

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES Cuautitlán



**SEIS SIGMA APLICADO A LA MEJORA DE
PROCESOS DE MANUFACTURA**

T E S I S

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

JOSÉ EDUARDO VELÁZQUEZ MURILLO

ASESORA: M.I. Yolanda Benítez Trejo

Cuautitlán Izcalli, México
Julio 2006



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.

Introducción

Capítulo 1. Seis Sigma

Capítulo 2. Calidad

Capítulo 3. Herramientas de Seis Sigma

Capítulo 4. Seis Sigma y la Medida de Calidad

Capítulo 5. La Métrica Seis Sigma

Capítulo 6. Implementación de Seis Sigma

Capítulo 7. Ejemplo de un Proyecto Seis Sigma

Conclusiones

Direcciones de Internet

Bibliografía

Introducción

“Seis Sigma” es una propuesta del perfeccionamiento comercial que procura encontrar y eliminar las causas de errores y defectos en un proceso, concentrándose en los rendimientos de importancia para los clientes. Como resultado, aumenta el funcionamiento, mejora la satisfacción del cliente e incrementa los ahorros e ingresos. “Seis Sigma” puede aplicarse en todos los procesos, productos e industrias.

El concepto Seis Sigma tiene normalmente tres ámbitos:

El primero es el de las estrategias y procesos gerenciales, donde los aspectos más característicos son el diseño o la validación de las métricas con la cuales se da cuenta y mide el desempeño de un negocio. Para este proceso, se utilizan técnicas estadísticas que van más allá de las meramente descriptivas que se basan en planillas y promedios, utilizándose por ejemplo, técnicas de análisis de capacidad de los procesos, análisis de datos experimentales, límites superior e inferior, por mencionar algunos. También considera la elaboración de la línea base del negocio con la cual se da cuenta del desempeño estadístico demostrable en él en los últimos años, lo que servirá de referencia para el mejoramiento.

El segundo ámbito lo constituye el desarrollo de competencias y la ejecución de los proyectos de mejora con los cuales se materializan las oportunidades y se logra el impacto en la línea base del negocio. Se considera también la estandarización y réplicas de las mejoras logradas hacia otros procesos de la empresa. Esta estrategia de mejora se conoce como DMAIC (Definition-Measurement-Analysis-Improvement-Control). Esta técnica sirve para medir la evolución, líneas base, brechas, impedimentos y barreras estructurarles para el proceso de cambio. Se establecen niveles y relaciones de causalidad entre procesos y resultados e identifican aspectos críticos a partir de los cuales se puede modificar la situación actual utilizando bases y métodos estadísticos intermedios.

El tercer ámbito lo constituye la definición y utilización de Seis Sigma como métricas con las cuales se mide y compara el desempeño de todos los niveles sigma o de defectos por

millón de oportunidades, lo que le proporciona al nivel directivo o gerencial un lenguaje con el cual conocer la evolución y efectividad del proceso de mejora.

El sistema no puede permanecer estático y la siguiente fase de la gestión de calidad de orienta al diseño y puesta en marcha de la mejora continua pero con un énfasis en el desempeño de los procesos, donde además de atender los requerimientos de los clientes compradores e empieza a atender los requerimientos y expectativas de los dueños.

Este proceso implica el mejoramiento de la línea base del negocio tanto en sus indicadores operacionales, como también en los aspectos financiero-contables. Se busca por tanto la excelencia operacional en todos los procesos, sean estos gerenciales, como la presupuestación, la planificación gerencial el proceso de cambio, la planificación del proceso y la creación de condiciones propicias para el proceso de cambio, como también todos aquellos relacionados con los procesos de la cadena de transformación industrial. Este proceso de cambio implica la excelencia en la realización de la tarea, así como también en los aspectos de relaciones interpersonales y aceptación del proceso de cambio.

Una aplicación práctica es el Proyecto Seis sigma # 001 aplicado en una planta de ensamble de vehículos automotores, desarrollado para implementar un dispositivo de ajuste camión ligero 4x4 Camber Caster, con el objeto de reducir los costos y mejorar su aplicación.

Se termina proyecto exitosamente con un 80 % de reducción en dpmo, lo que proporciona ahorros por 210,000 USD.

CAPÍTULO 1

SEIS SIGMA



Historia

La filosofía Seis Sigma comenzó en los años 80 cuando un ingeniero de Motorola (Michael Harry) comienza a influenciar un área de la organización de la que era jefe de operaciones hacia la investigación de la variabilidad de los procesos, con el objeto de reducirla y así mejorar los mismos. El entonces presidente de la compañía Bob Galvin fijó su atención en ese programa, a partir de ese momento se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación, sino también en la mejora continua, estableciéndose como objetivo corporativo alcanzar los 3,4 defectos por millón de oportunidades en todos los procesos de la organización, es decir alcanzar niveles de perfección en todas las actividades de la compañía.

En 1991 Lawrence Bossidy implanta la filosofía Seis Sigma dentro de Allied Signal una empresa que acarreaba pérdidas y que se transformó en una máquina perfectamente engranada que multiplicó sus ventas y sus ganancias de manera dramática.

Después que la iniciativa fuera también implantada en Texas Instruments, el siguiente punto de inflexión dentro de la historia de esta nueva metodología fue realizado por Jack Welch, quien implantó la metodología dentro de la organización consiguiendo resultados impactantes dentro de toda la organización.

Durante la década de los 90, numerosas empresas han introducido esta novedosa pero a la vez experimentada técnica dentro de sus organizaciones tales como Bombardier, Siebe, Sony, Polaroid Corporation, Toshiba, en España ha sido aplicada por Sony, Ford, Ericsson, etc.

Pero, ¿Qué es lo que hace tan atractiva a esta metodología? ¿Por qué sin duda es la metodología más provechosa de los últimos años? ¿Por qué ha despertado en tan poco tiempo tanto interés?

¿Qué es “Seis Sigma”?

Proceso Seis Sigma significa que se mantiene una distancia de seis desviaciones estándar entre la media del proceso y el límite de especificación (superior o inferior).

La variación del proceso se reduce de tal forma que hay menos de 3.4 partes por millón de estar fuera de los límites de especificación (o sea 99.99966% de procesos y servicios sin defectos).

“Seis Sigma” es una propuesta del perfeccionamiento comercial que procura encontrar y eliminar las causas de errores y defectos en un proceso, concentrándose en los rendimientos que son de importancia crítica para los clientes. Como resultado de eso, aumenta el funcionamiento, mejora la satisfacción del cliente e incrementando de los ahorros e ingresos. “Seis Sigma” puede aplicarse en todos los procesos, productos e industrias.

Sigma mide la capacidad del proceso para conseguir un funcionamiento sin defectos (donde defecto se define como cualquier elemento que causa la insatisfacción del cliente). La capacidad de elaborar productos y servicios con sólo 3,4 defectos por millón lleva a un proceso “Seis Sigma” que se considera para muchos procesos primera clase mundial.

Con la implantación de esta técnica se consiguen otras mejoras en la organización como son la reducción de los tiempos de producción, reducción de costes, alta satisfacción en los clientes y lo que es más importante una revolución en los resultados económicos de la organización.



Figura 1. Capacitación empresarial.

CAPÍTULO 2

CALIDAD

Calidad

El término calidad, frecuentemente significa cosas diferentes para cada persona, si a alguien se le pregunta que entiende por calidad, sus respuestas podrían ser: “algo muy bueno”, “lo mejor que hay”, “perfección”, y cosas por el estilo, estas son formas de entender la calidad, pueden ser altamente perjudiciales para las industrias, pues sugieren altos costos para obtener artículos y servicios de calidad.

Calidad es el conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y, en consecuencia, hacen satisfactorio al producto. A este significado, se le puede añadir un matiz complementario importante: la Calidad también consiste en no tener deficiencias. Si la Calidad consiste en facilitar productos satisfactorios para el cliente, habrá que implicar en ella a todas las actividades mediante las cuales se alcanza esta satisfacción, independientemente del lugar de la organización en que ocurren. Esto significa obtener:

- ☞ La Calidad de los productos.
- ☞ La Calidad de los suministros.
- ☞ La Calidad de los procesos.
- ☞ La Calidad de los recursos, tanto técnicos y humanos, como materiales.
- ☞ La Calidad de las actividades de gestión.

A esta filosofía, que pretende abarcar a toda la organización y a todas sus actividades, es a lo que llamamos Calidad Total. Pero la Calidad Total (CT) no es, únicamente, un modo de pensar. Es un conjunto de principios y métodos que procuran la meta de la satisfacción del cliente. Y al menor coste.

Es indispensable considerar el punto de vista del "cliente", la calidad la define un cliente y cada cliente podría darnos su propia definición de calidad, un producto que satisfaga

especificaciones, podría no satisfacer las expectativas de un cliente, y entonces este producto apegado a diseño y que cumple especificaciones ¿es un producto de calidad?, en realidad la calidad la define un cliente pues es al final, el usuario de un producto o servicio.

Entonces, ¿Cómo puedo controlar un sistema o proceso de calidad?, ¿Tendría que preguntarle a cada cliente cuales son sus requerimientos? Esto no sería una mala idea, el realizar encuestas con los clientes a cerca de la percepción de un producto o servicio; y ya teniendo un perfil general de los requerimientos del cliente para dicho producto o servicio se podría empezar a medir y controlar la variabilidad que afecta este requerimiento en base a las necesidades y requerimientos específicos del cliente.

En el mundo de Seis Sigma, por "verdadero valor" las compañías entienden el tener un nivel justo de expectativas para producir productos de calidad con el mayor beneficio posible, para los clientes el "verdadero valor" se entiende como el que obtienen un nivel justo de satisfacción de sus expectativas al comprar productos de alta calidad al más bajo costo.

"Valor" representa valor económico, utilidad práctica y disponibilidad para el consumidor y la compañía para crear el producto y servicio. El valor económico se refiere al hecho de que el cliente quiere adquirir productos y servicios al más bajo costo, solo compañías que quieren producir alta calidad y servicios al más bajo costo tendrán una verdadera opción de negocio en el futuro.

En adición, los clientes tienen la expectativa correcta de que los productos y servicios que ellos adquieren estén disponibles cuando ellos los necesiten en el volumen requerido. El proveedor también tiene la misma expectativa dentro de sus propios negocios. Compañías que producen productos y servicios que no corresponden a estándares semejantes no pueden alcanzar la factibilidad económica y el valor necesario de ganancias a sus accionistas.

Seis Sigma / ISO 9000

En la actualidad los niveles de calidad se evalúan midiendo las variaciones de los procesos y el número de unidades defectuosas en términos de σ (sigma). La letra griega σ (sigma) se

usa en estadística para designar una desviación típica, esta mide la variación que se produce a lo largo de un proceso. El número seis es el nivel sigma de perfección. Idealmente, cada producto o servicio satisface las "necesidades o especificaciones" del cliente.

No tendría lógica aplicar un Programa Seis Sigma si no existiese un sistema de gestión de la calidad que sirviera de marco y aportara cosas tan necesarias como la existencia de procedimientos documentados, control de los registros de recogida de datos, instrumentos de medida calibrados, etc. Por otra parte, las evaluaciones EFQM detectan oportunidades de mejora a las que se pueden aplicar Proyectos de Mejora Seis Sigma, etc.

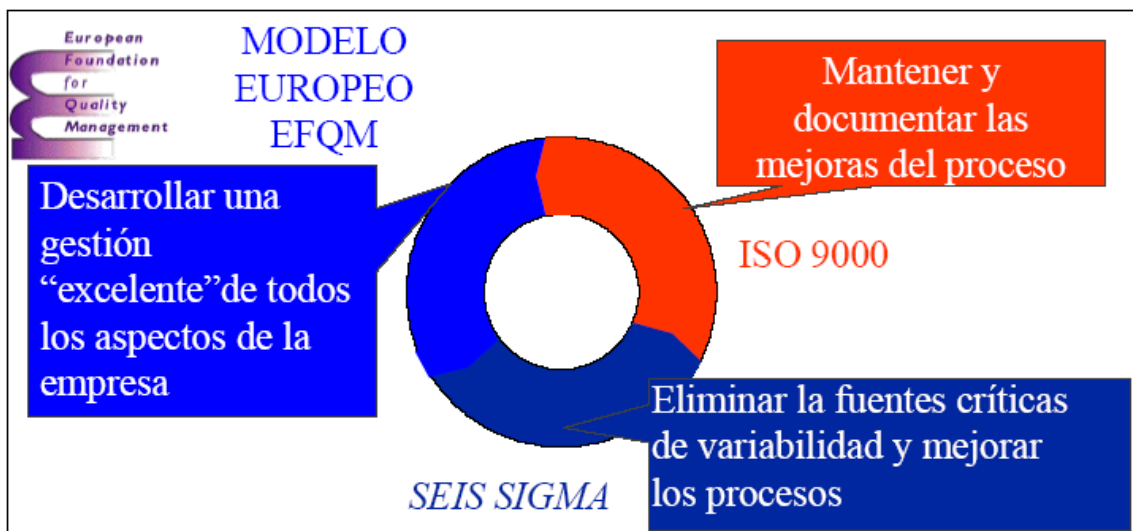


Figura 2. Relación con ISO 9000 y EFQM.

Calidad Total

El concepto de Calidad Total va mucho más allá de los productos, su fabricación y controles, penetrando en todo el sistema de funcionamiento de la empresa.

La Calidad Total supone un cambio de cultura en la empresa, ya que la gente se debe concienciar de que la calidad atañe a todos y que la calidad es responsabilidad de todos. La dirección es responsable de liderar este cambio, mediante la implantación de un sistema de

mejora continua permanente, y mediante la instauración de un sistema participativo de gestión.

La calidad se mide en términos de la capacidad del producto para cumplir especificaciones razonables y pertinentes. No sólo tienen que ver las características inherentes del producto, sino también el establecimiento de los procedimientos para las mediciones de la buena calidad. Deben engranarse los requisitos de la calidad y las mediciones de la calidad. A su vez, para que el programa global consiga una eficacia de largo alcance, deben reconocerse las necesidades de la ingeniería de sistemas adecuados.

La calidad para propósito de nuestro estudio, la podemos definir en forma simple como “El grado de satisfacción en que nuestros productos o servicios satisfacen a nuestros consumidores, sus necesidades y expectativas”, para poder comprender esta definición de calidad, deberemos entender que dos tipos de calidad intervienen en el proceso:

- ☞ Calidad de diseño.
- ☞ Calidad de manufactura.

Para poder manufacturar un producto de calidad debemos contar con un diseño de calidad, en otras palabras, el diseño en sí mismo debe tomar en cuenta las necesidades y expectativas de los consumidores finales, de esta forma si el producto se manufactura exactamente conforme al diseño, el producto cumplirá con las necesidades del cliente.

Niveles de calidad

La historia de los movimientos por la calidad en su forma moderna se compone por diferentes tendencias como modas en cada década a partir de los 50's.

Planes de muestreo. En uso durante la época de los 50's, que utilizaba los “Niveles Aceptables de Calidad”, los “Promedios de Niveles Aceptables de Calidad” (AQLs), y el “Porcentaje de Tolerancia de defectos en Lotes de Prueba”

Cero Defectos. En los 60's, como resultado de la carrera por el espacio con la entonces Unión Soviética, el departamento de defensa de los Estados Unidos liderea un movimiento de calidad con cero defectos, si los trabajadores pudieran esforzarse individualmente a producir cero defectos, la calidad podría ser garantizada. Existe una historia de una gran compañía que ordenó a sus trabajadores la firma de una tarjeta en la que se comprometían con ellos mismos a producir cero defectos, todos la firmaron menos uno que rehusó, su supervisor habló con él y continuó rehusándose, el gerente de la planta le ordenó firmar sin ningún resultado, finalmente lo llevaron a presencia del presidente de la compañía quien le dijo: "Pedro, o firmas o estás despedido", el trabajador inmediatamente firmó, en ese momento le preguntó, ¿porqué nos diste tantos problemas para poder firmar?, y él le contestó porque hasta este momento nadie me explicó las ventajas de firmar. El movimiento por cero defectos fue sin bases fundamentadas, sin nada que realmente lo sostuviera no existían métodos o sistemas, solo buenos deseos.

Significado del nivel de calidad

Nos enfocaremos a niveles de calidad de manufactura; para los propósitos de manufactura, nivel de calidad significa la cantidad mínima de un producto que cumple con las especificaciones de ingeniería y diseño, normalmente especificamos con tolerancias de diseño, por ejemplo para un apriete de una tuerca o tornillo, podría existir una especificación de 25 ± 5 , es decir de 20 a 30 unidades, se consideraría un producto como aceptable.

Sin embargo, el decir mínimo 20 o máximo 30 significa los extremos que limitan la peor condición aceptable y como se ha indicado anteriormente, en la práctica diaria es muy improbable que la calidad se refiera a un solo parámetro, en la mayoría de los casos, múltiples parámetros intervienen en un producto y se dan casos en que la suma de tolerancias nos provoquen productos defectuosos a pesar de cumplir las especificaciones en forma individual para cada uno de los parámetros, es decir, un producto tiene la mejor calidad en tanto cumpla más con las especificaciones a su forma nominal (la media de la especificación), que otro que cumpla en los extremos. Esta propuesta nos lleva a definir que

un producto posee mejor calidad en tanto tenga menor variabilidad con respecto a su media, menor variación igual a mejor producto.

Existe una historia de un fabricante de televisores, el cual contaba con dos plantas iguales en América y en Japón, a pesar de ser los mismos aparatos y de ser la misma marca, los consumidores preferían los aparatos armados en Japón (a muchos de nosotros nos ha pasado que preferimos algún mismo producto de una fábrica en especial), una larga investigación descubrió que en el caso de estos televisores, la intensidad del color era crítica para los consumidores, y las que provenían de Japón tenían un mejor comportamiento en este parámetro que las de la fábrica americana, y el comportamiento en cuanto a variabilidad en las especificaciones eran menores de la fábrica japonesa.

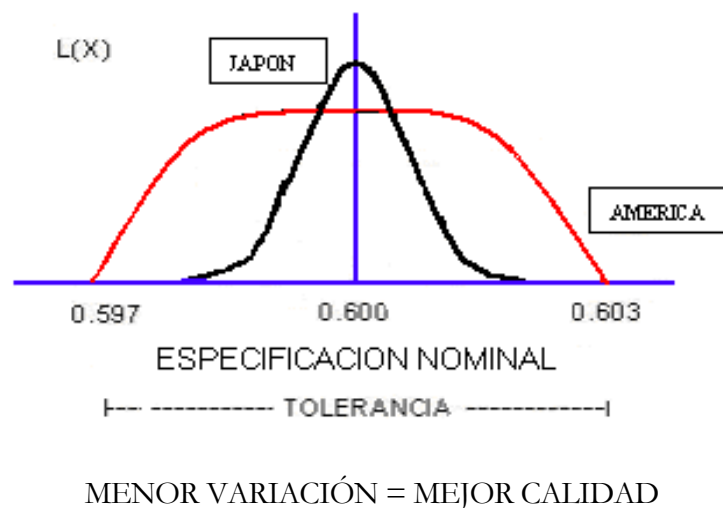


Figura 3. Televisores a color.

Como podemos observar la variabilidad que existe en la fábrica americana arroja más pérdidas que la japonesa ya que esta última se basa más hacia un objetivo y no tanto en una especificación.

Debido a su menor variabilidad con respecto al valor “ideal”, la planta japonesa tenía un número mayor de productos “excelentes” a pesar de que ambas plantas cumplían con las especificaciones de diseño, esto nos lleva a considerar la posibilidad de enfocarnos en valores objetivo, más que en especificaciones, este valor objetivo será desde luego la media de

especificación. Un ingeniero japonés, Genechi Taguchi, ha desarrollado un modelo que nos asocia las pérdidas económicas debido al uso de toda la escala de una especificación y se le conoce como Función de pérdida de Taguchi.

Función de pérdida de Genechi Taguchi

Para Taguchi, la pérdida de la sociedad incluye: los costos incurridos por no cumplir el producto con las expectativas del cliente; los costos por no cumplir el producto con las características de funcionamiento y los costos generados por los efectos peligrosos secundarios causados por el producto.

En las empresas de manufactura, la Función de Pérdida de Taguchi también se puede aplicar en el "cumplimiento de las especificaciones" de un producto.

