a una clase, es recomendable hacer una diferencia entre el límite superior de una clase y el límite inferior de la siguiente. Veamos como se calculan las siguientes clases en el ejemplo que estamos desarrollando.

1ª	$53 + 7.8 = 60.8$
2ª	$60.9 + 7.8 = 68.7$
3ª	$68.8 + 7.8 = 76.6$
4ª	$76.7 + 7.8 = 84.5$
5ª	$84.6 + 7.8 = 92.4$
6ª	$92.5 + 7.8 = 100.3$

PASO 6. Con base en los intervalos de clase obtenidos, se construye la tabla de frecuencias, esto se realiza sumando la frecuencia de datos de cada clase y la suma total deberá ser igual al total de datos ( N )

Clase	Intervalos de clase	Frecuencia	Total
1	53 – 60.8		4
2	60.9 – 68.7		4
3	68.8 – 76.6		9
4	76.7 – 84.5		10
5	84.6 – 92.4		13
6	92.5 – 100.3		10
<b>Total</b>			<b>N = 50</b>

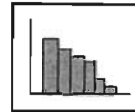
PASO 7. Con base en la tabla de frecuencias se construye el histograma, las cuales se representan en barras. En el eje horizontal se indican los límites de las clases y en el eje vertical la frecuencia con que ocurren los datos, en cada una de las clases.



PASO 8. Interpretación del histograma. Por los resultados anteriores se concluye que el 34% de los alumnos se encuentra por debajo del promedio, el 20% en el promedio y el



46% por arriba del promedio. Lo anterior expresa que este grupo tiene un alto rendimiento escolar ya que el 66% de los alumnos rinde por arriba del promedio.



#### σ DIAGRAMA DE PARETTO<sup>32</sup>

El principio de Pareto fue propuesto por el economista italiano Wilfredo Pareto en 1897, por lo cual lleva su nombre, éste plantea que *un 20% de las causas ocasionan un 80% de los efectos en una situación determinada*; a este principio también se le conoce como la regla del 80/20 debido a que hay factores que son prioritarios o más relevantes en cada una de las situaciones. En 1907, el economista norteamericano M. C. Lorenz expresó una teoría similar por medio de diagramas. El Dr. Juran aplicó el método del diagrama de Lorenz como fórmula para clasificar los problemas de calidad en los pocos vitales y los muchos triviales, y llamó a éste método análisis de Pareto. Por tanto, si queremos modificar los efectos tenemos solamente que ubicar el 20% de las variables más importantes que darán el 80% de los resultados. La aplicación de este concepto permite economizar esfuerzos al centrar la atención en los aspectos verdaderamente importantes de una situación.

La regla del 80/20 parece ser un fenómeno natural, por ejemplo, unos cuantos países agrupan la mayor parte de la población, un porcentaje pequeño de ésta ocasiona la mayoría de los actos delictivos, como este ejemplo podríamos mencionar muchos más.

#### OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

Priorizar de un grupo de problemas, la atención de los mismo, identificando los de mayor importancia, o bien determinando con base en un grupo de datos las causas principales que ocasionan un problema.

#### VENTAJAS DE SU APLICACIÓN

Identificar en forma clara y objetiva hacia donde enfocar los esfuerzos para la solución de problemas.

---

<sup>32</sup> *Ibid.*, p. 31

**PROCEDIMIENTO**

PASO 1. Definir la situación a analizar, por ejemplo:

- Causas de accidentes de tráfico
- Factores que influyen en el padecimiento de enfermedades respiratorias.
- Causas de mortalidad en la población.
- Causas de la deserción escolar

PASO 2. Se relacionan todos los factores a considerar; en este listado se enunciarán todos los aspectos que se considere influyen en el tema, si alguno no fuera relevante, se observará en el análisis de los datos. Tomemos como ejemplo, las causas de accidentes de tráfico:

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conducir en estado de ebriedad</li> <li>• Excesote velocidad</li> <li>• Pavimento resbaloso a causa de lluvia</li> <li>• Fallas mecánicas</li> <li>• Falta de pericia del conductor</li> <li>• No respetar el reglamento de transito</li> <li>• otras</li> </ul> |
|---|

PASO 3. Se define el periodo de tiempo considerado para el análisis: por ejemplo los resultados del último año.

PASO 4. Se recopila la información de cada uno de los factores enlistados y se vacían los datos en una hoja de recolección de información.

PASO 5. Se ordenan los factores de acuerdo con su frecuencia, presentándolos de mayor a menor.

Causa	Frecuencia
• Conducir en estado de ebriedad	250
• Exceso de velocidad	180
• Pavimento resbaloso a causa de lluvia	110
• Fallas mecánicas	95
• Falta de pericia del conductor	60
• No respetar el reglamento de transito	50
• Otras	10
<b>Total</b>	<b>755</b>

PASO 6. Se obtiene el porcentaje que representa cada una de las causas y se ordenan de mayor a menor grado de frecuencia.

Causa	Frecuencia	%
• Conducir en estado de ebriedad	250	33
• Exceso de velocidad	180	24
• Pavimento resbaloso a causa de lluvia	110	15
• Fallas mecánicas	95	13
• Falta de pericia del conductor	60	8
• No respetar el reglamento de tránsito	50	6
• Otras	10	1
<b>Total</b>	<b>755</b>	<b>100</b>

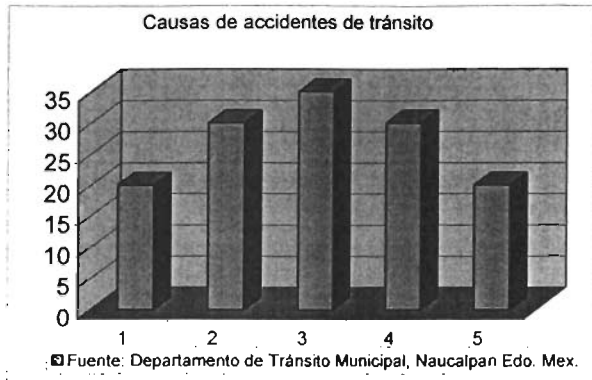
PASO 7. Se obtienen los porcentajes acumulados ( Se suma el porcentaje de cada causa con el porcentaje acumulado anterior, iniciando por la causa de mayor frecuencia)

Causa	Frecuencia	%	% acumulado
• Conducir en estado de ebriedad	250	33	33
• Exceso de velocidad	180	24	27
• Pavimento resbaloso a causa de lluvia	110	15	72
• Fallas mecánicas	95	13	85
• Falta de pericia del conductor	60	8	93
• No respetar el reglamento de tránsito	50	6	99
• Otras	10	1	100
<b>Total</b>	<b>755</b>	<b>100</b>	

PASO 8. Se elabora una representación gráfica de barras con los datos como se indica a continuación:

- En el eje vertical izquierdo se indica la frecuencia de ocurrencia de las causas
- En el eje horizontal se ubican las causas, ordenadas de mayor a menor por su frecuencia de ocurrencia.
- En el eje vertical derecho se traza una escala del 0 al 100%
- Se traza una gráfica representando el porcentaje acumulado de cada factor, con referencia al eje derecho.

PASO 9. Se resaltan en la gráfica los datos de identificación: período que se investiga, fuente de los datos, etcétera.



#### PASO 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el ejemplo anterior se observa que de los siete factores enunciados tres causan el 72% de los problemas, estos son: conducir en estado de ebriedad, exceso de velocidad y pavimento resbaloso. Si se tratarán de resolver los siete factores sólo se dispersarían los esfuerzos, por lo que las tres causas mencionadas tendrían prioridad de atención. Una vez atendidos estos problemas podemos tomar acciones para eliminar las restantes causas.



#### σ DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO<sup>33,34</sup>

En 1953, Kaoru Ishikawa, resumió la opinión de los ingenieros de una planta dándole la forma de un diagrama de causa-efecto mientras discutían un problema de calidad. Esta fue la primera vez que se usó este enfoque. Cuando el diagrama se usó en la práctica, mostró ser muy útil y pronto llegó a usarse ampliamente en muchas compañías en todo el Japón. Se incluyó en la terminología del JIS (Estándares Industriales Japoneses) del Control de Calidad.

El diagrama de Ishikawa, o **Diagrama Causa-Efecto**, es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Ilustra gráficamente las relaciones

<sup>33</sup> ISHIKAWA, K., ¿Qué es el control Total de la Calidad? La modalidad japonesa, Grupo Editorial Norma, Columbia 1992.

<sup>34</sup> KUME, H. *Op. Cit.* Nota 31, pp. 39-45

existentes entre un resultado dado (efectos) y los factores (causas) que influyen en ese resultado.

### **OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA**

El diagrama se usa no solamente para observar las características de calidad de los productos sino también en otros campos, donde se establece la existencia de una relación causal, en la actualidad cuenta con una amplia difusión a nivel mundial.

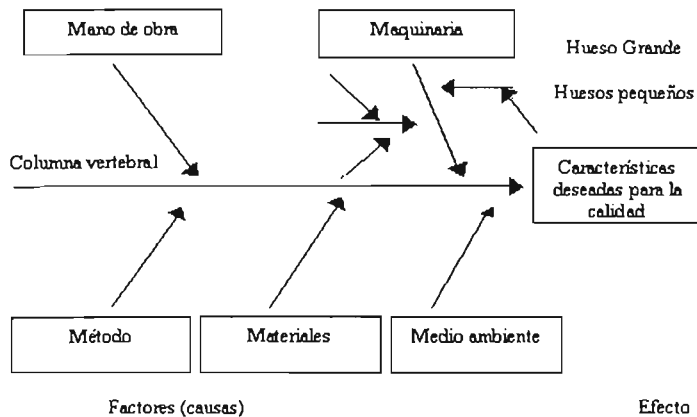
El diagrama causa-efecto puede determinar una estructura o una relación múltiple de variables si se observa sistemáticamente. Actualmente es difícil solucionar problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura, la cual consta de una cadena de causas y efectos.

### **VENTAJAS DE SU APLICACIÓN**

Cuando se ha identificado el problema a estudiar, es necesario buscar las causas que producen la situación anormal. Cualquier problema por complejo que sea, es producido por factores que pueden contribuir en una mayor o menor proporción. Estos factores pueden estar relacionados entre sí y con el efecto que se estudia. El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en el poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

Cada una de las principales ramificaciones corresponden a una parte importante e independiente del proceso, al conjunto de las mismas se les conoce como las 6M's:

1. Mano de Obra. EL desempeño del personal depende de tres factores muy importantes: conocimientos, habilidades y actitudes. La falta de capacitación continua del personal, cursos de manejo de máquinas-herramientas, incentivos, motivación, supervisión, etc. pueden ser causantes de problemas.



GUTIERREZ, Mario. "Administrar para la calidad, conceptos administrativos del control total de calidad"

2. Medio Ambiente. En esta parte se incluyen los desperdicios de insumos y producto terminado, exposición a contaminantes, humedad atmosférica, iluminación del lugar de trabajo, etc.
3. Materiales. Normalmente las empresas utilizan una gran cantidad de materiales y de componentes para fabricar los productos, estos materiales deben de cumplir con ciertos requisitos de calidad. Aquí se involucra lo que es el agua de proceso, agua de las plantas, materias primas, vapor, etc.
4. Método. Implica cualquier proceso o forma de realizar el trabajo. Por ejemplo, el lavado, molienda, secado, horneado, limpieza, fermentado, atención a llamadas, etc.
5. Medición. Resulta primordial que las mediciones se realicen con exactitud, lográndose esto con un buen manejo del equipo de medición y con personal capacitado para el manejo del equipo y toma de mediciones. Por ejemplo, un análisis de laboratorio, calibración, mantenimiento a instrumentos, manuales de operación, etc.
6. Maquinaria. En ocasiones la maquinaria para la elaboración de productos solo es capaz de proporcionar ciertos rangos de calidad, que en ocasiones no corresponden con los límites requeridos; en entonces cuando es necesario hacer un ajuste o considerar la adquisición de equipo nuevo, más sofisticado que permita obtener mejores resultados en el proceso. Por ejemplo, hornos,

mezcladores, enfriadores, tableteadoras, encapsuladoras, enfajilladoras, etiquetadoras, etc.

### PROCEDIMIENTO

El procedimiento consta de cinco pasos:

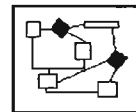
Paso 1: Describa el efecto o atributo de calidad

Paso 2: Escoja una característica de calidad y escríbala en el lado derecho en una hoja de papel, dibuje de izquierda a derecha la línea de la espina dorsal y encierre las características en un cuadro. En seguida, escriba las causas primarias que afectan a la característica de calidad, en forma de grandes huesos, encerrados también en cuadros.

Paso 3: Escriba las causas secundarias que afectan las causas primarias, como huesos medianos, y escriba las causas terciarias que afectan a los huesos medianos (causas secundarias)

Paso 4: Asigne la importancia de cada factor, y marque los factores particularmente importantes

Paso 5: Registre cualquier información que pueda ser de utilidad.



### σ DIAGRAMA DE FLUJO/ MAPA DE PROCESOS<sup>35</sup>

Un diagrama de flujo es una representación pictórica de los pasos en un proceso, útil para determinar como funciona realmente el proceso para producir un resultado. El resultado puede ser un proceso, un servicio, información o una combinación de los tres. El mapeo de proceso no debe ser tan detallado como los diseños de ingeniería, pero si lo suficientemente descriptivos para comprender y evaluar el producto y el flujo del proceso.

### OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

Al examinar cómo los diferentes pasos en un proceso se relacionan entre sí, se puede descubrir con frecuencia las fuentes de problemas potenciales. Los diagramas de flujo

<sup>35</sup> ESCALANTE, Edgardo, "Seis-Sigma, Metodología y Técnicas", México, ASQ-LIMUSA, 2003, pp. 42-45.

se pueden aplicar a cualquier aspecto desde el proceso de flujo de materiales hasta los pasos para hacer la venta u ofrecer un producto.

Un Diagrama de flujo se emplea cuando un equipo necesita ver cómo funciona realmente un proceso completo ya que ayuda a que se entienda fácilmente el proceso de producción o servicio por cualquier persona, ya sea que intervenga en el mismo o no. Esta herramienta con frecuencia revela problemas potenciales tales como cuellos de botella en el sistema, pasos innecesarios y círculos de duplicación de trabajo, es decir, áreas potenciales de mejora.

### **VENTAJAS DE SU APLICACIÓN**

Usos del mapa de proceso:

- Describir las etapas de un proceso y entender como funciona
- Identificación de oportunidades de cambios en el proceso
- Generar teorías sobre las causas principales de un problema
- Identificar a los clientes y los proveedores de un proceso
- Planificar, revisar y rediseñar procesos con alta calidad, identificando las oportunidades de mejora.
- Diseño de nuevos procesos
- Describir los cambios potenciales en el proceso y sus efectos principales
- Desarrollar estimados de costos por mala calidad
- Revisión y establecimiento de monitorias y controles al proceso para asegurar que se están siguiendo los nuevos procedimientos
- Entrenamiento y capacitación
- La nueva versión de la norma ISO 9000/2000 recomienda el empleo del mapeo de procesos para la documentación de la empresa.

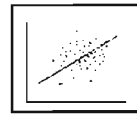
### **PROCEDIMIENTO**

La metodología para elaborar un diagrama de flujo es:

1. Enlistar la secuencia de actividades que conforman el proceso o sistema a esquematizar.
2. Utilizar los símbolos básicos y definir la secuencia lógica, detallada y completa de los pasos que sigue el proceso



3. Asegurarse que todas las líneas y conectores estén debidamente unidos. Sobre todo, los rombos de decisión deben indicar el camino que siguen los "sí" y los "no".
4. Verificar que todos los textos dentro de cada símbolo empiecen con un verbo en infinitivo.
5. Verificar que el diagrama este completo. Que todo lo que se hace en realidad, corresponda a lo ahí plasmado. Sométalo a consideración de otras personas.
6. Probar la validez del diagrama, verificando que no se mezcle lo que es, con lo que debiera ser.



#### σ **DIAGRAMA DE DISPERSIÓN**<sup>36</sup>

Un diagrama de dispersión es una representación gráfica de la relación global entre dos variables que son graficados en un par de ejes.

#### **OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA**

Sirve para establecer la relación entre unas causas y un efecto. Tres conceptos especialmente destacables son que el descubrimiento de las verdaderas relaciones de causa-efecto es la clave de la resolución eficaz de un problema, que las relaciones de causa-efecto casi siempre muestran variaciones, y que es más fácil ver la relación en un diagrama de dispersión que en una simple tabla de números.

#### **VENTAJAS DE SU APLICACIÓN**

El diagrama de dispersión tiene, principalmente, un uso técnico. Es de gran utilidad para la solución de problemas de la calidad en proceso y en producto, ya que nos sirve para comprobar que factores están influyendo o perturbando la dispersión de una característica de calidad o variable del proceso a controlar.

Cuando lo que interesa es la relación que existe entre dos variables continuas, el gráfico más sencillo es el que en un par de ejes se representan los valores de cada una de las variables, y para cada valor que asuma una, habrá algún valor de la otra.

La inspección, muchas veces los diagramas de dispersión dejan al descubierto una relación funcional de las variables.

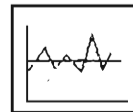
<sup>36</sup> KUME, H., *Op. Cit.* Nota 31, pp. 79-80

## PROCEDIMIENTO

El análisis de un diagrama de dispersión consta de un proceso de cuatro pasos, se elabora una teoría razonable, se obtienen los pares de valores y se dibuja el diagrama, se identifica la pauta de correlación y se estudian las posibles explicaciones. Las pautas de correlación más comunes son correlación fuerte positiva (Y aumenta claramente con X), correlación fuerte negativa (Y disminuye claramente con X), correlación débil positiva (Y aumenta algo con X), correlación débil negativa (Y disminuye algo con X), correlación compleja (Y parece relacionarse con X pero no de un modo lineal) y correlación nula (no hay relación entre X e Y). Errores comunes son no saber limitar el rango de los datos y el campo de operación del proceso, perder la visión gráfica al sintetizarlo todo en resúmenes numéricos, etc.

Como elaborar un diagrama de dispersión:

1. Diseñar un hoja para coleccionar datos.
2. Obtener tabla de pares de valores con valores máximos y mínimos de cada variable.
3. Dibujar y rotular los ejes horizontales y verticales.
4. Situar la causa sospechada en el eje horizontal.
5. Registrar los datos en el gráfico. Cuando se obtengan los mismos valores en diferentes observaciones, trazar el área emparejada usando círculos concéntricos o donde los valores son concurrentes.
6. Poner título al gráfico y rotular.
7. Identificar y clasificar el modelo de correlación.



## σ CUADROS DE CONTROL<sup>37,38,39</sup>

Una gráfica de control es una herramienta estadística utilizada para evaluar la variabilidad/estabilidad de un proceso a través del tiempo. Se hace una gráfica de control con el fin de eliminar una variación anormal, distinguiendo las variaciones debidas a causas asignables de aquellas debidas a causas al azar. En ella se indican

<sup>37</sup> UNAM, Facultad de Ingeniería, Control Estadístico de Proceso

<sup>38</sup> VAUGHN, R., "Control de Calidad", México, Iowa University Press / AMES, Limusa Editores, 1995.

<sup>39</sup> KUME, H., *Op. Cit.* Nota 31, pp. 38-39

los resultados de la variable a observar en un esquema formado por una línea central o media, y dos líneas que representan los límites de control (superior e inferior).

Los gráficos de control fueron ideados por Shewhart durante el desarrollo del control estadístico de la calidad en los Laboratorios de la Bell Telephone, en 1924. Han tenido una gran difusión siendo ampliamente utilizados en el control de procesos industriales. Sin embargo, con la reformulación del concepto de Calidad y su extensión a las empresas de servicios y a las unidades administrativas y auxiliares, se han convertido en métodos de control aplicables a procesos llevados a cabo en estos ámbitos.

Las gráficas de control están compuestas por un eje horizontal y uno vertical, límite de control superior, límite central, límite de control inferior y la línea de los datos.

Los límites de control se establecen con el propósito de obtener un juicio respecto al comportamiento del proceso, esto es, determinar si se es estable o no. cualquier punto que se encuentra fuera de los límites se considera como fuera de control.

Son límites naturales del proceso, esto es, se generan de manera automática en base a los datos leídos. No deben ser confundidos con los límites de especificación.

#### **OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA**

1. Establecer, cambiar especificaciones o determinar si un proceso dado puede cumplirlas.
2. Establecer o cambiar los procedimientos de producción. Esto puede ser eliminar las causas que originan la variación o cambios en los métodos de producción si es que se considera que con los existentes no se pueden cumplir las especificaciones.
3. Establecer o cambiar procedimientos de inspección y aceptación. Los cuadros de control proporcionan una base para tomar decisiones sobre el proceso, cuando hay que investigar las causa de variación o cuando es necesario tomar una acción que nos permita eliminar cualquier causa asignable de variación, además de que permite actuar para mantener dentro de control el proceso.
4. Proporcionan una base de decisiones sistemáticas sobre aceptar o rechazar un producto, reducir costos de inspección o producción, contribuir a familiarizar al personal con el uso de gráficas y a adquirir un compromiso que favorezca la calidad del producto.

### VENTAJAS DE SU APLICACIÓN

Permite distinguir entre las causas de variación. Todo proceso tendrá variaciones, pudiendo estas agruparse en:

- Causas aleatorias de variación. Son causas desconocidas y con poca significación, debidas al azar y presentes en todo proceso.
- Causas específicas (imputables o asignables). Normalmente no deben estar presentes en el proceso. Provocan variaciones significativas. Las causas aleatorias son de difícil identificación y eliminación. Las causas específicas sí pueden ser descubiertas y eliminadas, para alcanzar el objetivo de estabilizar el proceso

La idea tradicional de inspeccionar el producto final y eliminar las unidades que no cumplen con las especificaciones una vez terminado el proceso, se reemplaza por una estrategia más económica de prevención antes y durante del proceso industrial con el fin de lograr que precisamente estos productos lleguen al consumidor sin defectos.

Así las variaciones de calidad producidas antes y durante el proceso pueden ser detectadas y corregidas gracias al empleo masivo de Gráficas de Control.

Según este nuevo enfoque, existen dos tipos de variabilidad. El primer tipo es una variabilidad aleatoria debido a "causas al azar" o también conocida como "causas comunes". El segundo tipo de variabilidad, en cambio, representa un cambio real en el proceso atribuible a "causas especiales", las cuales, por lo menos teóricamente, pueden ser identificadas y eliminadas.

Los gráficos de control son útiles para vigilar la variación de un proceso en el tiempo, probar la efectividad de las acciones de mejora emprendidas, así como para estimar la capacidad del proceso.

Los gráficos de control ayudan en la detección de modelos no naturales de variación en los datos que resultan de procesos repetitivos y dan criterios para detectar una falta de control estadístico. Un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando la variabilidad se debe sólo a "causas comunes".

## PROCEDIMIENTO

Los gráficos de control de Shewart son básicamente de dos tipos; gráficos de control por variables (valores continuos) y gráficos de control por atributos (valores discretos). Para cada uno de los gráficos de control, existen dos situaciones diferentes; a) cuando no existen valores especificados y b) cuando existen valores especificados. Se denominan "por variables" cuando las medidas pueden adoptar un intervalo continuo de valores; por ejemplo, la longitud, el peso, la concentración, etc. Se denomina "por atributos" cuando las medidas adoptadas no son continuas; ejemplo, tres tornillos defectuosos cada cien, 3 paradas en un mes en la fábrica, seis personas cada 300, etc.

Los tipos de gráficas prescritos por JIS<sup>40</sup> se muestran a continuación:

Valor Característico	Nombre
Valor Continuo	Gráfica x-R (Valor promedio y rango)
	Gráfica x (Variable de Medida)
Valor Discreto	Gráfica $pn$ (Número de unidades defectuosas)
	Gráfica $p$ (Fracción de unidades defectuosas)
	Gráfica $c$ (Número de defectos)
	Gráfica $u$ (Número de defectospor unidad)

Antes de utilizar las Gráficas de Control por variables, debe tenerse en consideración lo siguiente:

- a.- El proceso debe ser estable
- b.- Los datos del proceso deben obedecer a una distribución normal
- c.- El número de datos a considerar debe ser de aproximadamente 20 a 25 subgrupos con un tamaño de muestras de 4 a 5, para que las muestras consideradas sean representativas de la población.
- d.- Los datos deben ser clasificados teniendo en cuenta que, la dispersión debe ser mínima dentro de cada subgrupo y máxima entre subgrupos
- e.- Se deben disponer de tablas estadísticas

El siguiente ejemplo enseña cómo utilizar estas gráficas

### Gráficas de Control X y R, por variables (sin valores especificados)

<sup>40</sup> JIS son las siglas de las Normas Industriales Japonesas ó *Japanese Industrial Standards*

En la siguiente tabla se muestran los pesos de los sobres de un determinado alimento. Cada media hora se realizan 4 mediciones por muestra, sumando un total de 20 muestras. Los límites de tolerancia son 0,5360 (LST) y 0,4580 (LIT). Con esto se pretende evaluar el comportamiento del proceso y hacer un control del mismo respecto a su localización y dispersión, con el objeto que el proceso cumpla con las especificaciones preestablecidas.

SUBGRUPO N°	PESO (g)				PROMEDIO X	INTERVALO R
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		
1	0,5053	0,4821	0,5103	0,5090	0,5017	0,0269
2	0,5102	0,5038	0,4958	0,5059	0,5039	0,0144
3	0,5221	0,5142	0,5118	0,5121	0,5150	0,0105
4	0,5074	0,5023	0,4822	0,4934	0,4986	0,0182
5	0,4816	0,5112	0,5223	0,5041	0,5048	0,0407
6	0,4842	0,5028	0,5122	0,4972	0,4994	0,0260
7	0,5111	0,5122	0,5322	0,4951	0,5129	0,0381
8	0,5328	0,5023	0,5122	0,5100	0,5144	0,0307
9	0,4912	0,5145	0,5062	0,4910	0,5009	0,0235
10	0,4652	0,4826	0,4895	0,4533	0,4740	0,0340
11	0,5160	0,4847	0,5095	0,5104	0,5056	0,0313
12	0,5010	0,4795	0,5023	0,5136	0,4991	0,0341
13	0,4864	0,5015	0,5046	0,5043	0,4992	0,0182
14	0,5023	0,5125	0,5012	0,5111	0,5068	0,0113
15	0,5003	0,5035	0,5091	0,5044	0,5049	0,0086
16	0,4932	0,4978	0,4975	0,5124	0,5007	0,0172
17	0,5046	0,4860	0,4965	0,4851	0,4930	0,0105
18	0,5029	0,4850	0,4998	0,4650	0,4882	0,0379
19	0,4721	0,4583	0,4686	0,4925	0,4729	0,0340
20	0,4632	0,4596	0,4681	0,4852	0,4695	0,0256

VAUGHN, R. "Control de Calidad"

Primero debemos calcular las medias tanto de la media de cada muestra (X doble raya) como la de su amplitud o recorrido (R)

Para ello utilizamos las siguientes fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

donde  $\bar{X}$  (doble raya) = 0,4970 y  $R$  (raya) = 0,0224

Para construir los Gráficos de Control por variables, se tiene que tener en cuenta que al determinar si un proceso está bajo "control estadístico", siempre se debe analizar primero la gráfica R. Como los límites de control en la gráfica X (raya) dependen de la amplitud promedio, podrían haber causas especiales en la gráfica R que produzcan comportamientos anómalos en la gráfica X (raya), aún cuando el centrado del proceso esté bajo control.

Para el gráfico R, se tiene que:

Límite Central (LC) =  $R$  (raya) = 0,0224

Límite Superior de Control (LSC)

$$LSC = D_4 \times \bar{R}$$

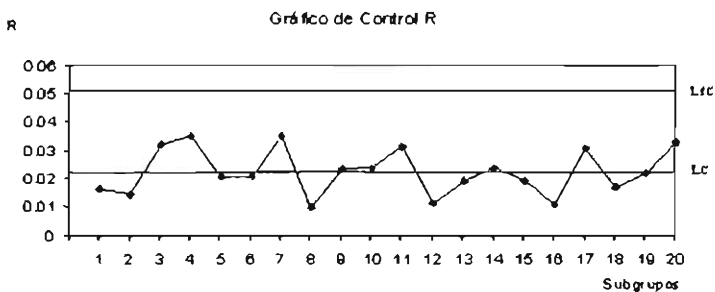
donde  $LSC = 0,0511$ , el valor de  $D$  se consigue en una tabla estadística (para este caso es 2,282 con un tamaño de grupo  $n = 4$ ).

