



TESIS

“MEJORA EN EL NIVEL DE SERVICIO UTILIZANDO LA METODOLOGIA SEIS SIGMA Y MANUFACTURA ESBELTA”

QUE PARA OBTENER EL TITULO
PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA INDUSTRIAL)

PRESENTA:

OCTAVIO AZCOITIA MORAILA

Asesor: M.I. Octavio Estrada Castillo

México, D.F., Febrero del 2011

Agradecimientos

*Con todo mi agradecimiento y cariño a la **Universidad Nacional Autónoma de México** que me permitió conocer el mundo real de la carrera que amo y me dio conocimientos y experiencias que han sido invaluable para lograr el éxito profesional en el transcurso de mi vida.*

A los grandes amigos que en ella encontré y que se han convertido en verdaderos hermanos.

Gracias a mis padres que fueron y siguen siendo ejemplo de una vida de dedicación y esfuerzo.

Dedicatoria

A ti Flora, que desde que te vi has sido lo más importante en mi vida.

A Alejandra y Octavio, mi mayor orgullo, mi mayor logro y mayor motivación en todo momento.

Eduardo, Arturo y César, inseparables amigos y confidentes que me han ayudado y escuchado en diferentes etapas de mi vida y que siempre han estado junto a mí para aconsejarme y hacerme sentir su calor y compañía.

A ti, que desde donde estés, sé que estás siempre a mi lado guiándome.

Octavio

	Página
Introducción	4
Índice General	6
Capítulo I. Fundamento Metodológico	8
Planteamiento del problema	9
Justificación	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Hipótesis	10
Capítulo II. Fundamento Teórico	11
Descripción de la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing	12
Costos de Pobre Calidad (COPQ)	12
Metodología Seis Sigma	16
Seis Sigma	17
Indicadores en Seis Sigma	19
Orígenes de la metodología Seis Sigma	22
Los 6 principios de la metodología Seis Sigma	28
Objetivos de la metodología Seis Sigma	29
Beneficios de la metodología Seis Sigma	30
Implementación de la metodología Seis Sigma	30
Descripción del ciclo DMAIC (DMAMC)	33
Metodología Lean Manufacturing	35
Lean Manufacturing o Manufactura Esbelta	35
Beneficios de la aplicación de Lean Manufacturing	36
Herramientas comúnmente utilizadas en Lean Manufacturing	37
Capítulo III. Marco de Referencia	40
Antecedentes de la empresa	41
Introducción a los procesos de manufactura	45
Manufactura	46
Manufactura flexible	50
Procesos de manufactura	56
Operaciones de proceso	57
Troquelado de metales	63
Troquelado convencional	66
Proceso de troquelado fino	68
Capítulo IV. Propuesta de Mejora	72
Propuesta de mejora	73
Contexto de investigación	73
Metodología de aplicación	73
Definir	76
Medir	79
Analizar	82

	Página
Capítulo IV. Propuesta de Mejora	
Mejorar	87
Controlar	92
Conclusiones	98
Recomendaciones	101
Anexos	
I. Tabla de áreas bajo la curva normal	102
II. Relación de Figuras	103
III. Relación de Tablas	104
Glosario de términos y abreviaturas	105
Bibliografía	106

Introducción

La presente tesis despliega la manera de como se mejoró el nivel de servicio del 73.8% al 99.7%, de un proveedor de estampados que provee componentes que se integran a la línea de fabricación de una empresa fabricante de equipo eléctrico, usando los principios de la metodología Seis Sigma.

La obtención de datos para el desarrollo del análisis previo a la elaboración del sistema fue realizada durante el año 2009, para ello se utilizaron los registros de la compañía y observación de campo.

Esta tesis está conformada por cuatro capítulos, además de las conclusiones y recomendaciones pertinentes. En el primer capítulo, titulado “Fundamento Metodológico”, se realiza el planteamiento del problema, justificación, los objetivos e hipótesis del proyecto.