Diferencia entre Calidad Seis Sigma y Calidad Tradicional

¿Qué hace diferente a Seis Sigma de la Calidad Tradicional? ¿No están soportadas por prácticamente las mismas herramientas y métodos conocidos por los practicantes de la Calidad Total, TQM, etc.? Las diferencias quizá residen en la forma de aplicar estas herramientas y su integración con los propósitos y objetivos de la organización, como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta Gerencia y una actitud proactiva, organizada y sistemática en busca de la satisfacción tanto de las necesidades y objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

En la siguiente tabla se resumen algunas de las diferencias más notables entre la forma tradicional de enfocar la Calidad en las organizaciones y la forma de enfocarla a través de la estrategia de *Seis Sigma*:

Tabla I. Calidad tradicional VS Seis Sigma.

CALIDAD TRADICIONAL	SEIS SIGMA
Está centralizada. Su estructura es rígida y de enfoque reactivo.	Está descentralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo.
Generalmente no hay una aplicación estructurada de las herramientas de mejora.	Se hace uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de los problemas.
No se tiene soporte en la aplicación de las herramientas de mejora. Generalmente su uso es localizado y aislado.	Se provee toda una estructura de apoyo y capacitación al personal, para el empleo de las herramientas de mejora.
La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos y datos vagos.	La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos: "Sólo en Dios creo, los demás traigan datos".
Se aplican remedios provisionales o parches. Sólo se corrige en vez de prevenir.	Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas.
No se establecen planes estructurados de formación y capacitación para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.	Se establecen planes de entrenamiento estructurados para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas.
Se enfoca solamente en la inspección para la detección de los defectos (variables clave de salida del proceso). Post-Mortem.	Se enfoca hacia el control de las variables clave de entrada al proceso, las cuales generan la salida o producto deseado del proceso.

Modelo tradicional de costos asociados en el cumplimiento de las especificaciones

Muchas empresas, quedan satisfechas o conformes cuando las características de calidad de un producto quedan dentro de las especificaciones. Según este modelo, erróneamente se

piensa que mientras estamos dentro de la tolerancia, no existen pérdidas asociadas. Regresemos al ejemplo de los televisores (Fig. 1), se puede observar que la curva de la fábrica americana está mucho más abierta que la curva de la fábrica japonesa, entonces podemos concluir que la zona de pérdida es mayor en la fábrica americana como se muestra en la siguiente figura 4. Supongamos, por ejemplo, que las especificaciones de un determinado producto es $0,600 \pm 0,003$. Veamos ahora como se refleja esto en el siguiente gráfico:

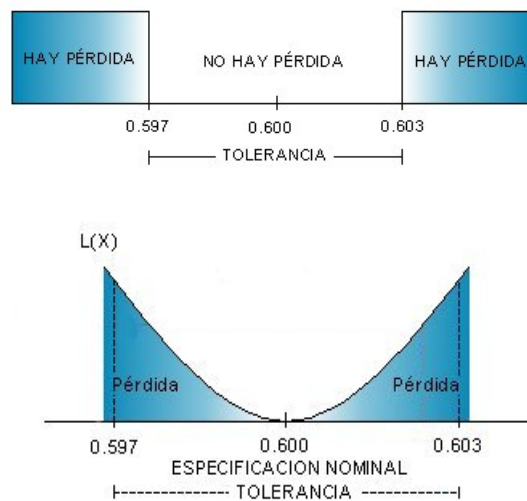


Figura 4. Pérdidas. Modelo función de pérdida

Pero la realidad, según Taguchi, es que mientras menor sea la variación con respecto al valor objetivo, mejor será la calidad. La pérdida aumenta, como función cuadrática, cuando uno se aleja más del valor objetivo. La siguiente gráfica ilustra este concepto:

La pérdida media (L) para un producto puede ser estimado usando la siguiente ecuación:

$$L(x) = k(x - T)^2$$

Donde:

L = Pérdida media

x = Valor de respuesta

k = Constante monetaria

T = Objetivo

Al determinar k necesitamos estimar la pérdida para cualquier valor en específico de y. En épocas pasadas, se acostumbraba medir el nivel de calidad como el nivel aceptable de calidad AQL por sus siglas en inglés (Acceptance Quality Level), y esto no era otra cosa sino el porcentaje de productos buenos contra productos malos (cantidad de productos malos que podían aceptarse en un lote de producción de acuerdo a un muestreo), esto quiere decir que productos que cumplen una especificación no refiere a variabilidad de los mismos de esta forma puede entenderse su fracaso en el mercado.

Inspección al 100%, es seguramente el método más asociado con la calidad, como el término lo indica, cada artículo es inspeccionado, a pesar de que esta técnica aún se encuentra en uso, en la práctica es cara y poco efectiva; sin embargo, existen técnicas como la de Poka Yoke, que permiten su realización en forma masiva y económica, y de esto trataremos más adelante.

Inspecciones de la Calidad

La inspección es la verificación de todos los productos de salida; es decir, después de la fabricación y antes de que sean distribuidos hacia los clientes. Aquellos productos que no cumplan las especificaciones, no se encuentren entre los márgenes de tolerancia o, simplemente, sean defectuosos, serán rechazados. En la siguiente tabla se hace una explicación sistemática de los objetivos de la inspección:

Tabla II. Objetivos de la Inspección.

	OBJETIVOS		ORIENTACIÓN	MÉTODOS
Gestión de la	Impacto	Toda la	Satisfacción plena del	Planificación

	OBJETIVOS		ORIENTACIÓN	MÉTODOS
calidad total	estratégico	organización	cliente	estratégica
Control del proceso	Organización y coordinación	Aseguramiento y prevención	Dep. de calidad, producción	Sistemas, técnicas y programas
Control del producto	Control de productos	Reducción de inspecciones	Departamento de calidad	Muestreo y estadística
Inspección	Detección de defectos	Orientación al producto	Departamento de inspección	Medición y verificación

En general toda inspección supone un costo para la organización es pues deseable que se pueda eliminar la inspección y sustituirla por métodos más rentables o inspección al 100 % sin costo, esto se logra reduciendo la variabilidad o aplicando herramientas como puede ser Poka Yoke.

Poka Yoke

Poka Yoke fue creado y formalizado por Shigeo Shingo como parte fundamental de Cero Control de Calidad (ZQC). 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.

El concepto es simple, si los errores no se permiten que se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado, es un cliente satisfecho. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples.

Los sistemas Poka-Yoke implican el llevar a cabo el 100% de inspección, así como, retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque

resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100% de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto.

La práctica del sistema Poka-Yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción, este sistema posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100% de las partes producidas, y la segunda es si ocurren anomalías puede dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método Poka-Yoke en reducir defectos va a depender en el tipo de inspección que se este llevando a cabo, ya sea: en el inicio de la línea, auto-chequeo, o chequeo continuo. Los errores humanos usualmente lo son por inadvertencia. Los mecanismos Poka-Yoke nos ayudan a evitar los defectos, incluso aunque inadvertidamente se cometan errores. Los Poka-Yoke ayudan a fabricar la calidad en el proceso.

Un defecto existe en dos estados: está a punto de ocurrir o ha ocurrido ya. El Poka-Yoke emplea tres funciones básicas contra los defectos: parada, control y aviso. El reconocimiento de un defecto que está a punto de ocurrir se denomina "predicción", y reconocer que un defecto ha ocurrido ya se denomina "detección".

CAPÍTULO 3
HERRAMIENTAS DE SEIS SIGMA

Medida del Rendimiento de los Procesos

"A un nivel Seis Sigma, un proceso funciona correctamente el 99.9997% de las veces"

La sigma de un proceso designa su capacidad de operar correctamente, o en terminología Seis Sigma, sin defectos. Un proceso 3 Sigma funciona sin errores en el 93% de los casos. Un proceso 6 sigma lo hace en el 99.9997% de los casos, o con solo 3.4 'defectos por millón de oportunidades'.

La mayoría de las empresas operan actualmente a niveles entre 3 y 4 Sigma. El rendimiento y los niveles de calidad son mucho menores en las áreas de servicios. Detrás de estas cifras se esconden grandes ineficiencias (las llamadas 'factorías ocultas'), clientes insatisfechos, y una enorme oportunidad de mejorar la productividad y la satisfacción de los clientes. Se estima que los costes asociados a 'problemas' de calidad en empresas que operan entre 3 y 4 sigma, suponen entre el 10 y el 15% de los ingresos.

Herramientas de Seis Sigma y los Métodos Estadísticos

Seis Sigma no cuenta con herramientas propias ni ningún arma secreta desconocida para el resto de la humanidad (EDA, SPC, ANOVA, DOE, etc.) Estos métodos estadísticos han estado a disposición de las empresas desde hace 75 años. Sin embargo solo una minoría se ha interesado por ellos y los han aplicado. Como ejemplo se citará el caso de la triste existencia del Comité de Métodos Estadísticos de la AEC. Este Comité se fundó en 1.987 por un grupo de entusiastas entre los que se contaba el autor de este artículo. Sin embargo, la falta de interés de las empresas en participar en el mismo aconsejó disolverlo en 1.992. Obsérvese el paralelismo de fechas con el desarrollo de Seis Sigma en Motorola.

Las herramientas no estadísticas son originales de Seis Sigma (AMFE, QFD, Poka Yoke, etc.) Únicamente es original (y con reservas)... la métrica sigma que se describirá más adelante.

Seis Sigma incorpora una jerga propia que hace difícil el entendimiento por los no conocedores (SS, MBB, BB, GB, YB, DMAIC, DPU, DPMO, DPMO, FTY NIVEL SIGMA, SIPOC, etc.). No debe perderse de vista que la jerga no es lo esencial en ningún caso. Para facilitar la comprensión, en los anexos se aclaran los significados de las abreviaturas más usadas.

Herramientas Básicas

En los proyectos Seis Sigma se utilizan dos tipos de herramientas. Unas, de tipo general, otras las estadísticas y además las utilizadas en el diseño de productos y servicios.

Herramientas de tipo general

1. Histograma.
2. Diagrama de Pareto.
3. Cartas de Control.
4. Diagrama de correlación.
5. Diagrama causa-efecto.
6. Grupos de Calidad.
7. Brainstorming.

Herramientas estadísticas

Desde la perspectiva del manejo estadístico de datos, implementar un programa Seis Sigma significa dar a los empleados de una compañía las herramientas estadísticas disponibles para lograr sus metas.

Estas herramientas deben servir como guía para mejorar procesos al identificar tendencias que se alejen de los estándares de calidad establecidos así como guardar información de los procesos para futuras referencias.

Una compañía comprometida a un programa de calidad Seis Sigma debe poner en práctica un programa intensivo de capacitación a su personal y ejecutivos. En retorno, esta gente aprende a:

- ☞ Organizar y dirigir efectivamente el despliegue del programa

Implementar y usar las herramientas estadísticas en sus esfuerzos para el mejoramiento del negocio.

Estas herramientas estadísticas que hace unos años estaban solamente al alcance de especialistas, son hoy accesibles a personas sin grandes conocimientos de estadística. Cabe citar:

- ☞ Estudios de capacidad del proceso (control estadístico de proceso, gráficos de control de prueba).
- ☞ Análisis ANOVA
- ☞ Contraste de hipótesis
- ☞ Diseño de experimentos

Índice de Capacidad Potencial (CP)

Uno de los principales objetivos de la función de pérdida es evaluar cuantitativamente la pérdida de calidad debido a variaciones funcionales. Además de que el doctor Taguchi ha descubierto que la representación cuadrática de la función de pérdida, es una forma eficiente y efectiva para establecer la pérdida debido a la desviación de una característica de calidad del valor meta; esto es la pérdida debida a la mala calidad. Hablando de esto tenemos que recordar que:

- ☞ Conformarse con los límites de especificación es un indicador inadecuado de la calidad o pérdida debida a la mala calidad.
- ☞ La pérdida de calidad es causada por la insatisfacción del consumidor.
- ☞ La pérdida de calidad puede relacionarse con las características del producto.
- ☞ La pérdida de calidad es una pérdida financiera.
- ☞ La función de pérdida es una herramienta excelente para evaluar la pérdida en la etapa inicial del desarrollo del producto.

Este es uno de los primeros índices utilizados. "La tolerancia natural" es calculada como 6σ . Este índice hace simplemente una comparación directa de la tolerancia de la variación natural en los requerimientos de ingeniería. Asumiendo la distribución normal del proceso y el promedio central entre los requerimientos de ingeniería. El índice CP debería dar como resultado un proceso competente. Sin embargo, el valor mínimo para CP aceptado es de 1.33. El índice CP tiene dos grandes defectos:

- No puede ser usado a no ser que este por debajo de las especificaciones.
- No está enfocado en el proceso.

Además, si el proceso promedio no está exactamente centrado con los requerimientos de ingeniería, el índice CP podría dar resultados engañosos.

En años recientes el índice CP fue reemplazado en la mayoría de las veces por el Índice de Capacidad Real CPK.

Índice de Capacidad Real (CPK)

El valor CPK es simplemente el proceso relativo de la desviación estándar debajo de los requerimientos dividido entre 3. Desde el valor más pequeño representado cercano a la especificación, el valor CPK enumera el proceso verídico de los requerimientos. El valor CPK cuando menos espera un requerimiento +1, así que el valor +1.33 es preferido. CPK es relativamente cercano a CP, pero la diferencia entre CP y CPK es que se representa el potencial provechoso fijado en el proceso.

Explicar con fórmula y en forma práctica

Es de todos conocidos el índice de capacidad potencial (CP) y el índice de capacidad real (CPK) para los cuales lo más importante es reducir la variabilidad y cumplir con las especificaciones. Sin embargo, existe el índice CPM o también llamado índice TAGUCHI. El CPM está orientado a reducir la variabilidad alrededor del valor nominal, no solo está orientado a cumplir con las especificaciones. El CPM mide mejor que el CPK el centrado del proceso y la variabilidad.

Cuando el índice CPM es mayor a uno, entonces eso quiere decir que el proceso cumple con las especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte media de la banda de las especificaciones. Si el CPM es mayor que 1.33 entonces la media del proceso estará dentro de la quinta parte media del rango de especificaciones. Si la estimación del CPM se hace con base en una muestra aleatoria del proceso, el CPM encontrado podrá ser menor o mayor que el verdadero valor.

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}}$$

CAPÍTULO 4

SEIS SIGMA

Y LA

MEDIDA DE CALIDAD

Seis Sigma y la medida calidad

La metodología de mejora Seis Sigma requiere que la calidad se mida de una manera objetiva. En este aspecto no se diferencia de otros métodos de mejora preexistentes. Sin embargo, Seis Sigma aporta una métrica de medida originaria de MOTOROLA. Esta métrica es conceptualmente igual a los índices de capacidad de proceso CP (para el nivel sigma a corto plazo) y CPK (para el nivel sigma a largo plazo) que se utilizan en ingeniería de calidad desde hace décadas, por lo que parece demasiado reiterativo volver a describirla. Sin embargo, sí parece conveniente proporcionar algunas aclaraciones que faciliten su uso y entendimiento.

La mayoría de los productos fabricados hoy día son producidos usando límites de especificación establecidos, los cuales aseguran que el proceso esta produciendo un producto de calidad. El Análisis de Capacidad, basado en una muestra de datos, estima el porcentaje del producto que cumple los límites de especificación y calcula varios índices de capacidad que resumen lo comprendido en el criterio de defectos por millón.

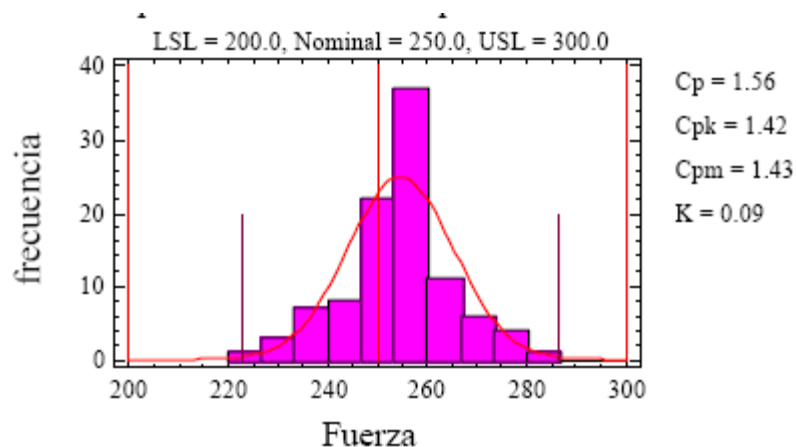


Figura 5. Capacidad de proceso para una fuerza.

```

Data variable: strength

Distribution: Normal
  sample size = 100
  mean = 254.64
  standard deviation = 10.6823

6.0 Sigma Limits
  +3.0 sigma = 286.687
  mean = 254.64
  -3.0 sigma = 222.593

```

Specifications	Observed Beyond Spec.	Z-Score	Estimated Beyond Spec.	Defects Per Million
USL = 300.0	0.000000%	4.25	0.001087%	10.87
Nominal = 250.0				
LSL = 200.0	0.000000%	-5.12	0.000016%	0.16
Total	0.000000%		0.001103%	11.03

Figura 6. Operación de un proceso arriba del nivel Seis Sigma.

La tabla anterior muestra un proceso que opera de cierto modo por arriba del nivel Seis Sigma de 3.4 defectos por millón. Si el proceso puede ser re-centrado de tal forma que el valor superior del valor Z se incremente por arriba de 4.5, entonces el objetivo puede ser alcanzado.

El desplazamiento de la medida es $1,5\sigma$

La razón por la que debe considerarse un desplazamiento de la media de exactamente $1,5\sigma$ no tiene una justificación teórica clara. M. Harry, uno de los padres de Seis Sigma la justifica basándose en los trabajos sobre la asignación de tolerancias realizadas por A. Benderi y D. H. Evansii. Por las fechas no puede decirse que estos trabajos sean excesivamente novedosos y recomiendan aplicar un coeficiente de 1,5 a la desviación típica del proceso calculada a corto plazo para tener en cuenta el efecto de los desplazamientos que pueda tener la media. Por lo tanto, este 1.5 no debe entenderse como una fórmula exacta sino más bien como un coeficiente de seguridad.

Es preciso reconocer que el hecho de que se haya fijado este coeficiente tiene algunas ventajas:

Pone de manifiesto que los controles deben ser capaces de detectar derivas del proceso de 1.5σ . En la realidad esto no es tan sencillo; por ejemplo, la probabilidad de que un gráfico de medias con un tamaño de muestra de cinco unidades detecte esta deriva en la primera muestra es aproximadamente un 60% solamente.

Facilita la comparación entre procesos, lo que no sería posible si se emplearan coeficientes diferentes.

Como se ha dicho anteriormente, la métrica sigma tiene un gran paralelismo con los índices de capacidad de proceso. Para diferenciar si corresponden a variabilidades a corto o largo plazo, se denominan de diferente forma:

CP y CPK se calculan con la variabilidad inherente del proceso (variabilidad en el corto plazo, nivel sigma a corto plazo según se trate de un proceso centrado o descentrado).

CP y CPK se calculan con la variabilidad total del proceso (variabilidad en el largo plazo, nivel sigma a corto plazo según se trate de un proceso centrado o descentrado).

Datos para estimar σ

Para estimar σ a corto plazo debe considerarse datos (piezas) entre los que solo puedan existir pequeñas variaciones aleatorias (causas comunes) y no puedan existir patrones de variabilidad no sistemáticos (causas especiales). En terminología habitual se dice que estas piezas deben proceder del mismo “subgrupo homogéneo racional”. Por ejemplo, supongamos un proceso de torneado del que se extraen cinco piezas cada hora. Los datos están representados en la Figura 5. A simple vista puede verse que la variabilidad total del proceso (variabilidad a largo plazo) es bastante mayor que la variabilidad del subgrupo homogéneo racional (variabilidad a corto plazo). Esto puede justificarse por el desgaste de la herramienta, cambios de lotes de materia prima, cambios de operario, fluctuación de temperaturas, etc.