Límite Inferior de Control (LIC)

$$LIC = D_3 \times \bar{R}$$

donde  $LIC = 0$ , porque para todo proceso en que se considera un  $n < 7$ , el LIC no se indica en la gráfica.

El gráfico R es el siguiente:



VAUGHN, R., "Control de Calidad"

Como se puede apreciar, el gráfico R no presenta variaciones fuera del límite superior, por lo tanto la dispersión de los datos es aceptable para calcular el gráfico X (raya).

Para el gráfico X (raya), se tiene que:

Límite Central (LC) =  $\bar{X}$  (doble raya) = 0,4970

Límite Superior de Control (LSC)

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

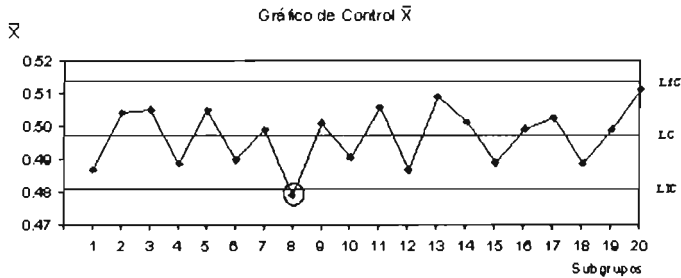
donde  $LSC = 0,5133$ , el valor de  $A_2$  se consigue en una tabla estadística (para este caso el valor es 0,729 con un tamaño  $n = 4$ ).

Límite Inferior de Control (LIC)

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

donde LIC = 0,4807

El gráfico X (raya) es el siguiente:



VAUGHN, R.. "Control de Calidad"

Como se puede apreciar un punto queda fuera del rango calculado, por lo tanto el proceso se encuentra fuera de control estadístico.

En este caso, habría que investigar y eliminar la causa asignable, que podría haberse debido al uso de algún material defectuoso o una mala lectura del instrumento. Este dato debe eliminarse de la gráfica y recalcular todo de nuevo pero sin considerar el subgrupo 8.

Nota.- Esto no siempre es así, si los puntos fuera de control son de tal magnitud, entonces no queda más remedio que una vez encontrada y eliminadas las causas en la práctica, habría que repetir el proceso, recogiendo nuevos datos.

Después de la corrección, los resultados son:

#### Gráfico R corregido

R (raya) = LC = 0,0231

LSC = 0,0527

LIC = 0



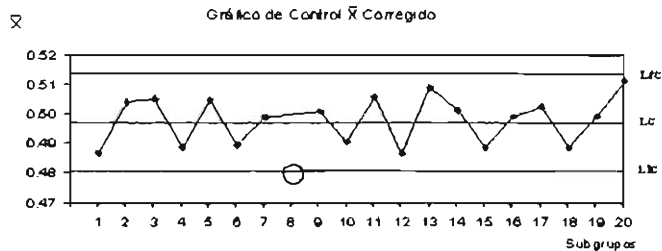
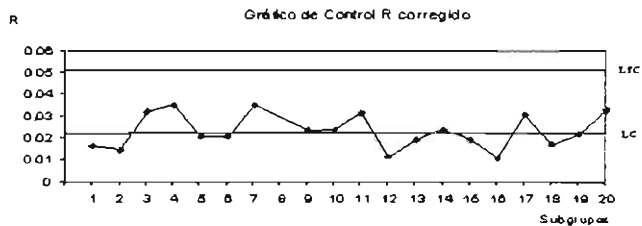
### Gráfico X (raya) corregido

$\bar{X}$  (doble raya) = LC = 0,4979

LSC = 0,5147

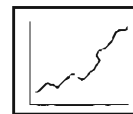
LIC = 0,4811

Los gráficos son los siguientes:



VAGHIN, R., "Control de Calidad",

Como se puede apreciar en ambos gráficos, ahora el proceso se encuentra en "control estadístico".



### $\sigma$ GRÁFICOS DE TENDENCIAS<sup>41</sup>

La gráfica de tendencias es una herramienta que muestra la variación de una característica de interés de un proceso, durante cierto período.

#### OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA

Su objetivo es monitorear el comportamiento de dicha característica de interés en un proceso.

<sup>41</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 35, pp. 32-33.

### **VENTAJAS DE SU APLICACIÓN**

Los gráficos y cuadros son representaciones visuales de datos cuantitativos. Pueden resumir grandes cantidades de información en poco espacio y comunicar situaciones complejas de forma clara y precisa.

Cada tipo de gráfico tiene sus ventajas particulares: los gráficos lineales son buenos para mostrar tendencias, los de barra son particularmente útiles para representar comparaciones entre clases y los gráficos de pie se emplean para poner de manifiesto proporciones.

### **PROCEDIMIENTO**

La variable independiente (eje horizontal) se considera causa o determinante de la dependiente (eje vertical). Los gráficos lineales sencillos tienen una sola variable dependiente para cada valor de la variable independiente, pudiendo existir múltiples puntos con el mismo valor para la variable dependiente.

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

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

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

Six Sigma es una metodología que involucra a toda la organización y utiliza herramientas y métodos estadísticos y no estadísticos; emplea la mejora continua o círculo de Deming, para **Definir** los problemas y situaciones a mejorar, **Medir** para obtener la información y los datos, **Analizar** la información recolectada, **Incorporar** y emprender mejoras al o a los procesos y finalmente, **Controlar** o rediseñar los procesos o productos existentes, con la finalidad de alcanzar etapas óptimas, lo que a su vez genera un ciclo de mejora continua y esta basada en el parámetro sigma ( $\sigma$ ), donde 6 sigma es igual a 3.4 DPM (Defectos por Millón).

La metodología formal de aplicación de Seis Sigma en general sigue este esquema: **DMAIC**; sin embargo, algunos practicantes prefieren incorporar otras etapas adicionales, tales como: **Reconocer** la situación o problema, **Estandarizar** los nuevos procesos en toda la organización, y finalmente, **Integrar** los cambios o soluciones a toda la organización.<sup>42</sup>

Esta iniciativa ha llegado a varias compañías durante la última década y se ha desplegado en Motorola, General Electric, American Express, Kodak, Allied Signal, Polaroid, Sony, Lockheed, NASA, Black & Decker, Bombardier, Dupont, Toshiba, Mabe, Johnson Controls, Kenworth, etc. Empresas comprometidas con la satisfacción del cliente en la entrega oportuna de productos y servicios, libres de defectos y a costos razonables.

Definamos que entendemos por calidad. Podemos definirla como *"el conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario"*<sup>43</sup>. 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.

Seis Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y

<sup>42</sup> *Ibid*, pp. 20-21.

<sup>43</sup> Barba, E., Boix, F., Cuatrecasas, L., "Seis sigma, una iniciativa de calidad total", España, Gestion 2000 S.A., 2000, p. 9.

diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y más importante aún, efectos dramáticos en el desempeño financiero de la organización.<sup>44</sup>

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

Por otra parte, en el caso de analizar una empresa industrial, la excelencia en producción vendrá determinada por la calidad de sus procesos, que determina finalmente la calidad de sus productos. Significará la necesidad de mantener un estricto control sobre esos procesos productivos porque sólo los procesos de alta calidad proporcionan productos de calidad, al menor costo y en el plazo más breve posible.

Las empresas que fabrican bienes de consumo también cuentan con un servicio de atención al cliente, que resulta también de importancia decisiva para su competitividad. Por otra parte existen muchas empresas cuya actividad entra de lleno y de forma exclusiva en el servicio al cliente. Son las empresas de servicios, que representan en la mayoría de los países desarrollados, un porcentaje elevado de los empleos globales, que supera al de los empleos industriales.

Así pues, entre las empresas de servicios y las empresas con actividad industrial que prestan servicios la satisfacción de los requerimientos de los clientes, la calidad en definitiva, adquiere mayor importancia. Por supuesto, el resultado del análisis de cómo encaja la calidad en la estrategia competitiva de una empresa depende mucho de las compañías que se estudien. Puesto que el mercado actual al cual van dirigidos nuestros productos exige una calidad contrastada, en primer lugar se precisa que la

---

<sup>44</sup> *Seis Sigma en acción estratégica de negocios*, EU, 2004.  
<http://www.seis-sigma.com>

empresa tenga unos procesos que estén homologados y certificados frente a sus clientes, lo que requerirá la certificación vía normas ISO 9000. El enfoque estratégico de algunas empresas se limita a eso exclusivamente, a la obtención de ese certificado de aseguramiento de la calidad conforme a las normas ISO 9000.

La calidad alcanza a toda la empresa. No se considera sólo como una característica de los productos o servicios, sino que alcanza el nivel de estrategia global de la empresa. La calidad se convierte en calidad total porque abarca no sólo productos, sino los recursos humanos, los procesos, la organización, etc., en definitiva se convierte en un concepto que engloba a toda la empresa y que involucra a todas las áreas, incluyendo a la dirección, cuyo papel de líder activo en la motivación de las personas y consecución de los objetivos será fundamental.

Para otras empresas, la calidad de sus productos significa aún más: una filosofía que subyace en las decisiones y acciones que componen su estrategia competitiva. Son empresas innovadoras, consideradas una referencia de gestión en las que la calidad se considera una actividad operacional, como algo relacionado con la cultura y los valores de la compañía; donde la calidad se considera no *un*, sino *el* factor estratégico de competitividad.

Son empresas que *miden su calidad*, su enfoque es cuantitativo: la calidad está bien definida y es medible. Una empresa tiene que saber dónde está respecto a sus competidoras, tiene que conocer el efecto que logra con sus programas de calidad, fijarse unos objetivos de mejora y monitorizar el progreso. Pero ¿cómo medir el nivel de calidad?

A principios de los años 80, 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, (*dpm*) de piezas.

En general, los procesos estándar tienden a comportarse dentro del rango de tres (3) Sigma, lo que equivale a un número de defectos de casi 67.000 por millón de oportunidades (DPMO), si ocurre un desplazamiento de 1,5 Sigma; esto significa un nivel de calidad de apenas 93,32 %, en contraposición con un nivel de 99,9997 % para

un proceso de Seis Sigma. Comparativamente, un proceso de Tres Sigma es 19.645 veces más malo (produce más defectos) que uno de Seis Sigma.

Un proceso con una curva de capacidad afinada para seis sigma, es capaz de producir con un mínimo de hasta 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), lo que equivale a un nivel de calidad del 99.9997.

Se recomienda implementar Seis Sigma en forma gradual, por proyectos liderados por equipos multidisciplinarios dentro de la organización. Los equipos se organizan a diferentes niveles y con distintos grados de conocimiento, habilidades y herramientas.<sup>45</sup>

**Leadership Team:** Compuesto por la alta gerencia. Proveerán todos los recursos para implementar la cultura de Seis Sigma dentro de la empresa.

**Lead Black Belts:** Responsables de mantener las estrategias Seis Sigma alineadas con las estrategias corporativas. Busca áreas para desarrollar proyectos de Seis Sigma.

**Champions:** También conocidos como dueños del proceso. Encargados de darle seguimiento a los proyectos individuales.

**Master Black Belts:** Principalmente están involucrados en entrenamientos de belts y generando nuevos proyectos de Seis Sigma.

**Black Belts:** Entrenados en los métodos estadísticos avanzados. Son los agentes de cambio en la organización. También servirán de guía a los Green Belts.

**Green Belts:** Entrenados en estadística básica y métodos de mejoramiento.

Usualmente trabajan como miembros del equipo, aunque muchas veces son líder de equipos.

## 1. ORÍGENES DE SEIS SIGMA

En 1985, el doctor Mike Harry, ingeniero y estadístico en la división de electrónica del gobierno de Motorola Inc., en Phoenix, Arizona, EUA, publicó un artículo en el que describía la relación entre la 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

<sup>45</sup> PYZDEK, Thomas, op. cit., nota 3, pp. 7-8.

Comunicaciones de Motorola, dirigida por G. Fisher, la que lanzó un programa de calidad total con el nombre **Six Sigma®**.

Mike Harry comienza a influenciar a la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar (alrededor de la media), la cual se representa por la letra griega sigma ( $\sigma$ ). Esta iniciativa se convirtió en el punto focal del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, capturando la atención del entonces CEO de Motorola: Bob Galvin. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como meta obtener 3,4 defectos (por millón de oportunidades) en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

Motorola iba a aplicar esta metodología a procesos distintos de los de fabricación, en ámbitos administrativos y financieros. De modo que en enero de 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 de la industria norteamericana:

*"[...] Lograr un nivel de calidad Seis Sigma en nuestros productos y servicios equivalente a sólo 3.4 defectos por millón para el año 1992"<sup>46</sup>*

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

La iniciativa Seis 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 [...]"<sup>47</sup>*

¿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

<sup>46</sup> Herrera Arenas, Carlos, *op. cit.*, nota 1, p. 13.

<sup>47</sup> *Idem*

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 al cliente final o a un cliente interno, entendiendo 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 Seis Sigma vendría definida por una prestación de servicios o la entrega de productos a los clientes libres 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.

Esta iniciativa llegó a oídos de Lawrence Bossidy, quién en 1991 y luego de una exitosa carrera en General Electric, toma las riendas de Allied Signal para transformarla de una empresa con problemas en una máquina exitosa. Durante la implantación de Seis Sigma en los años 90 (con el empuje de Bossidy), Allied Signal multiplicó sus ventas y sus ganancias de manera dramática. Este ejemplo fue seguido por Texas Instruments, logrando el mismo éxito. Durante el verano de 1995 el CEO de GE, Jack Welch, se entera del éxito de esta nueva estrategia de boca del mismo Lawrence Bossidy, dando lugar a la mayor transformación iniciada en esta enorme organización

Por supuesto que Motorola no logró el nivel Seis Sigma en 1992 en todos sus productos o servicios. Algunos lo lograron, otros no, pero la compañía logró un nivel promedio de unos 150 dpm, que, corresponde a un nivel de unos 5.5 Sigma. Si no se hubiera fijado el objetivo de Seis 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 Cuatro Sigma gastaría más del 10% de sus ventas en reparaciones internas y externas, frente a un productor Seis 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, menor calidad medidos en porcentaje sobre la cifra de ventas.



El enfoque 6 Sigma parte de la premisa de que las pérdidas de un producto son directamente proporcionales a la variabilidad de la característica de la calidad del producto en cuestión. Por ello, en general, la mejora de la calidad pasa por reducir la variabilidad,  $\sigma$ .

Mejora de la Calidad  $\longleftrightarrow$  Reducción de la Variabilidad ( $\sigma$ )

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 Seis 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 noventa, a varias empresas multinacionales a imitarla e implantar esa metodología para fortuna del Dr. Mikel Harry.

Harry fue el encargado de establecer el Instituto de Investigación Seis Sigma en la Universidad Motorola. Schaumburg, IL (EUA), 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 publicó varios libros que aún hoy pueden comprarse en la Universidad Motorola.

Los resultados para Motorola hoy en día son los siguientes: Incremento de la productividad de un 12,3 % anual; reducción de los costos de mala calidad sobre un 84,0 %; eliminación del 99,7 % de los defectos en sus procesos; ahorros en costos de manufactura sobre los Once Billones de dólares y un crecimiento anual del 17,0 % compuesto sobre ganancias, ingresos y valor de sus acciones.

En 1993, Harry junto con Schroeder dejaron Motorola, que entonces ya afirmaba operar a un nivel próximo al Seis Sigma en la mayoría de sus procesos productivos, para incorporarse al grupo ABB (Asea Brown Boveri Ltd.) compañía que desde entonces usa la metodología Seis 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, convirtiéndose de este modo en los gurus de la iniciativa Seis Sigma.

Fue un cliente suyo de UNYSIS 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 belts* para los expertos de esta metodología.

De modo que durante los años noventa, 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, Siebe Appliance Controls. En Europa, el club Europeo Seis Sigma incluye a: ABB, Allied Signal, Ericsson, Philips, Siemens y Whirlpool.

Es por esto que GE, una de las empresas que más éxito ha obtenido en Seis Sigma, definía su objetivo al adoptar este programa "Convertirse en una compañía con productos, servicios y transacciones virtualmente sin defectos", citando a Jach Welch, el entonces presidente y jefe ejecutivo de GE, que Durante el verano de 1995 se entera del éxito de esta nueva estrategia de boca del mismo Lawrence Bossidy, dando lugar a la mayor transformación iniciada en esta enorme compañía. 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 Seis Sigma, que tienen sus incentivos económicos ligados a ello, tienes que decirles: Debemos hacer esto. [...]"*<sup>48</sup>

Jach Welch asoció hasta el 40 por ciento de los bonos de sus ejecutivos a la implementación del programa Seis Sigma, no sólo en las áreas de producción y diseño, sino también en servicios financieros y administrativos. Hasta entonces los

---

<sup>48</sup> WELCH, J, Jr. "GE Quality 2000: A Dream with a Plan". General Electric 1996 Annual Meeting, Abril 1996, *Executive Speeches*, agosto/septiembre, 1996.

bonos de esos ejecutivos sólo dependían de los beneficios. Quizá fuese uno de los motivos por los que el programa se implantó con éxito en toda la empresa.

De modo que podemos leer en la Memoria Anual de General Electric, correspondiente al ejercicio 1999:

*"[...] La iniciativa Seis Sigma está en su quinto año... Desde un inicio en 1996 sin beneficio financiero para la empresa, ha florecido hasta el punto de producir más de dos millones de dólares en beneficios en 1999. En las etapas iniciales nuestro esfuerzo consistió en formar a más de 100,000 empleados en esta ciencia y metodología y focalizar miles de proyectos para mejorar la eficiencia y reducir la variabilidad en nuestras operaciones internas, desde fábricas industriales a despachos de servicios financieros".*

*"El objetivo no es entregar productos y servicios sin fallos que pensamos que el cliente quiere cuando se los prometemos, sino más bien entregar lo que los clientes realmente quieren cuando ellos quieran.*

*"Una cosa que las verdaderas grandes empresas del mundo tienen en común, sin importar la diversidad de sus industrias, es un enfoque total del negocio en servir a sus clientes. Con Seis Sigma como facilitador intentamos satisfacer esa norma [...]"<sup>49</sup>*

Quizá la contribución más importante para el auge y desarrollo actual de Seis Sigma, haya sido el interés y esfuerzo dedicado para su implantación en toda G.E., desde sus divisiones financieras, hasta sus divisiones de equipos médicos y de manufactura. La fuerza impulsora que apuntaló y apoyó esta iniciativa: Jack Welch, CEO de G.E.

*"[...] Miren, Solamente tengo tres cosas que hacer: tengo que seleccionar a las personas correctas, asignar la cantidad adecuada de dólares y transmitir ideas de una división a otra a la velocidad de la luz. Así que realmente estoy en el negocio de promover y transmitir ideas [...]"<sup>50</sup>*

El empuje y respaldo de Jack Welch transformaron a GE en una "organización Seis Sigma", con resultados impactantes en todas sus divisiones. Por ejemplo: GE

---

<sup>49</sup> *Ibid.*, p. 53.

<sup>50</sup> *Idem.*

Medical Systems recientemente introdujo al mercado un nuevo scanner para diagnóstico (con un valor de 1,25 millones de dólares) desarrollado enteramente bajo los principios de Seis Sigma y con un tiempo de scaneo de sólo 17 segundos (lo normal eran 180 segundos). En otra de las divisiones: GE Plastics, se mejoró dramáticamente uno de los procesos para incrementar la producción en casi 500 mil toneladas, logrando no sólo un beneficio mayor, sino obteniendo también el contrato para la fabricación de las cubiertas de la nueva computadora iMac de Apple.

De otra empresa que ha adoptado Seis Sigma como iniciativa de calidad, Sony Corporation, se informaba en Nikkei Industrial Daily del 28 de abril de 1999:

*"[...] Sony Corp. Empieza a ver los resultados de su programa de control de calidad "Seis Sigma" que se está introduciendo en la empresa. Unos 4,000 empleados se han entrenado en este programa diseñado en EU cuyo objetivo es mejorar el servicio al cliente y reducir la tasa de defectos y se está ahora introduciendo a todos los niveles en las plantas.*

*"Sony espera reducir sus costos en 120 millón de yenes en el año 2000 y espera que el programa le suministrará un enfoque más científico a su gestión.*

*"De los 4,000 que han completado su formación en el primer año que acabó en enero (1999), (...) 306 fueron certificados como black belts o líderes de operación... Sony prevé que para el año de operación 2000 tendrá 2,000 black belts y green belts (un nivel de formación inferior) y habrá enseñado el método Seis Sigma a 10,000 de sus 170,000 empleados...*

*"Sony se ha fijado el objetivo de aumentar en cinco veces la calidad del producto, reduciendo en un quinto la tasa de defectos en el año 2000 comparándola con el año fiscal de 1996 [...]"*

Éstos son dos ejemplos de empresa que tienen un compromiso a largo plazo con la calidad que consideran 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.

La iniciativa Seis Sigma está destinada a mejorar la calidad de los productos y servicios, mediante el uso de técnicas estadísticas, considerando además Seis Sigma no sólo como una iniciativa estratégica, sino como el centro de sus esfuerzos internos de mejora en búsqueda de la excelencia empresarial y como consecuencia de una mayor competitividad; de ese modo Seis Sigma llega a ser la forma en que opera la empresa.

Las empresas que persiguen la mejora continua basada en la filosofía Seis 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 programas de TQM.

## 2. CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

El término "*estadística*" se derivó originalmente del vocablo "*estado*", ya que históricamente ha sido función tradicional de los gobiernos centrales llevar los registros de población, nacimientos, defunciones, profesiones, cosechas y muchas otras clases de cosas y actividades. Contar y medir estos hechos y acontecimientos genera muchas clases de datos numéricos.

"La colección, organización, resumen y presentación de datos numéricos" es la definición tradicional de estadística. Actualmente la estadística "es una rama de la matemática aplicada que colecciona, clasifica y evalúa o analiza datos como base

para inferencias o conclusiones válidas, así como para tomar decisiones en base a ese análisis”<sup>51</sup>.

### ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD

La probabilidad es el estudio de fenómenos puramente aleatorios mientras que la estadística se puede describir como la ciencia o el arte de reunir y analizar datos e inferir consecuencias a partir de esos elementos.

De gran importancia en el desarrollo de la estadística ha sido la curva normal. La distribución normal fue reconocida por primera vez por el francés Abraham de Moivre (1667-1754). La ecuación de esta curva fue publicada por primera vez en 1733 por el mismo De Moivre; sin embargo, éste no tenía idea de su aplicación en observaciones experimentales y su publicación era desconocida hasta que Karl Pearson la encontró en una biblioteca en 1924. Sin embargo, esta ecuación también fue descubierta posteriormente por dos astrónomos y matemáticos: Laplace (1749-1827) y Carl Friedrich Gauss (1777-1855), quien posteriormente elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se la conozca, más comúnmente, como la "campana de Gauss".<sup>52</sup>

### σ TIPOS DE DATOS<sup>53</sup>

Para seleccionar un procedimiento estadístico a utilizar es necesario conocer que tipo de datos tenemos. Estadísticamente hablando, existen dos tipos de datos:

- Datos Cuantitativos
- Datos Cualitativos

Los datos Cuantitativos se dividen en datos Continuos y datos Discretos. A su vez, los Datos Cualitativos se dividen en datos Ordinales (o jerarquizados) y datos Nominales (o categóricos). Para poder trabajar con estos (cualitativos) últimos hay que hacer una conversión de estos a números.

<sup>51</sup> Marques de Cantú, María José. "Probabilidad y Estadística para ciencias Químico-Biológicas", México, McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., 1991, pp. 1-2

<sup>52</sup> *Idem*

<sup>53</sup> *Ibid.*, p. 180

Datos Nominales. Comprenden categorías, como sexo, color de ojos o piel, con o sin síntomas de determinada enfermedad, etc.

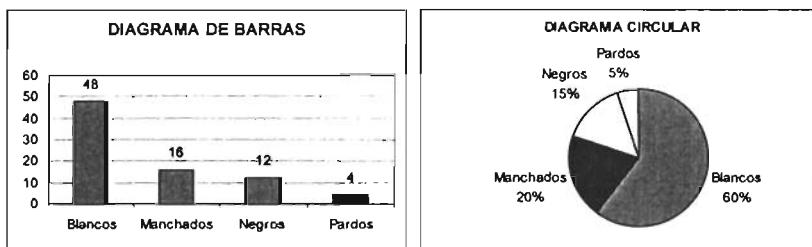
Datos Ordinales o jerarquizados. Estos datos se refieren a evaluaciones subjetivas según preferencias o logros. Por ejemplo, si un investigador desea analizar el efecto de cierta lesión cerebral sobre la conducta materna en los ratones, uno de los criterios para medir la conducta materna es la calidad del nido que construye la hembra. El experimentador puede establecer entonces, ciertos criterios que hagan posible evaluar un nido como excelente, bueno, regular o malo. Estos términos son reducidos luego a números 1,2,3 y 4, calificándose así los nidos en orden creciente de calidad.

### σ TRATAMIENTO DE DATOS

Si los datos son cualitativos simplemente se agrupan según la frecuencia y la proporción o porcentaje de cada categoría y se representan gráficamente mediante diagramas circulares y diagramas de barras.

Por ejemplo: De 80 cuyos observados 48 son blancos, 12 negros, 16 manchados de blanco, negro y pardo y 4 son pardos.

Si los datos son cuantitativos, dependiendo del tamaño de la muestra, se tratarán en forma agrupada o no. Si se tienen muchos datos diferentes es conveniente agruparlos



*Marques de Cantú, M. J., "Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas"*

en clases o intervalos, ya que su distribución de frecuencias y gráficas resultan muy complicadas y hasta confusas. El agrupar datos causa pérdida de exactitud en las medidas obtenidas de las distribuciones o gráficas.

Características que podemos obtener de un grupo de datos:

a) **PROMEDIO:** Es el valor central o típico de un conjunto de datos. A los promedios también se les llama *Medidas de Tendencia Central* y los más frecuentes son:

- Media aritmética
- Mediana
- Moda
- Media Geométrica
- Media Armónica
- Media Ponderada

b) **MEDIDAS DE VARIABILIDAD o DISPERSIÓN:** Es la tendencia de los valores a agruparse en las cercanías de un valor promedio. Para saber que tan cerca o alejados están los valores uno del otro se utilizan las siguientes medidas:

- Amplitud total o Rango
- Varianza
- Desviación Estándar
- Desviación Media
- Coeficiente de Variación

## σ **MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL PARA DATOS NO AGRUPADOS**<sup>54</sup>

### a) **MEDIA ARITMÉTICA**

Es la medida de tendencia central más utilizada en la estadística y es la que se conoce como el promedio de las observaciones, sin embargo, debido a la confusión que hay con el término promedio, los estadísticos han decidido de manera unánime llamarla "media aritmética" o simplemente "media".

La media aritmética de un conjunto de  $n$  observaciones  $X_1, X_2, \dots, X_n$  es igual a la suma de las observaciones divididas entre  $n$ . en forma simbólica, la media muestral es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

<sup>54</sup> *Ibid.*, p. 184



**b) MEDIANA**

La mediana representada por  $M_d$  o  $P_{50}$ , es el valor central de una serie cuando los valores se disponen según su magnitud, y es aquel que divide a una serie de tal forma que 50% de los valores son menores o igual que él, y 50% de los valores son mayores o iguales que él. Dado que la media es un valor posicional (en comparación con la naturaleza aritmética de la media), se ve menos afectada por valores extremos dentro del grupo, que la media. Esta propiedad de la mediana la convierte en algunos casos, en una útil medida de tendencia central.

**c) MODA**

La moda se denota por  $M$  o por  $M_o$  y es el valor que con frecuencia se presenta en un conjunto de datos. Es muy fácil de determinar, basta con observar detenidamente al conjunto de datos y ver cual es el que más se repite; sin embargo, no es muy útil porque puede ocurrir que una distribución tenga dos o más valores que se repitan con la misma frecuencia, tal es el caso se tienen dos o más modas. También puede ocurrir que no exista ningún valor que se repita y entonces no habrá moda. Por otra parte puede ser un valor extremo el de mayor frecuencia y difícilmente podrá ser considerado una medida de tendencia central.