El segundo capítulo titulado “Fundamento Teórico”, se describe una revisión bibliográfica de la información concerniente a las metodologías de Seis Sigma y Lean Manufacturing. Es importante puntualizar que actualmente existe una gran cantidad de autores e información concerniente a estas metodologías, por lo que se han realizados cuadros en los que se resumen los conceptos más relevantes de la variedad de fuentes existentes

En el capítulo tercero “Marco de Referencia”, trata de la trayectoria y los antecedentes de la compañía, los productos involucrados, sus proveedores, entre otros. Cabe mencionar que esta tesis fue desarrollada y aplicada a una empresa fabricante de equipo eléctrico ubicada en Iztapalapa, Distrito Federal, la cual se dedica a la manufactura de equipo eléctrico con presencia a nivel mundial. En este capítulo se realiza una breve reseña con la finalidad de que el lector conozca más afondo las actividades que realiza dicha compañía.

Con respecto a esto es importante decir que actualmente pocas industrias tienen el tamaño y el crecimiento sostenido que se requiere en el sector eléctrico. Debido a esta situación, ha sido necesario que dichas empresas se adapten lo más rápido posible a los cambios, a las nuevas situaciones y a las técnicas actuales que le son presentadas para obtener un mayor rendimiento y liquidez. En un mundo globalizado en el que cada vez es necesario ser más competitivo para poder cumplir con las exigencias del cliente, es necesario mantener un sistema de mejora continua, que soporte la calidad del producto que se comercializa, de tal manera que cada una de las partes (proveedor - cliente) obtengan los mejores beneficios. Así entonces, para competir en el mercado actual, las compañías tienen que aprender a ser más eficientes y concentrarse en eliminar el desperdicio en todos sus procesos.¹

¹ Wheat Barbara, Milis Check y Carnell Mike (2003). *Seis Sigma. Una parábola sobre el camino hacia la excelencia y una empresa esbelta* (20° Edición) (Pág.34). Colombia: Grupo Editorial Norma.

La competitividad de una empresa y la satisfacción del cliente están determinadas por la calidad del producto, el precio y la calidad del servicio. Se es más competitivo si se puede ofrecer mejor calidad, a bajo precio y en el menor tiempo.²

En el capítulo cuarto “Propuesta de Mejora”, se presenta la forma como se determinó la mejor solución entre las posibles alternativas. Se opta por revisar los tiempos de ciclo cargados en el sistema, revisar los niveles de inventario, programación de producción, revisión de troqueles y se desarrolla una nueva línea de producción con manufactura esbelta. La respuesta de la empresa y proveedor permitieron mejorar el nivel de servicio y obtener ahorros sustanciales al disminuir el Kanban. En este último capítulo también se define el plan de control y mejora para asegurar que las acciones tomadas se mantendrán con el tiempo.

Sin duda, hoy por hoy, existen diversas metodologías de mejora continua que se encuentran enfocadas en observar la satisfacción del cliente (entre las más importantes se encuentra Lean Manufacturing o Manufactura Esbelta y Seis Sigma).

Si estas metodologías se aplican de manera correcta pueden ayudar a muchas empresas a obtener productos y/o servicios de la más alta calidad a muy bajos costos.

Esta empresa de manufactura de equipo eléctrico, es una compañía que se encuentra comprometida con la calidad y la mejora continua. Dicha empresa enfoca sus esfuerzos en cumplir e incluso exceder las expectativas de sus clientes. Razones por las cuales asigna capital humano y recursos materiales para la mejora de sus procesos y han implementado las metodologías de Lean Manufacturing y Seis Sigma con gran éxito dentro de sus áreas de manufactura.

² Gutiérrez Pulido, Humberto y De la Vara Salazar, Román (2004). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (Pág. 4). México: Editorial McGraw Hill.



Capítulo I
Fundamento Metodológico

Planteamiento del problema

Durante un análisis realizado a las líneas de producción de una empresa fabricante de equipo eléctrico, se determinó que en el área de fabricación existen tres de líneas de producto que tuvieron el nivel de servicio más bajo durante el 2008 (73.8%). Una de las principales causas que originan esto, es el incumplimiento en las entregas por parte del proveedor principal de estampados, debido a que permanentemente tiene órdenes vencidas y el proceso de reabastecimiento está fuera de control.