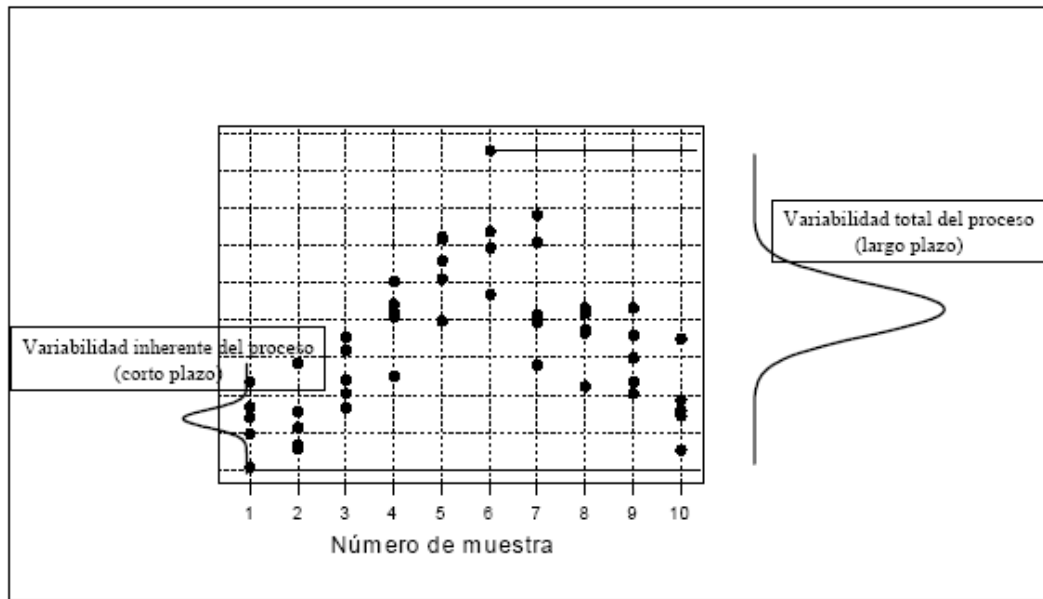


Figura 7. Diferencia entre la variabilidad a corto plazo y a largo plazo.

Sin entrar en detalles, la variabilidad a corto plazo se corresponde con la variabilidad media de las diez muestras de cinco piezas (variabilidad dentro de cada muestra), mientras que la variabilidad a largo plazo debe incluir además la variabilidad entre las diez muestras, por lo que esta última es siempre mayor. El hecho de que la variabilidad a largo plazo sea siempre mayor que la variabilidad a corto plazo, hace que el nivel sigma a corto plazo sea mayor que el nivel correspondiente a largo plazo. En la Tabla III se sintetiza el proceso de conversión.

Tabla III. Procedimiento para hallar el nivel correspondiente.

A	DE	
	ESTIMACIÓN VALOR DE SIGMA CON DATOS CORTO PLAZO	ESTIMACIÓN VALOR DE SIGMA CON DATOS LARGO PLAZO
NIVEL SIGMA CORTO PLAZO	=	+1,5
NIVEL SIGMA LARGO PLAZO	-1,5	=

Asimetría de los datos

La métrica sigma presupone una distribución de datos normal. Consecuentemente está afectada por la falta de normalidad en general y la asimetría en particular. Es preciso tener en cuenta que no todos los procesos siguen una ley normal aún cuando se encuentren bajo control estadístico. Este es el caso de los procesos que tienen una barrera en alguno de los extremos de la variable. Por ejemplo, los procesos de protección superficial y de tiempos de espera (tanto el espesor como el tiempo de espera mínimo es cero y nunca pueden ser negativos), de taladrado (el diámetro del taladro mínimo es el de la broca), etc.

Supongamos que se está estudiando un proceso de protección superficial. El histograma de los datos del proceso se representa en la Figura 2. Este histograma indica claramente que el proceso no es capaz de alcanzar esas tolerancias y también la falta de normalidad de los datos. Con independencia del grado de interés que pueda tener el cálculo del nivel sigma de un proceso tan deficiente, en este caso es erróneo aplicar la “receta” porque esta supone la distribución normal de los datos.

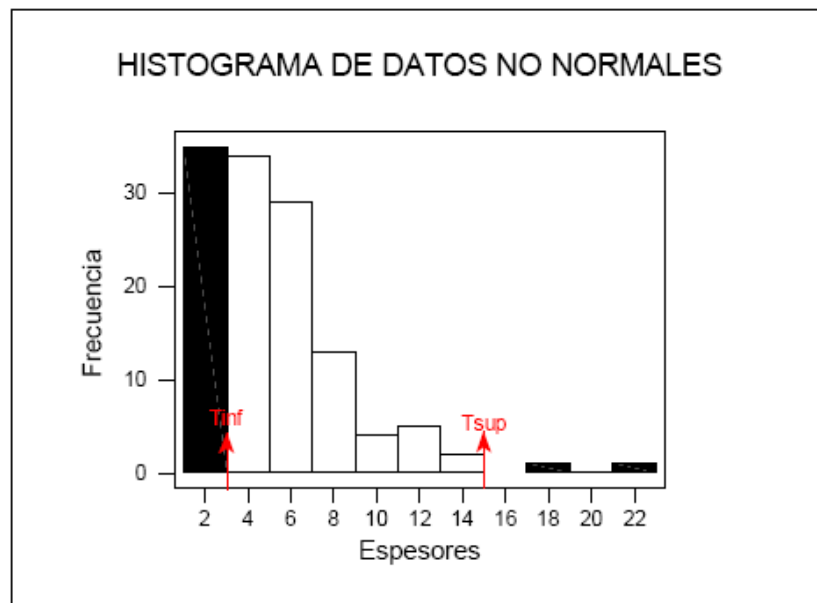


Figura 8. Histograma de los datos del proceso de protección superficial.

Para resolver esta situación se puede aplicar una transformación de los datos que consiga su normalización (por ejemplo, la transformación de Box-Cox, que está disponible en la mayor parte de los paquetes estadísticos existentes en el mercado). El histograma de los datos transformados está representado en la Figura 3 y muestra un aspecto mucho más “normal” y consecuentemente ahora sí tiene sentido calcular el nivel sigma siguiendo el procedimiento habitual.

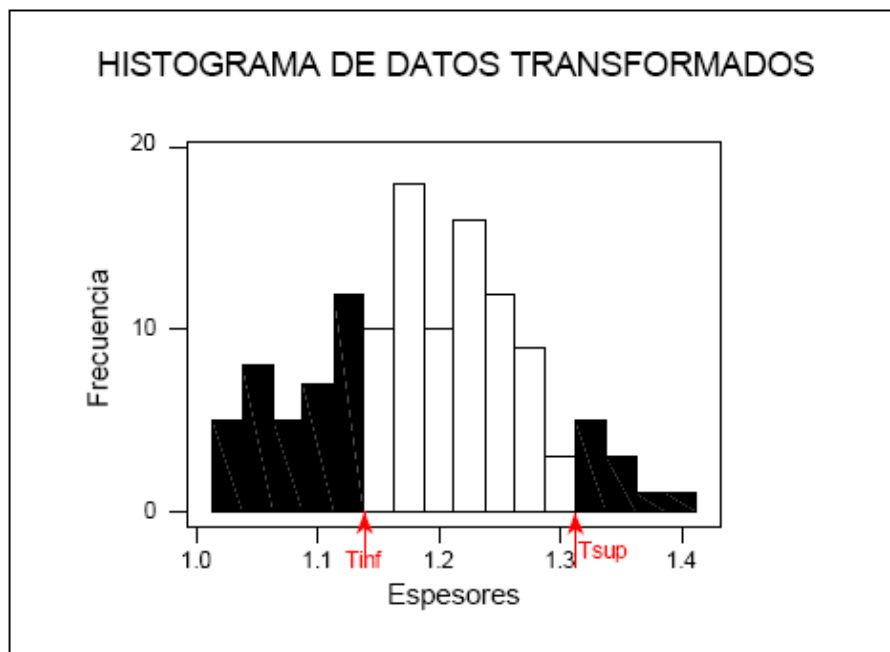


Figura 9. Histograma de los datos transformados del proceso de protección superficial.

Si la característica de calidad no es continua

Si la característica no es de tipo continuo se emplea la Tabla 2 para pasar de fracciones defectuosas a nivel sigma. Esta tabla se obtiene de la propia definición del nivel sigma. Ahora bien, en general resulta muy aconsejable no limitarse a la simple clasificación de las piezas en “conformes” y “no conformes”, sino dar un paso más y contabilizar los defectos que se producen. Este enfoque permite una escala de medida más matizada y consecuentemente, más sensible. Los pasos a dar son los siguientes:

Definir lo que se considera “defecto”. En algunos casos esto no resulta sencillo (por ejemplo, cuando se trate de inspección visual) y es posible que sea necesario contar con defectos patrón a disposición de los inspectores.

Al menos en aquellos casos en los que se prevea un grado de subjetividad importante, debe hacerse un estudio R&R entre los inspectores que vayan a intervenir, de modo que se asegure que todos los inspectores emplean los mismos criterios.

Calcular las “oportunidades” que presenta cada unidad fabricada para tener un defecto. Habitualmente se expresan en oportunidades / millón de piezas. Este es un punto muy importante, ya que si se eleva artificialmente el número de oportunidades de error, se eleva también el nivel sigma. En general no deben considerarse aquellas oportunidades de errores que no se inspeccionen realmente, que no se hayan presentado nunca o para las que se ya se haya implantado medidas preventivas para evitar su aparición.

Contar los defectos encontrados y dividirlo por el número de unidades inspeccionadas. En la jerga Seis Sigma, se denomina habitualmente DPU (Defects Per Unit).

$$dpu = \frac{\text{número de defectos encontrados}}{\text{unidades inspeccionadas}}$$

Dividir las DPU por las oportunidades de defecto que presenta cada unidad. En la jerga Seis Sigma, se denomina habitualmente DPO (Defects Per Opportunity) o DPMO (Defects Per Million of Opportunities).

$$dpmo = \frac{10^6 \text{ dpu}}{\text{oportunidades de defecto / unidad}}$$

$$dpo = \frac{dpu}{\text{oportunidades de defecto / unidad}}$$

Defecto en el sentido amplio de probabilidad de defecto. Cuando se contabilizan varios dpmo se puede calcular un dpmo global y este dpmo se puede convertir en valor sigma.

Una vez calculado dpmo, se entraría en la Tabla 2. Dependiendo de si la cifra de dpmo corresponde a un periodo de tiempo que pueda ser considerado corto plazo (por ejemplo, un

turno de producción) o largo plazo (por ejemplo, un mes de producción) se entraría por una columna u otra.



Tabla IV. Conversión de fracciones defectuosas a nivel sigma.

SIGMA	CENTRADA (CORTO PLAZO)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA LARGO PLAZO
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)
2	45,500.124	308,770.206
2.1	35,728.715	274,412.211
2.2	27,806.798	242,071.409
2.3	21,448.162	211,927.706
2.4	16,395.058	184,108.207
2.5	12,419.360	158,686.946
2.6	9,322.444	135,686.770
2.7	6,934.046	115,083.086
2.8	5,110.381	96,809.096
2.9	3,731.760	80,762.128
3	2,699.934	66,810.630
3.1	1,935.342	54,801.404
3.2	1,374.404	44,566.734
3.3	966.965	35,931.060
3.4	673.962	28,716.973
3.5	465.347	22,750.349
3.6	318.291	17,864.528
3.7	215.660	13,903.499
3.8	144.745	10,724.139
3.9	96.231	8,197.562
4	63.372	6,209.699
4.1	41.337	4,661.233
4.2	26.708	3,467.029
4.3	17.092	2,555.194
4.4	10.834	1,865.882
4.5	6.802	1,349.968
4.6	4.229	967.672
4.7	2.605	687.202
4.8	1.589	483.483
4.9	0.960	336.981
5	0.574	232.673
5.1	0.340	159.146
5.2	0.200	107.830
5.3	0.116	72.372
5.4	0.067	48.116
5.5	0.038	31.686
5.6	0.021	20.669
5.7	0.012	13.354
5.8	0.007	8.546
5.9	0.004	5.417
6	0.002	3.401

La mayoría de los procesos productivos siguen una distribución normal, con una distribución de frecuencias siguiendo la campana de Gauss y con una probabilidad de que algunos valores queden fuera de los límites superiores e inferiores; esta probabilidad es lo que entendemos por “probabilidad de defecto”.

Un proceso será tanto más fiable cuanto mas centrada respecto a los límites y cuanto mas estrecha y alta sea la campana. Una campana achatada y descentrada es consecuencia de grandes probabilidades de defectos. De forma gráfica el área de la campana de Gauss que queda fuera de la zona marcada por los límites superior e inferior es precisamente la probabilidad de defecto.

En las tablas de distribución normal encontraremos precisamente una relación entre esta área y la distancia Z definida como:

$$Z=(x-X)/\sigma$$

Siendo Z el “Valor Sigma”, X la media y σ la desviación típica.

La relación entre la “probabilidad de defecto” (área de la curva de Gauss que queda fuera de uno de los límites superior o inferior) y Z (distancia desde el valor medio a este límite) para una Distribución Normal se encuentra en las tablas correspondientes.

Es frecuente que se den dos límites en las especificaciones LS y LI, por tanto hemos de considerar ambas áreas que quedan fuera de la curva. La probabilidad total de defecto será la suma de la probabilidad de exceder el límite superior mas la de exceder el límite inferior. En este caso, para el cálculo del valor Z se suman ambas probabilidades.

El número Z en Seis Sigma se denomina “Valor Sigma” cuando únicamente se tiene el límite superior. Cuando existe un límite superior y otro inferior, se calcula un número sigma equivalente sumando las probabilidades de defecto de ambos extremos y con este valor buscamos el valor Z .

Hay que distinguir entre probabilidad de defecto y valor sigma a “corto” y a “largo”. El Valor Sigma corto es igual al sigma largo mas “sigma shift”.

El valor “sigma shift”, por convenio, que se toma a falta de otro dato:

“sigma shift”=1.5

Por convenio cuando se habla de probabilidades de defecto se habla a largo plazo y cuando se habla de valor sigma se habla de corto plazo. Cuando se habla de corto plazo únicamente influyen fenómenos aleatorios. Cuando hablamos a largo plazo intervienen fenómenos aleatorios y perturbaciones (en telecomunicaciones se habla de ruido y señal).

En “*Seis Sigma*” lo que en primer lugar interesa es eliminar el ruido, la señal es mas controlable, pero no se debe tocar sin antes lograr controlar el ruido.

Hay cuatro aspectos del método “Seis Sigma” que ofrecen un mejor enfoque a las propuestas de mejora de calidad.

“*Seis Sigma*” integra el factor humano en los procesos de perfeccionamiento. Algunos planteamientos se basan en elementos humanos como el trabajo en equipo, enfoque a los clientes, y el cambio cultural. Otros enfoques se concentran en aspectos del proceso de perfeccionamiento tales como control estadístico de procesos, mejora del proceso de trabajo, y diseño de experimentos.

“*Seis Sigma*” sitúa un objetivo claro en obtener resultados de rendimiento. Ningún proyecto de “Seis Sigma” se aprueba a menos que el impacto del rendimiento haya sido identificado. Se sabe que iniciativas de “Seis Sigma” han producido resultados medios de rendimiento desde 175.000 \$ por proyecto hasta 1.000.000 \$ por director cualificado (Harry 1998).

“*Seis Sigma*” ordena y conecta las herramientas de mejora en un objetivo total. Fase del proceso de mejora; definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC en inglés), ordena y relaciona herramientas estadísticas que han probado su efectividad en procesos de mejora. En el método de “Seis Sigma” DMAIC crea un sentido de urgencia poniendo énfasis en una rápida conclusión de proyectos en 3-6 meses.

“*Seis Sigma*” crea una infraestructura de Champions, Master Black Belt, Black Belt y Green Belt que lideran, despliegan y llevan a cabo las propuestas. De igual importancia, es el entrenamiento a fondo a que son sometidas todas las personas involucradas para que puedan desempeñar su rol de forma efectiva. Un análisis de la propuesta de “*Seis Sigma*” muestra

que se basa sobre breves planteamientos de mejora de la calidad ya existentes y aumenta la mejora a rendimientos de un alto nivel.

El pensamiento estadístico es fundamental en la metodología “*Seis Sigma*” porque es una acción orientada, enfocada a los procesos utilizados para servir al cliente, reducción de los defectos por reducción de la dispersión y objetivos de mejora.

Seis Sigma no aporta herramientas nuevas, ¿entonces *Seis Sigma* es algo nuevo o es lo mismo que TQM? TQM en sí mismo es un concepto vago, hay muchos “TQMs”. Cada organización practicante de TQM ha hecho su propia versión. La experiencia nos ha enseñado que la mayor parte de las iniciativas de TQM han acabado a la larga en fracaso. ¿Por qué fallaron estas iniciativas TQM? Las causas más comunes han sido las siguientes:

Frecuentemente emplean un concepto “nebuloso” de calidad, excelencia, etc., que no es gestionable. ¿Qué quiere decir “satisfacer al cliente” o “hacer las cosas bien a la primera”, si no está perfectamente claro qué es lo que espera el cliente o qué es lo que hay que hacer?

No se relaciona con resultados financieros cada una de las actividades de mejora. Esto provoca que el programa TQM sea uno de los candidatos a desaparecer en la siguiente campaña de reducción de costes y gastos provocada por alguno de los vaivenes del mercado.

Se dispersa en actividades en distintos procesos. Esto reduce la eficacia de los esfuerzos realizados y puede hacer que no se alcance ningún resultado práctico que justifique el mantenimiento del programa TQM.

Falta real de asignación de recursos capacitados y entrenados a las actividades de mejora. Obviamente, la asignación de estos recursos supone un coste o una inversión. En general, es frecuente que se produzcan incoherencias entre el “compromiso con la excelencia” predicado por las direcciones de algunas organizaciones y los presupuestos que se aprueban para llevarlos a cabo.

“*Seis Sigma*” aporta una metodología que estructura el proyecto de mejora y da una solución a cada una de estas causas de fallo potencial. Analicemos una por una las soluciones dadas:

“*Seis Sigma* requiere objetivar y medir. Esta necesidad de objetivar y medir (es decir, tratar datos), hace imprescindible la aplicación de métodos estadísticos. El Credo de Seis Sigma requiere evitar discutir y tomar decisiones sobre “impresiones”. La objetivación estadística es la vía para tener una visión común. Esto enlaza plenamente con los pioneros Deming, Juran e Ishikawa y se aplica el viejo aforismo “In God we trust...¡¡OTHERS MUST BRING DATA!!!”, que ha sido una máxima entre los ingenieros de calidad expertos en métodos estadísticos.

¿No se relaciona con resultados financieros en Seis Sigma? ¡SEIS SIGMA ESTÁ ENFOCADO A LA CUENTA DE RESULTADOS!! ¡Las cifras mandan...!

¿En Seis Sigma Se dispersa en actividades en distintos procesos? ¡SEIS SIGMA SELECCIONA LOS PROYECTOS DE MEJORA PARA MEJORAR LA CUENTA DE RESULTADOS! El norte es la mejora de la cuenta de resultados.

¿Falta real de asignación de recursos capacitados y entrenados a las actividades de mejora en Seis Sigma? ¡SEIS SIGMA TIENE DEFINIDA UNA ORGANIZACIÓN JERARQUIZADA PARA LLEVAR A CABO LAS ACTIVIDADES DE MEJORA! Obviamente esta organización tiene un coste debido a la formación que precisa y la dedicación que requiere. En términos empresariales, es preciso rentabilizar este coste.

CAPÍTULO 5
LA MÉTRICA *SEIS SIGMA*

Métrica

Sigma (σ) es la letra griega que se emplea para representar el parámetro que mide la variabilidad de una distribución estadística (desviación típica). Si el proceso sigue una función de distribución de probabilidad normal (nuestra vieja amiga la campana de Gauss) y el intervalo de tolerancia fuera igual a 12σ (seis desviaciones típicas a cada lado del valor nominal), entonces la fracción defectuosa de proceso centrado sería 0.002 ppm. En este caso, se diría que el proceso tiene un nivel de calidad 6σ . Si la amplitud fuera de cinco desviaciones típicas, el nivel de calidad sería de 5σ , y así sucesivamente.

Dos Sigma. 308,538 Defectos por Millones de Oportunidades (DPMO). 69.46% de productos/servicios reúnen los requerimientos de los clientes.

Cuatro Sigma. 6,210 DMPO. 99,376% de productos/servicios reúnen los requerimientos de los clientes.

Seis Sigma. 3.4 DMPO. 99.99966% de productos/servicios reúnen los requerimientos de los clientes.

Naturalmente, en el mundo real los procesos no están estables con la media invariable en el valor nominal. Supongamos que el proceso derivara 1.5σ hacia alguno de los extremos. En este caso, la fracción defectuosa aumentaría hasta 3.4 ppm, que es el objetivo fijado en un Programa Seis Sigma. Este 1.5σ es indudablemente arbitrario y está relacionado con la capacidad de detección de la deriva de los procesos. La razón de por qué hay que considerar un desplazamiento precisamente de 1.5σ está muy cuestionado por los distintos expertos. En la Figura siguiente se pone de manifiesto el efecto del desplazamiento.