**d) MEDIA GEOMÉTRICA**

La media geométrica ( $G$ ) de un conjunto de  $n$  observaciones  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , es la raíz  $n$ -ésima del producto de las  $n$  observaciones. La media geométrica se emplea en microbiología para calcular títulos de disolución promedio y para promediar cantidades en forma de proporciones y tasas de crecimiento y en general cuando convenga hacer una transformación logarítmica, ya que:

$$\log G = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i$$

**e) MEDIA ARMÓNICA**

La media armónica ( $H$ ) de  $n$  observaciones  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , es el inverso (multiplicativo) de la media aritmética de los inversos de las observaciones.

$$H = \frac{n}{\sum \frac{1}{X_i}}$$

### f) MEDIA PONDERADA

En general si se tienen  $n$  observaciones con  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , con pesos respectivos  $W_1, W_2, \dots, W_n$ , la media ponderada de las  $n$  observaciones se define como:

$$\bar{X}_w = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i}$$

### $\sigma$ MEDIDAS DE DISPERSIÓN O VARIABILIDAD PARA DATOS NO AGRUPADOS <sup>55</sup>

#### a) RANGO

El rango es la medida de la distancia total en la escala numérica a lo largo de la cual varían las observaciones y se define como la diferencia entre la observación máxima ( $X_n$ ) y la mínima ( $X_1$ ).

$$R = X_n - X_1$$

Con el rango no se obtiene una idea clara de la dispersión, puesto que varias distribuciones diferentes pueden tener la misma amplitud o rango.

#### b) DESVIACIÓN MEDIA

Si  $\bar{X}$  es la media de un conjunto de  $n$  observaciones, la desviación de la media de cada observación es  $(X_i - \bar{X})$ . la suma de todas estas desviaciones es cero, porque unas desviaciones son positivas y otras son negativas, por lo tanto la suma de estas desviaciones no nos sirven como una medida de dispersión o variabilidad del conjunto de datos. Pero, si se omite el signo de estas desviaciones, es decir, se considera su valor absoluto, se suman y se dividen entre  $n$ , tenemos la media de los valores absolutos de las desviaciones, que es el promedio de las distancias a la media. A esta medida se le llama desviación media:

$$D.M. = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n}$$

<sup>55</sup> *ibid.*, p. 194

### c) VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR O DESVIACIÓN TÍPICA

Un mecanismo adicional para resolver el problema de la cancelación entre las desviaciones de la media es elevar al cuadrado cada desviación, sumarlas y dividir entre  $n$ ; es decir, obtener el promedio de los cuadrados de las desviaciones.

Varianza Muestral

Desviación estándar muestral o desviación típica

$$s^2 = \frac{\sum X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}}$$

Para una distribución de mediciones que es aproximadamente normal, la interpretación de la desviación estándar es que si la distribución es aproximadamente normal, el intervalo es de la siguiente manera:

1.  $\bar{X} \pm s$ , contiene aproximadamente el 68% de las observaciones
2.  $\bar{X} \pm 2s$ , contiene aproximadamente el 95% de las observaciones.
3.  $\bar{X} \pm 3s$ , contiene casi todas las observaciones (99.7%)

*Marques de Cantú, M. J., "Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas"*

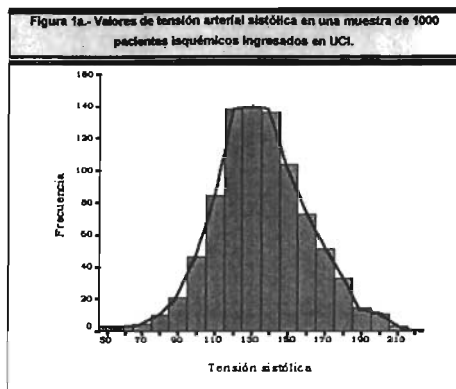
### d) COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Es una medida de dispersión relativa, pues está exenta de unidades y se expresa en porcentaje. Se usa para comparar distribuciones con diferentes unidades o para comparar las dispersiones de dos distribuciones diferentes. Su fórmula es:

$$C.V. = \frac{s}{\bar{X}} \cdot (100)$$

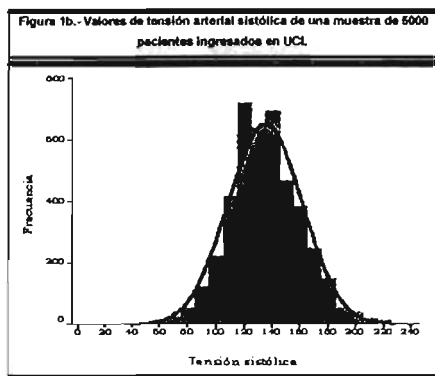
### σ LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

Al iniciar el análisis estadístico de una serie de datos, y después de la etapa de detección y corrección de errores, un primer paso consiste en describir la distribución de las variables estudiadas y, en particular, de los datos numéricos. Además de las medidas descriptivas correspondientes, el comportamiento de estas variables puede explorarse gráficamente de un modo muy simple. Consideremos, como ejemplo, los datos de la Figura 1a, que muestra un **histograma** de la tensión arterial sistólica de una serie de pacientes isquémicos ingresados en una unidad de cuidados intensivos.



Pétega Díaz S, Pita Fernández S. *Representación gráfica en el análisis de datos*.

Para construir este tipo de gráfico, se divide el rango de valores de la variable en intervalos de igual longitud, representando sobre cada intervalo un rectángulo con área proporcional al número de datos en ese rango<sup>56</sup>. Uniendo los puntos medios del extremo superior de las barras, se obtiene el llamado polígono de frecuencias. Si se observase una gran cantidad de valores de la variable de interés, se podría construir un histograma en el que las bases de los rectángulos fuesen cada vez más pequeñas, de modo que el polígono de frecuencias tendría una apariencia cada vez más suavizada, tal y como se muestra en la Figura 1b. Esta curva suave "asintótica" representa de modo intuitivo la distribución teórica de la característica observada.



<sup>56</sup> PÉRTEGA Díaz S., PITA Fernández S., "Representación gráfica en el análisis de datos", Buenos Aires, Cad. Aten Primaria, 2001, pp., 8, 112-117.

Es la llamada función de densidad. Una de las distribuciones teóricas mejor estudiadas en los textos de bioestadística y más utilizada en la práctica es la **distribución normal**, también llamada **distribución gaussiana**<sup>57 58 59 60</sup>. Su importancia se debe fundamentalmente a la frecuencia con la que distintas variables asociadas a fenómenos naturales y cotidianos siguen, aproximadamente, esta distribución. Caracteres morfológicos (como la talla o el peso), o psicológicos (como el cociente intelectual) son ejemplos de variables de las que frecuentemente se asume que siguen una distribución normal. No obstante, y aunque algunos autores<sup>61 62</sup> han señalado que el comportamiento de muchos parámetros en el campo de la salud puede ser descrito mediante una distribución normal, puede resultar incluso poco frecuente encontrar variables que se ajusten a este tipo de comportamiento.

El uso extendido de la distribución normal en las aplicaciones estadísticas puede explicarse, además, por otras razones. Muchos de los procedimientos estadísticos habitualmente utilizados asumen la normalidad de los datos observados. Aunque muchas de estas técnicas no son demasiado sensibles a desviaciones de la normal y, en general, esta hipótesis puede obviarse cuando se dispone de un número suficiente de datos, resulta recomendable contrastar siempre si se puede asumir o no una distribución normal. La simple exploración visual de los datos puede sugerir la forma de su distribución. No obstante, existen otras medidas, gráficos de normalidad y contrastes de hipótesis que pueden ayudarnos a decidir, de un modo más riguroso, si la muestra de la que se dispone procede o no de una distribución normal. Cuando los datos no sean normales, podremos o bien transformarlos<sup>63</sup> o emplear otros métodos estadísticos que no exijan este tipo de restricciones (los llamados métodos no paramétricos).

Sin lugar a duda, el modelo de mayor uso en todas las distribuciones continuas es la distribución normal o distribución Gaussiana (atribuida a C.F. Gauss, quien primero hizo referencia a ella en 1809 en relación con la teoría de los errores de medidas

<sup>57</sup> ALTMAN D.A., "Practical statistics for medical research", 11th ed., repr. London: Chapman & Hall, 1997.

<sup>58</sup> DANIEL, W.W., "Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud", Mexico, Limusa, 1995.

<sup>59</sup> ELSTON, R.C., JOHNSON, W.D., "Essentials of Biostatistics", Philadelphia, F.A. Davis Company, 1987.

<sup>60</sup> ALTMAN, D.G., BLAND, J.M., "Statistics notes: The normal distribution", BMJ 1995, pp. 310, 298-299.

<sup>61</sup> ELVEBACK, L.R., GUILLIVER, C.L., KEATING, F.R. Jr., "Health, Normality and the Ghost of Gauss", JAMA, 1970, pp. 211, 69-75. [Medline]

<sup>62</sup> NELSON, J.C., HAYNES, E., WILLARD, R., KUZMA, J., "The Distribution of Eurhyroid Serum Protein-Bound Iodine Levels", JAMA, 1971, pp. 216, 1639-1641. [Medline]

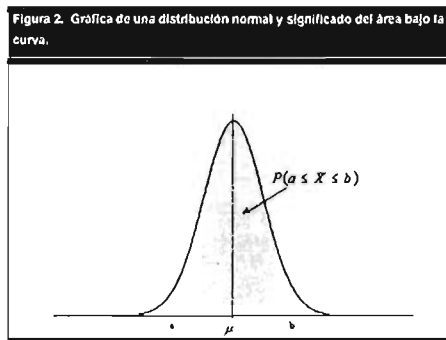
<sup>63</sup> ALTMAN, D.G., BLAND, J.M., "Statistics notes: Detecting skewness from summary information", BMJ, 1996, pp. 313, 1200-1200.

físicas; sin embargo, ya había sido descubierta por De Moivre en 1733 como la forma limitante a la binomial. También fue conocida por Laplace en 1774, pero por un error histórico ha sido acreditada a Gauss). Esta distribución no solo sirve como distribución modelo de muchos prácticos de la vida real sino que también es utilizada en muchas investigaciones teóricas.<sup>64</sup> Carl Friedrich Gauss (1777-1855) elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se la conozca, más comúnmente, como la "campana de Gauss".

La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por  $\mu$  y  $\sigma$ . Con esta notación, la densidad de la normal viene dada por la ecuación:

$$\text{Ecuación 1: } f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}; \quad -\infty < x < \infty$$

que determina la curva en forma de campana que tan bien conocemos (Figura 2). Así, se dice que una característica  $X$  sigue una distribución normal de media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , y se denota como  $X \sim N(\mu, \sigma)$ , si su función de densidad viene dada por la Ecuación 1. Al igual que ocurría con un histograma, en el que el área de cada rectángulo es proporcional al número de datos en el rango de valores correspondiente si, tal y como se muestra en la Figura 2, en el eje horizontal se levantan



Pérrtega Díaz S, Pita Fernández S. Representación gráfica en el análisis de datos.

<sup>64</sup> Marques de Cantú, María José, *op. Cit.*, nota 51, p. 137

perpendiculares en dos puntos  $a$  y  $b$ , el área bajo la curva delimitada por esas líneas indica la probabilidad de que la variable de interés,  $X$ , tome un valor cualquiera en ese intervalo. Puesto que la curva alcanza su mayor altura en torno a la media, mientras que sus "ramas" se extienden asintóticamente hacia los ejes, cuando una variable siga una distribución normal, será mucho más probable observar un dato cercano al valor medio que uno que se encuentre muy alejado de éste.<sup>65</sup>

#### PROPIEDADES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL<sup>66</sup>:

La distribución normal posee ciertas propiedades importantes que conviene destacar:

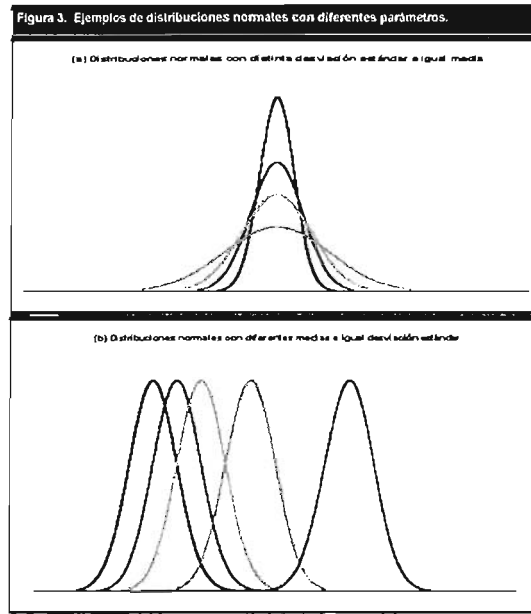
- i. *Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.*
- ii. *La curva normal es asintótica al eje de abscisas. Por ello, cualquier valor entre  $-\infty$  y  $+\infty$  es teóricamente posible. El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.*
- iii. *Es simétrica con respecto a su media  $\mu$ . Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.*
- iv. *La distancia entre la línea trazada en la media y el punto de inflexión de la curva es igual a una desviación típica ( $\sigma$ ). Cuanto mayor sea  $\sigma$ , más aplanada será la curva de la densidad.*
- v. *El área bajo la curva comprendido entre los valores situados aproximadamente a dos desviaciones estándar de la media es igual a 0.95. En concreto, existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo  $(\mu - 1.96\sigma; \mu + 1.96\sigma)$ .*
- vi. *La forma de la campana de Gauss depende de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  (Figura 3). La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de  $\mu$  la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de apuntamiento de la curva. Cuanto mayor sea el valor de  $\sigma$ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.*

Como se deduce de este último apartado, no existe una única distribución normal, sino una familia de distribuciones con una forma común, diferenciadas por los valores de su

<sup>65</sup> KUME, H., *Op. Cit.*, nota 31, p. 71

<sup>66</sup> ALTMAN, D.G., BLAND, J.M., *op. cit.*, nota 60, pp. 310, 298-298.

media y su varianza. De entre todas ellas, la más utilizada es la **distribución normal estándar**, que corresponde a una distribución de media 0 y varianza 1.



Pérrtega Díaz S, Pita Fernández S. Representación gráfica en el análisis de datos.

Así, la expresión que define su densidad se puede obtener de la Ecuación 1, resultando:

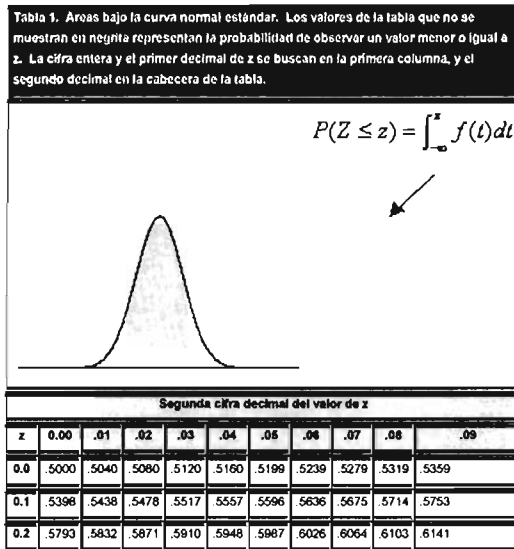
$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right); \quad -\infty < z < \infty$$

Es importante conocer que, a partir de cualquier variable  $X$  que siga una distribución  $N(\mu, \sigma)$ , se puede obtener otra característica  $Z$  con una distribución normal estándar, sin más que efectuar la transformación:

Ecuación 2: 
$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$



Esta propiedad resulta especialmente interesante en la práctica, ya que para una distribución  $N(0,1)$  existen tablas publicadas (Tabla 1) a partir de las que se puede obtener de modo sencillo la probabilidad de observar un dato menor o igual a un cierto valor  $z$ , y que permitirán resolver preguntas de probabilidad acerca del comportamiento de variables de las que se sabe o se asume que siguen una distribución aproximadamente normal.



Pértiga Díaz S, Pita Fernández S. Representación gráfica en el análisis de datos. Cad Aten Primaria 2001

Consideremos, por ejemplo, el siguiente problema: supongamos que se sabe que el peso de los sujetos de una determinada población sigue una distribución aproximadamente normal, con una media de 80 Kg y una desviación estándar de 10 Kg. ¿Podremos saber cuál es la probabilidad de que una persona, elegida al azar, tenga un peso superior a 100 Kg?

Denotando por  $X$  a la variable que representa el peso de los individuos en esa población, ésta sigue una distribución  $N(80,10)$ . Si su distribución fuese la de una normal estándar podríamos utilizar la Tabla 1 para calcular la probabilidad que nos interesa. Como éste no es el caso, resultará entonces útil transformar esta característica según la Ecuación 2, y obtener la variable:

$$Z = \frac{X - 80}{10}$$

para poder utilizar dicha tabla. Así, la probabilidad que se desea calcular será:

$$P(X > 100) = P\left(Z > \frac{100 - 80}{10}\right) = P(Z > 2)$$

Como el área total bajo la curva es igual a 1, se puede deducir que:

$$P(Z > 2) = 1 - P(Z \leq 2)$$

Esta última probabilidad puede ser fácilmente obtenida a partir de la Tabla 1, resultando ser  $P(Z \leq 2) = 0.9772$ . Por lo tanto, la probabilidad buscada de que una persona elegida aleatoriamente de esa población tenga un peso mayor de 100 Kg, es de  $1 - 0.9772 = 0.0228$ , es decir, aproximadamente de un 2.3%.

De modo análogo, podemos obtener la probabilidad de que el peso de un sujeto esté entre 60 y 100 Kg:

$$P(60 \leq X \leq 100) = P\left(\frac{60 - 80}{10} \leq Z \leq \frac{100 - 80}{10}\right) = P(-2 \leq Z \leq 2)$$

De la Figura 2, tomando  $a = -2$  y  $b = 2$ , podemos deducir que:

$$P(-2 \leq Z \leq 2) = P(Z \leq 2) - P(Z \leq -2)$$

Por el ejemplo previo, se sabe que  $P(Z \leq 2) = 0.9772$ . Para la segunda probabilidad, sin embargo, encontramos el problema de que las tablas estándar no proporcionan el valor de  $P(Z \leq z)$  para valores negativos de la variable. Sin embargo, haciendo uso de la simetría de la distribución normal, se tiene que:

$$P(Z \leq -2) = P(Z \geq 2) = 1 - P(Z \leq 2) = 1 - 0.9772 = 0.0228$$

Finalmente, la probabilidad buscada de que una persona elegida al azar tenga un peso entre 60 y 100 Kg., es de  $0.9772 - 0.0228 = 0.9544$ , es decir, aproximadamente de un

95%. Resulta interesante comprobar que se obtendría la misma conclusión recurriendo a la propiedad (iii) de la distribución normal.

No obstante, es fácil observar que este tipo de situaciones no corresponde a lo que habitualmente nos encontramos en la práctica. Generalmente no se dispone de información acerca de la distribución teórica de la población, sino que más bien el problema se plantea a la inversa: a partir de una muestra extraída al azar de la población que se desea estudiar, se realizan una serie de mediciones y se desea extrapolar los resultados obtenidos a la población de origen. En un ejemplo similar al anterior, supongamos que se dispone del peso de  $n=100$  individuos de esa misma población, obteniéndose una media muestral de  $\bar{X} = 75$  Kg, y una desviación estándar muestral  $S = 12$  Kg, querríamos extraer alguna conclusión acerca del valor medio real de ese peso en la población original. La solución a este tipo de cuestiones se basa en un resultado elemental de la teoría estadística, el llamado teorema central del límite. Dicho axioma viene a decirnos que las medias de muestras aleatorias de cualquier variable siguen ellas mismas una distribución normal con igual media que la de la población y desviación estándar la de la población dividida por  $\sqrt{n}$ . En nuestro caso,

podremos entonces considerar la media muestral  $\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$ , con lo cual, a partir de la propiedad (iii) se conoce que aproximadamente un 95% de los posibles

valores de  $\bar{X}$  caerían dentro del intervalo  $\left(\mu - \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}; \mu + \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}\right)$ . Puesto que los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  son desconocidos, podríamos pensar en aproximarlos por sus

análogos muestrales, resultando  $\left(78 - \frac{1.96 \times 12}{\sqrt{100}}; 78 + \frac{1.96 \times 12}{\sqrt{100}}\right) = (75.6; 80.3)$

Estaremos, por lo tanto, un 95% seguros de que el peso medio real en la población de origen oscila entre 75.6 Kg y 80.3 Kg. Aunque la teoría estadística subyacente es mucho más compleja, en líneas generales éste es el modo de construir un intervalo de confianza para la media de una población.

## σ MEDICIÓN DE LA VARIABILIDAD

Descriptivamente la variabilidad son aquellos elementos que hacen que un proceso sea irreplicable. Con irreplicable debe entenderse a que un proceso cualquiera que sea

el caso, no será totalmente repetible ya que hay ciertas o pequeñas variables que hacen que los procesos sean diferentes unos de otros. Estrictamente no podemos decir que un proceso es *perfectamente repetible* ya que siempre existen multitudes de variables en todo el ciclo de actividades.<sup>67</sup>

Esta medición puede llegar a ser muy complicada o muy sencilla dependiendo de lo que se este analizando, poniendo como ejemplo un proceso que se lleva a cabo en diferentes tiempos a partir de los cuales obtenemos un promedio ( $\bar{x}$ ) de los datos:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad \text{siendo } x_i \text{ de } i=1 \text{ hasta } n$$

Con estos datos podemos ver si el proceso se lleva a cabo en aproximadamente los mismos tiempos o existe una gran dispersión respecto del valor medio. Realizando una representación gráfica de barras, *un histograma*, marcando un intervalo de tiempos y colocando sobre cada intervalo un rectángulo de altura proporcional al número de tiempos que caen dentro de dicho intervalo, observaríamos la dispersión de los datos generados. De esta manera sería posible medir las variabilidad del proceso.

Otra manera es calculando  $\sigma$  (sigma) que es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que *cuanto menor sea  $\sigma$ , 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  $\sigma$ , menor será el número de valores fuera de especificación y por tanto, el número de defectos. En este caso sería la función que nos asocia los procesos que observamos y los tiempos que medimos, que podríamos tratar matemáticamente:

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

siendo  $x_i$  de  $i=1$  hasta  $n$ , los  $n$  tiempos medidos en  $n$  procesos distintos.

Si en lugar de estudiar solo un proceso, tomáramos los tiempos de 200 procesos distintos, por ejemplo, y trazáramos el histograma correspondiente podríamos usar intervalos de menor amplitud y obtener finalmente un histograma que nos daría un perfil, tomando el punto medio de la altura de los rectángulos, similar a la función densidad de probabilidad. La densidad de probabilidad es el área bajo la curva que se

<sup>67</sup> NOLAN, T., and PROVOST, I., "Understanding Variation", *Quality Progress*, USA, mayo, 1990.

forma por el grupo de datos que se presentan en un histograma, esa curva se denomina campana de Gauss. Toda el área bajo la curva es del 100% y ahí están incluidas todas las probabilidades que se tienen. La mitad de la campana forma el 50% de un 100% de las probabilidades.

De esta curva se obtiene  $\mu$  (el valor medio) y  $\sigma$  (la desviación típica). Con el hecho de que  $\mu$  varíe se modifica la posición de la campana por el simple motivo de que varía el valor medio; en cambio, si  $\sigma$  varía, la forma de la campana cambia de la siguiente forma:  $\sigma$  más pequeña, la campana se hará más estrecha y por consiguiente la dispersión será menor e inversamente, si  $\sigma$  aumenta la campana será más ancha y tendremos mayor dispersión.

Siguiendo con el ejemplo de los tiempos de los procesos, su integral nos mide la probabilidad de que los tiempos de un proceso estén entre un cierto intervalo. Por ejemplo, el intervalo de toda el área de la campana será de 100% de probabilidad e incluye todos los tiempos posibles. La mitad de la campana sería el 50%. El intervalo de  $\mu \pm 2\sigma$  nos abarca el 95.44% de los tiempos. El intervalo  $\mu \pm 3\sigma$  abarca el 99.999998% de los tiempos, es decir, un intervalo de  $6\sigma$  centrado en la media comprende prácticamente todos los tiempos medidos y nos quedaría un porcentaje prácticamente nulo fuera de ese intervalo, un 0.0000002%.

Supongamos ahora que efectuamos el control de calidad de un producto que fabricamos, del que medimos una magnitud clave para el cliente, la cual tenemos especificadas con determinados límites, que denominaremos Limite Superior (LSE) e Inferior de Especificaciones (LIE), respecto al valor central  $\mu$ .

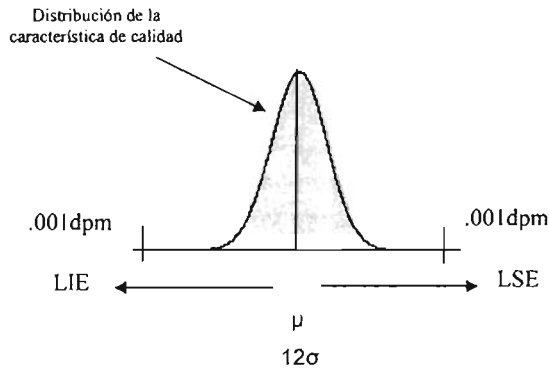
Siempre que la magnitud este dentro del intervalo LSE-LIE diremos que el producto es conforme o de calidad, apegándonos a la definición de Crosby que considera calidad como "cumplimiento de las especificaciones"<sup>68</sup>.

Supongamos además, que esa magnitud que inspeccionamos es una variable aleatoria que tiene una distribución de probabilidad normal y además centrada, es decir, el valor medio  $\mu$  de sus valores coincide con el valor central de los límites de especificaciones y que los valores presentan tan poca dispersión que caben  $12\sigma$  dentro del intervalo definido por esas tolerancias (LSE-LIE). Fuera del intervalo habría

---

<sup>68</sup> CROSBY, P. "La calidad no cuesta", México, Compañía Editorial Continental, 1991, p. 5

un 0.0000002%, es decir, con esa  $\sigma$  tan baja ese producto tendría menos de 0.002 dpm de productos fabricados.



Barba, E., Boix, F., Cuatrecasas, L., "Seis Sigma, Una iniciativa de calidad total"

Si verificamos un número muy grande de lotes del producto descubriremos que  $\mu$  no siempre coincide con el valor objetivo, sino que varía aleatoriamente dentro de un cierto margen, debido al desgaste de útiles, diferencia de materiales, condiciones de la máquina, métodos de trabajo, etc.<sup>69</sup> en el modelo Seis Sigma de Mikel Harry se parte de la hipótesis de que  $\mu$  deriva a lo largo del tiempo aleatoriamente hasta desplazarse como máximo hasta  $1.5\sigma$ .<sup>70</sup> En este caso, si  $\sigma$  y los límites de especificaciones LSE-LIE fueran las mismas del caso anterior, entonces el número de dpm, y, por tanto, de productos fuera de especificaciones sería ligeramente mayor que 3.4 dpm, pero aún así extraordinariamente bajo, ya que significaría que el 99.99966 por ciento de los productos estarían dentro de especificaciones. Al nivel de calidad del 99.99966 por ciento de productos conformes, equivalente a un nivel de defectos de 3.4 dpm se le denomina nivel de calidad Seis Sigma ( $\pm 6\sigma$ ).<sup>71</sup> Es decir, el intervalo de los límites de tolerancias contiene  $12\sigma$  de una distribución normal cuyo valor medio  $\mu$  está descentrado respecto al valor objetivo en  $1.5\sigma$ . Por esta razón se denomina nivel de calidad Seis Sigma a 3.4 dpm aunque la distribución no sea normal ni esté descentrada en  $1.5\sigma$  respecto al valor medio.

<sup>69</sup> KUME, H., *Op. Cit.* nota 31, p. 16

<sup>70</sup> BREYFOGLE, Forest, W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods", USA, John Wiley and Sons, 2003

<sup>71</sup> BARBA, E., BOIX, F., CUATRECASAS, L., *Op. Cit.*, nota 43, p. 25

El nivel de calidad medido en esta escala de  $(\pm 6\sigma)$  nos permitirá comparar la calidad de los productos, procesos o servicios de una empresa. Notemos que al dar el nivel en sigmas indicamos cuantas  $\sigma$  caben dentro del intervalo de tolerancias y, por tanto, cuán pequeña es  $\sigma$ . Cuanto más pequeña sea dicha dispersión, menor será  $\sigma$  y más  $\sigma$  cabrán en el intervalo de tolerancias y mayor será el número en la escala de  $(\pm 6\sigma)$ . Si no medimos nunca podremos mejorar. Si algo no se puede cuantificar es que no sabemos mucho sobre ello y si no sabemos mucho sobre ello difícilmente podremos controlarlo y mucho menos mejorarlo. Con el nivel de calidad medido en sigmas podemos medir la calidad de nuestros productos y procesos. Ese indicador de nivel de calidad nos permitirá evaluar nuestro progreso en la mejora de calidad del producto.