Justificación

La investigación de esta tesis servirá para determinar que esta causando el bajo nivel de servicio del proceso de manufactura y sus consecuencias. Asimismo servirá para determinar que mejoras pueden ser realizadas para reducir el costo del Kanban en la línea de fabricación de la empresa eléctrica.

Los resultados de esta tesis no solo beneficiarán a la empresa de fabricación de equipo eléctrico, sino que también ayudarán al proveedor de estampados a mejorar sus procesos de producción y control de los mismos.

Adicionalmente si los resultados de esta tesis son exitosos, existe una gran probabilidad de que puedan ser extrapolados a otras líneas de manufactura, lo cual les podrá ayudar en gran medida a resolver los problemas de variabilidad en los procesos de manufactura y reducción de costos.

Así mismo este estudio podrá dar a conocer la factibilidad de crear una línea de producción con el proveedor de estampados utilizando conceptos de Lean Manufacturing.

Suplementariamente la información y datos generados durante esta tesis, podrán ayudar a otros equipos Seis Sigma a desarrollar la metodología de una manera más rápida y sencilla, pues ya contarán con todos los datos provenientes de esta investigación y con los formatos necesarios para el uso de las herramientas.

La aplicación de la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing conllevará grandes beneficios dentro de los que podemos mencionar por ejemplo el mapeo del proceso de manufactura que proporciona un conocimiento profundo de este, información necesaria para el mejoramiento del proceso (metodología lean) y la obtención de procesos estables y libres de desperdicio.

Finalmente con base a lo anterior la cuestión importante sería ¿Es posible incrementar el nivel de servicio del proveedor de estampados y reducir costos de inventario del fabricante de equipo eléctrico, a través de la aplicación de metodologías Seis Sigma y Lean Manufacturing?

Objetivo general

El objetivo de esta tesis es aplicar las técnicas y herramientas de las metodologías Seis Sigma y Lean Manufacturing para incrementar el Nivel de Servicio por arriba de un 97% y reducir los costos del Kanban.

Objetivos específicos

- Revisar y analizar el proceso de producción de manufactura de equipos eléctricos.
- Analizar los costos de inventario Kanban.
- Verificar posibles puntos de mejora en el proceso de fabricación de partes de estampado.
- Aplicar la metodología Seis Sigma (ciclo DMAIC) y Lean Manufacturing para la mejora del proceso de fabricación de equipos eléctricos, a través de pruebas en campo.

Hipótesis

La aplicación de las metodologías Seis Sigma y Lean Manufacturing ayudarán a la empresa de fabricación de equipo eléctrico a incrementar su nivel de servicio de un 73.8% a 97% promedio anual, a través del aumento en sus niveles de eficiencia, mejora en los procesos de control y optimización de inventarios.



Capítulo II
Fundamento Teórico

Descripción de la metodología Seis Sigma y Manufactura Esbelta

Introducción

A diario se escucha hablar de calidad, concebida de muchas maneras, este término no es más la percepción del cliente, se ha convertido en toda una industria.

Dentro de esta industria hay los sistemas de calidad, las metodologías y afines, cada una con su particularidad, creada ya en Japón, ya en Estados Unidos, ya en Europa, y aplicada en los más diversos campos empresariales.

En este capítulo se describirá la historia, aplicabilidad y un compendio de lo que comprende la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing.

Costos de pobre calidad (COPQ)

Antecedentes

De acuerdo a la American National Standards Institute (ANSI), Calidad la podemos definir como el cumplimiento total de los requisitos previamente establecidos con el cliente.¹ Aunque suele decirse que es un concepto moderno, desde que el hombre ha tenido conciencia, se aprecia una preocupación por el trabajo bien hecho. Con esto se quiere decir que siempre ha existido un concepto intuitivo de la calidad.

Una de las consecuencias de la globalización de los mercados, es la exigencia de los clientes, quienes más conocedores y más complejos, ahora saben elegir con decisión qué es lo que quieren y cómo lo quieren. Es por esta razón que en los últimos años se ha dado un giro enorme en los diferentes sectores empresariales, en donde ha sido preciso recorrer un largo camino en el que la calidad, la innovación y la mejora continua siempre han estado presentes. Precisamente, la calidad, entendida como el oído atento que escucha las necesidades del cliente de propia voz (VOC - Voice of the Customer), para después entregarle lo que pide de acuerdo con sus expectativas y consiguiendo su máxima satisfacción,² ha jugado un papel predominante en la competitividad de las empresas.