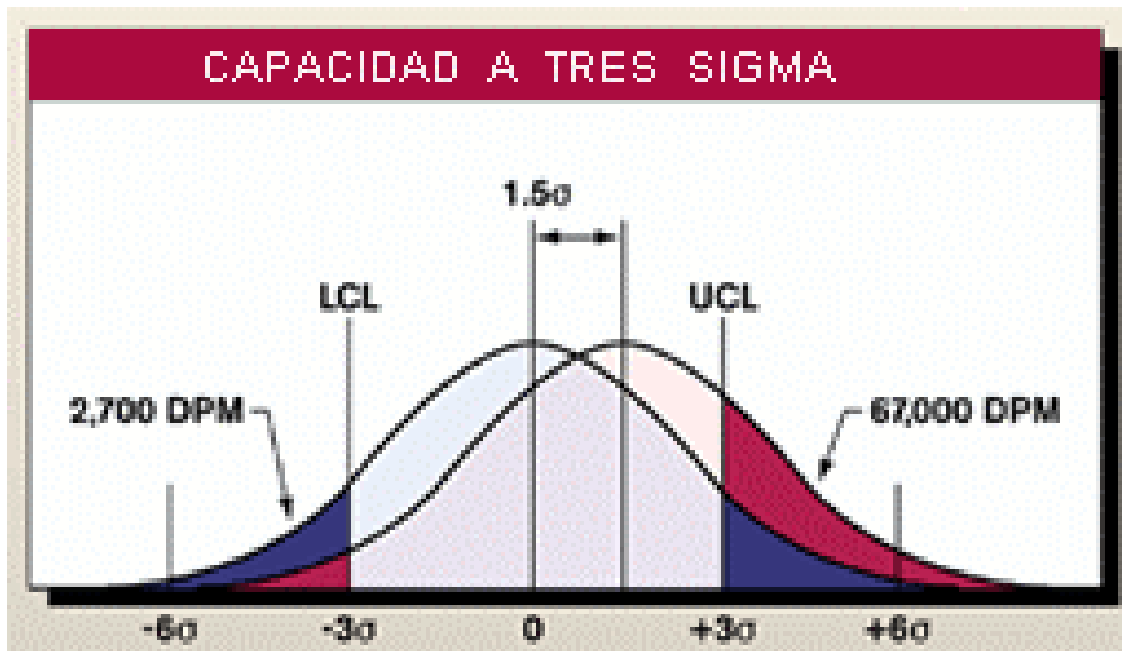


Figura 10. Capacidad a Tres Sigma.

A través de la campana de Gauss, fijado un nivel sigma, es posible conocer la fracción defectuosa y a la inversa. Si no se considera el desplazamiento se denomina nivel a corto plazo (Z_{st}), ya que el proceso no puede operar totalmente centrado de manera indefinida; y si se considera el desplazamiento se denomina nivel a largo plazo (Z_{lt}).

El ancho del proceso, suponiendo normalidad, siempre mide Seis Sigma, el ancho de especificaciones puede medir cualquier cantidad de Sigmas. En la Tabla II se ha presentado la relación que existe entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y lo que en terminología Seis Sigma se denomina FTY (First Time Yield, es decir la fracción de elementos fabricados “bien a la primera sin ningún defecto”). En esta tabla puede observarse que en la medida que se sube de nivel, resulta más difícil la siguiente etapa.

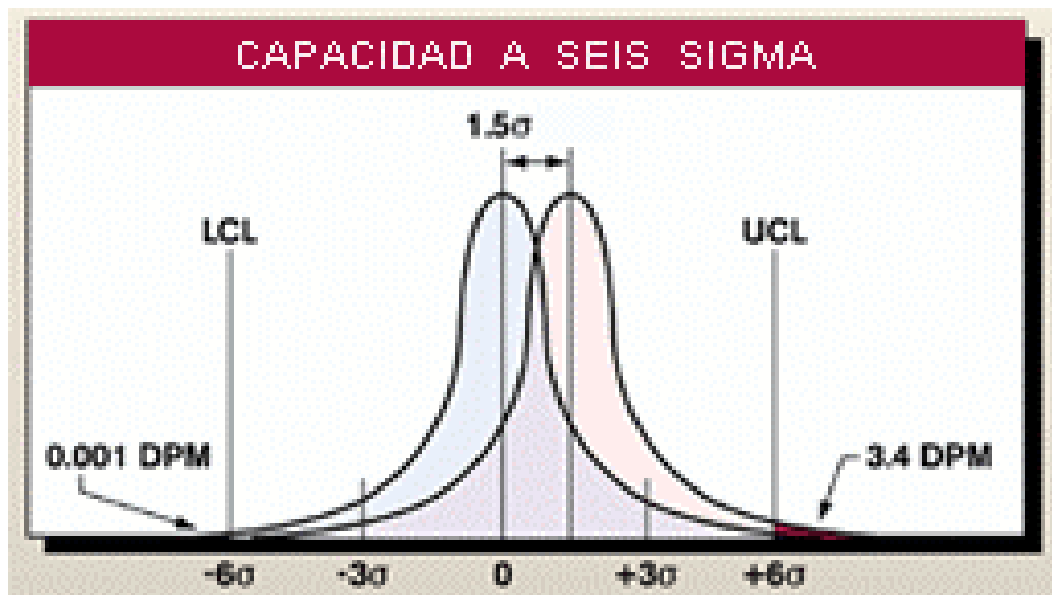
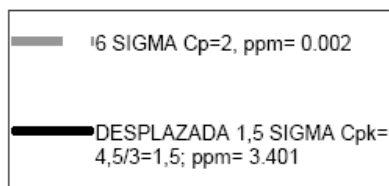


Figura 11. Efecto del desplazamiento en el nivel de calidad sigma.

Tabla V. Relación entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y las unidades fabricadas libres de defectos a la primera (FTY).

NIVEL SIGMA	CENTRADA Frac. Defect. (ppm)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA Frac. Defect. (ppm)	CENTRADA FTY	DESPLAZADA 1,5 SIGMA FTY
3	2,699.93	66,810.63	0.99730007	0.93318937
3.5	465.35	22,750.35	0.99953465	0.97724965
4	63.37	6,209.70	0.99993663	0.99379030
4.5	6.802	1,349.97	0.99999320	0.99865003

NIVEL SIGMA	CENTRADA Frac. Defect. (ppm)	DESPLAZADA 15 SIGMA Frac. Defect. (ppm)	CENTRADA FTY	DESPLAZADA 1.5 SIGMA FTY
5	0.574	232.67	0.99999943	0.99976733
5.5	0.038	31.69	0.99999996	0.99996831
6	0.002	3.40	1.00000000	0.99999660

En la Tabla VI se proporcionan algunos datos indicativos del coste de la calidad en función del nivel sigma.

Tabla VI. Costes aproximados de Calidad en función del nivel sigma

NIVEL SIGMA	COSTE DE LA CALIDAD (% FACTURACIÓN)	OBSERVACIONES
3	25-45%	Baja competitividad
4	15-25%	Situación típica
5	5-15%	Situación de buena competitividad
6	<1%	Situación de excelencia

¿Pero cuánto significa el nivel sigma en términos prácticos? Supongamos que se quiere limpiar una alfombra de 10 m². En la Figura 2 se ha representado la superficie sucia para cada nivel sigma.

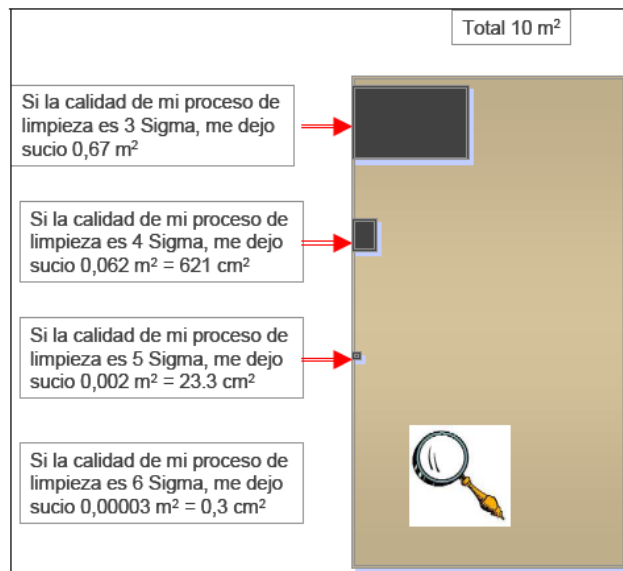


Figura 12. ¿Cuanto significa el nivel sigma?

Cualquier practicante de SPC identificará rápidamente la relación que tiene el nivel de calidad sigma empleado en la metodología Seis Sigma con los índices tradicionales CP y CPK.

Medición Seis Sigma

La calidad es cuantificable y debe 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., para la prestación de servicios y para el diseño de nuevos productos.

Para establecer una sistemática Seis Sigma es necesario que se establezcan ciertos parámetros de medida cuyo conjunto aportará el valor sigma de los procesos, productos, proveedores, talleres, departamentos, etc. Es de gran utilidad expresar estos valores en una gráfica en función del tiempo.

A continuación se detalla como se calcular los valores sigma a partir de las medidas de defectos por millón.

Qué debemos medir

Lo que se debe medir nos lo da la experiencia y el conocimiento del proceso específico que se esté estudiando. Algunas reglas generales para seleccionar las variables de medida son:

VARIABLES IMPORTANTES PARA EL NEGOCIO (características del producto, contenido de mano de obra y materiales incluyendo chatarra y tiempo de ciclo...)

AQUELLO QUE ES RENTABLE MEJORAR Y AQUELLAS VARIABLES QUE SE DESEAN MODIFICAR CON LOS PROGRAMAS DE MEJORA.

AQUELLAS VARIABLES QUE TIENEN QUE GARANTIZAR QUE LOS PROGRAMAS EN MARCHA DEN RESULTADO.

LAS NECESARIAS PARA GARANTIZAR QUE LAS MEJORAS SEAN DURADERAS.

Objetivo de 3.4 ppm

Aparentemente, 3.4 ppm parece un objetivo absolutamente desproporcionado y fuera del alcance de una empresa salvo que esté dispuesta a dilapidar recursos. Lo anterior tiene dos aspectos, el primero es la idoneidad del objetivo y el segundo si puede ser alcanzado de una manera rentable. Abordemos de momento el primer aspecto. En la Tabla IV se representa el FTY en función del número de componentes que lo integran y del nivel sigma con el que han sido fabricados dichos componentes. Por ejemplo, si el elemento está compuesto por 100 componentes distintos, fabricados con 4σ , para que el elemento sea conforme deberán serlo sus 100 componentes, por lo que únicamente se fabricarán bien a la primera el 53.64%. Obviamente esta cifra está lejos de cualquier estándar competitivo, por lo que es necesario que los componentes se fabriquen con un nivel sigma mayor.

Es importante resaltar que este objetivo de 3.4 ppm se aplica a defectos en los procesos de fabricación, no a unidades finales.

Tabla VII. FTY en función del nivel sigma.

Número de componentes	4 SIGMA ppm (1.5 SIGMA) 6.210	5 SIGMA ppm (1.5 SIGMA) 232.7	6 SIGMA ppm (1.5 SIGMA) 3.4
1	99,3790%	99,9767%	99,9997%
5	96,9335%	99,8837%	99,9983%
10	93,9610%	99,7676%	99,9966%
50	73,2382%	98,8432%	99,9830%
100	53,6383%	97,6999%	99,9660%
500	4,4399%	89,0163%	99,8301%
1000	0,1971%	79,2391%	99,6605%
5000	0,0000%	31,2390%	98,3140%

En relación con el segundo aspecto, las empresas pioneras en Seis Sigma han demostrado que esto es posible. Por otra parte, este éxito no debe resultar sorprendente, ya que las herramientas empleadas van encaminadas a la prevención y sobre todo, a incrementar el conocimiento sobre los procesos y las necesidades de los clientes.

Funcionamiento de un programa *Seis Sigma*

Es preciso distinguir dos aspectos diferenciados:

- ☞ La gestión de *Programa Seis Sigma* dentro de la organización.
 - ☞ La gestión de los distintos *Proyectos de Mejora* que se lancen dentro del *Programa Seis Sigma*.
-

La responsabilidad de la gestión de Programa Seis Sigma recae sobre el Champion y habitualmente está apoyado por el maestro de cinturones negros y los cinturones negros. Esta responsabilidad incluye los siguientes aspectos:

- ☞ Introducción del programa en la organización (formación, etc.)
- ☞ Asignación y mantenimiento del presupuesto.
- ☞ Definición de procesos clave y clientes objetivo (a alto nivel).
- ☞ Definición de las métricas de calidad y cuadro de mando (a alto nivel).
- ☞ Definición de las prioridades de mejora.
- ☞ Lanzamiento de los proyectos de mejora:

Justificación del por qué se ha seleccionado este proyecto. Definición objetivos del proyecto de mejora, plazos y condicionantes. Una característica de Seis Sigma es que esta cuantificación tenga un componente financiero, lo cual resulta de máxima utilidad para la dirección.

- a) Asignación de equipos al proyecto.
- b) Aprobación de cada una de las fases del proyecto.
- c) Cierre del proyecto con el reconocimiento de los objetivos alcanzados (es decir, la cuantificación de la mejora).

Una vez que se ha seleccionado y aprobado un proyecto por el Champion, se pasa al segundo aspecto relativo a la gestión de la realización de los Proyectos de Mejora Seis Sigma. A cada uno de estos proyectos se asigna un grupo de trabajo. El responsable del equipo es un cinturón negro, que está apoyado por personal del área del proyecto (expertos en los procesos afectados) y en algunos casos por un cinturón verde que le apoye en alguna tarea auxiliar.

Según sus objetivos, los Proyectos de Mejora Seis Sigma se pueden clasificar en proyectos de mejora de procesos (denominados DMAIC) y proyectos para diseñar productos o servicios que alcancen niveles de calidad Seis Sigma (denominados DFSS).

El método DMAIC

La aplicación de Seis Sigma a la mejora de procesos es la más habitual y se conoce habitualmente como DMAIC, ya que toma la inicial de cada uno de los pasos:

- **D**efine (definir).
- **M**easure (medir).
- **A**nalyze (analizar).
- **I**mprove (mejorar).
- **C**ontrol (controlar).



- 1.1. Validar oportunidad de negocio.
- 1.2. Documentar y analizar procesos.
- 1.3. Definir los requerimientos del cliente.
- 1.4. Construir equipos efectivos de trabajo

- 2.1 Determinar que es lo que se va a medir.
- 2.2 Usar medidas.
- 2.3 Entender la variación.
- 2.4 Determinar el desempeño o Sigma.

- 3.1 Analizar y estratificar el proceso.
- 3.2 Determinar las causas raíz.
- 3.3 Validar las causas raíz.
- 3.4 Usar creatividad.

- 4.1 Generar ideas de mejora
- 4.2 Evaluar y seleccionar soluciones.
- 4.3 Presentar recomendaciones.
- 4.4 Implementar cambio.

- 5.1 Desarrollar y ejecutar programa piloto.
- 5.2 Planear e implementar soluciones.
- 5.3 Integración de procesos.
- 5.4 Clausura y reconocimiento.

Es indiscutible la relación que tiene con el clásico ciclo de mejora PDCA (Plan-Do-Check-Act) de Shewhart-Deming. Esto pone de manifiesto, una vez más, que Seis Sigma tiene muy pocas aportaciones originales y que su gran mérito ha sido conseguir estructurar cada uno de estos pasos de una manera sistemática. Es importante tener en cuenta que el paso de una etapa a la siguiente ha de ser autorizado por el Champion una vez que se ha demostrado que se han alcanzado los objetivos de la misma. A continuación se describe cada una de estas etapas.

La etapa Definir

Definir de forma cuantitativa las necesidades de los clientes y lo que constituye un ‘defecto’. Establecer los objetivos concretos de mejora.

El objetivo de esta fase es definir los objetivos del proyecto así como las limitaciones existentes. Por lo tanto es preciso llegar a una definición inequívoca de los requisitos que debe cumplir el proceso (expectativas de los clientes del mismo). Estos requisitos deben analizarse y jerarquizarse y en terminología Seis Sigma se denominan habitualmente CTQ (Critical To Quality). Resulta esencial que estos requisitos sean medibles.

En esta fase debe definirse con todo detalle el proceso que se va a mejorar, ya que de otro modo no sería posible saber si las posibles mejoras están relacionadas con los cambios realizados en el mismo. Para ello debe realizarse un diagrama de flujo del proceso en el que se incluyan todos los detalles que se espera que puedan afectar al resultado.

Para facilitar la recopilación jerarquización y despliegue de estos requisitos, resulta muy útil aplicar técnicas 1.

La etapa Medir

Medir la capacidad o rendimiento del proceso frente a las necesidades de los clientes. Recopilar datos sobre éste para su posterior análisis.

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. Este objetivo no se podría alcanzar si no se dispusiera de datos, por lo que es preciso

medir. En esta fase se recopilan los datos que describen el comportamiento del proceso. Para asegurar la consistencia de estos datos, debe planificarse adecuadamente las mediciones a realizar. En procesos industriales esto debe incluir la utilización de equipos de medidas adecuados y calibrados, la definición del procedimiento de medida a emplear y la realización de un estudio R&R que asegure que la variabilidad del proceso de medida es irrelevante frente a la variabilidad del proceso a mejorar.

En esta fase también debe decidirse la estrategia de investigación que se va a seguir. Básicamente, existen dos posibles estrategias. La primera de ellas consiste en la toma de datos procedentes de la operación normal del proceso y la segunda posibilidad consiste en investigar el comportamiento del proceso variando los parámetros de operación del mismo, empleando técnicas de diseño estadístico de experimentos (DOE). En el primer caso conviene estratificar la muestra en función de las posibles fuentes de variabilidad y en el segundo es preciso identificar previamente qué parámetros son los que pueden afectar al proceso, así como su rango de variación.

Además deben medirse los costes de calidad, COPQ (Cost of Poor Quality) en terminología Seis Sigma, en los que está incurriendo el proceso. Estos datos son básicos para realizar posteriormente la cuantificación de las mejoras financieras. En esta fase necesariamente:

- ☞ Deben definirse las características CTQ.
- ☞ Debe validarse el sistema de medida de las CTQ.

La etapa Analizar

Analizar estadísticamente los datos para identificar los factores críticos que afectan al funcionamiento del proceso y el origen de los errores.

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. La solución propuesta debe estar amparada por datos. En esencia se basa en la aplicación del “método científico”. Por esta razón, el papel de un cinturón negro puede verse como una mezcla de detective y científico. Todo esto lleva a la adquisición de conocimientos sobre el comportamiento de los procesos, de manera que se puede predecir las características de calidad en función de los valores aplicados a los parámetros del proceso.

Típicamente, en esta fase se realizan los análisis de los datos estadísticos recogidos, de manera que permita alcanzar conclusiones. Es decir, se trata de explicar el comportamiento del proceso (tanto de los valores de los requisitos CTQ como de la variabilidad de los mismos) en función de los parámetros del proceso que tengan mayor influencia (que en terminología Seis Sigma se denominan CTP, Critical to Process). Las técnicas estadísticas a emplear varían según los casos, pero en la mayor parte de los casos puede ser suficiente emplear técnicas simples de estadística descriptiva (EDA, Exploratory Data Analysis) y análisis de regresión. Las conclusiones obtenidas pueden ser absolutamente concluyentes, de manera que se identifiquen qué mejoras deben introducirse (por ejemplo, valores de operación de los parámetros, características de la materia prima, etc.) o simplemente pueden proporcionar algunas pistas hacia donde debe dirigirse el estudio del proceso. Como puede verse claramente ahora, no es otra cosa que la aplicación de método científico de investigación a los procesos.

La etapa Mejorar

Identificar y verificar estadísticamente posibles mejoras.

El objetivo de esta fase es demostrar con datos que la solución propuesta resuelve el problema y supone una mejora. Junto con la fase anterior, la utilización de las herramientas estadísticas es esencial.

En esta fase se trata de la puesta en práctica de la “solución” obtenida en la fase anterior. En algunos casos esta puesta en práctica puede ser inmediata (por ejemplo, cambio de la temperatura de trabajo de un horno), pero en otros puede ser más lenta (por ejemplo, por requerir la preparación de utillaje especial).

Una vez puesta en marcha la “solución”, se trata de verificar si los resultados del “nuevo proceso” son mejores que los del proceso “antiguo” y llegar a la optimización final. Obviamente el análisis estadístico es de gran ayuda para respaldar estas conclusiones. En el caso de que los datos obtenidos respalden las mejoras, puede adoptarse esa solución y pasar a

la siguiente fase. En caso contrario, debe aprovecharse la información obtenida para definir las siguientes investigaciones. En esta fase necesariamente:

- ☞ Deben fijarse los valores óptimos de los **CTP**.
- ☞ Deben quedar definidas las tolerancias de los parámetros.