Nivel Calidad	DPMO	Nivel Sigma	Costo Calidad
30,9 %	690000	1,0	NA
69,2 %	308537	2,0	30-40% ventas
93,3 %	66807	3,0	20-30% ventas
99,4 %	6.210	4,0	15-20% ventas
99,98 %	233	5,0	10-15% ventas
99,9997	3,4	6,0	< 10% ventas

*Otros significados de Seis-Sigma (Harry, 1998 y McFadden, 1993)*

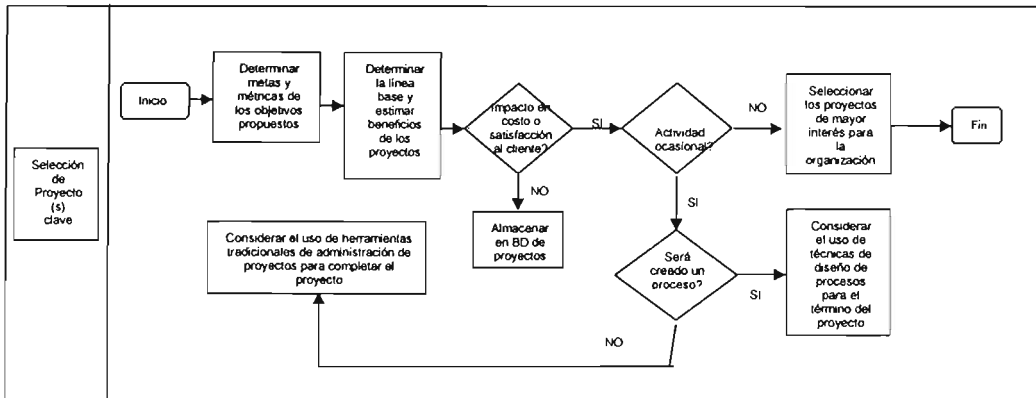
## CAPITULO III

### MODELO DMAIC

#### 1.0 DEFINIR

Un problema frecuentemente encontrado por las organizaciones cuando implementan Seis Sigma es que todas las actividades pueden convertirse en proyectos Seis Sigma<sup>72</sup>. Por esto, las organizaciones necesitan un proceso para la clasificación de los proyectos.

Un diagrama de flujo puede hacer más fácil la decisión acerca de lo que es y lo que no es un proyecto Seis Sigma.



Breyfogle, Forest W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods"

Esta fase de la metodología es de suma importancia ya que es aquí donde el equipo debe definir el propósito y alcance del proyecto, obteniendo los antecedentes del proceso e identificando los requerimientos del mismo, así como también debe realizar una descripción del plan de trabajo para el caso.

En el transcurso de esta etapa, el equipo debe mantener contacto con un asesor (Ya sea un *Black Belt* o un *Master Black Belt*, etc.) para asegurarse de que permanecen las metas del negocio, prioridades y expectativas.

<sup>72</sup> BREYFOGLE, Forest W., *op. cit.* nota 70, p.33



Asimismo, el *Champion* trabajar con el líder de proyecto para que el estatus del proyecto esté suficientemente documentado dentro de una base de datos de la corporación que pueda ser de fácil acceso para otras personas.

Los pasos comúnmente seguidos para implementar la etapa DEFINIR son los siguientes:

1. Plan de Trabajo y descripción del proyecto
2. VOC (Voice Of the Customers – Voz del Cliente)
3. SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers – Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Clientes)

Como resultado de los pasos anteriores obtenemos:

- Mapa de alto nivel para el proceso
- Identificación de los clientes y lo que le importa al cliente
- Objetivo claro de los que se pretende mejorar del proceso

Los resultados anteriores son de gran importancia para el proyecto que se quiere mejorar; ya que con estos obtenemos un lenguaje en común con los miembros de nuestro equipo, una estrategia de trabajo, como también conocemos a nuestros clientes y obtenemos una visión mas especifica de nuestro proceso.

Al denominar estos puntos es ya más sencillo localizar los puntos débiles del proceso y como se dice normalmente *“Cuando realmente se conoce un proceso, se puede medir y analizar”*

Una vez tomada la decisión acerca de que proyecto será el que se elija, es crítico que los dueños de los procesos (finanzas, gerentes, trabajadores involucrados directamente en el proceso, departamentos relacionados hacia arriba y hacia debajo de la cadena de distribución, proveedores y clientes) establezcan una redacción adecuada para el proyecto problema como parte de la fase definir.

Un párrafo de dos o tres líneas que enuncie el problema debe ser desarrollado enfocándose en los síntomas del problema y no en la posible solución. Debe ser incluida información del impacto que tendrá sobre el cliente y el negocio junto con datos que muestren los DPMO (Defectos por millón de oportunidades) actuales o algún otro dato que nos de idea acerca de la línea base de la que partiremos y sobre la cual estaremos midiendo el desarrollo del proyecto, datos del análisis del problema

y estimados de costos de pobre calidad (COPQ): “El registro de nuestro servicio muestra una media estimada de tiempo de espera de 80 segundos con 80% de tiempos de espera que van de los 25 a los 237 segundos...”

Un ejemplo de la matriz de definición del proyecto se muestra a continuación:

Matriz de Proyecto Six Sigma		
Descripción del Proyecto	Nombre del proyecto y planteamiento del problema	
Fechas de inicio y término	Fecha de inicio de actividades y cierre del proyecto	
Indicadores Base	Identificación de KPOV's que serán empleados para monitoreo del proceso	
Indicadores Primarios	COPQ, Indicadores de capacidad de proceso	
Indicadores Secundarios	En términos de Defectos por Millón de Oportunidades	
Meta	Describir metas de mejora para los indicadores mencionados	
Beneficios	Cliente	Describir el impacto y beneficios al consumidor final
	Financieros	Impacto financiero estimado al negocio
	Productividad	Describir las expectativas en el desempeño
Fases	Definir	Entregables de la fase definir y fecha de entrega de reporte
	Medir	Entregables de la fase medir y fecha de entrega de reporte
	Análizar	Entregables de la fase analizar y fecha de entrega de reporte
	Implementar	Entregables de la fase implementar y fecha de entrega de reporte
	Controlar	Entregables de la fase controlar y fecha de entrega de reporte
Soporte al equipo	Sponsor, Champion, Dueño del proceso y analista financiero	
Miembros del Equipo	Black Belt, Miembros participantes y colaboradores	

Breyfogle, Forest W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods"

El alcance del proyecto necesita ser dimensionado correctamente y documentado adecuadamente en un formato seleccionado especialmente para el proyecto. Los Diagramas de Pareto pueden ayudar a priorizar oportunidades difíciles de identificar, las cuales ocurren frecuentemente al momento de definir el alcance de un proyecto. En este punto es importante identificar oportunidades de mejora en los llamados "cuellos de botella" del proceso, los cuales pueden afectar dramáticamente las "salidas" del proceso.

Todos los involucrados deben de coincidir con los objetivos, alcance, beneficios, recursos, transición del proyecto y cierre. Los detalles de esta tabla deben ser actualizados conforme el proyecto transcurre. El *Champion* necesita trabajar junto con el *black belt* de forma que el status del proyecto este suficientemente documentado de modo que pueda ser consultado por cualquier miembro del equipo.

En las fases iniciales del proyecto el **champion** necesita trabajar junto con el **black belt** y el dueño del proceso de modo que el equipo sea conformado por las personas adecuadas. La selección del equipo debe resultar en miembros capaces de aportar diferentes percepciones y proveer los conocimientos necesarios para la terminación del proyecto en el periodo de tiempo establecido. El **Champion**, el **black belt** y el equipo necesitan estar de acuerdo en las diferencias que actualmente existen entre las salidas del proceso y las expectativas del cliente del proceso, al mismo tiempo que establezcan una meta tangible de mejora del proceso.<sup>73</sup>

#### σ PLAN DE TRABAJO Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo de un buen plan de trabajo y descripción del proyecto se lleva a cabo discutiendo los síntomas del caso de negocio, donde se describirá a grandes rasgos los problemas y oportunidades del negocio.

Posteriormente, al obtener un bosquejo del caso del negocio se realizará una declaración detallada de los problemas y oportunidades, respondiendo generalmente las siguientes preguntas: ¿Qué está mal?, ¿Dónde está el problema?, ¿Qué tan grande es el problema?, ¿Qué tanto impacta lo que está mal del proceso al negocio?, es posible dar algunas alternativas de solución para el o los problemas del caso del negocio pero no es recomendable aplicar de inmediato estas alternativas de solución; ya que normalmente los problemas están ocultos tras otros problemas o el proceso es complicado y a simple vista saltan soluciones que en vez de ayudar podrían empeorar la situación. Por eso es necesario ir desarrollando la metodología de DMAIC.

Es aconsejable realizar una proyección, acordándose fechas de inicio y finalización del proyecto, con respecto a los recursos con los que se cuentan. Se utilizan como herramientas las gráficas de Gantt para facilitar el flujo de trabajo.

Los objetivos al desarrollar el plan de trabajo y la descripción del proyecto son:

- Entender el contexto organizacional para proyectos de mejoramiento de procesos.
- Entender cómo se selecciona un proyecto DMAIC y estar en capacidad de aplicar estos criterios al proyecto.

---

<sup>73</sup> *Ibid.*, p.35

- Conocer los elementos básicos de la guía para el equipo de trabajo y poder desarrollar una para el proyecto.
- Entender las bases para estimar el impacto que un proyecto tiene sobre el negocio y poder relacionarlas con el proyecto.
- Poder identificar los protagonistas y los afectados e incorporarlos al plan de comunicaciones del proyecto.

Para tener éxito se deben identificar bien a los miembros claves del proyecto; los cuales son Black Belts / Green Belts, Miembros del equipo, Experto Estadístico, y líder / Champion o Patrocinador.

En resumen, los roles y responsabilidades de cada uno de los implicados en un proyecto son:

	Antes del Proyecto	Durante el Proyecto	Después del Proyecto
<b>Black Belts/Green Belts</b>	Revisar el alcance del proyecto con el (los) patrocinador (es); Esbozar el resto de las Guía; Seleccionar a los miembros del equipo	Seguir los cronogramas; Liderar las reuniones. Coordinar. Comunicar. Servir como vínculo con el líder, experto estadísticos y clientes; Mantener registros; Hacer trabajo de equipo.	Asegurar que la documentación se complete y se interioricen las experiencias; Verificar que la implementación sea adecuada; usar métodos mejorados.
<b>Miembros del Equipo</b>	X	Participar en las reuniones; Realizar asignaciones; Ayudar en las tareas y logística del equipo; Contribuir con su conocimiento y experiencia; Aprender las técnicas y métodos requeridos.	Usar los métodos mejorados.
<b>Experto Estadístico</b>	Ayudar al Líder del equipo; Ayudar en el diseño de la guía.	Proveer guía y ayuda al líder del equipo y a sus miembros sobre herramientas y métodos; ayudar al equipo en la recolección e interpretación de datos; Ayuda al líder en la preparación de revisiones	Proveer la asistencia que se requiere.
<b>Líder</b>	Identificar los objetivos; Seleccionar los Green Belts; Esbozar el alcance del proyecto	Proveer dirección y guía; Verificar el avance del equipo; Realizar mediciones de control de presupuesto	Proveer respaldo continuo para la implementación; Asegurar el control; Perseverar las experiencias asimiladas.

*Pande, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"*

### σ CRITERIOS PARA UN PROYECTO<sup>74</sup>

Un proyecto tiene mayor posibilidad de obtener éxito si el objeto clave está relacionado con un objeto clave del negocio, o si el proceso está claramente definido donde se puede identificar los puntos iniciales y finales; también si se pueden identificar a los clientes internos y externos que usan o reciben el producto de este proceso. Entonces debemos establecer y conocer como es que los clientes usan este producto. También debemos conocer o establecer que es lo que le importa del producto al cliente. Debemos identificar lo que es un defecto y cuantificar la frecuencia en que ocurren los mismos. De esta manera podremos ilustrar como se mejorará el resultado financiero con las mejoras señaladas. Dado que existe un soporte organizacional debido a que el líder está interesado en este trabajo y quiere que se realice, el líder tiene la autoridad para comprometer tiempo y recursos una vez que se ha identificado al dueño del proceso.

### σ MATRIZ DE PROYECTO

Para la selección hay que realizar una descripción para el proyecto DMAIC y posteriormente evaluarla con el objetivo de identificar un proceso específico y definible que estemos interesados en mejorar.

Es común encontrar proyectos con uno o más de los siguientes problemas:

- El resultado de un proyecto podría resultar irrelevante para el cliente o para las necesidades del negocio.
- El alcance podría ser muy amplio y por lo mismo no tener capacidad para comprometer tiempo y recursos o para hacer cambios en el proceso;
- No se pueden identificar claramente los puntos inicial y final.
- La información relevante es difícil de recolectar o hay demasiada información.
- No se puede definir que es un defecto en el proyecto.
- El proyecto involucra un proceso que no tiene una frecuencia adecuada.
- El problema está definido como una solución.
- Cambios recientes en el proceso.

La importancia de una Guía de Proyecto radica en que se trata de un acuerdo entre la administración y el equipo acerca de las expectativas del proyecto:

---

<sup>74</sup> *Ibid.*, p.36

- Define lo que se espera del equipo.
- Mantiene el enfoque del equipo.
- Mantiene el equipo alineado con las prioridades de la organización.
- Trasfiere el proyecto del líder al equipo del proyecto.
- Describe el Proyecto.
- Define Metas y Métricas (Indicadores)
- Identifica a los miembros del equipo.
- Define la clase de soporte requerido.
- Muestra los beneficios esperados para el Cliente.
- Funciona como cronograma.

Es necesario saber cual fue el mejor desempeño posible del proceso bajo su configuración actual. Usando información histórica para identificar “Lo mejor que se ha podido lograr o como fue lo mejor que se logró hacer”. Este ejercicio se realiza para poder obtener la plataforma ideal del Caso. Para conformar la Matriz del Proyecto es aconsejable seguir la plantilla siguiente:

PREGUNTAS SUGERIDAS	NOTAS
<b>RODUCTOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué debe entregar el equipo para ser exitoso?</li> </ul>	
<b>INDICES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál será el Índice primario de éxito?</li> <li>• ¿Cómo se medirán y seguirán?</li> <li>• ¿Cuáles son las metas de los índices?</li> <li>• ¿Qué tanto mejoramiento se necesita y cuando? (Suministrar fecha límite.)</li> <li>• ¿Qué defectos van a seguirse?</li> </ul>	
<b>RECURSOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿A quién reporta el equipo? ¿Quién es su gerente; <i>Champion</i>, o equipo de orientación?</li> <li>• ¿Quién está en el equipo? ¿Quién canalizará sus esfuerzos (o sea, ¿quién será el líder?)</li> <li>• A quien se puede dirigir el equipo para obtener guía sobre mejoramiento.</li> <li>• Se ha identificado el dueño del Proceso.</li> <li>• ¿Qué limitaciones de presupuesto tiene el Proyecto? ¿Quiénes aprueban los gastos? ¿Cuánto puede gastar el equipo sin buscar aprobación adicional?</li> </ul>	

La mayoría de los proyectos evolucionan. Muy pocos quedan forjados en piedra desde su iniciación. A través de cada paso se va aprendiendo más a cerca de lo que realmente sucede y por tanto hay que estar abierto a revisar el alcance, definición y propósito del proyecto. Siempre hay que verificar directamente con el Líder del proyecto antes de realizar cualquier cambio esencial.

### σ ANÁLISIS DE BENEFICIO DEL PROYECTO

Los cálculos tradicionales de Costos de Mala Calidad-COPQ (*Cost of Poor Quality*) observan a los costos en toda la compañía usando las categorías de prevención, evaluación, error interno y error externo como se describe en la siguiente tabla. Las organizaciones casi nunca están en desacuerdo con estas categorías pero típicamente no se toman la molestia de calcular este sistema de costos para su situación particular. Las organizaciones necesitan calcular como van a determinar el beneficio de proyectos. Ya que los procedimientos que emplean pueden afectar la forma en que los proyectos se seleccionan y se ejecutan. Debido a que las organizaciones frecuentemente se encuentra haciendo algo que lleva la bandera de mejoras de

Demandas por Pasivos

Prevención
Capacitación
Estudios de capacidad
Encuestas de vendedores
Diseño de calidad
Evaluación
Inspección y Prueba
Equipo de prueba y Mantenimiento
Inspección y Reporte de pruebas
Otras Revisiones de Gastos
Error Interno
Desecho y Retrabajo
Cambios de Diseño
Cartas hechas de nuevo
Tarjetas de Retrasos
Costo de Exceso de Inventario
Costos de Garantía
Visitas de Quejas de Clientes
Costos de Capacitación de Campo de Servicio
Devoluciones y Cancelaciones
Demandas por Pasivos

*Categorías y ejemplos de Costo de Calidad Tradicional*  
Breyfogle, Forest W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods"

proceso, como lean manufacturing, TQM, ISO 9000 entre otras, se debe incluir también el término de Costo de no hacer nada diferente – CODND (Cost of Doing Nothing Different)<sup>75</sup>

Para ejemplificar el como conducir un análisis de beneficio de proyecto, utilicemos el proyecto Ventas sobresalientes. Para una factura individual, la medición partiría del momento en que la factura fue creada hasta que el pago fue recibido. Las consideraciones del *CODND* podrían incluir las implicaciones monetarias de no recibir el pago inmediatamente (e.j., los costos asociados con los cobros por intereses del dinero por pagar y cargos adicionales por trámites) mientras que los cálculos COPQ incluyen típicamente las implicaciones monetarias según un criterio (e.j.; los costos asociados con los cobros por intereses del dinero por pagar después de la fecha de vencimiento de la factura y cargos adicionales por trámites y actividades después de la fecha de vencimiento).

Uno podría asumir la postura de que no deberíamos considerar costos incurridos hasta la fecha de vencimiento de la factura puesto que esto es el costo de hacer negocios. Esto podría ser hecho. Sin embargo, consideremos que algunas compañías de computadoras de hecho reciben pagos antes de que los productos sean diseñados debido a las compras hechas por Internet y que sus proveedores reciben pagos mucho tiempo después por las partes que se ocupan en el proceso de ensamblado del producto. Por ejemplo, podríamos cambiar nuestras ventas y proceso de producción para que así nosotros también pudiéramos recibir pagos al tiempo de una orden de compra. Los estimados del impacto potencial u oportunidad para el negocio, le ayudarán a priorizar los proyectos que debe acometer. Cifras estimadas y generales son adecuadas y no se debe perder de vista que una buena selección sale de una limitación de recursos. Necesitamos descubrir el proyecto de mayor impacto.<sup>76</sup>

- **RESULTADOS POTENCIALES EN EL NEGOCIO**

Se dividen en dos categorías, Mejoramiento Potencial e Impacto Potencial. El segundo es derivado de la efectiva aplicación del primero. Debemos de realizar un análisis del alcance que puede tener nuestro Proyecto en función de los resultados potenciales.

---

<sup>75</sup> *Ibid.*, p.37

<sup>76</sup> *Idem*



La Mejora Potencial es aquella en la cual se logra una mejoría en algún proceso, por ejemplo: Reducción de errores, Agilización de entregas o Reducción de tareas administrativas; mientras que el Impacto Potencial es el que se genera de la aplicación efectiva del Mejora Potencial y por consiguiente son los resultados de los ejemplos anteriores:

Reducción de errores ----- Satisfacción del cliente  
 Agilización de entregas ----- Ampliar margen de ganancias  
 Reducción de tareas administrativas----- Mejora en tiempo de respuesta

La parte financiera del negocio debe de trabajar muy cercanamente con el lider del proyecto y con el patrocinador –champion- para crea en conjunto un análisis de costo-beneficio para el proyecto. Este puede incluir reducción de gastos, incremento de las ganancias, reducción de costos, costos evitados,etc.

Las Reducciones de costos impactan directamente en la última línea del Estado de Resultados, se utilizan para neutralizar el aumento en precios y puede reinvertirse. Generalmente se aplican en periodos de tiempo que van de entre los 6 y 12 meses anteriores a los resultados actuales.

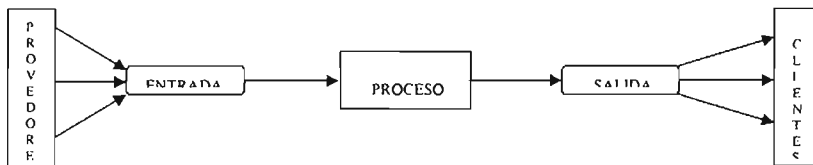
Los Costos Evitados son aquellos en los cuales no incurrimos en el momento, pero que serán evidentes si no tomamos una acción inmediata. Su impacto no es visible en el Estado de Resultados. Su definición es más difícil y a pesar de todo es muy importante para las metas. En ocasiones los proyectos no afectan directamente el Estado de Resultados sino que tienen efecto en el balance general e incluyen activos fijos, inventarios y contingencias.

#### σ **MAPA DE PROCESO PROVEEDORES, ENTRADAS, PROCESOS, SALIDAS, CLIENTE - SIPOC (SUPPLIERS, INPUTS, PROCESS, OUTPUTS AND CUSTOMERS )**

El alcance del proyecto debe ser alineado con las necesidades de mejora de la cadena de suministro. Un diagrama SIPOC es un diagrama de proceso de alto nivel que puede ser útil como una herramienta de comunicación que ayuda a los miembros del equipo a apreciar el proyecto de la misma forma y ayuda al administrador a conocer

hacia que puntos el equipo esta enfocando sus esfuerzos. Para cada categoría del SIPOC, el equipo crea una lista. Por ejemplo, la categoría de entradas del SIPOC tendría una lista de entradas del proceso. La categoría de Proceso del SIPOC debe ser altamente específica, conteniendo únicamente de cuatro a siete pasos. El objetivo de realizar el SIPOC es entender con su desarrollo los conceptos proceso y sistema entendiendo los elementos que lo componen (Proveedores, entradas, proceso, salidas, clientes) y estar en capacidad de aplicarlos a nuestro proceso; también, conoceremos cómo se usa el concepto de Rendimientos Secuenciales de Proceso para identificar en que punto se obtiene el mayor impacto de un mejoramiento.

La calidad puede ser calificada por los clientes en base al resultado de un proceso; enfocarse en el trabajo individual de alguien no conduce a un mejoramiento significativo de la calidad. El proceso debe mejorarse para mejorar la calidad. El hecho simple de definir o enfocarse en un proceso no constituye mejoramiento – debemos hacer cambios y usar datos para demostrar que el cambio se traduce en mejoramiento. Toda actividad se desarrolla en un proceso, por consiguiente la calidad del proceso determina la calidad del resultado. Normalmente las personas no piensan en función de procesos, en su defecto, consideran eventos aislados y no se dan cuenta del valor de ello. Por otra parte hay quienes tienen temor al escuchar la palabra proceso y otras más se resisten al término.



PANDE, S. Peter et al.. "The Six Sigma Way"

El SIPOC aplica a todo tipo de trabajo, ya sea repetitivo en su naturaleza o único en su clase, es útil para definir los límites del proyecto (puntos de iniciación y finalización) y nos indica dónde se deben recolectar los datos. También nos ayuda a no perder el verdadero alcance del proyecto, nos ayuda a destacar las áreas de mejoramiento y a asegurar un enfoque hacia el cliente.

**a) ENTRADAS**

En esta etapa se deben de generar todas las variables posibles que puedan afectar al proceso sin importar la cantidad, ya que se podría terminar incluyendo 50 a 100 variables de entrada. Posteriormente cuando continuemos con la metodología DMAIC nos enfocaremos en el especial del Proyecto.

**b) VISIÓN DE PROCESO**

Se busca plasmar el proceso actual en un diagrama de alto nivel donde con sólo unos bloques podamos observar las fases críticas del proceso.

**c) SALIDAS**

Al igual que en la Entrada se generan todas aquellas variables posibles que nuestro proceso genera. Nos referimos a que encontraremos todo aquello que nuestro proceso aporta para nuestros clientes. Esto podría ser: Productos, Información, documentos, Servicios, Decisiones, etc.

Al estar realizando el SIPOC debemos contestarnos todas aquellas preguntas relevantes para el Proceso:

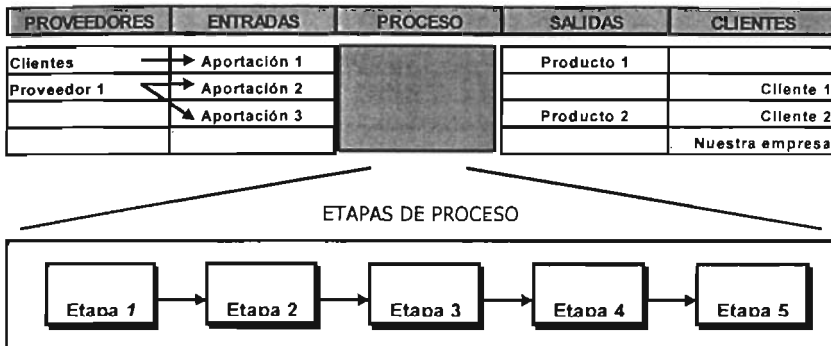
**Propósito:** ¿Por qué existe el Proceso? ¿Cuál es el propósito del Proceso? ¿Qué produce como resultado?

**Resultados:** ¿Cuál es el producto del Proceso? ¿Cuáles son las salidas del Proceso? ¿Dónde concluye este Proceso?

**Clientes:** ¿Quién usa los productos de este proceso? ¿Quiénes son los clientes de este proceso? Externamente ¿Quiénes colaboran en el Proceso?

**Entradas/proveedores:** ¿De dónde proviene el material con el cual se trabaja? ¿Quiénes son los proveedores? ¿Qué suministran ellos? ¿Dónde afectan estos el flujo del Proceso? ¿Qué efecto tienen sobre el Proceso su resultado?

**Etapas del Proceso:** ¿Qué le sucede a cada entrada? ¿Qué actividades de conversión se efectúan?



PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

- **ANÁLISIS DEL SIPOC.**

Utilizando el formato anterior desarrollaremos el SIPOC para el Proceso que decidamos analizar. Dependiendo de cada proceso habrá que adicionar o restar espacios. Es importante poder definir cada uno de los puntos a los que se refiere el SIPOC.

Ya que se conocen los componentes SIPOC del Proyecto hay que analizarlo detenidamente y modificarlo si así lo requiere. ¿Qué se va analizar del SIPOC? ¿Los límites que se proponen mejorar son claros? ¿Qué etapas del proceso son los que demuestran rendimientos más bajos? ¿Se identificaron nuevos clientes para quienes los mejoramientos puedan generarles un mayor impacto económico? ¿Se identificaron nuevos interesados o afectados?

Los pasos para el diseño del SIPOC son los siguientes:

- Designar nombre al Proceso
- Determinar los puntos inicial y final (límites) del Proceso
- Enumerar las salidas y clientes principales
- Enumere las entradas y proveedores principales
- Identifique, nombre y ordene las principales etapas del Proceso.

Para desarrollar un buen diagrama de proceso es importante identificar que pasos del proceso tienen valor agregado y cuales no, identificar los cuellos de botella, determinar los tiempos de ciclo y buscar errores y faltas de eficacia que contribuyan a generar defectos.

- **ENFOQUE PROCESOS Y DATOS**

Es importante pensar en estos dos puntos ya que así nos podemos asegurar de que no se omiten ninguna causa potencial para nuestro Proyecto.

a) **ENFOQUE DE DATOS:**

Los datos nos ayudan a comprender las causas que provocan las variaciones en el proceso, afrontar los problemas de la calidad y los desperdicios; como también a comprender la causa raíz de las diferencias entre resultados-

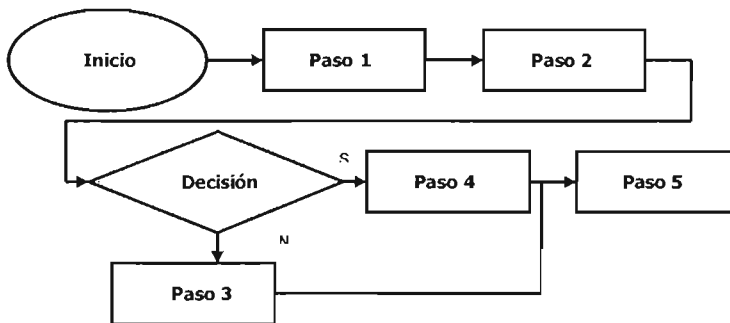
b) **ENFOQUE DE PROCESO:**

El proceso nos da una mejor rendimiento del flujo del proceso, afrontar los problemas de tiempos de ciclo e identificar las oportunidades para reducir los costos del proceso.

c) **DIAGRAMAS DE FLUJO**

Normalmente los defectos surgen debido a que en parte de un proceso es incorrecta o deficiente.

Un diagrama de flujo facilita la visualización de un proceso.