Desde el sentido inicial de calidad, como atributos del producto, hasta el actual, aplicado a todas las actividades de una Empresa, y por lo tanto a su gestión, se ha recorrido un largo camino. La evolución del concepto de calidad en el siglo pasado ha sido muy activa. Se ha ido acomodando a la evolución de la industria, habiéndose desarrollado diversas teorías, conceptos y técnicas,

¹ Evans, James (2005). *Administración y control de la calidad* (62° Edición) (Pág. 16). México: Editorial Thomson.

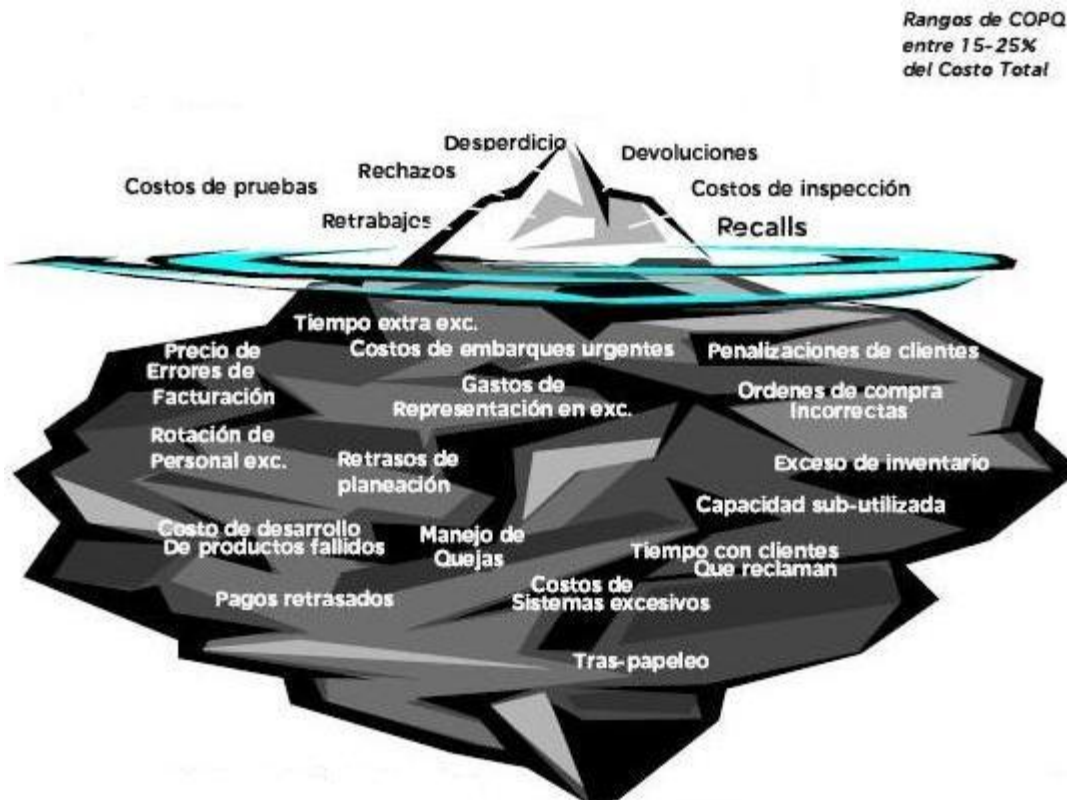
² Gutiérrez Pulido, Humberto y De la Vara Salazar, Román (2004). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (Pág. 506). México: Editorial McGraw Hill.

hasta llegar a lo que hoy día se conoce como Calidad Total. Este apartado fundamentalmente se refiere a la “calidad”, en donde se darán diferentes conceptos de este tópico y se mencionarán las aportaciones de los Teóricos principales que han sentado las bases para la Calidad y la Mejora Continua (Shewhard, Deming, Juran, Ishikawa, Crosby).³