La etapa Controlar

Establecer controles que aseguren la sostenibilidad de las mejoras introducidas.

El objetivo de esta fase es asegurarse de que la mejora se incorpora a la operativa normal. Sin esta fase todo lo anterior no valdría para nada. La implantación de la “solución” de una manera permanente tiene tres aspectos diferenciados:

- ☞ *Definición de responsabilidades del proceso una vez finalizado el proyecto de mejora.* El nuevo proceso puede requerir nuevas actividades a las que sea preciso asignar personal responsable.
- ☞ *Establecimiento del sistema de control del proceso.* Se trata de definir la estrategia de control más adecuada para los **CTP** (y en algunos casos también para los **CTQ**). En general esta estrategia puede ser de tipo SPC, Poka Yoke, etc. Esto puede incluir la validación del sistema de medida que se emplee en producción.
- ☞ *Ejecución del ciclo de control por los responsables del proceso.* Antes de retirarse del proceso de mejora, el *cinturón negro* debe responsabilizarse de que el personal asignado al proceso puede operar el mismo una vez que se hayan introducido las modificaciones. En unos casos puede ser necesaria la realización de formación sobre el puesto de trabajo, en otros, una redefinición de responsabilidades, etc.

Una vez finalizada esta fase, se procedería al cierre del proyecto y a la cuantificación de las mejoras alcanzadas.

Como metodología Seis Sigma sitúa al cliente en el centro y se 'alimenta' de datos. Como programa de mejora se estructura en proyectos y persigue obstinadamente resultados. Equipos liderados por Black Belts (especialistas en la metodología Seis Sigma) ejecutan de

forma continua proyectos de alto impacto, con una duración de 4 a 5 meses, y siempre buscando resultados tangibles.

Proyecto DFSS

DFSS (Design for Six Sigma o Diseño para Seis Sigma) se centra en el diseño de nuevos procesos, productos y servicios con niveles de rendimiento 6 Sigma. Utiliza métodos estadísticos y cuantitativos para establecer los requerimientos de los clientes, y para desarrollar, validar y optimizar diferentes diseños. DFSS no sustituye al proceso de introducción de nuevos productos que pueda tener la empresa. Lo complementa y mejora.

Es bien sabido que no puede haber una buena calidad si no hay un buen diseño. La idea del DFSS es anticiparse en la etapa de diseño de manera que se eliminen o neutralicen las causas que pueden propiciar no conformidades. Sin embargo DFSS, no llega a un nivel de detalle metodológico comparable al DMAIC. Una de las causas que explican este hecho puede ser la heterogeneidad de situaciones que pueden encontrarse bajo la palabra “diseño”. En efecto, seguramente tiene muy poco en común diseñar un nuevo modelo de teléfono móvil, una póliza de seguros o el sistema contraincendios de un aeropuerto.

Dentro de DFSS existen varias escuelas, entre las que se encuentran las siguientes:

- ∞ **DMADV (Define, Measure, Analyze, Design and Verify)**. Probablemente es la más difundida y es una adaptación de **DMAIC** a un proceso de diseño. Por esta razón funciona bien cuando se aplica al diseño de nuevos procesos. DMAIC se orienta a la mejora de procesos existentes,

 - ∞ **IDOV (Identify, Define, Optimize, Validate)**. Probablemente sea esta la versión que mejor se adapte a los casos de diseño de productos industriales.

 - ∞ **DCCDI (Define, Customer, Concept, Design, Implementation)**. La opinión del autor es que resulta muy difícil definir una metodología de diseño que se adapte con éxito a cualquier situación, organización y tipo de producto o servicio. Por lo tanto, la
-

metodología más adecuada ha de ser definida para cada caso particular, tomando como partida cualquiera de las anteriores y ha de hacer uso de las siguientes herramientas y técnicas:

- ☞ **AMFE.**

- ☞ **QFD.**

- ☞ **Benchmarking.**

- ☞ **DOE**, en particular las aplicaciones dirigidas a diseños robustos.

- ☞ Técnicas de simulación (en algunos casos, en combinación con **DOE**).

Existen diferentes versiones de la metodología DFSS. Cada empresa la adapta a su situación y necesidades concretas. Todas comparten el mismo planteamiento y herramientas de diseño. Una de las versiones más conocidas es la DMADOV:

- ☞ **Define.** Definir los objetivos del proyecto, y las necesidades y requerimientos de los clientes internos y externos.
 - ☞ **Measure.** Determinar y medir las especificaciones. Realizar un benchmark de competidores.
 - ☞ **Analyse.** Identificar, analizar y evaluar alternativas de diseño que se ajusten a las necesidades de los clientes.
 - ☞ **Design.** Realizar el diseño detallado de la opción seleccionada.
 - ☞ **Optimize.** Optimizar el diseño, desde un punto de vista de productividad (cliente interno) y de calidad/prestaciones (cliente externo).
 - ☞ **Verify.** Verificar que el diseño cumple las necesidades de los clientes, y establecer controles que aseguren su funcionamiento sin defectos.
-

CAPÍTULO 6
IMPLEMENTACIÓN DE
SEIS SIGMA

Estructura del Proceso

El management Seis Sigma se resume en los siguientes procesos directivos:



Figura 13. Procesos Seis Sigma.

La segunda de ellas tiene un carácter “estratégico” para conseguir diferenciación. Consistiría en la aplicación de la metodología Seis Sigma para conseguir un grado de dominio de los procesos que permita poner en el mercado productos o servicios con unas características muy superiores a las de la competencia y que sean apreciadas por el cliente. Ejemplos podrían ser conseguir plazos de entrega muy inferiores a la competencia, piezas con tolerancias más estrechas o características mecánicas superiores, etc. Sin que sea posible generalizar a todos los casos, en general puede decirse que:

Antes de lanzar un Programa Seis Sigma a toda la organización, puede ser conveniente hacer una prueba piloto de tipo “táctica” con algunos procesos. Para hacer una utilización “táctica” no es preciso contar con cinturones negros propios. Pueden ser colaboradores externos tanto para lanzar el programa como para el mantenimiento del mismo si no se desea cargar a la organización de costes fijos. En el caso de optar por un colaborador externo, es

absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente. Si se opta por formar personal, en este caso debe analizarse minuciosamente el programa de formación a seguir.

Para hacer una utilización “estratégica” es conveniente partir de un grado de dominio de los procesos similar al de la competencia. En general, en este caso el compromiso de la empresa con el Programa Seis Sigma es mayor y por lo tanto está plenamente justificado que los cinturones negros sean de plantilla. Si la organización no cuenta con alguien que reúna los conocimientos suficientes para el perfil de maestro de cinturones negros, pueden optar por un colaborador externo. Análogamente al caso anterior, es absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente.

Cuando miramos la forma de trabajar de “Seis Sigma”, vemos que su metodología es directamente aplicable a cualquier empresa siempre y cuando la empresa se tenga un enfoque adecuado alcanzable por todas las empresas. Los proyectos de “Seis Sigma” tienen tres características principales: un problema a solucionar, un proceso en el que exista ese problema, y una o más medidas relacionadas con el problema.

Cuando miramos la forma de trabajar de “Seis Sigma”, vemos que su metodología es directamente aplicable a cualquier empresa siempre y cuando la empresa se tenga un enfoque adecuado alcanzable por todas las empresas. Los proyectos de “Seis Sigma” tienen tres características principales: un problema a solucionar, un proceso en el que exista ese problema, y una o más medidas relacionadas con el problema. Estas características están presentes en muchas áreas de la mayoría de las organizaciones y se pueden cumplir en todas ellas con muy poco esfuerzo.

Iniciativas en la mejora de la calidad han encontrado en el pasado muchas oportunidades de mejora en la mayor parte de las empresas. Desgraciadamente, no han producido el necesario y deseado impacto financiero. Aquí es donde “Seis Sigma” y sus programas de enfoque de rendimiento pueden ayudar. Como apuntábamos antes, “Seis Sigma” proporciona mejoras en la calidad que dan como resultado rendimientos significativos. La propuesta encuentra la justa medida, proyectos adecuados, gente adecuada, mapas de ruta adecuados y herramientas que producirán los resultados adecuados.

La organización Seis Sigma implica crear equipos de alto rendimiento con tutores (Black Belt o Green Belt) que funcionen muy eficientemente, donde se realice un nuevo trabajo de alta colaboración, donde el diálogo y los actos lingüísticos sean los métodos de trabajo cotidiano. Más que entregar la Estrategia Seis Sigma a un responsable de métodos estadísticos, la empresa debe crear en su interior una verdadera red de compromisos para la acción. Nuevas figuras de trabajo en equipo como la gestión visual, conversación, gestión de proyectos y trabajo colaborativo hacen parte de la práctica Seis Sigma.

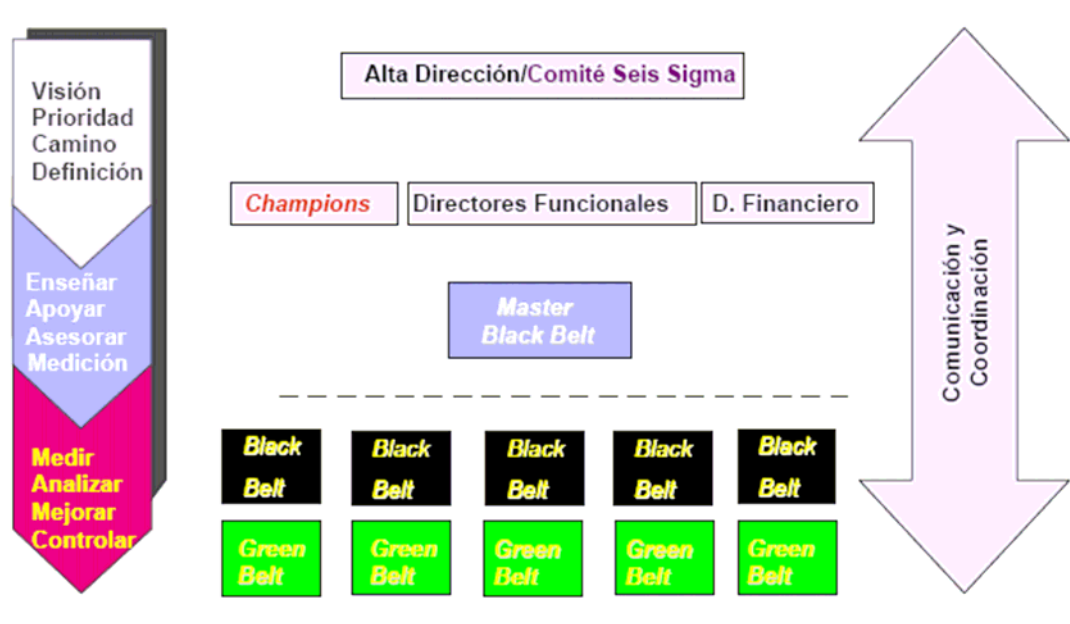


Figura 16. Estructura de proyectos para Seis Sigma.

La organización clásica de un Programa Seis Sigma en una empresa consta de los siguientes perfiles:

∞ **Dirección superior.**

∞ **Champion (Campeón, Paladín, etc.).** Directores y Gerentes. Es el directivo responsable del programa. Supervisa y apadrina el *Programa Seis Sigma*. No tiene que ser un experto en herramientas estadísticas, es suficiente que conozca solo los fundamentos y las implicaciones. Sin embargo es esencial su reconocimiento por los

otros directivos, autoridad y personalidad. Es responsable de la asignación de recursos al *Programa* y de la selección de los proyectos de mejora.

☞ **Master Black Belt, MBB (maestro de cinturones negros).** Muy experto en herramientas de mejora. Es el mentor de los cinturones negros, les aconseja en la aplicación de las distintas técnicas, etc. Coordina los distintos proyectos de mejora.

☞ **Black Belt, BB (cinturón negro).** Experto en herramientas de mejora asignado a un proyecto. No realiza actividades de “producción” y **está dedicado únicamente a los proyectos de mejora.** El *cinturón negro* apoya al propietario del proceso en la mejora del mismo y es el responsable del proyecto de mejora.

☞ **Green Belt, GB (cinturón verde).** Formado en herramientas básicas de mejora. Realiza actividades de “producción” y puede apoyar al *cinturón negro* en la recogida de datos, etc. Un “Green Belt” es un individuo que comprende los métodos estadísticos y pertenece a uno o más equipos de mejoramiento de Seis Sigma apoyando en el desarrollo de proyectos que eleven la calidad de los procesos de producción y de servicios disminuyendo considerablemente los costos por este concepto.

El nombramiento para el desempeño de estos papeles va acompañado de un intenso programa de formación. A título de ejemplo, la formación de un cinturón negro consta de unas 160 horas, extendidas a lo largo de varios meses en los que se van realizando aplicaciones prácticas reales en proyectos de mejora de su empresa.

Junto con una buena formación, posiblemente otra de las causas que ha facilitado el éxito de Seis Sigma ha sido esta jerarquización de las responsabilidades de mejora. En la

actualidad están apareciendo más cinturones (por ejemplo, cinturones amarillos) lo cual no está justificado en la mayor parte de los casos¹.

Algunas organizaciones practicantes de Seis Sigma han optado por otras denominaciones que se adaptan mejor a su cultura de empresa; por ejemplo “Cow boys”, “Green Berets”, etc. En España esto podía llevar a denominarlos “Matador”, “Pelotari”, “Cap de colla”, etc., si bien nuestro tradicional sentido del ridículo seguramente impedirá que se llegue a estos extremos. Una vez más, la jerga no debe esconder las ideas que llevan detrás.

Aplicación de *Seis Sigma* a las organizaciones

Iniciativas en la mejora de la calidad han encontrado en el pasado muchas oportunidades de mejora en la mayor parte de las empresas. Desgraciadamente, no han producido el necesario y deseado impacto financiero. Aquí es donde “Seis Sigma” y sus programas de enfoque de rendimiento pueden ayudar.

Una organización puede aplicar Seis Sigma de dos maneras diferentes. La primera de ellas, que podemos denominar “táctica”, consistiría en la aplicación de la metodología Seis Sigma a la mejora de los procesos clave que están dando problemas.

Esta filosofía promueve la utilización de herramientas y métodos estadísticos de manera sistemática y organizada, para el logro de mejoras dramáticas y medibles por su impacto financiero. El ingrediente secreto que hace que funcione, reside en la infraestructura que se establece en la organización. Esta infraestructura, es la que motiva y produce una cultura "*Seis Sigma*" que junto con un "*Proceso de Pensamiento*" en toda la organización, genera un estilo de "*Gerencia Basada en Conocimientos*".

El soporte y compromiso por parte de la Alta Gerencia es vital y fundamental, para lo cual se entrenan y definen los **Maestros** (también conocidos como *Champions*), quienes son los dueños de los proyectos críticos para la organización. Para desarrollar estos proyectos se

¹ En las artes marciales, los cinturones en orden creciente son blanco, amarillo, naranja, verde, azul, marrón y negro. A su vez, dentro de los cinturones negros existen diez categorías o “dan”.

escogen y preparan **Expertos** (conocidos como: *Master Black Belt, Black Belt, Green Belt*), quienes se convierten en agentes de cambio para impulsar y desarrollar estos proyectos, en conjunto con los equipos de trabajo seleccionados para los mismos.

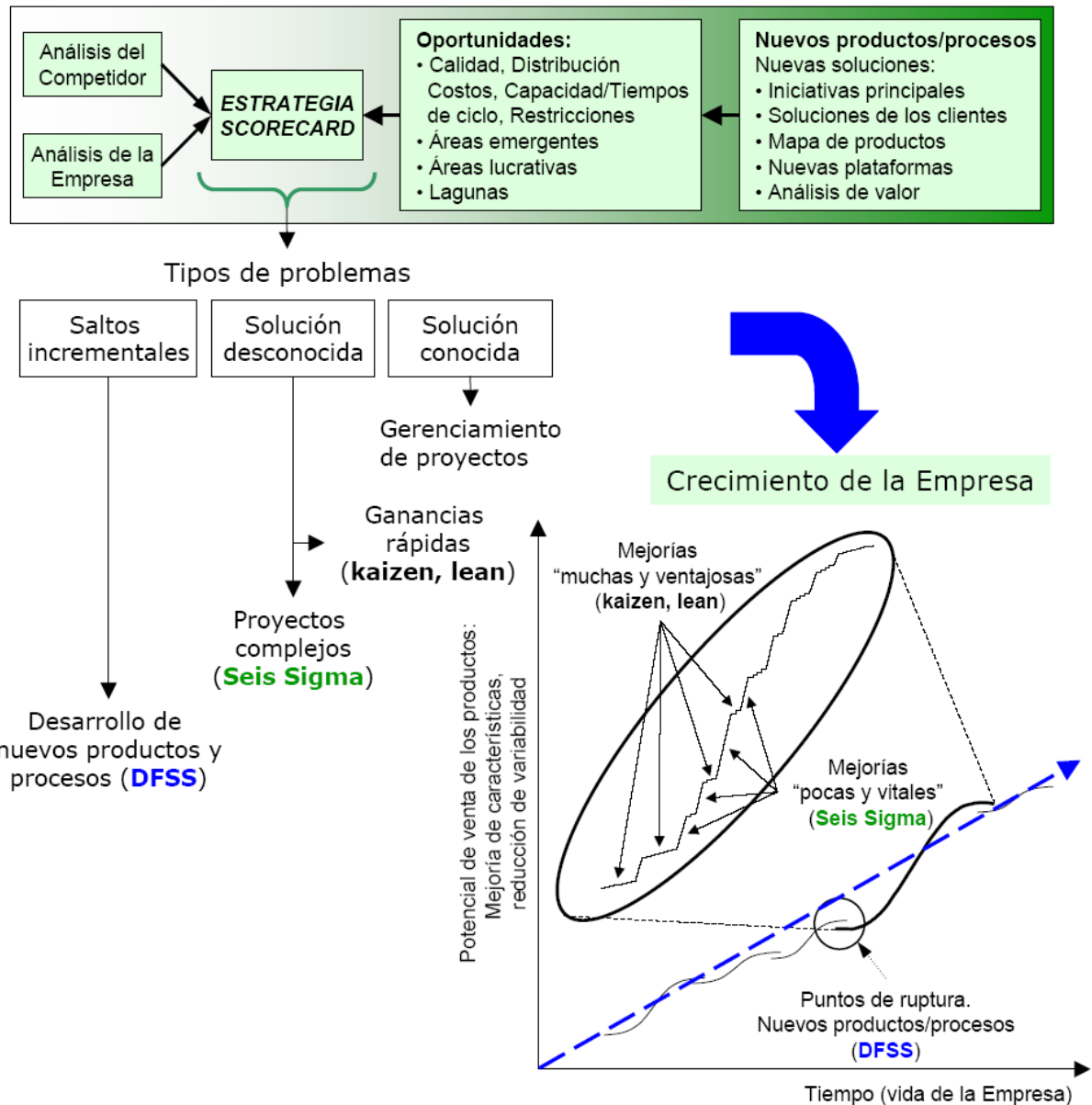


Figura 14. Metodología Seis Sigma.

De esta manera conseguiría una reducción de costes de calidad, reducción de reclamaciones de clientes, etc. Este enfoque es compatible con la estrategia de liderazgo en

coste. Implantar Seis Sigma implica concebir un sistema de intervención de la organización que actúe en los siguientes frentes:



Figura 15 Aplicación estratégica de Seis Sigma.

Crear una cultura nueva de eficacia y alta productividad orientada a la mejora económica. Los proyectos Seis Sigma deben ser de alto impacto y la empresa debe prepararse para fortalecer valores culturales como la integración funcional, ya que la mayoría de las grandes oportunidades de mejora se encuentran cuando se analizan los procesos horizontales de la compañía. Esta es una función de la dirección, lograr integrar las diferentes funciones para la mejora de las operaciones del negocio. Este es apenas un ejemplo de la labor directiva en una Estrategia Seis Sigma y esto no se logra aplicando métodos estadísticos; este cambio se logra con un nuevo liderazgo, ejemplo y trabajo de dirección de alineamiento estratégico de las áreas.

Cultura de empresa:

- ☞ Valor de los datos - información – conocimiento.
 - ☞ Orientación hacia el cliente.
 - ☞ Orientación al proceso y el negocio como sistema.
-

- ☞ Valor del conocimiento profundo de los procesos.
- ☞ Principio de variabilidad.
- ☞ Mejora de todas las actividades del negocio.