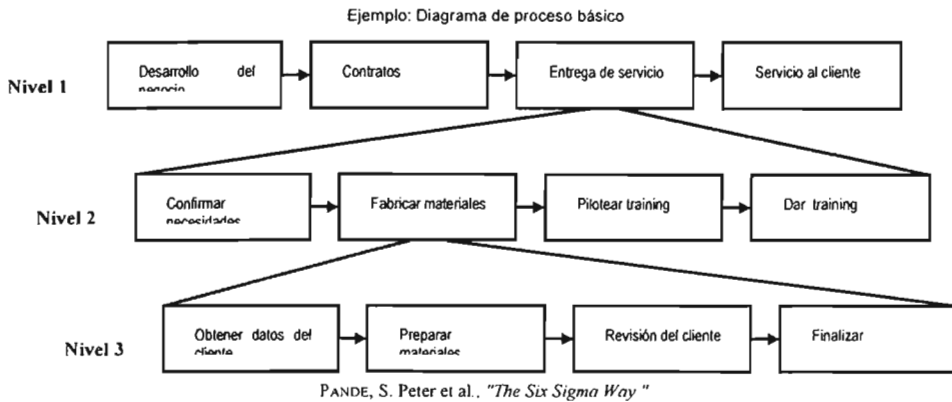


PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way "

Al utilizar un diagrama de flujo lo que realizamos es generar una idea en común, clarificando los distintos pasos del proceso, ayudando a identificar las posibles mejoras del proceso y a revelar como funciona el proceso.

Los diagramas de proceso pueden dividirse en varios niveles donde éstos se pueden desarrollar de la siguiente manera: El primer nivel es aquel en el cual se describen

las actividades fundamentales de un negocio y en los siguientes niveles se van desglosando las actividades hasta hacerlo detalladamente.



Tipos de diagramas de flujo para proceso:

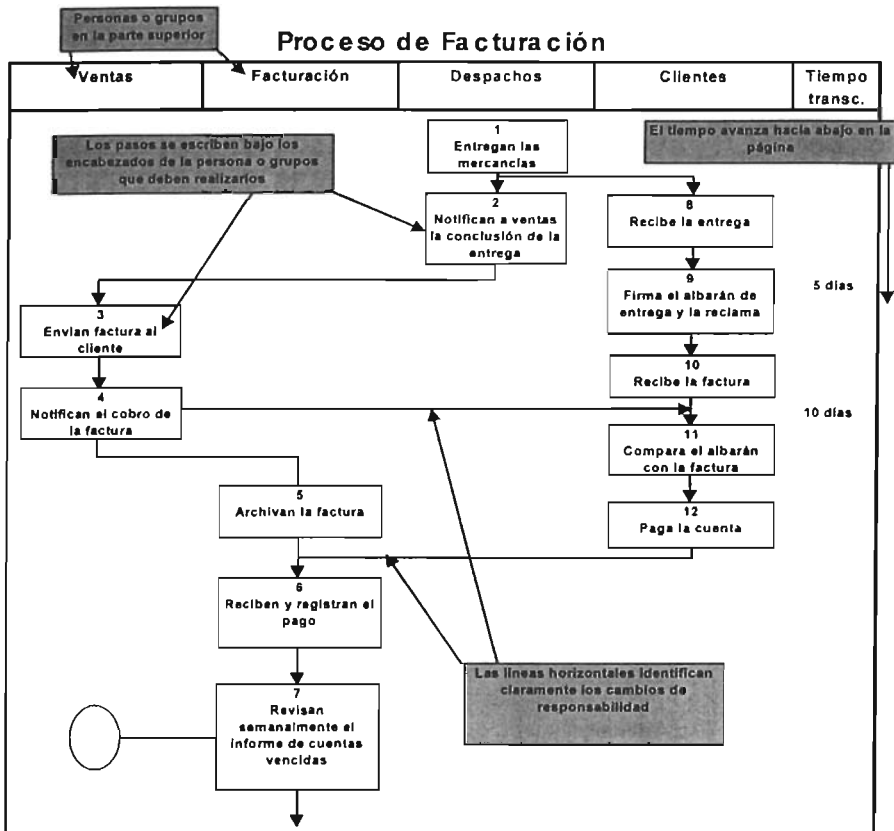
- De actividades
- De despliegue

Los diagramas de flujo de actividades especifican lo que sucede en un proceso. Recogen los puntos de decisión, los ciclos de reproceso, la complejidad, etc.

Los diagramas de flujo de despliegue reflejan los pasos detallados de un proceso y las personas o grupos que están presentes en cada uno de ellos. Son interesantes en procesos que exigen el traspaso de información entre personas o cargos, porque ayudan a destacar donde cambian los responsables.

Para identificar el diagrama de proceso indicado; describimos las características principales:

- Diagrama de flujo básico  
Identifica los pasos principales del proceso y donde empieza y donde termina éste; también ilustra en que parte del proceso se recopilan los datos.
- Diagrama de flujo de actividad  
Muestra la complejidad y los puntos de decisión de un proceso e identifica ciclos de reproceso y cuellos de proceso.



Diagramas de flujo de despliegue  
 PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

- Diagrama de flujo de despliegue  
 Resalta los puntos de cambio de responsabilidad en proceso que afectan a distintas personas o grupos, clarifica roles e identifica dependencias.

Para crear un diagrama de flujo hay que trabajar en grupo, de forma que se puedan obtener diversos puntos de vista; iniciando con una tormenta de ideas, ordenar las ideas, verificar el orden de las fases del proceso y numeración de los pasos.

Hay que tener muy en cuenta que un diagrama de proceso puede representar una de las siguientes perspectivas de un proceso:

- La idea del proceso.
- Lo que es el proceso realmente.
- Lo que podría ser el proceso.
- Lo que debería ser el proceso.

Teniendo en cuenta que estamos en la fase de Definir del método DMAIC debemos obtener un diagrama de proceso que nos represente la realidad de éste y no aquel que debería ser, podría ser o aquella idea que nosotros traemos en mente. Debemos realizar un proceso simple y con las fases más importantes, identificar las fases que otorgan valor agregado de las que no y resaltando las fases que no otorgan valor agregado del diagrama.

Pasos con Valor Agregado:

- Los clientes pagan gustosos.
- Cambian físicamente el producto.
- Está bien hecho desde el principio.
- Pasos sin Valor Agregado:
- No son esenciales para lograr resultados.
- No añaden valor al resultado.

Incluyen:

Defectos, errores, omisiones.

Preparación / configuración, control / inspección.

Sobreproducción, reprocesado, inventario.

Transporte, desplazamiento, espera, retrasos.

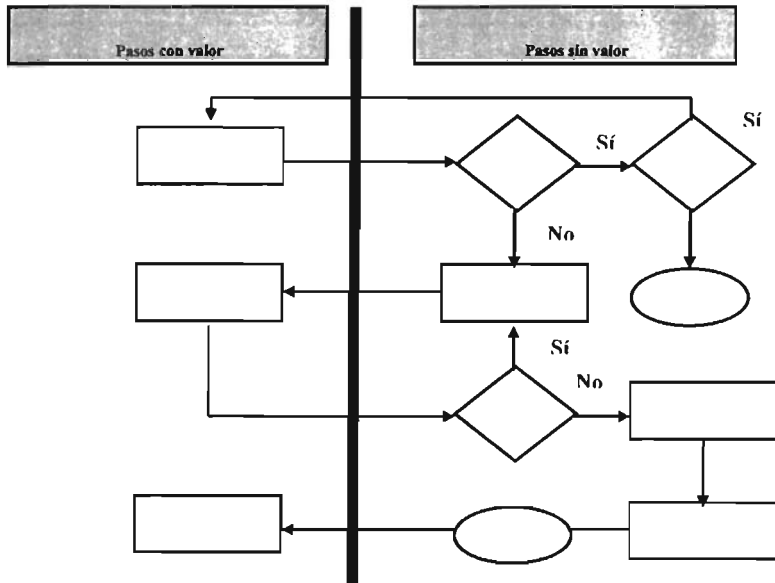
Es posible convertir un diagrama de flujo de actividades en un diagrama de flujo de oportunidades si se resaltan los pasos que añaden desperdicio y complejidad al proceso. Éste último separa los pasos con valor agregado de los que no tienen valor agregado.

Cómo crear un Diagrama de Flujo de Oportunidades:

- Dividir la página en dos partes
- La parte de valor agregado más pequeña que la de sin valor agregado



- El tiempo avanza hacia abajo
- Una pasos de valor agregado con una flecha sólo si no hay ninguno sin valor agregado entre ellos.



PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

- **IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DEL PROCESO: TIEMPO Y CAPACIDAD**

El monitoreo del tiempo de Ciclo del Proceso nos permite:

- Comprender el tiempo de ciclo
- Proporciona una mejor idea del proceso.
- Muestra la influencia de los pasos sin valor agregado en el tiempo que se emplea para fabricar un producto o prestar un servicio.
- Identifica los cuellos de botella del proceso.

A su vez, la reducción del tiempo de ciclo:

- Ayuda a aumentar la capacidad de previsión.
- Ayuda a reducir el desperdicio y las correcciones, lo cual reduce los costos.
- Proporciona una ventaja competitiva.

La medición del tiempo de ciclo es útil para:

- I. Decidir si va a medir el tiempo de ciclo de todo el proceso o únicamente de un subconjunto de etapas.
- II. Desarrollar definiciones operacionales de los puntos inicial y final de cada paso.
- III. Lograr un consenso sobre lo que es tiempo con valor agregado (VA) y sin valor agregado (si aún no lo hubiera hecho).
- IV. Desarrollar un formato para la recolección de datos. Y descargar en una Matriz de valor agregado,

Paso del proceso	Tiempo Acumulado	Tiempo de VA	Tiempo sin VA	Notas

### Matriz de Valor Agregado

Paso del proceso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	% Total
Tiempo (horas)	12	10	1	10	20	8	10	1	10	20	100	
Valor			✓					✓			2	2%
Sin valor												
Solución de errores								✓			10	10%
Preparación/configuración												
Control/inspección						✓					6	6%
Retraso	✓				✓					✓	52	52%
Transporte/desplazamiento		✓		✓			✓				30	30%
<b>Total</b>											<b>100</b>	<b>100%</b>

PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

### $\sigma$ CUELLOS DE BOTELLA<sup>77</sup>

Un cuello de botella es un recurso cuya capacidad limita la cantidad de información o material que fluye por el proceso y cuya capacidad equivale o es inferior a la demanda solicitada a ese recurso. Los cuellos de botella incrementan el tiempo de ciclo.

Los cuellos de botella se distinguen haciendo una Revisión del Análisis de Proceso:

- Cree un diagrama de flujo de actividad o de despliegue para esquematizar los pasos.
- Utilice los diagramas de flujo de oportunidades y otros enfoques para identificar las pérdidas de tiempo y la complejidad.

<sup>77</sup> *Idem.*, pp. 876-877

- Mida los tiempos de ciclo de forma que pueda calcular cuál es tiempo con valor agregado y tiempo sin valor agregado.
- Identifique los cuellos de botella.

#### σ VOZ DEL CLIENTE - VOC ( VOICE OF THE CUSTOMER)<sup>78</sup>

Una variable de "salida" clave que debe ser importante para todos los sistemas a todos niveles es la satisfacción del cliente. La expresión VOC se utiliza para describir las necesidades de los clientes y sus percepciones acerca de su producto o servicio.

Diferentes categorías de Variables de salida clave para los clientes son algunas veces clasificadas de acuerdo a su área de impacto, esto es, crítico para la calidad (CTQ-Critical to Quality) (p. Ej. Diámetro, altura, características eléctricas), Críticas para la entrega (CTD-Critical to Delivery), Críticas para el costo (Critical to Cost) y Críticas para la satisfacción (CTS-Critical To Satisfaction). Las Variables de Entrada Claves, KPIV (Key Process Input Variables), son algunas veces clasificadas como Críticas para el proceso (Critical to Process).

#### OBJETIVOS

- Entender por qué es importante la Voz del Cliente – VOC –
- Diseñar un plan para recolectar información relacionada con VOC
- Poder usar un diagrama de árbol para identificar los requerimientos del cliente y fijar las especificaciones que han de satisfacerlos

Los pasos para ejecutar esta etapa son:

- Definir los clientes
- Obtener lo que los clientes quieren, necesitan y desean
- Asegurarse que el objetivo del proyecto esta dirigido a las necesidades de los clientes.

#### • IDENTIFICACIÓN DE CLIENTES Y REQUERIMIENTOS VOC

Hay que identificar el cliente que es afectado por el problema del proyecto; si nuestra empresa tiene un buen método para identificar la voz del cliente este proceso puede ser mucho más sencillo. Si la empresa cuenta un sistema eficaz para traducir la voz

<sup>78</sup> *Idem.*, p. 53

del cliente (VOC) en requisitos mensurables del cliente, puede ser fácil para el equipo validar especificaciones del cliente y a comenzar a recolectar informe de datos inmediatamente. Si la empresa no cuenta con los datos habrá que pedir la opinión del cliente, preguntarle que es lo que observa como defectos, etc. Este proceso puede llegar a ser frustrante que en ocasiones los clientes al dar sus opiniones pueden ser muy confusas y esto nos podría generar incertidumbre e imprecisión. Los datos que nos generen los clientes del proceso habrán de ser analizados con forme a los requerimientos de salida y los requerimientos de servicio.

Los requerimientos de salida son las características del producto final y la entrega del servicio al cliente en el final del proceso.

Los requerimientos de servicio son las maneras mas subjetivas de las cuales el cliente espera ser tratado y ser servido durante el proceso si mismo. Estos requisitos contestan a la pregunta, ¿Obramos recíprocamente y como tratamos a clientes durante nuestras transacciones?” Algunos requisitos del servicio emergen en los “momentos de la verdad”

- **¿POR QUÉ ES IMPORTANTE VOC?<sup>79</sup>**

Consideremos productos que un consumidor ha adquirido los cuales no satisfacen sus expectativas. Tal vez un producto puede poseer a simple vista muchos atributos y sin embargo no satisfacer las necesidades básicas del usuario. O quizá el producto no sea fácil de usar o tenga “pobre” calidad. ¿El consumidor se tomará el tiempo para quejarse formalmente acerca del producto o servicio? o ¿El consumidor evitará comprar productos de la misma compañía en el futuro? He ahí la importancia de lograr la satisfacción del cliente para Seis Sigma.

A continuación se presentan algunos fenómenos de mercado que aplican a productos de consumo común e industrial:

- La mayoría de los clientes no se quejan si un problema se presenta (50% encuentra un defecto pero no se queja; 45% se queja a nivel local; sólo 5% se queja a niveles jerárquicos altos)

---

<sup>79</sup> *Idem.*, p.53

- De problemas con pérdidas de más de 100 USD y en donde la queja ha sido resuelta, sólo el 45% de los clientes comprarán otra vez (y solo el 19% si es que la queja no ha sido resuelta).
- El fenómeno de comunicación de boca-en boca es significativo. Si un problema mayor es resuelto con la consecuente satisfacción del cliente, alrededor de 8 personas se enterarán del suceso; pero, si el cliente no está satisfecho con la resolución, 16 personas se enterarán del suceso, con el consecuente impacto negativo para la compañía.<sup>80</sup>

Estas realidades del mercado apuntalan la importancia que tiene el satisfacer las necesidades del consumidor, con la consecuente retención y lealtad de los clientes. No olvidemos que el usuario final de un producto o servicio, no es el único cliente.

La información de VOC ayuda a la empresa para:<sup>81</sup>

- Decidir qué productos y servicios debe ofrecer.
- Identificar características críticas y establecer las especificaciones para dichos productos y servicios
- Establecer niveles de referencia para medir la mejora en la satisfacción de los clientes
- Identificar los impulsores de la satisfacción de los clientes

El proceso consiste en identificar los clientes y que es lo que se necesita conocer; reconocer y analizar los datos del sistema reactivo y cubrir, posteriormente, los huecos con enfoques preactivos; análisis de la información obtenida y generación de un listado de necesidades clave de los clientes – expresado en el lenguaje de éstos-; traducir el lenguaje del cliente a CTQ's y finalmente, establecer especificaciones para los CTQ's definidos.

- **IDENTIFICANDO LAS NECESIDADES DEL CLIENTE**

Las situaciones no requieren necesariamente de los resultados de una Función Despliegue de Calidad (Quality Function Deployment) formal, anotando que una

---

<sup>80</sup> *Idem.*

<sup>81</sup> Pande, S. Peter et al., "*The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing their performance*", USA, Edition. McGraw-Hill, 2000.

investigación exacta de QFD puede llegar a ser inútil si no se conduce y compila con prontitud. Esta sección describe un método que utiliza técnicas de lluvia de ideas junto con encuestas para cuantificar las necesidades de los clientes.

Los siguientes pasos describen un método para determinar las preguntas por hacer y después cuantificar y priorizar las necesidades de acuerdo a como las percibe el cliente.<sup>82</sup>

1. Conducir sesiones de lluvias de ideas donde se identifiquen aspectos como características deseables en los productos, resolución de problemas, etc.
2. Si hay muchas sesiones distintas que contengan demasiadas ideas para considerar colectivamente en una sola encuesta, tal vez sea necesario ordenar las ideas de cada sesión. Una votación secreta para cada tema podría llevarse a cabo por los asistentes durante o después de las sesiones. Los temas de cada sesión que estén mejor posicionados serán tomados en cuenta para la encuesta.
3. Se determinará un grupo de preguntas y éstas se elaborarán dándoles un aspecto positivo con palabras adecuadas. Obviamente, hay que tener cuidado con la selección de palabras para no elaborar preguntas tendenciosas y que puedan desviar la respuesta. La persona que responderá la pregunta deberá elaborar un enunciado de importancia y un enunciado de satisfacción relativo a la pregunta.

Es importante, para facilitar el fácil entendimiento del formato, considerar dos secciones: Quién y Qué y Por qué.

**Quién.** Elaborando una lista de los principales clientes que consumen su producto y usan su servicio. Se toma nota de los canales o segmentos que potencialmente pueden ser relevantes para el proyecto. Asegurándose de incluir todos los clientes tanto internos como externos (p.ej., clientes intermedios tales como operador logístico, almacenes, etc.)

**Qué y Por qué.** Indicar específicamente lo que desea conocer acerca de los clientes. Desarrollar versiones apropiadas de las siguientes preguntas, las cuales puede

---

<sup>82</sup> BREYFOGLE, Forest W., *op. cit.* nota 70, p.53

formular en entrevistas personales. Pensando sobre lo que requiere conocer de estos clientes.

- ¿Qué es importante para usted?
- ¿Qué es un defecto?
- ¿Qué tan bien lo hacemos? ¿Cómo nos compara con nuestros competidores?
- ¿Qué le agrada más? ¿Qué le agrada de nuestro servicio?

Para todo tipo de clientes, formule preguntas como:

- ¿Qué es importante para usted acerca de nuestro producto / servicio? (Solicite que estas necesidades se detallen en orden de importancia.)
- ¿Qué considera que es un "defecto"?
- ¿Cuál es nuestro desempeño en las áreas que para usted son importantes?, ¿Qué es lo que más le gusta de nuestro producto / servicio?,
- ¿Qué podemos mejorar en nuestro producto / servicio?
- ¿Qué podemos hacer para facilitar su trabajo?
- ¿Qué otras recomendaciones específicas nos haría?

La información de este tipo de encuesta puede ser reflejada en un formato de mapa perceptual (Urban Y Hasser 1980).<sup>83</sup>

*Ejemplo de Formato de Cuestionario que puede dar un a Respuesta de Mapa Perceptual.*

Los productos elaborados por nuestra compañía son confiables. (Por favor comente acerca de cualquier cambio que le parezca necesario.)

¿Cuál es la importancia de este requisito para usted?      ¿Cuál es su nivel de satisfacción respecto a este requisito?

5 Muy importante

5 Muy satisfactorio

4 Importante

4 Satisfactorio

3 Ni importante ni no importante

3 Ni satisfactorio ni no satisfactorio

2 No importante

2 Insatisfactorio

1 Intrascendente

1 Muy insatisfactorio

Respuesta: \_\_\_\_\_

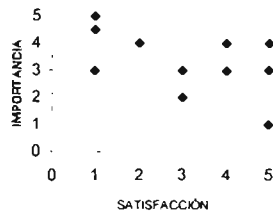
Respuesta: \_\_\_\_\_

Comentarios:

BREYFOGLE, Forest W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods"

<sup>83</sup> *Idem.*

Un esquema de este tipo puede ser creado para cada encuestado donde cada punto del esquema que describe una pregunta particular podría ser identificado como su número de pregunta de la encuesta como se ilustra a continuación. Las áreas a trabajar son aquellas que se juzguen como importantes con baja satisfacción (es decir, las preguntas 8 y 4)



BREYFOGLE, Forest W., *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*

La respuesta promedio igualmente podría ser esquematizada; sin embargo, con cualquier método de análisis de este tipo, debe tenerse cuidado para no perder información de respuestas individuales que podría ser muy importante. Un experto podría calificar algo de forma completamente distinta al resto del grupo puesto que esta persona tiene mucho más conocimiento de un área. Debe ponerse empeño para identificar a estas personas de tal forma que ellos puedan responder más preguntas individualmente y así tener puntos de vista claves que después pueden ser muy útiles; dicho de otra forma, no hay que perder de vista las cuestiones importantes por "jugar con los números".

Determinar las áreas que necesitan enfoque de acuerdo al esquema no debe ser riguroso puesto que la respuesta tiene consideraciones bidimensionales (importancia y satisfacción). Para tomar un método más riguroso, consideremos primero la situación extrema donde una pregunta es considerada muy importante (5) con baja satisfacción (1). La diferencia entre los números de importancia y satisfacción podría ser utilizada para crear un número que sea usado con el propósito de determinar cuáles son las áreas de mayor oportunidad. Una diferencia grande entre los números, en este caso 4, indica un área que tiene un gran potencial de mejora, mientras que los números menores tienen menor potencial (un número negativo es quizá insignificante) (Wheeler 1990). Estas diferencias podrían ser posteriormente ordenadas y este ordenamiento



podría resultar en una mejor comprensión de dónde existen áreas de oportunidad. Podríamos también ordenar preguntas importantes que pueden ser agrupadas para obtener una mejor idea de que áreas tienen el mayor enfoque de cambio.

Este procedimiento de encuesta está usualmente asociado con la determinación de las necesidades y deseos de los usuarios finales de un producto. Sin embargo, las relaciones cliente-proveedor adecuadas también deben existir dentro de una compañía. Consideremos, por ejemplo, dos pasos de un proceso en una línea de manufactura. Las personas involucradas en el segundo paso del proceso son los clientes de la gente que está involucrada en el primer paso del proceso.<sup>84</sup>

La relación cliente-proveedor también puede considerarse como existente entre los empleados de una organización y los procedimientos que utilizan, por ejemplo, para desarrollar un producto. La metodología descrita en esta sección podría ser utilizada para identificar procedimientos burocráticos que impidan las actividades productivas de los empleados. Después de que estas áreas son identificadas, otras sesiones adicionales de lluvia de ideas pueden ser llevadas a cabo para mejorar las áreas de los procesos que necesitan ser cambiados.

Es necesario buscar las diversas fuentes para recabar la información que necesitamos para obtener el ¿Qué y Por qué? de las necesidades de nuestros clientes.

En general, podemos considerar que existen dos tipos de fuentes:

1. Los Sistemas Reactivos. La información llega se tome una acción correctiva o no.

Ejemplos de sistemas reactivos típicos son:

- *Reclamos de los clientes (telefónicos o escritos)*
- *Líneas telefónicas 1-800*
- *Visitas de asistencia técnica*
- *Visitas de servicio al cliente*
- *Reclamos, notas crédito, pagos (facturas) en litigio*
- *Informes de ventas*
- *Información sobre devoluciones*
- *Reclamos por garantía*
- *Actividades de Internet*

---

<sup>84</sup> *Ibid.* p.58

Éstos usualmente reúnen información sobre asuntos o problemas actuales o anteriores, necesidades del cliente que no han sido satisfechas o interés actual o anterior de los clientes sobre algunos productos o servicios

2. Los Sistemas Pro-activos. En estos, se necesita un esfuerzo para recolectar la información.

- *Entrevistas*
- *Grupos objetivo*
- *Encuestas*
- *Buzón de sugerencias*
- *Recolección de información durante visitas de ventas o llamadas*
- *Observación directa sobre el cliente*
- *Investigación / seguimiento del mercado*
- *Benchmarking*
- *Fichas de objetivos de calidad*

- **EL MODELO DE KANO Y VOC<sup>85</sup>**

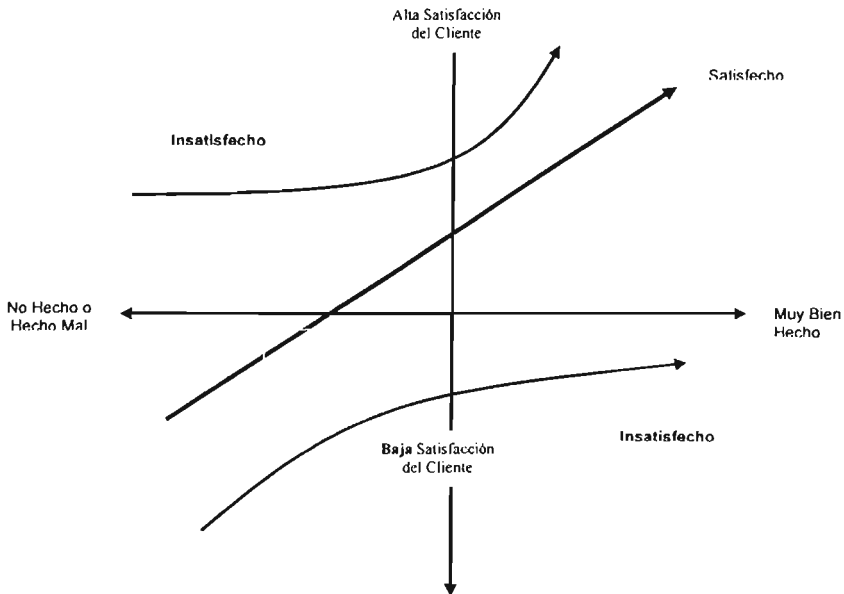
Las necesidades de los clientes son dinámicas. Las características de un producto que en el pasado fueron catalogadas como exclusivas o innovadoras, ahora son dadas por hecho y exigidas como parte de las características mínimas necesarias que debe poseer el producto o servicio.

La flecha que cruza por la mitad –calidad unidimensional- muestra la situación en la que los consumidores le comunican al productor lo que necesitan y a su vez éste les satisface este requerimiento. La flecha inferior representa las características que son esperadas. Los consumidores son menos afectos a mencionarlas pero se mostrarán insatisfechos si estas características no son proveídas. La seguridad es un ejemplo de esta categoría. La flecha superior representa calidad o características innovadoras. Estas son las características que un consumidor normal no mencionaría pero que sin embargo, la compañía debe prever para anticiparse a estas necesidades, que siempre deberán ser satisfactoras.

---

<sup>85</sup> *Ibid.*, p.54

Las características catalogadas como Debe Tener, se trata con indiferencia, a menos que estén ausentes; Por lo general, los clientes plantean temas relacionados con características de Más Es Mejor. Los satisfactores no se mencionan generalmente, puesto que los clientes no están insatisfechos con la carencia de ellos.



BREYFOGLE, Forest W., "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods"

#### σ CRÍTICOS PARA LA CALIDAD - CTQ'S (CRITICALS TO QUALITY)

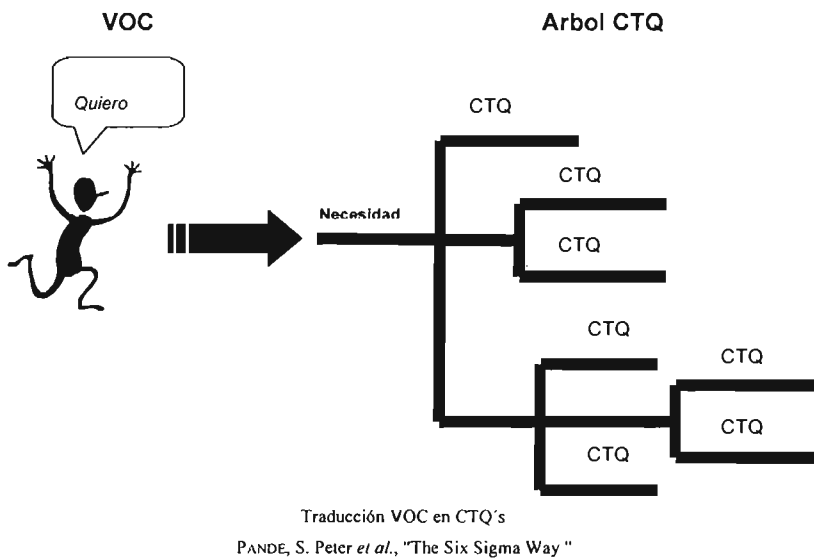
Los CTQ's son las características de un producto o Servicio, el cual satisface un requerimiento crítico del cliente o un requerimiento del proceso del cliente. Bajo esta visión un defecto es, entonces, cualquier instancia o evento en el cual el producto o proceso fracasa en el cumplimiento de las expectativas del cliente. Es con este enfoque con el que Seis Sigma es visto como un programa de calidad.<sup>86</sup>

Pero Seis Sigma debe ser visto como más que un mero programa de mejoramiento de la calidad. Las metodologías de Seis Sigma deben ser parte integral de las operaciones e indicadores de una compañía. Una estrategia de negocios basada en

<sup>86</sup> Ibid., p.72

Seis Sigma debe guiar a proyectos que involucren tanto mejoras en procesos simples como en aquellos más complejos en donde es necesaria una reingeniería del proceso basada en las necesidades del negocio. Es aquí donde se expresan y se desarrollan los puntos específicos del proceso que son importantes para el cliente y por tanto, importantes para la calidad del proceso o servicio.