Costos de pobre calidad (COPQ) – La fabrica oculta

Los costos de calidad son altos, eso es innegable, pues es necesario invertir tiempo y dinero en establecer sistemas de indicadores de calidad, en controles de calidad, en estudios sobre las necesidades y satisfacción del usuario, etc. Pero es indiscutible que es más cara la no calidad o los costos por pobre calidad. Los costos por pobre calidad (Cost Of Poor Quality) son todos aquellos costos que se generan a raíz de que el producto y/o servicio, no esta cumpliendo con los requisitos del cliente. Los costos por pobre calidad son para muchas organizaciones, uno de los primeros objetivos a trabajar, desde el punto de vista de la mejora de los procesos y de la gestión financiera en sí ya que representan en la mayoría de las ocasiones perdidas mayores que ganancias. La siguiente figura ilustra el concepto de fábrica oculta:

Figura 1. La fábrica oculta.



³ Cantú Delgado, Humberto (2001). *Desarrollo de una cultura de calidad* (22ª Edición) (pp. 17-25). México: McGraw Hill.

Generalmente las empresas que poseen una “fabrica oculta” dentro de si mismas, están más preocupada en “hacer más” que en “hacer mejor”, en controlar y corregir que en prevenir; por lo que estas empresas se encuentran sobrecargadas de costos inútiles y recursos ocupados pierden competitividad frente a empresas que mantienen un sistema de calidad efectivo.

A continuación se detallará la razón por la cual se dice que los costos de no calidad son más altos que los costos por tener un sistema de calidad reconocido y con una estructura firme. Se puede decir que los costos por pobre calidad (o COPQ) más comunes de una empresa son:

Costos por Fallas Internas: Se pueden definir como aquellos en los que incurre la empresa como consecuencia de errores cometidos durante sus procesos y actividades, pero que han sido detectados antes de que el producto o servicio sea entregado al cliente. Se refiere a los costos que se comete antes de que el producto o servicio sea aceptado, esto debido a que no todo el personal hizo bien su trabajo. En otras palabras, son los costos generados por todas aquellas fallas detectadas antes de la liberación o el embarque de productos o antes de realizar el servicio a los clientes.

Algunos ejemplos son:

- Retrabajos.
- Altos niveles de inventario de seguridad.
- Excesivo inventario no utilizado.
- Prolongados tiempos de ciclo.
- Desperdicio de materias primas.
- Desperdicio de producto.
- Accidentes.
- Rediseños.
- Entregas a destiempo.
- Honorarios por tiempo extra.
- Oportunidades de negocio perdidas.
- Capacidad de planta no utilizada.
- Rotación de personal.
- Costos por fletes extraordinarios (reenvío de productos y documentos).
- Averías de equipos y costos de reparación.
- Corrección de errores contables.
- Reinspección a causa de los rechazos.
- Productos caducados.
- Pérdida de tiempo por mala organización.
- Espacios no utilizados. ⁴

⁴ George, Michael L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed* (pp. 8-9). New York: McGraw-Hill.

Costos por fallas externas: Son todas aquellas fallas (o defectos) detectadas una vez que el cliente ha recibido el producto o el servicio. La empresa soporta estos costos porque el sistema de evaluación no detectó todos los errores. Estas resultan en insatisfacción del cliente y son consideradas las más costosas.

Algunos ejemplos son:

- Reclamaciones.
- Cuentas perdidas (pérdida de clientes por el mal servicio).
- Resguardo y devoluciones (productos rechazados y devueltos).
- Reparación de materiales devueltos.
- Costos por recalls (retirar el o los productos del mercado).
- Trabajo de seguimiento a reclamaciones.
- Trabajo de seguimiento a problemas.
- Costos por cancelaciones.
- Cuentas vulnerables.
- Servicio al cliente por motivo de quejas.
- Gastos de garantía.
- Reparaciones posventa.
- Capacitación del personal de reparaciones.
- Informes y análisis de fallas.
- Pérdida de imagen.
- Procesos legales por reclamaciones.⁵

Costos de Evaluación: Son los costos asociados con la medición, evaluación o auditoría de productos o servicios para asegurar la conformidad con los estándares de calidad requeridos para satisfacer al cliente. La razón de que se realicen estas actividades de evaluación es porque la empresa no está segura de que los recursos invertidos en prevención hayan sido totalmente eficaces.