Sistemas de dirección:

- ☞ Seis Sigma y estrategia corporativa.
- ☞ Objetivos Seis Sigma.
- ☞ Despliegue de políticas Seis Sigma.
- ☞ Gestión de proyectos.
- ☞ (DM - DRW) Daily Managent / Daily Routine Work.
- ☞ Cross Functional Management.
- ☞ Knowledge Management.

Gestión Humana

- ☞ Formación y entrenamiento.
 - ☞ Desarrollo de competencias.
 - ☞ Gestión orientada al proceso.
 - ☞ Evaluación del desempeño.
 - ☞ Políticas de retribución.
-

Aplicación de Sigma a los servicios

Hasta ahora, la aplicación de la gestión de la calidad a las organizaciones de servicios ha ido muy por detrás con respecto a las empresas industriales. Incluso, en una empresa industrial, el grado de aplicación de la gestión de la calidad a los procesos de servicio ha sido mucho menor que en los procesos industriales. Incluso en alguna de estas últimas, las áreas de servicios administrativos son “terra ignota para la calidad”. Aparentemente, la campana de Gauss “apuesta” a proceso industrial con una métrica de calidad de tipo “variables”. La calidad de la mayor parte de los procesos de servicio es muy difícil de medir y normalmente solo admiten métricas de tipo “atributos”, “discretas” o “cualitativas”. Esto ha hecho más difícil la introducción de los programas de mejora de calidad. Sin embargo, empleando relaciones de estadística elemental, es posible convertir estas características de tipo discreto en nivel sigma (basta con leer la Tabla 1 de forma inversa). Por ejemplo, si la dirección de una empresa fija el objetivo a nivel corporativo de que sus procesos clave deben alcanzar un nivel “ 4.5σ ”, afecta por igual a todos los procesos considerados clave, con independencia de que sean de fabricación o de servicio. Esto es uno de los puntos fuertes de Seis Sigma.

Algunos procesos de servicio son especialmente favorables para la aplicación de Seis Sigma porque generan muchos datos. Ejemplos típicos son los procesos bancarios, compañías de seguros, transporte, etc. A estos procesos se denominan transaccionales ya que su éxito depende de que se realicen correctamente transacciones datos.

Tiempo requerido para alcanzar un nivel de calidad “*Seis Sigma*”

A esta pregunta no se puede responder de una manera concluyente. En la Figura 3 se representan los tiempos que habitualmente se consideran necesarios para progresar. Por ejemplo, para progresar de 3σ a 4σ se precisa un año; para progresar de 4σ a 5σ se precisa

algo más de un año. A partir de 5σ aproximadamente aparece un muro que hace muy difícil el progreso.

La esencia de la misma es que tras unos primeros progresos (que se denomina habitualmente “la recogida de la fruta de las ramas bajas”, que pueden conseguirse con poco más que aplicar el sentido común), a partir de un punto (cuya situación puede variar según los criterios seguidos en la cuantificación del nivel sigma) la dificultad se incrementa exponencialmente y resulta imprescindible la aplicación de personal preparado en la aplicación de herramientas más sofisticadas (DOE, etc.). Con la aplicación de estas herramientas puede rediseñarse el producto o el proceso de manera que se pueda continuar con la mejora.



Figura 16. Nivel Sigma.

La figura anterior presenta los tiempos considerados normales de transición entre niveles sigma.



CAPÍTULO 7

EJEMPLO DE UN PROYECTO SEIS SIGMA

Aplicación práctica

Un ejemplo real de un proyecto Seis Sigma, se llevó a cabo en una ensambladora de camiones, para reducir variabilidad en los procesos de alineación de ruedas.

Los primeros pasos se enfocan a establecer la base del problema, ¿en que voy a trabajar y por qué?

CTQ

Alineación de ruedas valores de camber /caster en unidades ligeras 4x4.

Objetivos del proyecto

Se requiere construir camiones ligeros 4x4 y debido a esto será necesario implementar un dispositivo de ajuste de alineación.

Inicialmente se pretende reducir en un 70 % el costo inicial de un dispositivo de ajuste Camber – Caster implementando un dispositivo más eficiente en exactitud y precisión. El costo inicial del dispositivo es de 286,000 US Dólares, para lograrlos se indican los siguientes objetivos:

- Reducir los reclamos de garantía (DPMO's), en Camber/Caster a la alineación de ruedas en un 70% (problemas de ajuste) en camiones ligeros 4x4.
- Reducción de costo de dispositivo reduciendo la variabilidad del proceso.
- Reducir el costo del dispositivo en 90,000 US dólares.

Organización

- Se formó un grupo de trabajo y se desarrolló un plan de acción para el desarrollo de un nuevo dispositivo en base al proceso DMAIC y al diseño para Seis Sigma.
-

- Se realiza la etapa de medición.
- Se efectúa doe (con referencia en el brazo de control).
- Se implementa la nueva referencia en el nuevo dispositivo
- Revisión de resultados
- Se implantó un plan de control.

Estableciendo el grupo de trabajo, se recomienda una reunión inicial con el grupo donde se explique la razón, los objetivos y los roles y responsabilidades de cada integrante en el desarrollo del proyecto.

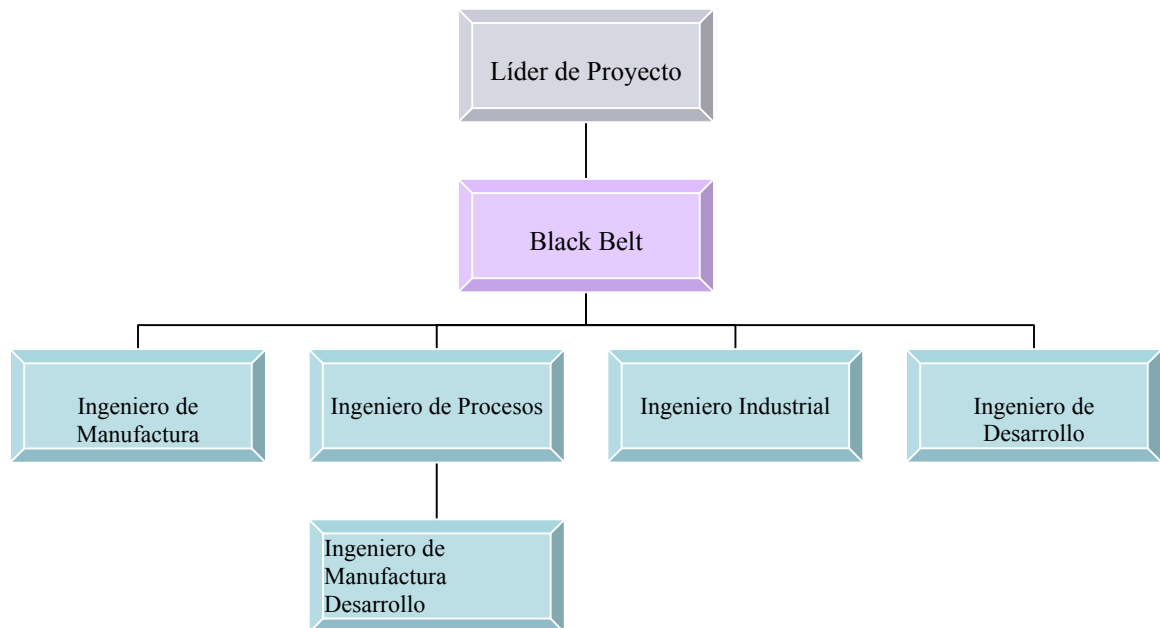


Figura 17. Grupo de Trabajo.

Alcance del proyecto

Unidades de camión ligero 4x4 serán incorporadas en producción y por esta razón será necesaria la implantación de una operación de alineación, ajustando camber y caster, actualmente en plantas similares se utiliza un dispositivo de ajuste.

Se sugiere la implementación de la operación de ajuste camber – caster con un dispositivo de nuevo diseño que permita ahorros en garantías y en su costo inicial.

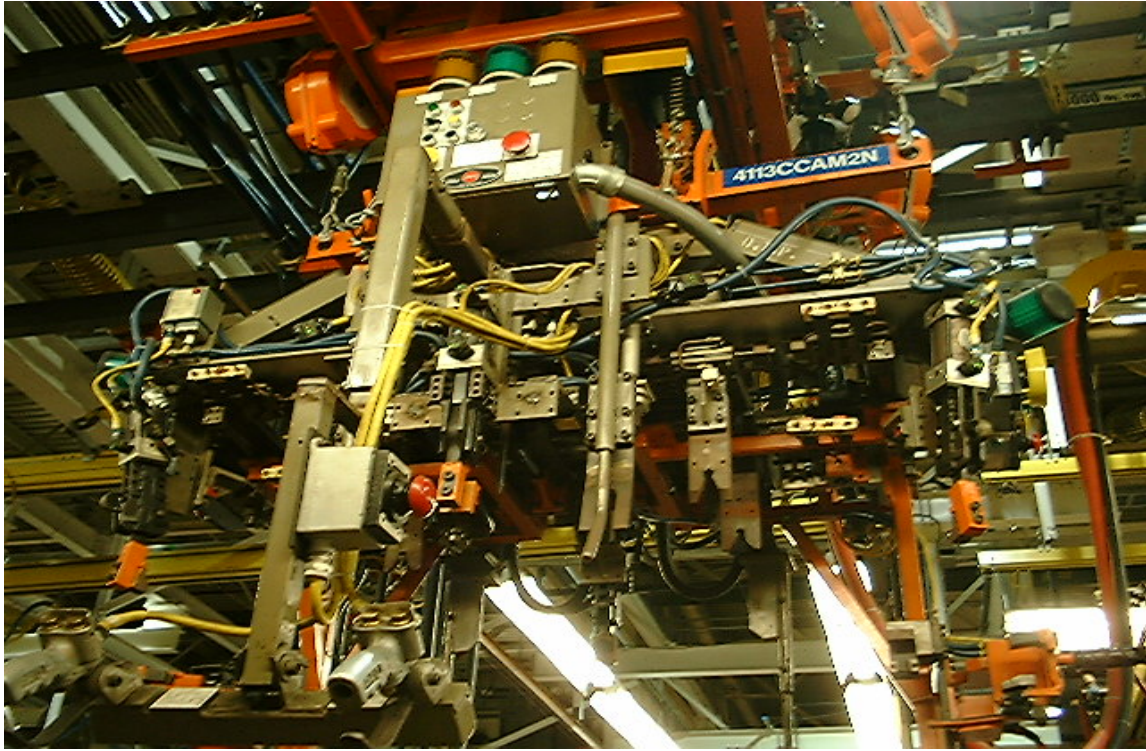


Figura 18. Equipo Original Propuesto

Identificación y análisis de Parámetros

Un diagrama de flujo del proceso, nos permite identificar, las áreas de oportunidad para la mejora.

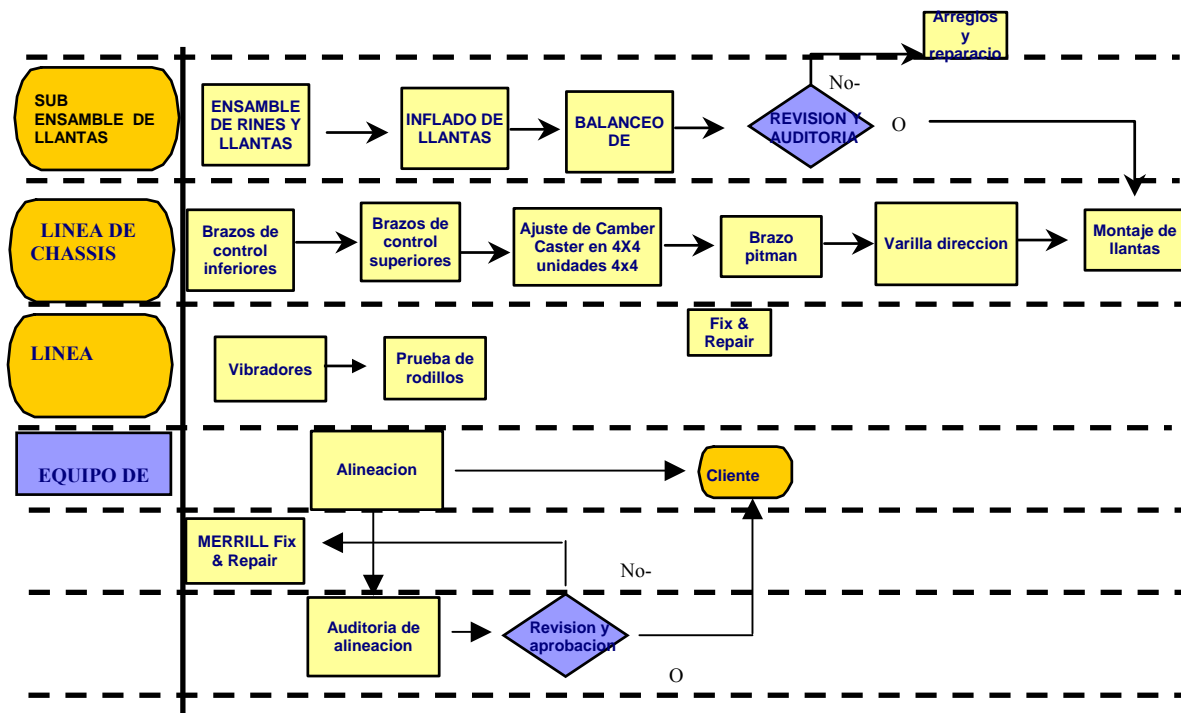


Figura 19. Diagrama de Flujo del Proceso.

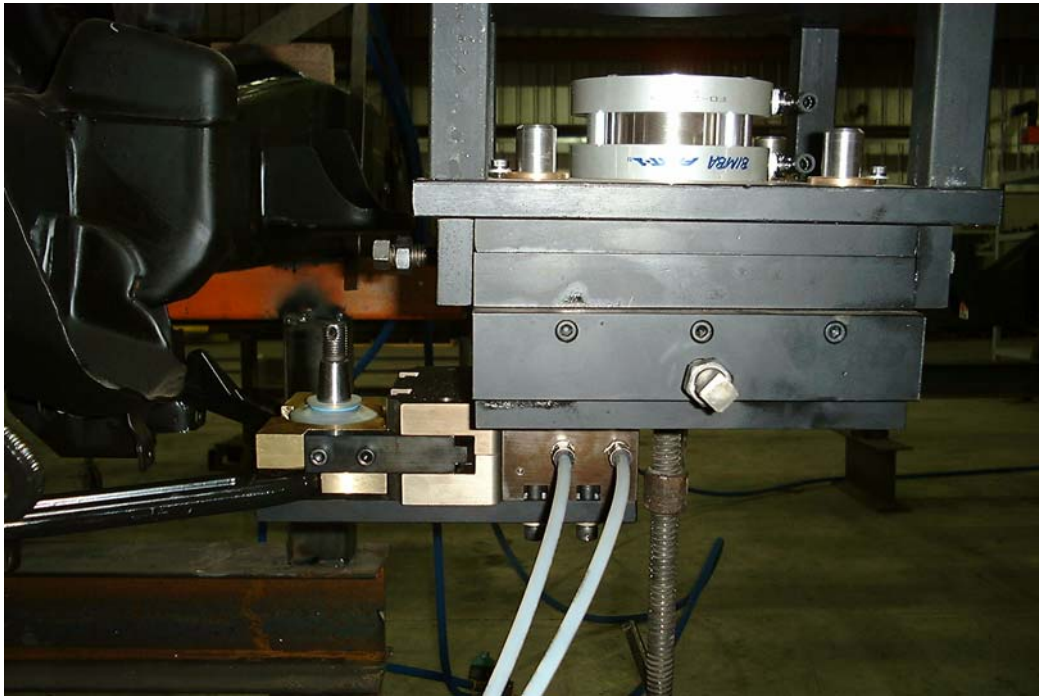


Figura 20. Foto del proceso final.

Se realizó un diagrama de espina de pescado para buscar las fuentes de variación que intervienen en el ajuste de camber caster, se muestran en rojo las que el grupo encontró, y son las que serán usadas para el desarrollo del proyecto.

Y junto con un diagrama de espina de pescado, se pueden establecer las bases para una mejora de proceso.

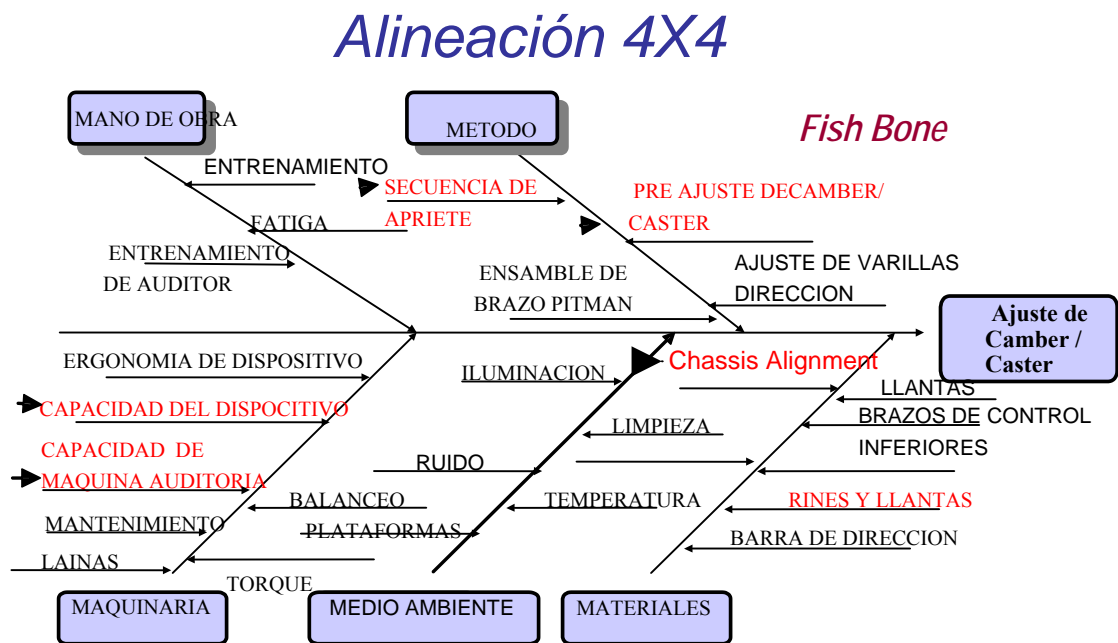


Figura 21. Diagrama de Espina de Pescado.

Las dos herramientas anteriores, nos permiten finalmente el desarrollo de una matriz causa efecto, donde se determinan las oportunidades reales de mejora.

QUE		COMO						Peor	Igual	Mejor
		↑ capacidad de equipo ajuste	↑ Equipo de facil uso	↑ Diseño del equipo	Entrenamiento trabajadores	Mantenimiento	Procesos			
Alineacion Camber /Caster	5	9	3	9	1	1	9			
		45	15	45	5	5	45			
Tiempo ciclo maquina de alineacion	4	9	3	9	1	1	3			
		36	12	36	4	4	12			
Volante fuera de alineacion	3	9	3	3	1	1	3			
		27	9	9	3	3	9			
Cargas de trabajo de alineacion	2	0	9	9	0	0	9			
		0	18	19	0	0	18			
		108	54	109	12	12	84			

OPORTUNIDADES DE MEJORA

Figura 22. Matriz de causa – efecto.

Análisis de modo y efecto de fallas potenciales

Se debe prevenir los potenciales efectos y fallas.

FMEA								
PROCESS DESCRIPTION	POTENTIAL FAILURE MODE	POTENTIAL FAILURE EFFECTS	SEVERITY	POTENTIAL CAUSES	CURRENT CONTROLS	DETECTION	RECOMMENDED ACTIONS	
4x4 camber caster adjustment for local & sport vehicles.	Readings out of specification due to equipment capability.	Vehicle consistently drifts/pull to one side.	5	Process out of control due to Equipment design	SIG OFF	3	120	Design revision before equipment construction
			5	Process out of control due to Equipment not ergonomic	SIG OFF	3	75	Ergonomic review during equipment design & construction process
			5	Process out of control due to not good references on chassis	SIG OFF	4	80	Establish master holes for fixture reference.
			5	Camber Caster Measures affected by others alignment factors [TGE]	HUNTER AUDIT	4	80	Establish relation ship between toe & camber / caster
			5	Hunter Audit equipment out of capability	CALIBRATION AUDIT	8	160	& R study for Hunter equipment.
			5	No good reference on upper control arm due to losing attachment.		8	160	Review upper control arm reference attachment system.

Figura 23. Análisis de fallas potenciales.

Ahorros potenciales

70 % Reducción en el costo inicial del dispositivo que es de 286,000 US Dólares.

70 % reducción en DPMO's en ajuste camber – caster.

Finalmente se deberá validar el sistema de medición.