El formato de un diagrama de árbol puede ser útil para asegurarnos de que la relación que existe entre los requerimientos del cliente y las métricas del proceso son las correctas. Un diagrama de árbol puede describir la transición: necesidad – medios – CTQ's. Éste también puede ser usado para describir la jerarquía de "Crítico para" (CT) y de esta manera definir si las medidas actuales están en conformidad con las necesidades de los clientes o si sólo han sido producto de comparaciones contra parámetros internos.



Un análisis de Despliegue de función de la calidad (QFD) es una herramienta que puede ayudar a examinar la VOC. El QFD puede ser usado en muchas áreas diferentes del negocio: planeación, desarrollo, ingeniería, manufactura, distribución, marketing y servicios. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para realizar una evaluación formal con QFD tomará gran parte del esfuerzo destinado a este proyecto Seis Sigma.



Cómo Crear un Diagrama de Árbol:

- 1.- Elaborar un listado de necesidades del cliente.
- 2.- Identificar los principales impulsos –motivadores- para estas necesidades (al referirnos a los principales se entiende aquellos que aseguren que la necesidad está siendo atendida)
- 3.- Llevar cada motivador –impulsor- al mayor nivel de detalle posible
- 4.- Detenerse en el nivel de detalle cuando se considere que está en capacidad de medir si puede o no cumplir el requerimiento planteado por el cliente

En lugar de definir un CTQ para cada proyecto, es preferible identificar las variables clave de salida del proceso (KPOV), cuando esto se realiza la imagen que adquiere Seis Sigma va más allá de una mera iniciativa de calidad.

- **VARIABLES CLAVE DE ENTRADA-SALIDA DEL PROCESO - KPIV'S – KPOV'S (KEY PROCESS INPUTS VARIABLES-KEY PROCESS OUTPUTS VARIABLES)<sup>87</sup>**

Todos los días nos encontramos con herramientas que tienen una entrada y una salida por ejemplo, el simple momento de un switch de luz causa que la luz se encienda, una entrada para este proceso es el movimiento del switch, dentro de éste un proceso de conexiones eléctricas se lleva a cabo, y la salida es la luz que se enciende.

Como usuario de esta herramienta, tostador o de un radio no estamos interesados generalmente en los detalles de cómo el proceso es ejecutado, típicamente vemos estos procesos como una caja negra. Sin embargo, existen otros procesos con los que estamos más involucrados, por ejemplo: el proceso que usamos cuando nos preparamos para viajar, para ir a la escuela o al trabajo. Para este proceso pueden haber múltiples salidas, tal vez como llegar a tiempo cuando ocurre un accidente de automóvil u otros problemas.

Las salidas importantes para estos procesos pueden ser llamadas variables de salida claves del proceso (KPOV's) o características críticas para la calidad (CTQ's). Las entradas al proceso pueden tomar la forma de entradas inherentes al proceso (Materia

---

<sup>87</sup> *Ibid.*, p.10

Prima), Variables controladas (Temperatura del proceso) y variables no controladas o de ruido (Lotes de Materia Prima).

Para nuestro proceso de viaje una variable de entrada controlada puede ser poner el despertador mientras que una variable no controlada puede ser si ocurrió un accidente en el camino que afecto el tiempo de llegada.

Para examinar nuestros tiempos de llegada como función del tiempo en que salimos, podemos encontrar que si salimos cinco minutos antes podemos reducir nuestro tiempo en 25 minutos. Para esta situación, el tiempo de salida es una KPIV que afectan a nuestro tiempo de llegada. Cuando la KPIV es controlada en nuestro viaje, podemos reducir la variabilidad del tiempo de llegada al trabajo o escuela (KPOV).

De manera similar, dentro de los negocios y otras organizaciones contamos con procesos o sistemas en donde es posible la identificación de las "entradas" y los cambios potenciales del proceso así como el impacto en las "salidas" del proceso.

#### σ RESUMEN<sup>88</sup>

Durante este capítulo se ha descrito la forma para elegir adecuadamente el proyecto basado en el impacto para la compañía y se abordó la importancia que tiene el obtener la VOC junto con algunas estrategias para obtener retroalimentación por parte del consumidor y junto con los KPIV-KPOV definir de esta manera definir los CTQ's.

El objetivo de la fase definir de Seis Sigma es describir los CTQ's del negocio o del proceso, del cliente y de la parte del negocio más estrechamente vinculada con estos. Durante esta fase debe ser enunciada una oración que defina el problema que deseamos sea resuelto. Los requerimientos del cliente son compilados y un diagrama del proyecto es creada, donde el objetivo del proyecto es determinado por el equipo en conjunto con el líder del proyecto. Algunas otras actividades desarrolladas en esta etapa deben incluir la identificación de clientes, tanto internos como externos, la identificación y la definición de lo que debe ser mejorado, la estimación de los COPQ y la iniciación del SIPOC.

El éxito del proyecto mucho depende de la comunicación. El diagrama del proyecto y la elaboración y distribución de reportes nos proveen de herramientas efectivas para la

---

<sup>88</sup> *Ibid.*, pp. 61-64

comunicación entre todos los miembros del equipo de modo que no quede lugar a malentendidos en cuanto a los objetivos y el estatus del proyecto.

Los dueños del proceso deben coincidir con el equipo en la utilidad del proyecto y en el enunciado del problema.

El alcance del proyecto debe ser dimensionado adecuadamente y documentado en una matriz de proyecto. Es necesario que todos los involucrados lleguen a un acuerdo respecto a los objetivos, repercusiones, límites, recursos, transición de proyecto y conclusión del proyecto. Los detalles de la matriz necesitan ser actualizados al tiempo que el proyecto se desarrolla.

Los objetivos de mejora prospectados deben ser medibles. Estos objetivos deben estar a la par de los beneficios de COPQ/CODND cuando sea apropiado.

Ejemplo: Reducir el tiempo medio de espera de una llamada a 40 segundos o menos que de lugar a un beneficio de \$200,000 anuales en la compañía XYZ.

La medición debe ser descrita. Lo que constituya un defecto y la forma en que será rastreado debe ser descrito. Si el tiempo del ciclo es la medida, los planes para la cuantificación y rastreo del tiempo-ciclo deben ser descritos

Los miembros del equipo deben ser seleccionados por el champion y el líder de proyecto (ej. Black Belt) para que puedan aportar distintos puntos de vista y las habilidades que se requieren para la consecución del proyecto de forma oportuna.

Los proyectos deben estar alineados respecto a las necesidades de mejora de su cadena de suministro al tiempo que deben ser lo suficientemente grandes como para justificar la inversión de recursos pero lo suficientemente pequeños para asegurar la comprensión de problemas y desarrollo de soluciones sustentables. El alcance debe definir exactamente las posibilidades del proyecto para que así su retraso, una de las causas principales por la que no se cumplen objetivos y fechas límite, sea evitado.

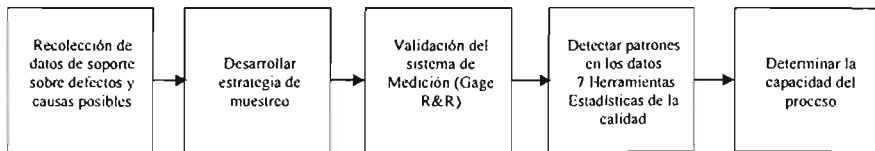
Ejemplo: Reducir el tiempo de espera de las llamadas en las oficinas XYZ con la intención de aventajar en éxito a otros call centers.



## 2.0 MEDIR

El objetivo de esta etapa es el desarrollo de un sistema válido y sustentado de medición del proceso del negocio definido en la fase anterior, detectando la ubicación o la fuente de los problemas lo más precisamente por medio de un entendimiento real de las condiciones problemas del proceso existente. Ese conocimiento ayudará a reducir el rango de causas potenciales que se necesitan investigar y verificar en la etapa de Analizar.

Medir es la llave de transición en el camino Seis Sigma, en este punto el quipo decide que métricas son las que se elegirán. Es aquí donde se redefine el problema, se obtienen los datos reales sobre la situación actual del proceso que queremos mejorar. Este paso puede ser difícil, especialmente si se trata del primer proyecto de Seis Sigma que se esta implementando.



PANDE, S. Peter *et al.*, "The Six Sigma Way "

Los resultados que se obtienen como parte de la etapa medir son los siguientes:

- Información que ubica el sitio u ocurrencia del problema
- Información básica sobre el nivel sigma del proceso actual
- Un enunciado más enfocado del problema
- Establecer un valor base para el nivel de la capacidad del proceso

Las mediciones son importantes. Sin embargo, frecuentemente las organizaciones miden lo que es conveniente y no lo que es importante para el cliente y las necesidades del negocio. Es muy importante que los proyectos tengan medidas y actividades que se encuentren alineados con estas necesidades. Un entendimiento real de la situación quiere decir que su conocimiento debe basarse en hechos y datos –usted debe saber qué datos recolectar, qué hacer con ellos luego de haberlos obtenido y cómo interpretar los patrones o claves que emerjan. Dentro de la fase Medir se desarrollaran actividades que le permitirán encauzar las características de las

mediciones y los detalles de los datos recolectados usando los siguientes procedimientos:<sup>89</sup>

- **Seleccionar que medir:** considere las preguntas que necesitan ser contestadas y los datos que ayudarán a responder a estas preguntas. Considere también los clientes finales e internos del proceso y como las mediciones serán rastreadas y reportadas.
- **Desarrolle definiciones operacionales:** Considere como describir claramente que es lo que estará siendo medido para evitar malos entendidos.
- **Identifique las fuentes de datos:** considere donde pueden obtenerse los datos y si es que es posible emplear datos históricos.
- **Prepara un plan de muestreo y recolección:** considere quien colectará y compilará los datos y las herramientas que son necesarias para la captura de la información. Cree un plan de muestreo de datos que sea capaz de resguardar la integridad de los datos potenciales.
- **Implemente y perfeccione la medición:** considere que es necesario para obtener una corrida inicial de medidas y procedimientos para la recolección de los datos antes de emplear los recursos en coleccionar y compilar datos que no estamos seguros serán útiles. Para asegura la integridad de los datos en el transcurso del proceso, consideré que procedimientos serán seguidos para la recolección y monitoreo de los datos a lo largo del tiempo.

Metodología:

1. Identificar variables criticas y recolección de información pertinente de soporte sobre defectos y causas posibles.
2. Desarrollar una estrategia para el muestro.
3. Validar el sistema de medición por medio de gage R&R.
4. Detectar y obtener patrones en sus datos.
5. Determinar la capacidad del proceso.

#### **σ IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES Y RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN**

Tener la capacidad de identificar posibles índices, usar la matriz de priorización y Análisis de Modo y efecto de Fallas (AMEF) para enfocarse en las variables mas importantes, diseñar un plan de muestreo, Identificar factores de estratificación en un

<sup>89</sup> PETER, S. Pande., *op. cit.*, nota 81, p. 23

problema dado, Identificar las diferentes clases de datos, Establecer y usar una definición operacional y diseñar un formato útil para recolección de datos.

Los datos nos ayudan a:

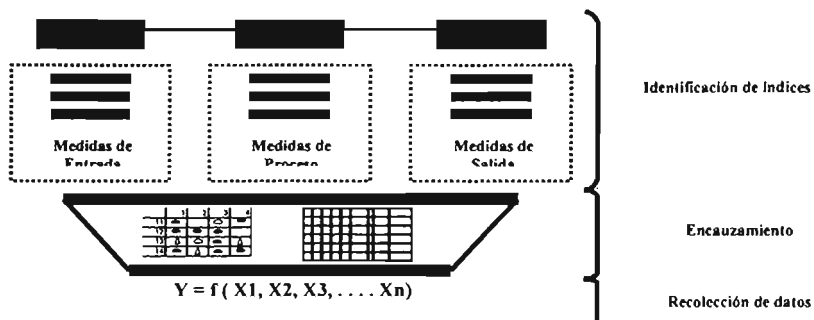
- Discernir lo que pensamos que está sucediendo de aquello que realmente está sucediendo.
- Confirmar o rechazar ideas preconcebidas y teorías.
- Apreciar la historia del problema a través del tiempo.
- Medir el impacto de los cambios en un proceso.
- Identificar y entender las relaciones que podrían ayudar a explicar la variación.
- Controlar un proceso (vigilar el comportamiento del proceso).
- Evitar "soluciones" que no resuelvan el problema real.

Los datos recopilados deben ser Suficientes, Relevantes, Representativos y estar en el mismo escenario.

- IDENTIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES CLAVES Y DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

El objetivo de este paso es asegurar que los índices que se pretenden recolectar proporcionen la respuesta que se buscan y además que la cantidad de información este en equilibrio. Con esto último me refiero a que obtengamos la cantidad precisa de información correcta, no más ni menos.

Los índices deben estar enfocados de acuerdo a la siguiente estructura:

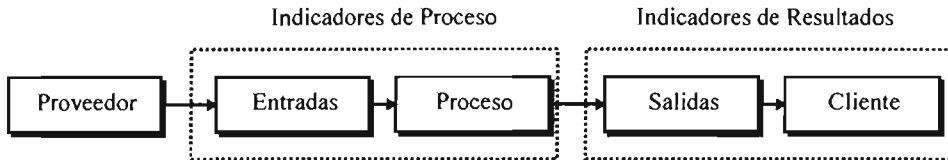


*Enfoque de los Índices hacia la métrica*

*Diagrama obtenido de Johnson & Jonson*

- **IDENTIFICACIÓN DE ÍNDICES**

Se identificarán los índices de acuerdo al mapa de alto nivel (SIPOC), Conduciendo a una tormenta de ideas para la identificación de posibles índices que ayuden a entender mejor el problema. Identificándolos como Proveedores, de Proceso y de Resultados.



La metodología Seis Sigma provee de dos técnicas para identificar índices críticos:

- Matriz de priorización.
- AMEF

La Matriz de Priorización identifica las pocas variables críticas que deben medirse y analizarse ayuda en el enfoque del esfuerzo para la recolección de datos y también ayuda a formular teorías acerca de causas y efectos.

Se puede utilizar la Matriz de Priorización cuando hay muchas variables que pudieran tener impacto en la salida del proceso o si la recolección de datos que involucra todas las posibles variables tiene un costo considerable y una alta inversión de tiempo; también se utiliza cuando los integrantes del equipo tienen diferentes teorías acerca de lo que sucede en el proceso.

El AMEF, como lo veremos más adelante, es un sistema estructurado para identificar, estimar, priorizar y evaluar el riesgo. Está orientado a la preservación de fallas y es usado principalmente para limitar el riesgo involucrado cuando se cambia de proceso; también, puede ser utilizado para enfocar el esfuerzo de recolección de datos en aquellas variables de entrada y de proceso que son críticas e importantes para el proceso actual.

### ● ENCAUZAMIENTO

La información correcta es aquella que describe el problema, las condiciones, y que además puede analizarse de manera de que aporte respuestas a las preguntas que se han elaborado acerca del problema.

Para lograr un buen encauzamiento es necesario buscar condiciones relacionadas entre los índices y una manera de lograrlo es la Estratificación de datos; que consiste en dividir en grupos (estratos) basado en características clave. El propósito de dividir los datos en grupos es para detectar un patrón que localice un problema o que explique por que la frecuencia o impacto varía con el tiempo, lugares o condiciones (esta característica clave podría ayudar a cuándo, dónde y porque existe un problema).

Estratificación de los factores<sup>90</sup>:

- **Quién:** Que personas, grupos, departamentos u organizaciones están involucrados.
- **Qué:** Que suministros, máquinas, productos, servicios o equipo están implicados.
- **Dónde:** En que parte se ubica el problema o defecto.
- **Cuándo:** En que paso del proceso está el problema o el tiempo en que se causa el problema.

También hay que diferenciar la clase de datos entre Continuos y Discretos. Donde los primeros se obtienen generalmente a través de un sistema de medición, la utilidad de estos datos depende de la calidad de la medición y el conteo de eventos que no son muy raros se manejan mejor como datos continuos. Los Discretos son aquellos que incluyen porcentajes (donde el porcentaje es igual a la proporción de ítem con una característica dada y requiere de conteo de ocurrencias como de no ocurrencias), conteos (para datos de conteos es impráctico contar las no ocurrencias ya que estos eventos son raros), atributos y ordinales.

### ● DESARROLLAR LAS DEFINICIONES Y PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES.

El objetivo de este punto es asegurar que los recolectores de datos midan las características de igual forma. Con esto se excluye la ambigüedad y se reduce la variación de las mediciones.

---

<sup>90</sup> *Ibid.*, p. 25

Una definición operacional es una descripción precisa que indica como obtener un valor para la característica que se está tratando de medir. Podemos mencionar que las Definiciones Operacionales deben de ser medibles, específicas, concretas y útiles. Esto incluye el qué es la característica y cómo se mide.

Una definición operacional:

- Excluye la ambigüedad de modo que todas las personas involucradas tienen el mismo concepto de las características o propiedades en cuestión.
- Describe la forma de medir dichas características o propiedades.

#### • INICIAR LA RECOLECCIÓN DE DATOS

El objetivo de este punto es asegurar que la recolección de información se inicie sin dificultades. La recolección de datos puede resultar larga y costosa para lo cual hay que tener paciencia. Antes de recolectar información adicional es bueno verificar si se cuenta con información que se acomode a las necesidades. Es recomendable utilizar la observación como medio para recolectar información.

#### σ ESTRATEGIA DE MUESTREO, VARIABILIDAD Y MEJORAS DEL PROCESO

La variabilidad está en todas partes. Consideremos a una persona que estaciona su auto dentro de su cochera. La posición final del auto no será exactamente la misma a la del día anterior. El conductor tiene variabilidad cuando estaciona el auto. La variabilidad en la posición al estacionarse puede ser medida con el paso del tiempo. Cuando nada inusual ocurre las fuentes en la variabilidad de la posición de estacionado son consideradas causa común. Sin embargo, si un gato brincara frente al automóvil mientras éste es estacionado, la situación podría distraer al conductor y causar variabilidad adicional, esto se conoce como causa especial. Si su variabilidad, ya sea causa común o especial, al estacionarse es demasiado grande respecto a la posición habitual en la cochera, esta persona podría golpear su puerta, por ejemplo. Si la variabilidad es demasiada debido a causas especiales, en este caso el gato, debe tratarse de eliminarse la fuente de causas especiales. Si la variabilidad al estacionarse es demasiada derivada de una causa común, el proceso de estacionamiento debe cambiarse.

Similarmente, todos los automóviles de una línea de manufactura no serán hechos exactamente igual. Los automóviles presentarán variabilidad en muchas formas

distintas. Los fabricantes tienen amplios criterios y especificaciones que deben ser cumplidas consistentemente. Estos criterios pueden incluir desde las dimensiones de las partes en el auto hasta varias especificaciones de desempeño. Un criterio ejemplo es la distancia de frenado a cierta velocidad del auto. Para probar este criterio, el fabricante obviamente no puede hacer pruebas a cada vehículo bajo condiciones de operación reales para determinar si cumple con la norma. En lugar de esto, el fabricante podría probar este criterio utilizando una muestra de la población de automóviles manufacturados.

- **MUESTREO**<sup>91</sup>

Una muestra es una porción de una población o un total de los cuales se desea información. La muestra es observada y examinada para obtener información respecto a la población total. Una muestra puede arrojar información que puede ser utilizada para predecir características de una población; sin embargo, los experimentadores principiantes comúnmente tienen una concepción errónea acerca de los detalles al realizar el examen. Podrían considerar tomar una muestra (e.j., 10 unidades) de la producción de hoy, haciendo una medición, promediando los resultados y después reportando este valor a la gerencia (con el propósito de tomar una decisión a partir de esta información).

Los planes de muestreo arbitrarios como este caso pueden dar lugar a conclusiones erróneas puesto que la muestra a examinar tal vez no represente adecuadamente la población de interés. Una muestra que no es seleccionada al azar puede resultar en una desviación experimental y dar como resultado una conclusión que no es representativa de la población de interés. Una muestra de automóviles dirigida a un criterio característico, por ejemplo, debe ser tomada en un período de tiempo con la consideración de parámetros tales como los turnos de producción, trabajadores y líneas de manufactura distintas (es decir una muestra al azar sin desviación). Una respuesta ( $x$ ) de muestras tomadas al azar de una población es entonces considerada como una variable al azar.

Si hay mucha variabilidad dentro de una población, entonces tal vez no haya mucha confianza en el valor que se reporta (e.j. respuesta promedio o media). El resultado confiable de un intervalo cuantifica la incertidumbre del estimado, puesto que el grosor

---

<sup>91</sup> BREYFOGLE, Forest W., *op. cit.*, nota 70, p.45

del intervalo es una función del tamaño de la muestra y la variabilidad de la misma. Cuando una característica de la población como la media se encuentra en un intervalo confiable, el riesgo de que el valor real se encuentre fuera de este rango es un valor cuantificable.

Otro punto que no debe ser ignorado cuando se evalúan datos es que existen otros estimados además de la media que pueden ser parte muy importante al expresar las características de una población. Una de estas consideraciones es la desviación estándar, la cual cuantifica la variabilidad de una población. Otra consideración es la capacidad/desempeño de un proceso o el resultado de rendimiento del valor población-porcentaje.

Para estimar el tamaño de la muestra es necesario contar con la desviación estándar puesto que se debe tener alguna idea de la variación en los datos, ya que a medida que la variabilidad aumenta, el tamaño de muestra requerida aumenta. La precisión también depende del tamaño de la muestra, para lo cual si se necesita mejorar la precisión es necesario aumentar el tamaño de la muestra.

- **TIPOS DE MUESTREO<sup>92</sup>**

Los modelos de muestreo pueden agruparse convenientemente como muestreo al azar y muestreo no al azar. El primero se conoce también como muestreo probabilística, porque si el proceso de muestreo es al azar, pueden aplicársele las leyes de la probabilidad.

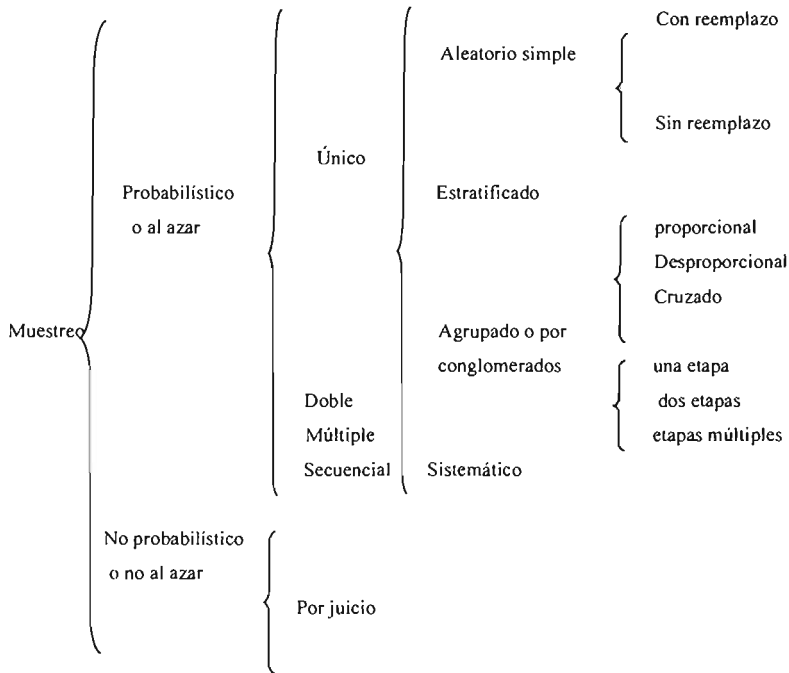
El muestreo no al azar o por juicio es un proceso de selección de muestras sin el uso del azar. En otras palabras, se escoge una muestra no al azar sobre una base distinta de consideraciones de probabilidad, tal como el juicio de un experto, conveniencia o algunos otros criterios. En consecuencia, la probabilidad de que cada elemento individual sea extraído de la población desconocida y la fidelidad de sus resultados no puede ser objeto del análisis de probabilidades, sino que debe depender del juicio personal del investigador.

---

<sup>92</sup> MARQUES DE CANTU, María Jose, *op. cit.*, nota 51, p. 163



Los distintos tipos de muestreo se pueden resumir en el siguiente cuadro<sup>93</sup>:



MARQUES DE CANTÚ, María José. "Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas"

#### σ VALIDACIÓN EL SISTEMA DE MEDICIÓN<sup>94</sup>

El objetivo de la validación del sistema de medición es minimizar los factores que puedan exagerar la cantidad de variación entre los datos. Asegurando que los datos que se estén recolectando sean confiables y consistentes. Las características que se buscan al validar el sistema es que las mediciones que se lleven a cabo sean precisas / exactas, repetibles, reproducibles y estables con el tiempo. La manera de realizarlo es aplicando un estudio de Gage R&R, un conjunto de ensayos que se realizan para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad de un sistema de medición. Las mediciones son muy importantes en toda empresa, pues con base en ellas se evalúa el

<sup>93</sup> MARQUES DE CANTÚ, María Jose, *op. cit.*, nota 70, p. 164

<sup>94</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 45, pp. 57-67

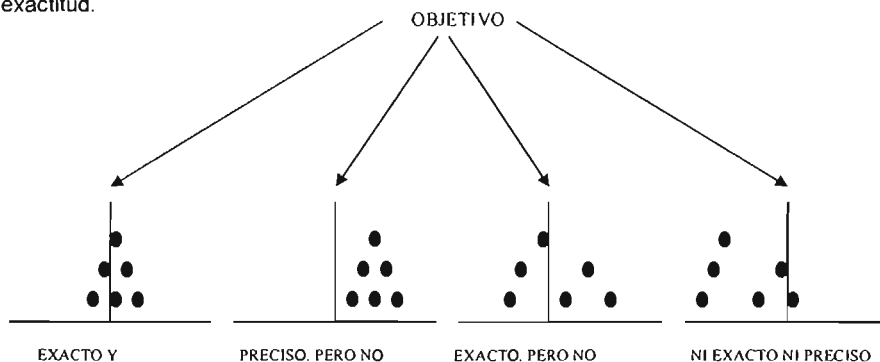
desempeño de las mismas, de sus equipos, de su gente y se toman decisiones y a veces costosas. Toda medida esta sujeta a error.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, la calibración de un instrumento de medición se define como el “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”.<sup>95</sup> 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”<sup>96</sup>. 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: no sesgado y varianza cero (idealmente). La evaluación de un sistema de medición significa examinar su variación y los factores que la afectan.<sup>97</sup>

- **DIFERENCIA ENTRE PRECISIÓN Y EXACTITUD<sup>98</sup>**

La siguiente figura muestra cuatro casos de disparos de un blanco fijo. Se detalla también la evaluación de los disparos desde el punto de vista de su precisión y exactitud.



ESCALANTE, Edgardo, "Seis Sigma, Metodología y Técnicas"

<sup>95</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 45, 58

<sup>96</sup> NOM e ISO 10012-1:1992

<sup>97</sup> MSA, 1995.