Análisis del Sistema de Medición

Gage R&R for CASTLEFT

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	10.161	31.876	28.01
Repeatability	2.897	17.021	14.96
Reproducibility	7.264	26.951	23.68
Part-to-Part	89.839	94.784	83.30
Total Variation	100.000	100.000	87.88

Gage R&R for CAMBLEFT

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	0.655	8.091	6.48
Repeatability	0.622	7.885	6.31
Reproducibility	0.033	1.815	1.45
Part-to-Part	99.345	99.672	79.77
Total Variation	100.000	100.000	80.03

Gage R&R for CAMRIGH

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	46.306	68.048	15.61
Repeatability	37.531	61.263	14.05
Reproducibility	8.774	29.621	6.80
Part-to-Part	53.694	73.276	16.81
Total Variation	100.000	100.000	22.94

Capacidad del proceso

Evaluación de la capacidad actual del proceso en DPMO's

Out put Characteristic Y= Caster Adjustment

CASTER NORMALITY TEST

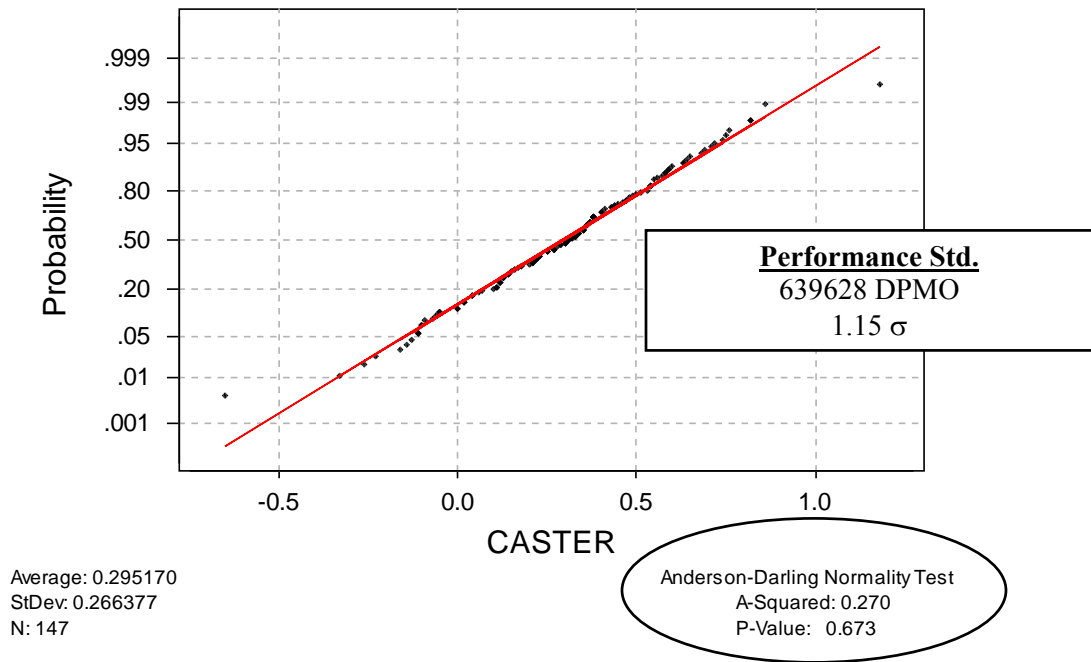


Figura 24. Capacidad del proceso.

Process Capability Analysis for Caster

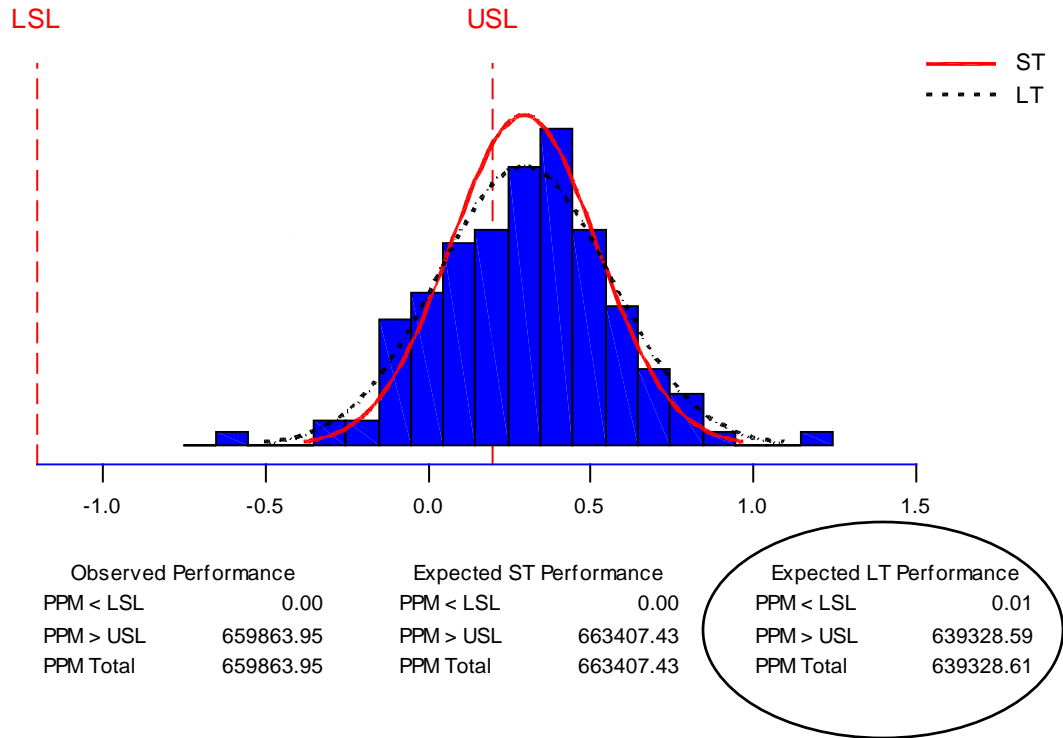
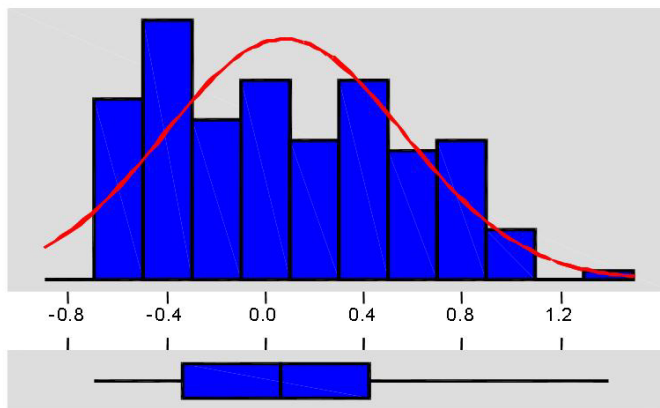


Figura 25. Capacidad del proceso.

Estadística Descriptiva

Esta no es una curva normal y fue analizada mediante Análisis de Pearson.

Descriptive Statistics



Comportamiento std.

63700 DPMO

3.11 σ

Variable: CAMBER

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 1.916
P-Value: 0.000

Mean 0.077959
StDev 0.487209
Variance 0.237373
Skewness 0.324865
Kurtosis -8.9E-01
N 147

Minimum -0.70000
1st Quartile -0.34000
Median 0.06000
3rd Quartile 0.42000
Maximum 1.40000

95% Confidence Interval for Mu

-0.00146 0.15738

95% Confidence Interval for Sigma

0.43716 0.55030

95% Confidence Interval for Median

-0.09594 0.18000

Figura 26. Análisis Estadístico.

OBJETIVO

CASTER

70 % DPMO

$$639628 \text{ DPMO} \times .3 = 191,888 \text{ DPMO}$$

$$\sigma = 2.3$$

CAMBER

70 % DPMO

$$63700 \text{ DPMO} \times .3 = 19110 \text{ DPMO}$$

$$\sigma = 3.7$$

Hipótesis

CONFIDENCE INTERVAL EVALUATION FOR Z ST

CASTER LOW 1.65

OBJECTIVE 2.3

CASTER HIGH 2.09

CONFIDENCE INTERVAL EVALUATION FOR ZST

CAMBER LOW 1.27

OBJECTIVE 3.7

CAMBER HIGH 1.6

Diseño de Experimentos

MINITAB - TOMDOE333.MPJ - [Worksheet 1 ***]

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help Six Sigma

	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	RunOrder	CenterPt	Blocks	KNEECAP	CILINDER	LOCATOR	CHAIN		RES1	RES2	RES3	FI
1	1	1	1	1	-1	-1	-1	0.330	-0.0021875	-0.0021875	-0.0021875	0.330
2	2	1	1	1	-1	-1	1	0.345	0.0046875	0.0046875	0.0046875	0.345
3	3	1	1	-1	-1	1	1	0.400	-0.0178125	-0.0178125	-0.0178125	0.400
4	4	1	1	1	1	1	1	0.365	0.0053125	0.0053125	0.0053125	0.365
5	5	1	1	-1	-1	1	-1	0.460	0.0115625	0.0115625	0.0115625	0.460
6	6	1	1	-1	1	1	1	0.410	-0.0078125	-0.0078125	-0.0078125	0.410
7	7	1	1	1	-1	1	-1	0.350	-0.0015625	-0.0015625	-0.0015625	0.350
8	8	1	1	-1	1	-1	1	0.430	-0.0059375	-0.0059375	-0.0059375	0.430
9	9	1	1	-1	-1	1	1	0.440	0.0221875	0.0221875	0.0221875	0.440
10	10	1	1	1	-1	-1	-1	0.337	0.0048125	0.0048125	0.0048125	0.337
11	11	1	1	1	1	1	-1	0.355	-0.0165625	-0.0165625	-0.0165625	0.355
12	12	1	1	1	1	1	1	0.355	-0.0078125	-0.0078125	-0.0078125	0.355
13	13	1	1	1	1	1	1	0.355	0.0034375	0.0034375	0.0034375	0.355
14	14	1	1	1	1	1	1	0.355	-0.0034375	-0.0034375	-0.0034375	0.355
15	15	1	1	1	1	1	1	0.355	0.0053125	0.0053125	0.0053125	0.355
16	16	1	1	1	1	1	1	0.355	-0.0009375	-0.0009375	-0.0009375	0.355
17	17	1	1	1	1	1	1	0.355	-0.0203125	-0.0203125	-0.0203125	0.355
18	18	1	1	1	-1	1	-1	0.350	-0.0015625	-0.0015625	-0.0015625	0.350
19	19	1	1	1	1	1	-1	0.335	-0.0165625	-0.0165625	-0.0165625	0.335
20	20	1	1	-1	-1	-1	-1	0.450	-0.0165625	-0.0165625	-0.0165625	0.450
21	21	1	1	-1	1	1	-1	0.440	-0.0084375	-0.0084375	-0.0084375	0.440
22	22	1	1	1	1	-1	1	0.345	0.0046875	0.0046875	0.0046875	0.345
23	23	1	1	1	1	-1	-1	0.335	0.0028125	0.0028125	0.0028125	0.335
24	24	1	1	1	1	1	1	0.450	0.0140625	0.0140625	0.0140625	0.450

Numero de puntos centrales 0
Numero de replicas 2
Numero de factores 4

Current Worksheet Worksheet 1 4:17 PM

Figura 27. Aplicación del diseño de experimentos.

Análisis del Diseño de Experimentos

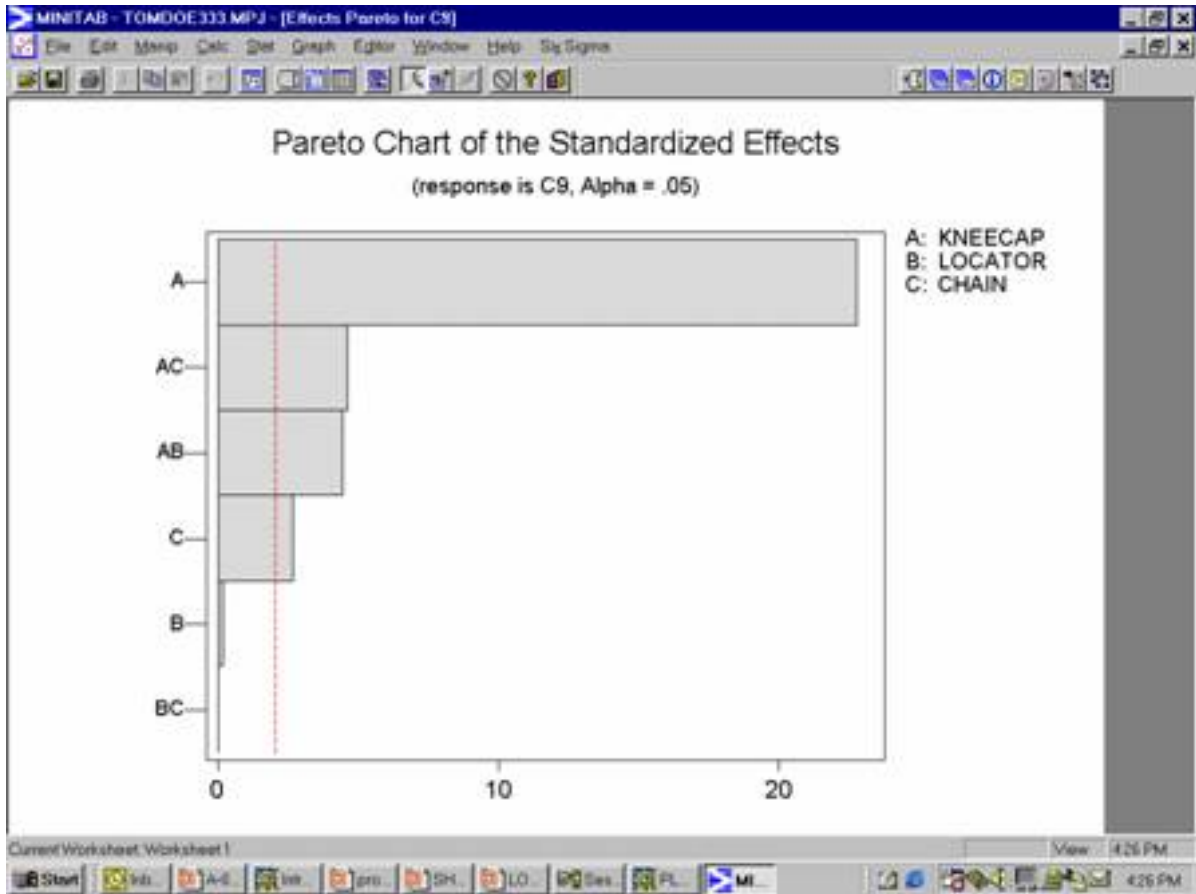


Figura 28. Gráfico de resultados de efectos estandarizados.