<sup>98</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 45, pp. 58-59

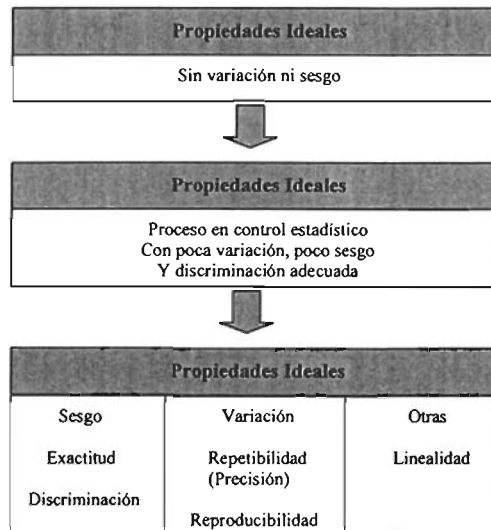
Precisión se refiere a la variación o dispersión de los disparos. Poca variación significa un buen grado de precisión. Exactitud se define con respecto a su cercanía (sesgo) con el centro del blanco. Mayor cercanía implica un buen grado de exactitud.

- **PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN<sup>99</sup>**

Para la realización de un estudio de Repetibilidad-Reproducibilidad, es esencial que todos los sistemas de medición posean las siguientes propiedades estadísticas:

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

El siguiente diagrama resume las propiedades de un sistema de medición:



ESCALANTE, E., "Seis Sigma. Metodología y Técnicas"

<sup>99</sup> Idem.

- **EXACTITUD<sup>100</sup>**

Es la diferencia entre el promedio de las mediciones hechas por un operario (VP) y el valor real (VR) obtenido con el patrón:

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

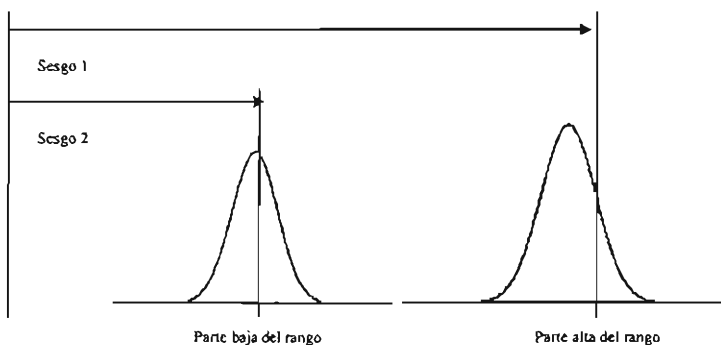
$$\gamma = \frac{R}{d_2} \cdot (\text{variación del proceso}) \text{ o } LSE - LIE (\text{tolerancia})$$

Se espera que este valor no sea mayor de 10%

De acuerdo con la MSA (1995), los problemas de falta de exactitud pueden deberse a calibración inadecuada, error en el patrón, gage (o gauge) es el instrumento de medición) desgastado, el calibrador no está hecho para medir esa característica, se está midiendo la característica equivocada o se usa de manera incorrecta.

- **LINEALIDAD<sup>101</sup>**

Linealidad se define como la diferencia en exactitud (sesgo) entre el patrón y el promedio observada sobre todo el rango de operación del instrumento (gage).



Varis piezas que cubran el rango del gage  
- 1 gage  
- 1 operador  
Se mide cada una de las Piezas varias veces

ESCALANTE, E. "Seis Sigma, Metodología y Técnicas"

<sup>100</sup> Ibid., p. 60

<sup>101</sup> Ibid., p. 61

De acuerdo a la MSA los problemas de falta de linealidad pueden deberse a que el instrumento no está calibrado de manera correcta con los extremos de su rango de operación, existe error en las mediciones máximas y mínimas del patrón, el calibrador (instrumento de medición) está desgastado, y/o a que puede ser requerido 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 medirlas con el master
2. Medir cada pieza varias veces por un solo operador
3. Obtener el promedio de las mediciones y restarlo del valor del promedio de cada pieza (exactitud promedio).
4. Ajustar una línea de regresión , donde:

a= pendiente

b=intersección con el eje y

x=medición del patrón

y=exactitud o sesgo promedio

R=Linealidad

Para lo cual,

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

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

La linealidad se calcula como: [a](var. Proceso o toler.)

El porcentaje de linealidad es 100(linealidad/var. proc. o tol.).

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

Existen dos fases en la evaluación de los sistemas de medición<sup>102</sup>:

1. Verificar si los sistemas de medición tienen las propiedades estadísticas necesarias para desarrollar la función.

<sup>102</sup> MSA, Measurement System Analysis, 1995

2. evaluar periódicamente los sistemas de medición con respecto a sus propiedades estadísticas. Esto es necesario aunque se lleve 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.

- **ESTABILIDAD**<sup>103</sup>

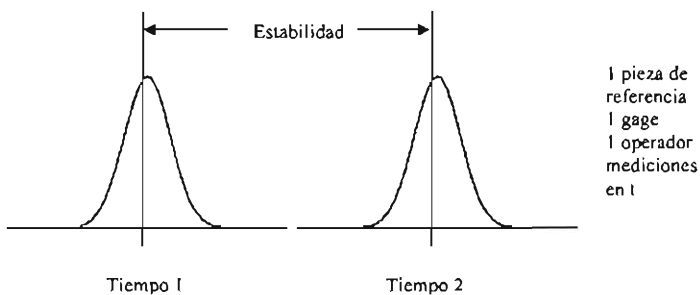
Es la cantidad de variación total en exactitud en un sistema en un cierto período de tiempo sobre una parte o pieza en particular. Sin evaluar la estabilidad no es posible asegurar evaluaciones confiables sobre las demás propiedades estadísticas. La siguiente figura muestra la definición gráfica de estabilidad.

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

#### INTERPRETACIÓN

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

1. 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.



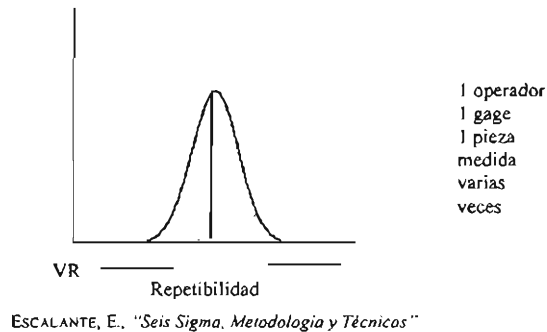
ESCALANTE, E. "Seis Sigma. Metodología y Técnicas"

<sup>103</sup> *Ibid.*, p. 66

- **REPETIBILIDAD**<sup>104</sup>

Es la variación en las mediciones hechas por un solo 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:

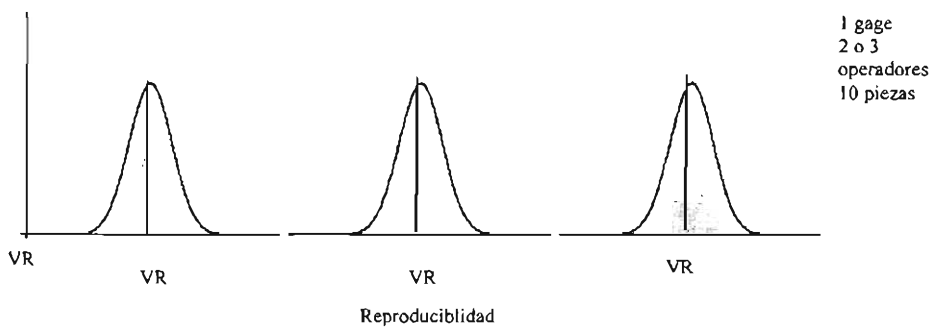
Causas posibles de problemas de repetibilidad pueden ser: suciedad, fricción, desajuste, desgaste, etc.



ESCALANTE, E. "Seis Sigma, Metodología y Técnicas"

- **REPRODUCIBILIDAD**<sup>105</sup>

Variación entre las medidas de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición:



ESCALANTE, E. "Seis Sigma, Metodología y Técnicas"

<sup>104</sup> *Ibid.*, p. 67

<sup>105</sup> *Idem.*

### $\sigma$ VALIDACIÓN POR EL MÉTODO GAGE R&R<sup>106</sup>

Es una técnica enfocada a entender la causa de la variación en los sistemas de medición que pueden influenciar los resultados producidos por el sistema y es de gran utilidad para la creación de un sistema de medición confiable para ser utilizado en el control de procesos para la aceptación o rechazo de partes. Gage R&R son estudios de repetibilidad, reproducibilidad, exactitud, estabilidad y linealidad que se emplean para llevar a cabo la evaluación de los sistemas de medición.

Los usos de la evaluación son:

1. Aceptar equipo nuevo
2. Comparar dos equipos entre si
3. Evaluar un calibrador sospechoso
4. Evaluar un calibrador antes y después de repararlo
5. Antes de implantar gráficas de control
6. Cuando disminuya la variación de proceso
7. De manera continuas de acuerdo con la frecuencia de medición recomendada en los estudios

Se utiliza un estudio Gage R&R para evaluar un sistema de medición que recolecta datos en forma continua. Normalmente es empleado en manufactura en donde los "medidores" o instrumentos son utilizados para medir características físicas importantes para la calidad del producto, CTQ (espesor, adhesividad, viscosidad, etc). También puede ser utilizado para estudio en donde se evalúan consistencias y exactitudes de clasificaciones hechas por personas ( por ejemplo, respuestas a preguntas "bueno" o "malo", "correcto" o "incorrecto"), por lo que esta encaminado a evaluar la consistencia de una clasificación en base a un conjunto de ensayos.

Los errores en los sistemas de medición pueden clasificarse en dos categorías:

- Errores de exactitud
- Errores de precisión

Un "sistema de medición" es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para asignar un número a la característica que esta siendo medida<sup>107</sup>.

<sup>106</sup> BREYFOGLE, Forest W., *op. cit.* nota 70, p.886-890



- **EVALUACIÓN DE LA REPETIBILIDAD Y LA REPRODUCIBILIDAD (GAGE R&R)**<sup>108</sup>

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

En los estudios de gage Repetibilidad y Reproducibilidad se busca determinar que parte de la variación observada en el proceso se debe al sistema de medición usado.

Los casos para el estudio son:

1. Calibrar el instrumento
2. seleccionar 2 o 3 operarios que midan por lo menos 10 veces las mismas diez veces (numeradas) en orden aleatorio.
3. Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunas fuera de ella.
4. Llenar el formato de Gage R&R o usar un software, si se cuenta con él.

Se concluye que:

1. Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son:
  - a) El calibrador necesita mantenimiento
  - b) El calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido
  - c) Mejorar la sujeción o localización de la pieza
  - d) Existe mucha variación entre las piezas
2. Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetibilidad, las causas posibles son:
  - a) El operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador
  - b) Las calibraciones en la escala del instrumento no están claras
  - c) Tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad.

Minitab<sup>109</sup> proporciona dos métodos para realizar este tipo de estudios:

---

<sup>107</sup> MSA, Measurement System Analysis, 1995

<sup>108</sup> *Ibid.*, p. 68

<sup>109</sup> Software estadístico de gran utilidad para los proyectos seis Sigma

- 1) El método X-barra/R, que descompone la variación total en tres categorías:
  - Elemento a elemento
  - Repetibilidad
  - Reproducibilidad
  
- 2) El método ANOVA. Éste va un paso más allá y descompone la reproducibilidad en dos subcategorías:
  - El operario
  - El operario por elemento

$\sigma$  **ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS – AMEF (FMEA-FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)<sup>110</sup>**

El AMEF es un grupo sistemático de actividades con el propósito de:

1. Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, y los efectos de dichas fallas.
2. Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales.
3. Documentar todo el proceso.
4. Mejorar la funcionalidad de un producto y su robustez
5. Reducir costos de garantía
6. Reducir problemas de manufactura del día a día

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<sup>111</sup>.

---

<sup>110</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 45, p. 337.

<sup>111</sup> ALDRIDGE J. y J.TAYLOR, "The application of Failure Mode and Effect Analysis at an Automotive Components Manufacturer", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 8, no. 3, 1991.

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 del diseño<sup>112</sup>.

De acuerdo con Gilchrist<sup>113</sup>, 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 otros ambientes, en un nuevo lugar o en una nueva aplicación. Sin embargo también se puede usar en procesos que ya están instalando 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 de proceso para corregir las deficiencias en el diseño, pero si toma en cuenta las limitaciones técnicas y físicas de manufactura y ensamblaje.

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 de 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.

Con respecto a los antecedentes del AMEF, éste se empezó a usar originalmente por la NASA en los años 60, pero fue dado a conocer por Ford Motor Co. en los años 70<sup>114</sup>.

Los beneficios del AMEF son<sup>115</sup>:

1. Reducción de costos internos debido a retrabajos por no hacerlo bien la primera vez.
2. Reducción del número de quejas y costos por garantía.
3. Aumento de la satisfacción del cliente.

---

<sup>112</sup> *Idem*.

<sup>113</sup> GILCHRIST, W. "Modeling Failure Modes and Effect Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 10, no. 5, 1993.

<sup>114</sup> *Idem*.

<sup>115</sup> ALDRIDGE J. y J.Taylor, *op cit.*, nota 111, pp. 23-24

4. Confianza en que los productos de la compañía son producidos basándose en métodos de producción robustos y confiables.

#### Pasos del AMEF (diseño y proceso)

1. Seleccionar al equipo y realizar la 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 la efectividad de las acciones y recomendar mejoras)
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 se espera que no sea
2. Elaborar un diagrama de bloques del sistema, subsistema y/o componente a ser analizado.

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.

#### $\sigma$ OBTENCIÓN DE PATRONES DE DATOS

Los datos tal como se obtienen de una investigación están en forma desordenada por lo que es difícil su interpretación y análisis. Debido a esto se deben organizar en forma de tablas y gráficas para permitir una visualización clara y rápida de todo el conjunto. Los datos estadísticos se obtienen mediante la observación o medición de las

características de las unidades elementales de una muestra. Para seleccionar un procedimiento estadístico a utilizar es necesario conocer que tipo de datos tenemos. El tratamiento de datos suele realizarse de diversas maneras dependiendo del tipo (continuos, discretos, ordinales o jerarquizados y si estos son nominales o categóricos).<sup>116</sup>

Es en esta fase en donde una gran variedad de herramientas son de utilidad con el propósito de ayudar en la eficiente construcción de estrategias para coleccionar y compilar la información que nos guíe a la obtención de conocimientos del proceso.

Para actuar asertivamente y poder definir el problema objetivamente es recolectando la información y aplicar alguna de las herramientas descritas en el capítulo II así como hacer uso de las descripciones y conceptos estadísticos revisados con anterioridad tanto en el capítulo II como en el III.

Dado que los datos iniciales recopilados durante un proyecto son datos continuos que presentan un orden cronológico natural, el primer paso en el análisis de datos ordenados en el tiempo es crear un gráfico cronológico o un gráfico de control. El siguiente paso es crear un histograma de los datos y analizar su distribución. Si los datos no tienen orden cronológico se podrá utilizar un gráfico de frecuencias o un diagrama de Apertó para analizarlos.

El objetivo de tener un patrón de datos es que de esta forma se comprenderá la relación entre calidad y variación, diferenciando entre variación e causa común y especial, creando e interpretando gráficos cronológicos, gráficos de control, histogramas y diagramas de Apertó y de esta manera comprender la diferencia entre los límites de control (capacidad del proceso) y los límites de especificación (necesidades del cliente).

#### $\sigma$ DETERMINAR LA CAPACIDAD DE PROCESO<sup>117</sup>

La capacidad el proceso es una medida estadística que resume que tanta variación hay en un proceso en relación con las especificaciones del cliente.

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.

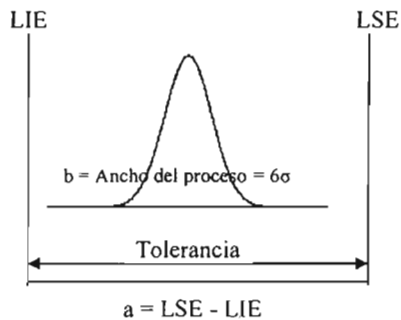
<sup>116</sup> MARQUES DE CANTU, María Jose, *op. cit.*, nota 51, pp. 161-165

<sup>117</sup> ESCALANTE, Edgardo, *op. cit.*, nota 45, pp. 221-222

El índice de capacidad potencial es una comparación entre los límites de especificación (tolerancia) y los límites del proceso sin tomar en cuenta la ubicación del mismo. El índice de capacidad real si toma 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.

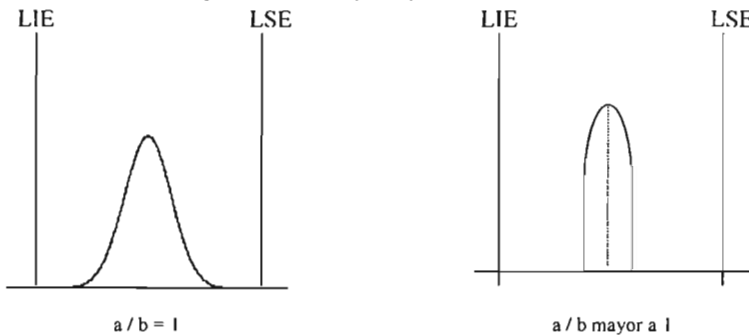
Una manera de evaluar la capacidad del proceso para producir dentro de especificaciones, es comparar el ancho de la especificación con el ancho del proceso.

La figura muestra la representación gráfica de los límites de especificación y de un proceso por medio de una distribución simétrica (aunque esta no sea la verdadera representación de todo proceso, se puede tratar de usar una transformación para lograr normalidad).<sup>118</sup>



ESCALANTE, Edgardo, "Seis Sigma. Metodología y Técnicas"

La figura a continuación muestra y compara dos procesos. El proceso para el cual  $a/b$  es mayor a 1, es mejor que el otro, pues presenta menor variación.



ESCALANTE, Edgardo, "Seis Sigma. Metodología y Técnicas"

<sup>118</sup> Idem.

El índice de capacidad potencial se define como:

$$C_p = \frac{a}{b} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad s = \sigma$$

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 esta basada en la incapacidad de las gráficas de control de Schewart a reaccionar rápidamente a cambios por debajo de este valor.

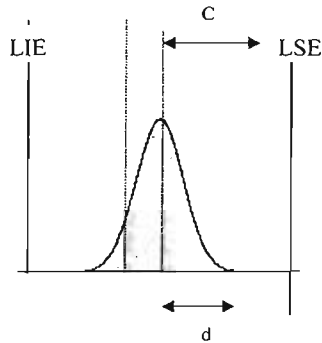
Considerando  $LIE = -3\sigma$  y  $LSE = 3\sigma$ , y el proceso centrado en cero, entonces  $C_p = 1$ , y su fracción defectuosa es 0.27%. Tomando en cuenta la ventana de operación de entonces en el caso extremo, el porcentaje del proceso que esta fuera de las especificaciones es de 6.68%, porque la fracción defectuosa es

$$p(X > 3\sigma) = p\left(Z > \frac{3\sigma - 1.5\sigma}{\sigma}\right) = p(Z > 1.5) = 0.0668$$

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%, considerando el proceso centrado en el extremo de la ventana de operación ( $\pm 1.5\sigma$ ).

Como  $C_p$  no toma en cuenta la ubicación (centrado) del proceso, es necesario definir otro índice que sí la considere:



ESCALANTE, Edgardo, "Seis Sigma, Metodología y Técnicas"

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:

$$Cpk = \frac{|LE - X|}{3s} \quad \text{si } LIE \leq X \leq LSE$$

$$Cpk = \frac{|LE - X|}{3s} \quad \text{si } X > LSE \text{ o } X < LIE$$

siendo  $LE$  el límite de especificación más cercano a la media del proceso.

Para el caso de tolerancia unilateral se tiene

$$Cpk = \frac{|LE - X|}{3s}$$

en este caso  $Le$  es el único límite de especificación. Dicho índice será negativo si la media está fuera de 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 solo número.



De acuerdo a la variación de la capacidad del proceso se tiene la siguiente clasificación:

- Mucha variación

*Resultados difíciles de producir de acuerdo con requerimientos del cliente (especificaciones) y valores del índice bajos ( $Cpk < 0.5 = \text{sigma del proceso entre } 0 \text{ y } 2$ )*

- Variación moderada

*La mayoría de los resultados cumple con los requerimientos del cliente y valores de índice medios ( $Cpk \text{ entre } 0.5 \text{ y } 1.2 = \text{sigma del proceso entre } 3 \text{ y } 5$ )*

- Muy poca variación

*Virtualmente todos los resultados cumplen con requerimientos del cliente y valores de índice altos ( $Cpk > 1.5 = \text{sigma de proceso de } 6 \text{ o mayor}$ )*

Como se mencionó en el punto 2.3 del capítulo tercero, cada curva normal está definida por medio de dos parámetros, su media (medida de centralidad) y su desviación estándar (medida de su dispersión).

Cuando los datos continuos se distribuyen normalmente, el cálculo del índice de capacidad del proceso es equivalente a encontrar el área bajo la curva normal que se encuentra fuera de los límites de especificaciones.

Esta propiedad resulta especialmente interesante en la práctica, ya que para una distribución Normal existen tablas publicadas a partir de las que se puede obtener de modo sencillo la probabilidad de observar un dato menor o igual a un cierto valor  $z$ , y que permitirán resolver preguntas de probabilidad acerca del comportamiento de variables de las que se sabe o se asume que siguen una distribución aproximadamente normal.

Como se revisó anteriormente, el concepto de "Sigma del Proceso" se apoya en el principio fundamental de datos del proceso y límites de las especificaciones. Un aumento en el valor sigma del proceso requiere de una reducción exponencial de defectos.

El nivel Sigma del proceso es una expresión para el rendimiento del proceso basado en el número de defectos por millón de oportunidades.

Para calcular el nivel Sigma del proceso, en el caso de datos continuos, éste no se basa en el rendimiento actual, sino en el rendimiento estimado por el área bajo la curva normal:

1. Introducir promedio ( $\bar{X}$ ), Desviación estándar ( $s$ ), Límites de Especificación (LIE, LSE)
2. Curva normal: Promedio, Desviación estándar, LIE y LSE
3. Considerando que

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}$$

calcular  $Z_1$  para el LIE y buscar en tablas el valor obtenido para  $Z_1$

4. Del mismo modo, calcular el área por debajo del LSE,  $Z_2$ , y buscar en tablas el valor obtenido
5. Calcular el rendimiento:

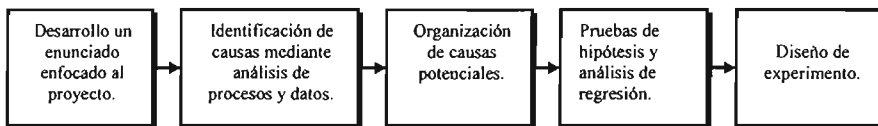
$$\text{Rendimiento} = \text{Área 1} - \text{Área 2} = \dots$$

$$\text{Rendimiento (\%)} = \text{Rendimiento} \cdot 100\% = \dots$$

6. Finalmente, con el valor de % rendimiento, buscar en tablas el valor de sigma del proceso que corresponde.

### 3.0 ANALIZAR

En este paso ya se deben saber las características del servicio o de producto que son críticas para el cliente. La meta de este paso es poder identificar las causas potenciales de los problemas que afectan nuestro sistema, el conocimiento de estas causas ayudará a desarrollar soluciones eficaces, así como a justificar la clase de soluciones a las que se llegarán en el siguiente paso de Mejora e Innovación.



PANDE, S. Peter *et al.*, "The Six Sigma Way"

Los tres primeros pasos de este módulo están dirigidos a verificar las causas que ocasionan el problema del proceso, después a clasificarlo y organizarlo en causas raíz para que se pueden comenzar a ser. El identificar las causas raíz es lo que ayuda a desarrollar soluciones duraderas.

Con la ayuda de diagramas de dispersión demostramos los patrones de datos. Estos patrones nos indican los diferentes tipos de relaciones que existen entre las variables. A menudo la gente piensa que abordando un gran problema pueden llevar a cabo mejoras grandes o alcanzar ahorros grandes. Pero en la práctica, es más eficaz centrarse en un componente específico de un problema.

#### $\sigma$ DESARROLLAR UN ENUNCIADO ENFOCADO AL PROYECTO

En esta etapa se reúne el grupo para reflexionar acerca de la evolución del proyecto; donde el propósito es generar ideas rápidamente. (Se debe animar la creatividad, involucrando a todos, generar el entusiasmo y la energía) Se analizan los datos que se han generado y verifica que se cumpla lo que se pretendía al inicio del proyecto utilizando las herramientas de las "5 Whys" (quién, qué, cuando, donde y cuál).

#### $\sigma$ IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS MEDIANTE ANÁLISIS DE PROCESOS Y DATOS<sup>119</sup>

Se utiliza como herramienta el diagrama de causa y efecto o también llamado de espina de pescado. Esta es una herramienta de Ishikawa que refleja en forma

<sup>119</sup> PANDE, S. Peter, *et al.*, *op. cit.*, nota 81, p. 45

organizada la incidencia de elementos tales como: materiales, mano de obra, métodos, máquinas, mantenimiento, etc., sobre el resultado del proceso (*ver capítulo II*).

#### BENEFICIOS

- Se define un problema raíz en el cual todas las causas tiene esa dirección.
- Usando el diagrama de causa y efecto se identifican las causas que generan el problema central y así sucesivamente se obtienen las causas potenciales del nivel inferior que contribuyen a las causas del siguiente nivel superior.
- Otorga dirección a las causas y efectos potenciales.
- Agrupa causa potenciales por agrupación mutua.

El diagrama de causa y efecto se utiliza para: identificar y fijar prioridades a aquellas causas raíz que generan el problema en el proceso.

#### σ PRUEBAS DE HIPÓTESIS Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Ésta es una clase de prueba que concentra los datos para permitir detectar diferencias entre los grupos, permite realizar comparaciones entre dos o más grupos y tiene como finalidad detectar las diferencias que pueden tener importancia para el negocio.

Se utiliza cuando es preciso comparar en dos o más grupos el promedio, la variabilidad y la proporción. O también cuando no se está seguro si existe una diferencia real.<sup>120</sup>

Prueba de Hipótesis	Propósito
Prueba t	Compara la media de dos grupos
Prueba t para datos apareados	Compara la media de dos grupos cuando los datos están apareados
ANOVA (Prueba F) Análisis de Varianza	Compara dos o más promedios de grupo Compara dos o más varianzas de grupo
Prueba de Chi-Cuadrada	Compara dos o más proporciones de grupo

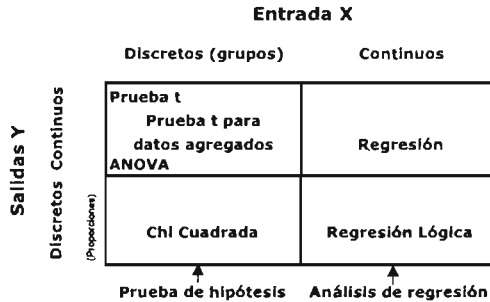
Tipo de pruebas de Hipótesis

MARQUES DE CANTÚ, María José, "Probabilidad y estadística para ciencias química biológicas"

<sup>120</sup> MARQUES DE CANTU, María Jose, *op. cit.*, nota 51, pp. 241-242.

La variación hace que no existan dos objetivos exactamente iguales por lo que se debe responder si esta diferencia se debe a una variación aleatoria, por causas comunes o si existe una diferencia real.

La prueba de hipótesis se utiliza cuando la variable de entrada (X) es discreta y si los datos (X) son continuos, se utilizará el análisis de regresión para determinar si están relacionados con la variable (Y).



MARQUES DE CANTÚ, María José, "Probabilidad y estadística para ciencias químico biológicas"

- **ANÁLISIS DE REGRESIÓN**

Los análisis de regresión cuantifican la relación que existe entre X y Y. La ecuación de líneas para el análisis esta representado por  $Y = b_0 + b_1 * X$

Donde:

$b_0$  = Intersección con la línea X.

$b_1$  = a la pendiente de la recta.

σ **DISEÑO DE EXPERIMENTOS – DoE (DESIGN OF EXPERIMENTS)**<sup>121</sup>

Con el diseño de experimentos entramos en la etapa del diseño o mejora de productos y procesos con el objetivo de reducir la variabilidad de la respuesta que nos interesa. Para ello se identifica primero qué variables o factores afectan a esa respuesta y después se obtiene un modelo de esa respuesta y de su desviación típica en función de las variables significativas.

Este concepto fue introducido por Genichi Taguchi en la década de los 80's. El DoE se enfoca a identificar los factores que afectan el nivel de respuesta de un producto o proceso a determinados agentes, a fin de generar un modelo matemático predictivo.

<sup>121</sup> PANDE, S. Peter, *et al.*, *op. cit.*, nota 81, p. 54

La experimentación se utiliza como la manera de verificar la relación de la causa y efecto entre los factores del proceso. Siempre que se realice un cambio, se estará experimentando (Teorías de que la nueva manera será mejor que la vieja).

Se utiliza el Diseño de Experimentos cuando se han determinado las causas raíz del problema.

El proceso de experimentación consta de una serie de etapas preestablecidas de carácter genérico<sup>122</sup>.

- Recopilación de información: Recopilar toda 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.
- Establecimiento de los objetivos principales: Planear los objetivos por alcanzar con el experimento. Verificar los objetivos junto con el equipo.
- Presupuesto disponible: Obtener el presupuesto con el que se contara para cubrir los costos de los ensayos, del equipo, personal, etc.
- Planificación de los experimentos: Análisis de los aspectos clave y los factores del proceso, producto que influye n de manera determinante. Evaluación de los factores, planificar los ensayos y la metodología a utilizar.
- Realización de los ensayos: Realizar los ensayos que deberán de ser aleatorios y de forma arbitraria.
- Análisis y diagnostico de los resultados de los diversos ensayos: Evaluar la información obtenida por los ensayos, elaborando gráficos y tablas que faciliten el análisis.
- Conclusiones: Elaboración de conclusiones sobre el estudio realizado, indicado los detalles encontrados.

## σ FINALIZACIÓN

Se deben revisar los documentos con la finalidad de ser capaces de comprobar al “sponsor” cuáles fueron las causas raíz en la que se basarán los cambios del siguiente paso “Innovar e Implementar”.

- Cuales son las causas potenciales identificadas
- Porque se decidió por investigar estas causas
- Que datos se colectaron para verificar estas causas
- Que demuestran los datos

---

<sup>122</sup> BARBA, E., BOIX, F., CUATRECASAS, L., *Op. Cit.*, nota 43, p. 139-140

#### 4.0 IMPLEMENTAR

Después del arduo trabajo que se lleva a cabo en las etapas de DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR para descubrir las causas problemas y la variación, se tienen que generar diversas soluciones para generar una mejora en el proceso.

Pasos para llegar a soluciones realizables y eficaces<sup>123</sup>.

- Generación de ideas creativas de solución.
- Trabajar las ideas generadas.
- Selección de la solución.
- Prueba experimental.
- Implementación a gran escala.

#### σ GENERACIÓN DE IDEAS CREATIVAS DE SOLUCIÓN<sup>124</sup>.

La generación de las ideas puede comenzar por aquellas que son muy prácticas hasta llegar a las que sean prácticamente imposibles, centrándose en las causas del problema: Posteriormente de enlistar un grupo de ideas habrá que comentarlas, criticarlas y discutir las.

#### σ TRABAJO DE LAS IDEAS GENERADAS

Se habrán generado un grupo de ideas, las cuales hay que redefinirlas verificando su apego a los que se pretende lograr, así como también en forma individual su impacto esperado en el proceso. Al finalizar se formará un documento con las soluciones posibles.

#### σ SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.

Como punto de partida se utiliza la lista de posibles soluciones que serán evaluados utilizando criterios comunes (Ej. ¿Qué causa raíz se ataca, y en que medida?, ¿Cuál es su costo?, ¿Cuáles son las ventajas potenciales?, ¿Qué tan fácil será la implementación?, ¿Cuáles son los problemas potenciales?, ¿Qué tan fácil será porvenir o remediar los efectos secundarios?, etc) para asignarles valor.

Asignándoles un valor de peso a los criterios

<sup>123</sup> PANDE, S. Peter, *et al.*, *op. cit.*, nota 81, p. 288.

<sup>124</sup> *Ibid.*, p. 287.

**Votos de los miembros del equipo**

Criterios	1	2	3	4	Total
Criterio A	0.25	0.75	0.40	0.50	1.90
Criterio B	0.50	0.25	0.40	0.10	1.25
Criterio C	0.25		0.20	0.40	0.85
	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00

PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

Por medio de una matriz de priorización se selecciona una solución.

	Criterio A	Criterio B	Criterio C	Total
<b>Soluciones</b>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				

PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way"

Si en la evaluación de la matriz se genera una solución se queda con esta, si no es así pues se realiza un consenso de votos por la mejor opción.

### $\sigma$ PRUEBA EXPERIMENTAL.

Sirve para realizar pruebas a cerca de la solución propuesta en el proceso. Tiene las siguientes características: Se realiza a escala, evalúa la solución y la puesta en práctica, generando datos sobre resultados previstos, etc.

Se utiliza la prueba experimental porque puede mejorar la solución, se entienden los riesgos, valida los resultados previstos, facilita la puesta en práctica e identifica problemas previamente desconocidos.



### σ EVALUACIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

Comparar los resultados obtenidos contra la definición original de un defecto y contra los CTQs, recalcular el sigma de proceso y analizar las condiciones del proceso.

### σ IMPLEMENTACIÓN A GRAN ESCALA<sup>125</sup>

Poner en práctica la solución con el apoyo de las siguientes herramientas: Diagrama de árbol, organigramas, diagramas de Gantt y diagramas de planeamiento.

Para llevar a cabo la implementación es necesario pensar en los recursos humanos que lo llevarán a cabo y para ello es muy importante tomar en cuenta la Comunicación (Para expresar las ideas), Participación (Involucrar a las personas en el planteamiento de los cambios), Educación (Prever que los involucrados tengan el conocimiento necesario para lograr con éxito los cambios deseados).

Planear pensando que la gente genera los siguientes beneficios:

1. Disminución en la confusión → Comprensión creciente.
2. Incremento en la participación → Resistencia al cambio disminuida.
3. Capacidad creciente → Miedo disminuido a fallas.

### σ DESARROLLO DE UN PLAN DE COMUNICACIÓN

- Definir la influencia del plan para quienes lo llevarán a cabo. (Determinar exactamente cuales son las necesidades del proyecto y como se requiere que se lleve a cabo para que se complete con éxito.
- Incrementar las ventajas. (Preparar una lista de lo que se va a llevar a cabo).
- Reducir el costo o la inconveniencia. (Enumerar lo que se prepara para realizar el cambio a menos costo y con mayor facilidad).
- Planear la tentativa de influencia estratégicamente.

Al concluir el plan de implementación e innovación hay que revisar los siguientes puntos con el "sponsor":

¿Qué factores considera decisivos sobre la estrategia?

---

<sup>125</sup> Peter S. Pande. THE SIX SIGMA WAY, p. 301.

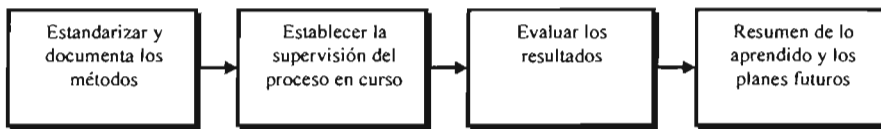
¿Qué soluciones ha identificado?

¿Qué criterios ha usado para la selección de la solución?

Detalles de los resultados de la prueba experimental, Detalles del plan de implementación, Asegurar que los cambios previstos se alinean con los sistemas de la gerencia, las políticas y los procedimientos de la empresa.

## 5.0 CONTROLAR

En esta etapa del proyecto ya se cuenta con la definición del proyecto el SIPOC y el VOC, datos recopilados y analizados que describen la situación real, causas identificadas y verificadas, soluciones experimentales y probadas. El poner en práctica una solución puede arreglar el problema de momento; pero también, hay que controlar lo que se va a implementar para cerciorarse de que este permanecerá fijo y que los nuevos métodos se pueden mejora más a fondo en un cierto plazo.



PANDE, S. Peter et al., "The Six Sigma Way "

Nada sucede sin una base confiable y sostenida; a menos que se construya una para hacer que suceda y se llegue a la estandarización o que permite que se lleve a cabo la alta calidad. Un elemento importante del control es cerciorarse de que cada cual está utilizando el nuevo proceso según los métodos probados. Éstos son los métodos que se saben producirán los resultados deseados.

### $\sigma$ ESTANDARIZACIÓN

El trabajo estandarizado mantiene todos los procesos en control, haciendo que los productos y los servicios se elaboran con calidad y a un bajo costo al tiempo que establece relaciones cliente-proveedor entre la gente y los procesos de trabajo.

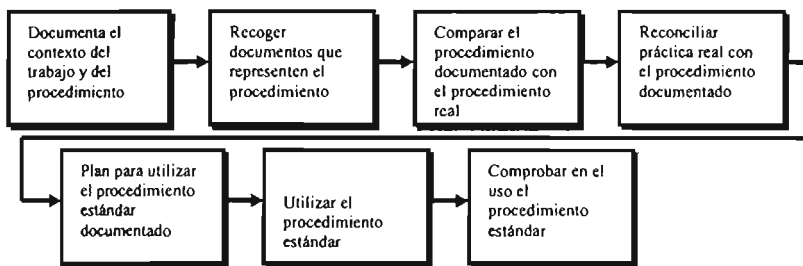
La estandarización nos ayuda a competir con más éxito en el mercado mediante una confiabilidad creciente, con menores costos, incrementando la seguridad, implementando mejoras para los empleados, procesos controlados, mejora continua, prácticas flexibles que permiten respuestas rápidas para el cliente.

La estandarización se logra:

- Cerciorándose de que los elementos importantes de un proceso se estén realizando constantemente de la mejor manera posible.
- Se realizan cambios solamente cuando se demuestren a base de datos que se tiene una mejor alternativa.

- La documentación actualizada y en uso genera métodos estandarizados.
- **MÉTODO DE DOCUMENTACIÓN:**
  1. Documentar el contexto del trabajo pretende especificar el dónde, cuándo, y qué prácticas ocurren en el procedimiento.
  2. Recoger los documentos incluye todos los organigramas, estándares, descripciones de las funciones, etc., que se relacionan con la manera que se hace el trabajo.
  3. Compara las diferencias entre el procedimiento real con el documentado.
  4. Determine si la versión real o documentada produce resultados mejores (Estandarice la que mejor conduce a la más alta calidad y produce menos defectos.)
  5. Cree un plan para cerciorarse de que el nuevo estándar continuará siendo utilizado.
  6. Ponga el plan en ejecución.
  7. Supervisar la puesta en práctica.

Proceso para la Creación de Procedimientos y Prácticas Estándares

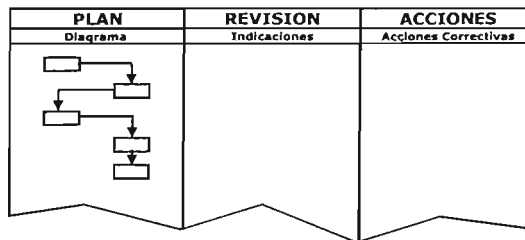


PANDE, S. Peter *et al.*, "The Six Sigma Way "

Cuando se finaliza la documentación, será necesario cerciorarse de que se entrene a cada uno del personal para que utilice los nuevos métodos implementados. Incluso los empleados experimentados necesitan ser entrenados en los nuevos métodos.

### σ DIAGRAMA DE PROCESO<sup>126</sup>.

Los diagramas de proceso son una herramienta útil para documentar el proceso. Se puede utilizar cualquier tipo de organigrama y la clave es capturar los pasos esenciales y verificar contra el proceso real y realizar las anotaciones pertinentes.



PANDE, S. Peter *et al.*, "The Six Sigma Way"

### σ DIAGRAMA DE CONTROL (SUPERVISIÓN)

Cuando se utilizan los diagramas de control para supervisar, se necesita decidir quién será el responsable de su mantenimiento y de reaccionar a cualquier señal. Por lo que hay que responder a las siguientes preguntas: ¿Quién recogerá los datos?, ¿Quién trazará los datos?, ¿Quién interpretará la gráfica?, ¿Qué se debe de hacer si aparece una señal de causa especial?, ¿Dónde se localizará la gráfica? y ¿Será hecho a mano o en la computadora?

### σ REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANTES Y DESPUÉS DE LOS DATOS.

Agregando más datos a la gráfica de control para realizar comparativos, comparando los nuevos gráficos de Pareto (haciendo la escala y las dimensiones iguales para que así se pueda juzgar más exactamente el grado de mejora), trazar en la misma escala que los diagramas originales las gráficas de frecuencia.

Recalcular el Sigma de proceso de la misma forma que se obtiene la primera vez y se realiza una comparación.

### σ CIERRE<sup>127</sup>.

Las compañías experimentadas cierran los proyectos de manera seria reconociendo el tiempo y esfuerzo implicado para obtener las iniciativas de implementación,

<sup>126</sup> Peter S. Pande. THE SIX SIGMA WAY, p. 349-351.

<sup>127</sup> PETER S. Pande, *op. cit.*, nota 81, p. 352

desarrollan un método común para capturar las lecciones aprendidas sobre el problema o el proceso que fue estudiado (Capturando éxitos y errores), comunica los resultados a través de la organización y entrega las responsabilidades de la estandarización y la supervisión a la gente apropiada.

#### σ LISTA DE COMPROBACIÓN PARA EL CIERRE

1. Evite la continuación innecesaria.
2. Resuma los aprendizajes:
  - Sobre el proceso del trabajo, sobre el equipo y sobre sus resultados.
3. Concluya la documentación en mejoras.
4. Resuma los planes futuros y las recomendaciones.
5. Comunique la conclusión.
6. Celebración.

## REFLEXIONES FINALES

Los sistemas de calidad están formados por el conjunto de normas o leyes de carácter nacional o internacional, los cuales incorporan conceptos que permiten definir, dentro de una empresa, el conjunto de especificaciones de un producto o servicio que satisface las necesidades o requerimientos del cliente y/o las autoridades representantes.

El seguimiento a los sistemas de calidad, impuestos por nuestras autoridades, les permite a los laboratorios farmacéuticos ofrecer y vender sus productos dentro de nuestro territorio, compitiendo con los casi 30 contendientes que buscan el mismo fin; sin embargo, es el seguimiento a los estándares determinados por los sistemas de calidad internacionales los que representan una oportunidad para las empresas de incorporarse a la globalización y de este modo competir al mismo nivel por una fracción del cada vez más reducido y exigente mercado, Seis Sigma es uno de ellos.

Podemos definir a Seis Sigma como un sistema de calidad que sigue una metodología rigurosa, que utiliza herramientas y métodos estadísticos para Definir los problemas y situaciones a mejorar, Medir para obtener la información y los datos, Analizar la información recolectada, Implementar y emprender mejoras al o a los procesos, y finalmente, Controlar o rediseñar los procesos o productos existentes, con la finalidad de alcanzar etapas óptimas, lo que a su vez genera un ciclo de mejora continua, sin embargo, es necesario identificarlo no sólo como un sistema de calidad más, sino como una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, basada en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos, metodologías, diseños robustos y herramientas estadísticas, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3.4 defectos por millón de oportunidades en los procesos, algo casi cercano a la perfección.

De la aplicación de esta metodología estructurada y sistemática pueden observarse resultados en tres vertientes de interés para cualquier organización: satisfacción al cliente, procesos controlados y beneficios económicos tangibles, sin embargo, para hacer visibles estos resultados es necesario integrar y utilizar las herramientas de calidad aunadas al conocimiento estadístico de los procesos –sean estos de tipo técnico o administrativo- para poder convertirla en algo más que un sistema de calidad, en una estrategia de negocios abierta para todo tipo de empresas y aplicable

a todas las áreas de la compañía, es decir, un instrumento de calidad práctico y flexible.

La novedad de la iniciativa Seis 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 permita enfocar esos recursos humanos en proyectos que tengan una clara oportunidad de mejora, además de un impacto en la cuenta de resultados de la empresa, es decir, que logre resultados tangibles a través de una metodología rigurosa. El éxito de Seis Sigma supone algo más que una formación estadística (que es básicamente similar a la que se da en muchas escuelas técnicas o facultades), implica la difusión de los conocimientos en métodos estadísticos hacia todos los niveles de la empresa, la formación de empleados, tanto técnicos como administrativos, y el compromiso para posteriormente lograr su aplicación práctica en proyectos.

A pesar de la gran oportunidad que pudiera representar la aplicación de un sistema como éste, no será sino una iniciativa de calidad más, si no cuenta con el empuje del recurso más valioso y caprichoso, el humano. Los sistemas de calidad se vuelven efectivos cuando el personal de la empresa u organización los hace realidad al ponerlos en práctica, estableciendo planes y estrategias de acción, de manera que minimicen los problemas de hoy y mañana, y que adquieran una visión preactiva y no reactiva de los acontecimientos. El ingrediente secreto que hace que funcionen, reside en la infraestructura que se establece en la organización, la cual motiva y produce una cultura "de mejora" en toda la organización, generando un estilo de Gerencia "*Basada en Conocimientos*".

Por ello es necesario, vital y fundamental un fuerte soporte y compromiso de la Alta Dirección, la completa disposición de los mandos medios, quienes deberán aplicar el método cuidadosamente al definir objetivos y metas a sus subordinados, y la participación de todos los miembros de la organización, es decir, que todas las personas que laboran en ella cuenten con al menos una meta o resultado a lograr que justifique su presencia en la estructura: Motivación.

El soporte y compromiso del que hablo no solo debe verse reflejado en su disposición para destinar los recursos necesarios para entrenar y definir a los *Champions*, ni para escoger y preparar *Master Black Belts*, *Black Belts* o *Green Belts*, sino para, en



principio, reconocer la necesidad de emprender un cambio organizacional importante, que apoyado por la estrategia Seis Sigma produzca los cambios requeridos que garanticen la permanencia a través del tiempo de la organización, asegurando su permanencia y rentabilidad en el mercado. Es la claridad y el impacto que pueda tener este mensaje en los sistemas actuales (Gerenciales, de Recursos Humanos, Productivos y de Calidad) lo que permitirá o no, alcanzar el nivel de mejora esencial requerido para el éxito continuo del negocio, y por ende, de las fuentes de trabajo involucradas.

Dicho de otro modo, la propuesta de esta metodología busca que las organizaciones amplíen horizontes y se abran a nuevas oportunidades ante las necesidades de los nuevos mercados. El cliente en la actualidad ya no se deja llevar únicamente por lo más barato, ya que existe una gran diversidad de productos y servicios de entre los cuales puede escoger y satisfacer sus necesidades, sin embargo, existen algunos productos o servicios que contienen un valor agregado, determinado por una característica en especial, dígase durabilidad, resistencia, comodidad, variedad, menor tiempo de espera, etc., que no posee el producto o servicio ofrecido por la competencia, y que hace más atractivo al producto con la consecuente preferencia del consumidor, haciendo más fácil la decisión de cambiar o seguir usando el mismo, ganando terreno en el mercado e incrementando de esta manera las ganancias.

La iniciativa Seis Sigma tiene, por tanto, dos facetas, por un lado y la más importante, su organización y gestión, los procesos y fases para su implantación con éxito en una empresa, los recursos e infraestructura necesario para abordar el programa con éxito, y los criterios clave en la elección de proyectos, por otro lado, el conocimiento y dominio en un grupo de empleados de un amplia variedad de métodos estadísticos. De este modo, la aplicación de Seis Sigma en una organización y su adopción en el día a día genera a la organización la adherencia a ciertos principios y la consecuente obtención de beneficios, tales como la creación de un compromiso con el cliente de generar un producto o servicio con cierto valor agregado atractivo para éste; competitividad, para realizar bien las cosas desde la primera vez y para siempre; creación de productos y servicios de calidad, acordes a los requerimientos y especificaciones de los clientes; participación, fomentando la comunicación en la organización y finalmente, una actitud positiva hacia el cambio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTMAN D. A., "Practical statistics for medical research", London, 1st ed., repr. 1997, Chapman & Hall, 1997.
- ALTMAN D. G., BLAND J. M., "Statistics notes: Detecting skewness from summary information", USA, BMJ, 1996, pp. 313, 1200
- ALTMAN D. G., BLAND J. M., "Statistics notes: The normal distribution", USA, BMJ, 1995, pp. 310, 298
- AMSDEN Davida, BUTLER M., HOWARD E., AMSDEN Robert, "SPC simplified for services", USA, 1991
- BARBA, E., BOIX, F., CUATRECASAS, L., "Seis Sigma, Una iniciativa de calidad total", Barcelona, Gestion 2000, S. A., 2000.
- BERANGER, P., "En busca de la excelencia industrial", México, LIMUSA-CDN, 1994
- BLAND J.M., ALTMAN D.G., "Statistics Notes: Transforming data", USA, BMJ, 1996, pp. 312, 770.]
- BREYFOGLE, Forest W., "IMPLEMENTIG SIX SIGMA: Smarter Solutions Using Statistical Methods", USA, John Wiley and Sons Co., 2003
- CROSBY, P., "Calidad sin lágrimas, El arte de administrar sin problemas", México Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., 1995.
- CROSBY, P. "La calidad no cuesta, el arte de cerciorarse de la calidad", México, Compañía Editorial Continental, 1991.
- DANIEL W. W., "Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud", Mexico, Ed. Limusa, 1995.
- DEMING, W. Edwards, "Out of The Crisis". 1st MIT Press edition. The MIT Press, 2000.
- DUNCAN, Acheson J., "Quality control and industrial statistics, USA, 4ta. ed., Ed. Irwin, 1986.
- ECKES, George, "The Six Sigma Revolution", 1st edition, USA, John Wiley & Sons, 2001
- ELSTON RC, Johnson W.D., "Essentials of Biostatistics". Philadelphia, F.A. Davis Company, 1987.
- ELVEBACK LR, GUILLIVER CL, KEATING FR Jr., "Health, Normality and the Gosth of Gauss", USA, JAMA, 1970, pp. 211, 69-75.]
- ESCALANTE. E., *Seis Sigma, Metodología y Técnicas*, México, ASQ-LIMUSA Noriega Editores, 2003.

- FEINGENBAUM, A.V., "*Total Quality Control*", USA, Mc Graw-Hill Book Company, 1983.
- GARZA Gutierrez G., "*Aterrizando Seis-Sigma, del concepto a la práctica*", 1ª Edición, México, Ediciones Castillo, 2003.
- GITLOW, H. S., "*Planificando la Calidad, la productividad y una posición competitiva*", México, Ventura Ediciones, 1991.
- GLABOR, Andrea, "*Deming, el hombre que descubrió la Calidad*", Buenos Aires, Ediciones Granica, 1992.
- GUTIERREZ, Mario, "*Administrar para la Calidad, Conceptos Administrativos del control Total de Calidad*". 2ª Edición, Mexico, Editorial LIMUSA- Noriega, 1989.
- IMAI, M., KAIZEN, "*La llave de la ventaja competitiva Japonesa*", México, CECSA, 1994.
- Ishikawa, K., "*¿Qué es el control Total de la Calidad? La modalidad japonesa*", Columbia, Grupo Editorial Norma, 1992.
- Juran, J. M., "*Juran y la planificación para la calidad*", España, Ediciones Diaz de Santos, 1990
- Juran, J., Gryna, F., "*Manual de Control de Calidad*", 4ta Ed., México, McGraw-Hill, Vol. 2, 1996.
- Juran, J., Gryna, F., "*Análisis y Planeación de la calidad*", 3ª Ed., México, McGraw-Hill, 1994.
- Keats, M., "*Statistical Process Control in Manufacturing*", México, Marcel Dekker, INC., 1990.
- Kume, H., "*Herramientas Estadísticas Básicas para el mejoramiento de la Calidad*", España, Grupo Editorial Norma, 1992.
- Marques de Cantú, M. J., "*Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas*", México, McGraw-Hill, 1991.
- Montgomery D.C., "*Statistical Quality Control*", USA, John Wiley & Sons, N.Y., 1996
- Montgomery D.C., "*Design and Analysis of Experiments*", USA, John Wiley & Sons, N. Y., 1996.
- Nelson JC, Haynes E, Willard R, Kuzma J., "*The Distribution of Eurhyroid Serum Protein-Bound Iodine Levels*". USA, JAMA , 1971, pp. 216, 1639-1641.
- Pande, S. Peter et al., "*The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*". 1st Edition, USA, McGraw-Hill, 2000.
- Pértiga, Díaz S., Pita, Fernández S., "*Representación gráfica en el análisis de datos*", Buenos Aires, Cad Aten Primaria, 2001, pp. 8, 112-117.

- PYZDEK, Thomas., "*The Six Sigma Handbook – The Six Sigma Revolution-*", USA, *Quality America*, 2004.
- RYAN, Thomas P. "*Statistical Methods for Quality Improvement*", 1st edition, USA, John Wiley & Sons, 1989.
- SCHERKENBACH, W., "*La ruta Deming, Hacia la mejora continua*", México, CECSA, 1994.
- SCHULTD, J., "*HISTORIA DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD*", Luxembourg, 1998.
- SHIGEO Singo, "*Una Revolución en la Producción: El sistema SMED*", USA, The Productivity Press, 1985.
- SHOLTES, Peter R., "*The team Handbook*", USA, 1988.
- UDAONDO, M., "*Gestión de Calidad*", España, Ediciones Diaz de Santos, 1992.
- VAUGHN, R., "*Control de Calidad*", México, Iowa University Press / AMES, Limusa Editores, 1995.
- WADSWORTH H., STEPHENS K., GODFREY A. (1986), "Modern Methods for Quality Control and Improvement", USA, John Wiley & Sons, NY

#### PUBLICACIONES PERIÓDICAS

- ALDRIDGE J. y J. TAYLOR, "The Application of Failure Mode and Effect Analysis at an Automotive Components Manufacturer", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 8, no. 3, 1991.
- BOX, G. "Science and Statistics", *Journal of the American Statistical Association*, diciembre, 71 (356), 1976.
- BOX, G. "Statistics and Quality Improvement", *Journal of the Royal Statistical Association*, A, 157, 1994.
- DAMBOLENA, I. y A. Rao. "*What is Six Sigma Anyway?*", *Quality*, Noviembre, 1994.
- DEMING, W. E. "On Some statistical Aids Towards Economic Production", *Interfaces*, vol. 5, No. 4 Agosto 1975.
- enFarma, Revista Oficial del Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos México A.C., Edición Especial 2003
- ESCALANTE, E. "Quality and Productivity Improvement: A study of Variation and Defects in Manufacturing", *Quality Engineering*, Vol. 11, No. 2, 1999.
- GILCHRIST, W. "Modeling Failure Modes and Effect Analysys", "*international Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 10, no. 5, 1993.

- HARRY, M., "Six Sigma: A Breakthrough strategy for Profitability", Quality Progress, Mayo, 1998.
- McFadden, F. "Six-Sigma Quality Programs", Quality Progress, Junio, 1993.
- Nolan, T. y L. Provost. "Understanding Variation", Quality Progress, Mayo, 1990.
- Quality Improvement Tools, Juran Institute, 1989
- INFORMACÉUTICO, VOL. 9, No. 1, Marzo 2002.
- INFORMACÉUTICO, VOL. 10, No. 1, Marzo 2003.
- INFORMACÉUTICO, VOL. 10, No. 3, Julio 2003.
- INFORMACÉUTICO, VOL. 11, No. 3, Julio 2004.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (1994), "Norma Mexicana, NMX-CC-001- ISO 8402: Administración de la Calidad: Vocabulario"
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (1994), "Norma Mexicana, IMEC NMX-CC-017/1:1995 IMNC. ISO 10012-1:1992.
- Pharmaceutical Technology en español, VOL 1, No. 2, Mayo 2003.
- Pharmaceutical Technology en español, VOL 1, No. 3, Julio 2003.
- Pharmaceutical Technology en español, VOL 1, No. 4, Septiembre/Octubre 2003.
- RATH & STRONG'S, "*Six Sigma Pocket Guide*", RATH & STRONG MANAGEMENT CONSULTANTS, a Division of Aon Consulting Worldwide, Sixth Printing, August 2001. ISBN 0-9705079-0-9
- SMITH, B. "*Six Sigma Quality a Must not a Myth*", *Machine Design*", Febrero, 1993.
- SNEE, R. "*Dealing With Achilles' Heel Of six sigma Initiatives*", Quality Progress, Marzo, 2001.
- The Memory jogger ii, gOAL/qpc, 1994
- The Nikkan Kogyo Shimbun Ltd. Factory Magazine, "*Poka-yoke, Mejorando la calidad del producto evitando los defectos*", Productivity Press, México 1991
- TOTAL QUALITY TOOLS, PQ Systems Inc., 1996
- The coach's guide to the memory Jogger II, Goal/qpc, 1994
- WELCH, J., Jr. "GE Quality 2000: A Dream with a Plan", General Electric 1996 Annual Meeting, Abril 1996, Executive Speeches, agosto/Septiembre, 1996.

## SITIOS WEB

- UNAM, Facultad de Ingeniería, "Control Estadístico de Proceso"  
[http://www.geocities.com/calidad\\_cep/](http://www.geocities.com/calidad_cep/)
- ITESM, "Catálogos de Apoyo"  
[http://www.sistema.itesm.mx/dae/pcdae/Apoyos\\_miii613.PDF](http://www.sistema.itesm.mx/dae/pcdae/Apoyos_miii613.PDF)