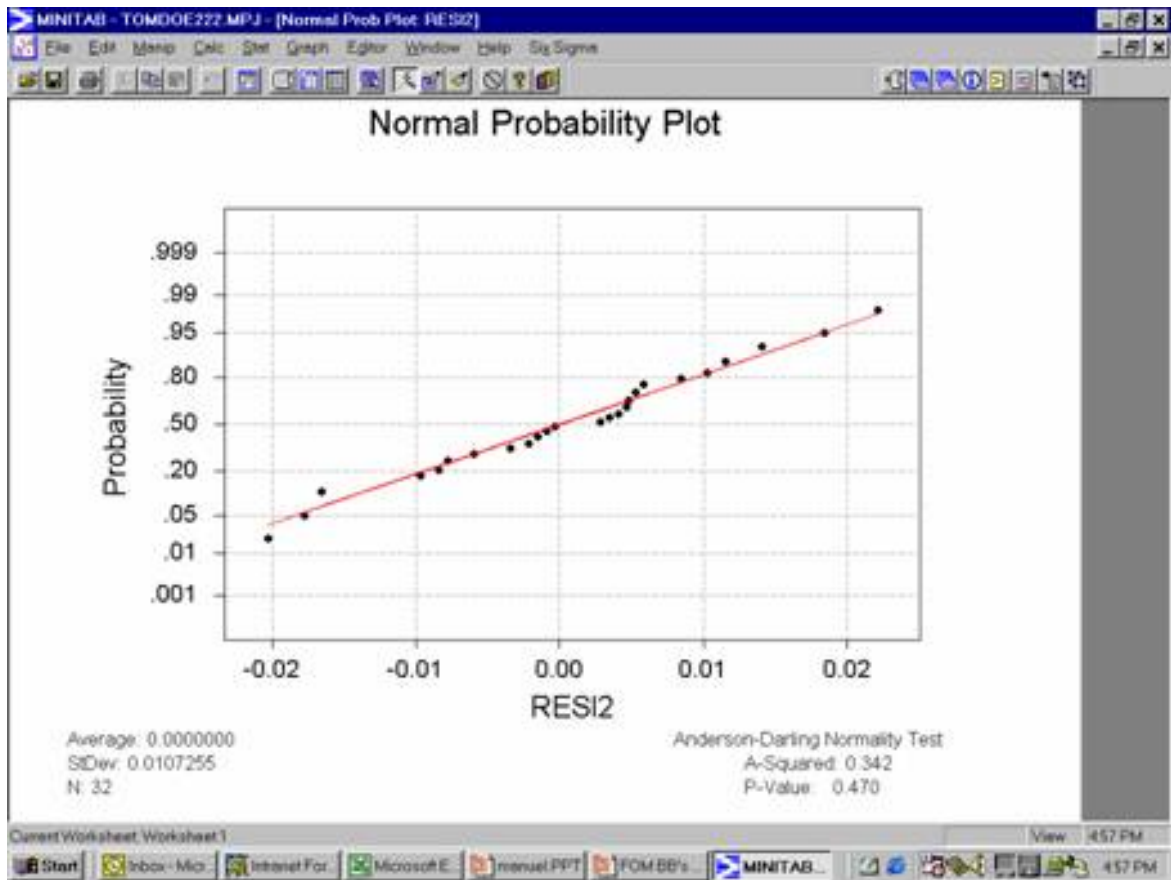


Figura 29. Grafica de Normalidad

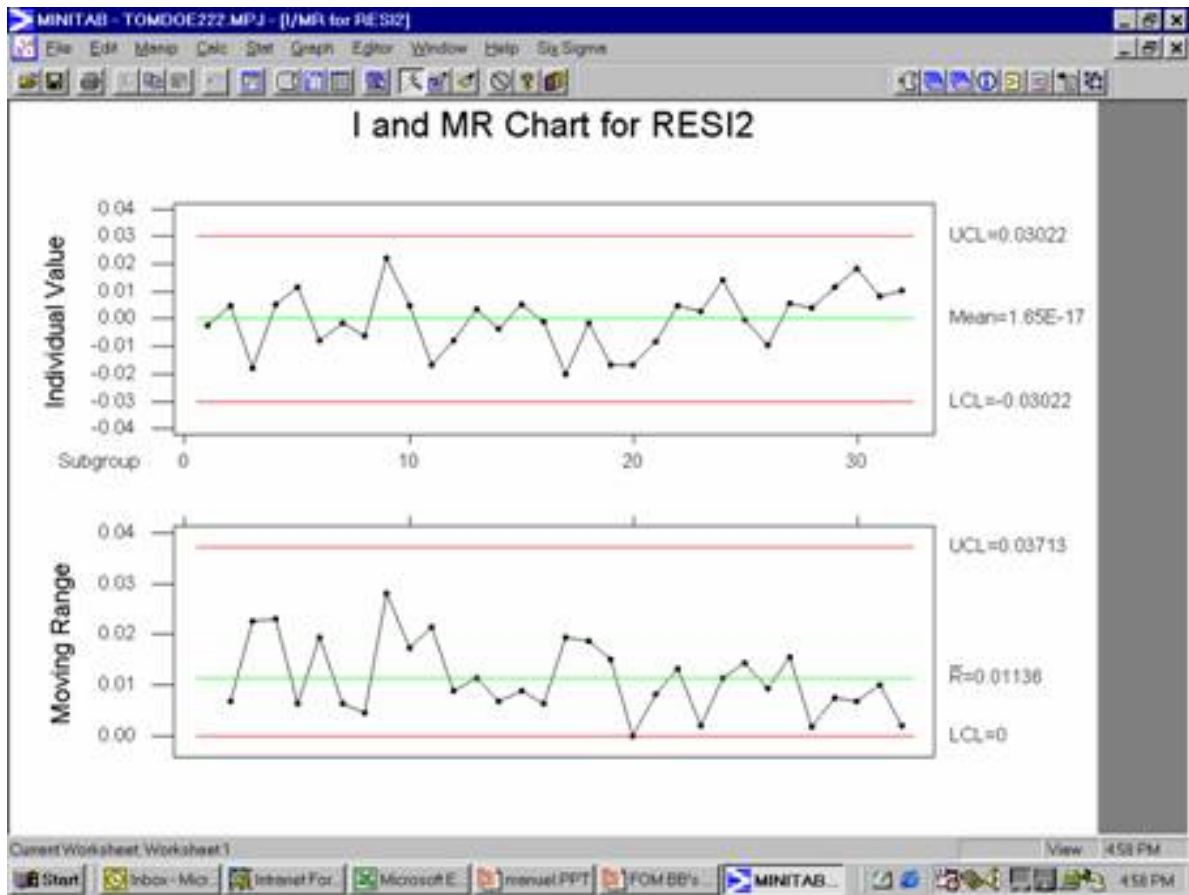


Figura 30. Carta de Control de los Datos

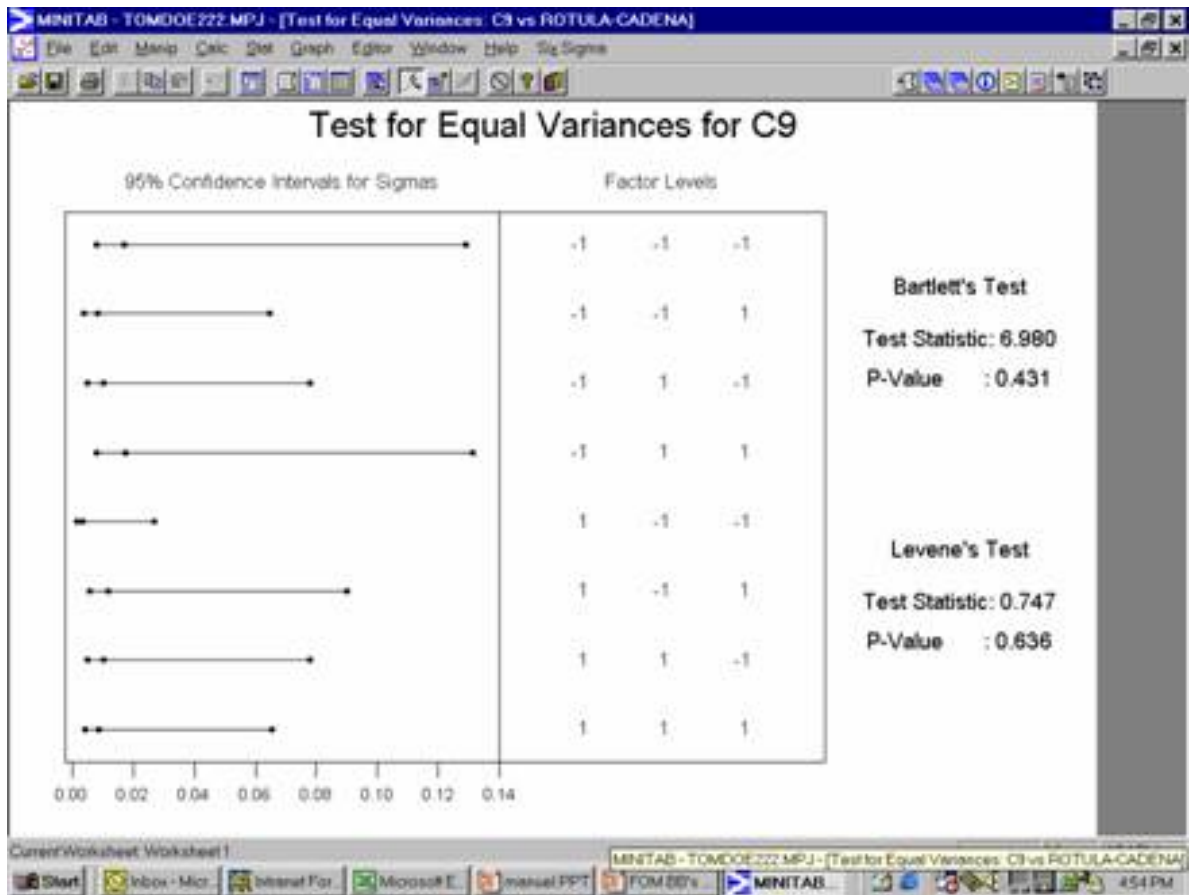


Figura 31. Prueba de Varianzas

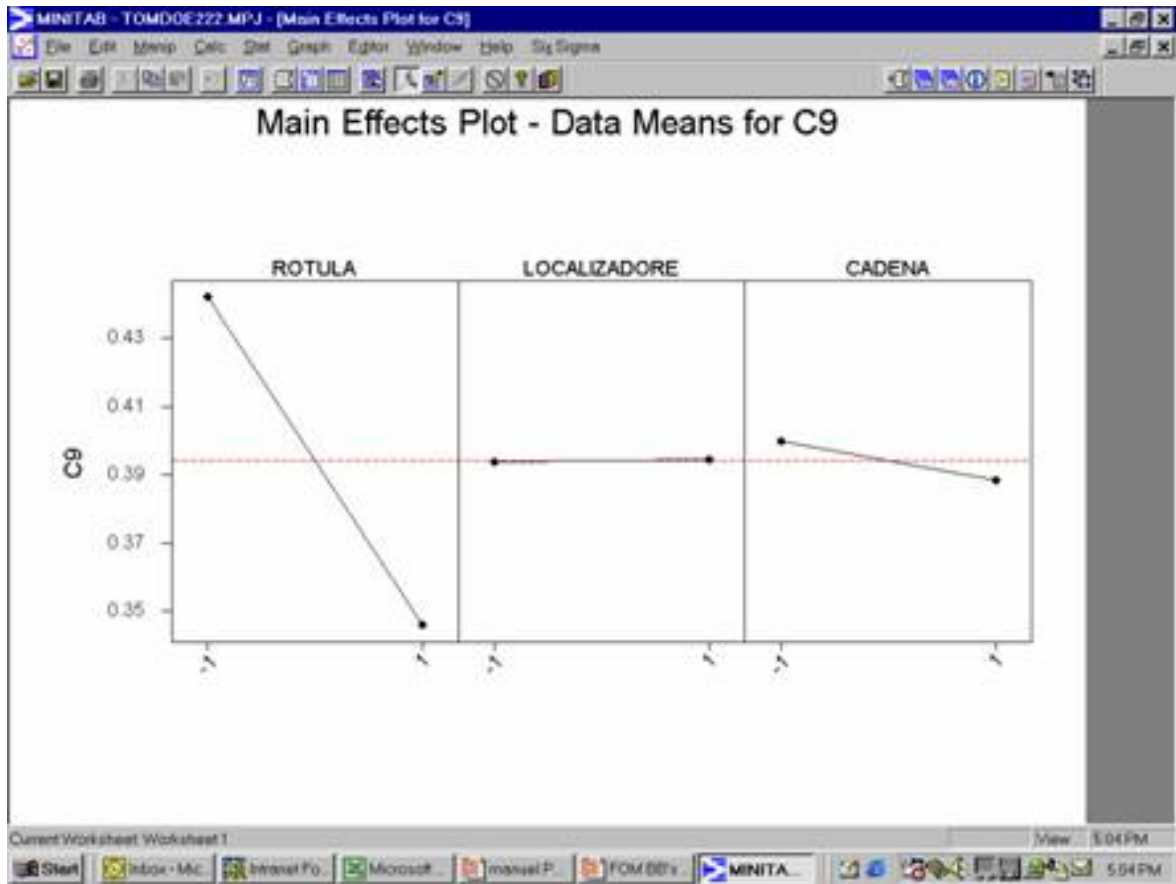


Figura 32. Grafica de Efectos Principales

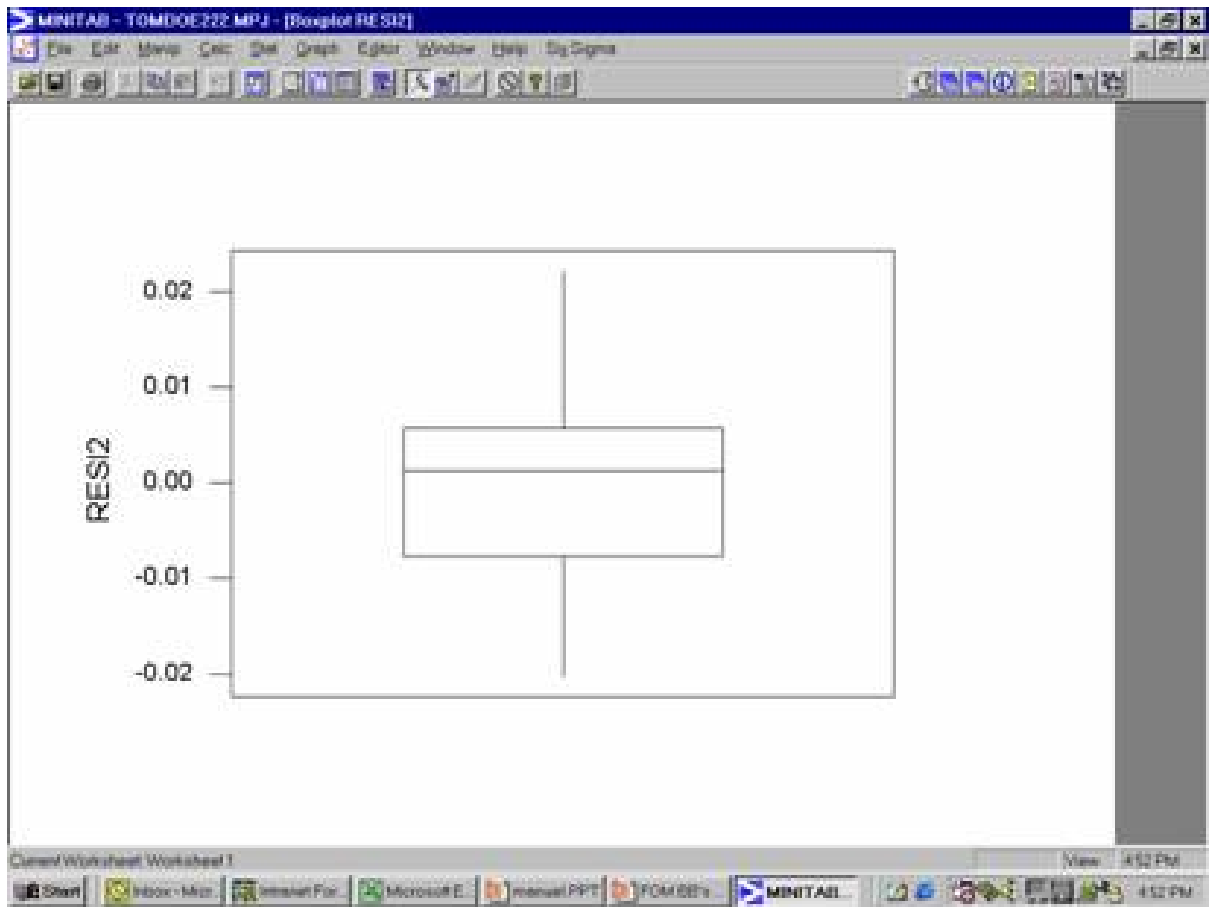


Figura 33. Grafica de Caja (Box Plot) Para distribución de datos

Análisis del Diseño de Experimentos

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.39406	0.002024	194.669	0.000
KNEECAP	-0.04813	0.002024	-23.774	0.000
CILINDER	0.00300	0.002024	1.482	0.151
LOCATOR	0.00031	0.002024	0.154	0.879
CHAIN	-0.00563	0.002024	-2.779	0.010
KNEECAP*LOCATOR	0.00937	0.002024	4.631	0.000
KNEECAP*CHAIN	0.00969	0.002024	4.786	0.000

S = 0.01145 R-Sq = 96.1% R-Sq(adj) = 95.2%

$$Y = .394 - .048 R + .00031 L - .0056 C + .0097 RL + .009 RC$$

Solución

El factor principal afecta la respuesta:

Brazo superior de control

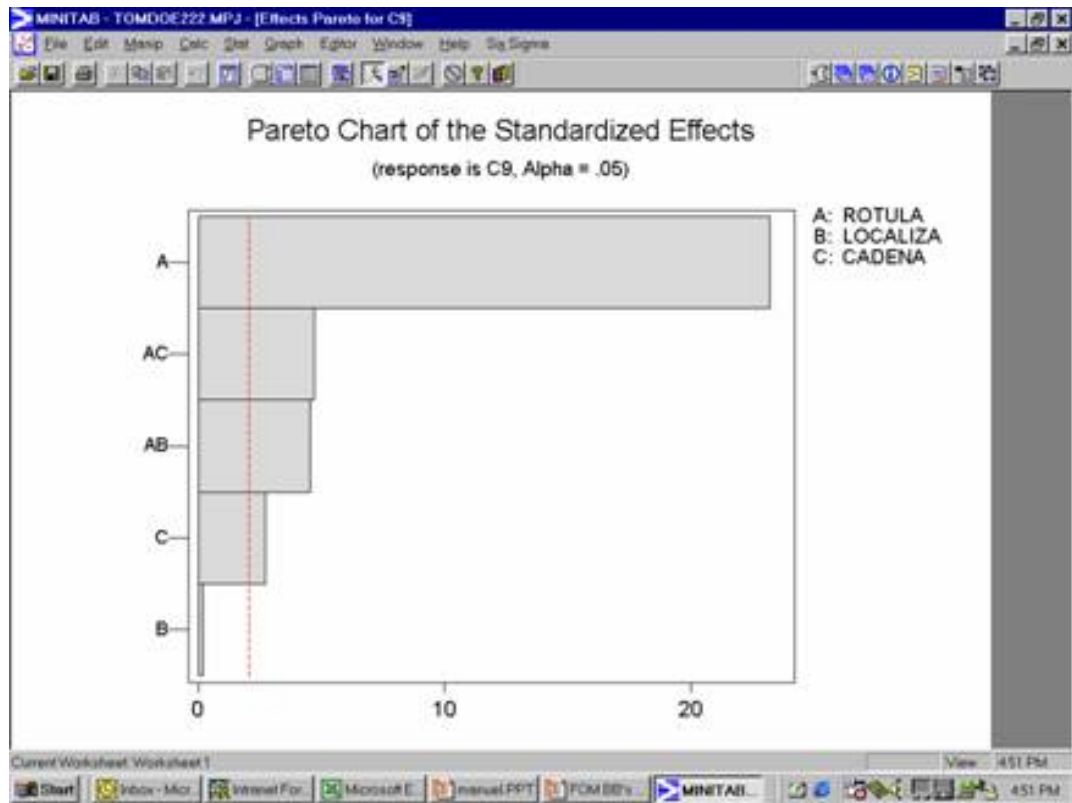


Figura 34 Diagrama de Pareto.



Figura 35. Dispositivo final

Plan de control

Proveedor / Planta		Código de Planta	Otra Fecha de Aprobación (Opcional)				Otra Fecha de Aprobación (
							N/A		
Part/ Proc. No.	Nombre del Proceso / Descripción de la operación	Máquina, Accesorio Herramientas para Manufactura	Característica			Especial Tipo de la característica	Productos / Especificación del Proceso / Tolerancia	Evaluación Medición Técnica	T de l
			No.	Producto	Proceso				
FYS5200	AMORTIGUADOR TRASERO A CARROCERIA	CRN9F1	N/A	N/A	APRETAR UNA TUERCA DE AMORTIGUADOR TRASERO A CARROCERIA	M	22.5 +/- 3.4 Nm	DATAMYTE	
FTR1200	AJUSTADOR DE ALTURA DE CINTURON DE ASIENTO DELANTERO A PILAR "B"	CANIITR	N/A	N/A	APRETAR DOS TORNILLOS DE AJUSTADOR DE ALTURA A PILAR B VERIFICAR TORQUE DE DOS TORNILLOS DE AJUSTADOR DE ALTURA A PILAR "B"	M	35.0 +/- 10 Nm	DATAMYTE	
FTR1100	CINTURON DE SEGURIDAD (RETRACTOR) A CARROCERIA PARTE INFERIOR INTERNA PILAR "B"	CANIITR	N/A	N/A	APUNTAR Y APRETAR TORNILLO CHECAR EL TORQUE DEL TORNILLO MARCA DE PINTURA EN EL TORNILLO	M	38.0 +/- 8.0 Nm	DATAMYTE VISUAL	

Figura 36. Plan de Control.

CONCLUSIONES

- ☞ Se desarrolló el proyecto para la implementación de dispositivo de ajuste camión ligero 4x4 Camber Caster.
 - ☞ Se definió la especificación requerida para la mejora del dispositivo de ajuste que permita mejoras respecto al actual.
 - ☞ Se formó un grupo multidisciplinario para asegurar el éxito del proyecto.
 - ☞ Se termina proyecto exitosamente con un 80 % de reducción en dpmo con ahorros por 210,000 USD.
 - ☞ **Seis Sigma es management.** Es frecuente en las organizaciones ver que los procesos de cambio y transformación, se quedan a mitad de camino debido a la fuerte concentración de los directivos en temas instrumentales, que son los métodos y técnicas estadísticas.
 - ☞ Una de las causas del alejamiento de los directivos de las operaciones Seis Sigma es la falta de un buen manejo y comprensión de los métodos estadísticos.
 - ☞ Seis sigma exige ser bilingüe: manejo de los principios de dirección y en las herramientas estadísticas.
 - ☞ Seis Sigma es una metodología muy eficaz para la mejora de los procesos que basa las decisiones en criterios estadísticos y su objetivo es la mejora de la cuenta de resultados.
 - ☞ Seis Sigma no emplea ninguna herramienta estadística nueva u original, se basa en ella y se orienta a la reducción de defectos.
-

- ☞ Seis Sigma tiene definida una sistemática de gestión de proyectos de mejora muy potente.
 - ☞ Seis Sigma es totalmente aplicable a la mejora de los servicios.
 - ☞ Las herramientas estadísticas presentan unas posibilidades enormes para la mejora de los procesos, de los productos y de los servicios.
 - ☞ Para aplicar las herramientas estadísticas con éxito hay que tener una mezcla de rigor estadístico – matemático y sentido práctico.
 - ☞ En general, no se debe implantar de manera mimética el Seis Sigma de Motorola, de GE ni ningún otro, sino adaptarlo a las necesidades de cada organización.
 - ☞ Seis Sigma exige un cambio cultural en la organización, formación e implicación del personal, y un apoyo decidido de la dirección.
-

DIRECCIONES DE INTERNET

Grupo Seis Sigma del Tecnológico de Monterrey
<http://6sigma.mty.itesm.mx>

Breakthrough Management Group (BMG)
<http://www.bmgi.com>

International Society of Six Sigma Professionals
<http://www.issp.com>

Control Estadístico para Seis Sigma
<http://www.sixsigmaspc.com>

Portal de la ASQ de Seis Sigma
<http://www.sixsigmaforum.com>

Programa de Seis Sigma de General Electric
<http://www.ge.com/sixsigma>

Asociación Latinoamericana de QFD
<http://www.qfd.lat>

Intercambio de Mejores Prácticas en Seis Sigma
<http://www.sixsigmaexchange.com>

<http://www.monografias.com/trabajos18/seis-sigma/seis-sigma.shtml>

BIBLIOGRAFÍA

1. P. S. Pande, R. P. Newman Y R. R. Cavanagh. Las claves de SEIS SIGMA. La implantación con éxito de una cultura que revoluciona el mundo empresarial. Madrid: Mc. Graw-Hill. 2002.
 2. Barba, E.; Boix, F; Cuatrecasas, L. Seis Sigma. Una iniciativa de Calidad Total. Gestión 2000, Barcelona.
 3. Schroeder, R. Six Sigma Quality Improvement: What is Six Sigma and what are the important implications? I Congreso Mundial de Dirección de Producción / Operaciones (POM), Sevilla. 2000
 4. Gómez Fraile, F.; Vilar Barrio, J.F.; Tejero Monzón, M. Seis Sigma. Fundación. Confemetal, Madrid. 2002.
 5. Fernández-Aceytuno. La Experiencia Práctica de Aplicación de Seis Sigma en el Negocio Inmobiliario. Excelencia, Nº 34. Club Gestión de la Calidad, Madrid. Enero 2002.
 6. Fernández-Aceytuno. La Experiencia Práctica de Aplicación de Seis Sigma en el Negocio Inmobiliario. Excelencia, Nº 34. Club Gestión de la Calidad, Madrid. Enero 2002.
 7. Subir Chowdhury. El poder de Seis Sigma. Serie: Financial Times/Prentice Hall. ISBN 8420533610. México. 2001.
-