Algunos ejemplos son:

- Honorarios por inspección (recibo, proceso y final).
- Pruebas y ensayos (internas y externas).
- Auditorías de calidad del producto y de los sistemas de calidad.
- Control de proceso.

⁵ George, Michael L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed* (pp. 12-14). New York: McGraw-Hill.

- Costo inicial y de mantenimiento de los equipos de pruebas y ensayo.
- Estudios sobre la satisfacción del cliente.
- Medida del tiempo de espera del cliente.
- Medida de indicadores de calidad, en general.
- Medida de los procesos llevados a cabo en la organización.

Costos de prevención: costos de todas las actividades específicamente diseñadas para prevenir la pobre calidad en los productos o servicios. Estos los costos mantienen bajos los costos por fallas internas, externas y de evaluación. Entre los más importantes encontramos:

- Planes de calidad.
- Planeación de procesos.
- Entrenamiento.
- Revisión de diseño.
- Programa de calidad con proveedores.
- Mantenimiento preventivo de los equipos.
- Formación del personal directivo.
- Procesos de selección.
- Reingeniería de procesos.
- Preparación de normas de trabajo y de responsabilidades.
- Planificación de costos.
- Planificación de programas informáticos.
- Análisis de mercados.
- Datos históricos de fallos.
- Descripción de los requisitos a los proveedores.

Costos por pérdida de oportunidad: Son los costos asociados a fallas en los proceso de venta o comercialización (marketing).

Todos estos son costos que pueden desaparecer si los productos, procesos y servicios estuvieran todos a nivel de Seis Sigma. A continuación hablaremos de esta filosofía.

Metodología Seis Sigma para la mejora continúa

Antecedentes

Si algo caracteriza a la gestión de la calidad es la aplicación de la mejora continua. No se trata de obtener mejoras espectaculares en los procesos y

sistemas, sino de ir alcanzando mejoras incrementales, no necesariamente de gran profundidad, pero sí de manera continua. Para fortalecer su posición competitiva algunas empresas han adoptado los métodos que otras compañías han estado aplicando con éxito (un ejemplo son Seis Sigma y Lean Manufacturing).

Seis Sigma ayuda a conocer y comprender profunda y claramente los procesos, de tal manera que puedan ser mejorados al punto de reducir el desperdicio generado en ellos. Esto se verá reflejado en la reducción de los costos de no calidad, asegurándose de que el precio de los productos o servicios sean competitivos. En otras palabras podemos decir que seis sigma es un enfoque cuantitativo de la calidad, una filosofía de trabajo y una estrategia de negocio, basada en el enfoque hacia el cliente e impulsada por el ahorro en costos y el mejoramiento sustancial en el desempeño del proceso, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón.

Este nivel de calidad se aproxima al ideal de los cero defectos, concepto introducido por Crosby,⁶ y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo, como por ejemplo:

En servicios financieros, logísticos, mercantiles, entre otros muchos. Su aplicación requiere del uso intensivo de herramientas y metodologías en su mayoría estadísticas para eliminar la variabilidad de los procesos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente.

El término Seis Sigma fue introducido por Motorola en los años 80's como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad,⁷ la cual ha sido ampliamente difundida y adoptada por muchas empresas de clase mundial, tales como: GE., Allied Signal, Bombardier, Sony, Texas Instruments, American Express, FedEx, Dupont, NASA, Toshiba, Johnson & Johnson, Ford, Black & Decker, entre otras.

Seis Sigma

Podemos definir a Seis Sigma en 2 contextos:

“ σ ” como medida: Sigma (σ) es una letra griega minúscula que simboliza a la desviación estándar. Es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio (o a la media) y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente (superior e inferior) respecto al valor central objetivo, cuanto mayor sea el valor de sigmas, menor será el número de valores fuera de especificación. En resumen

⁶ Cantú Delgado, Humberto (2001). *Desarrollo de una cultura de calidad* (22ª Edición) (Pág. 35). México: McGraw Hill.

⁷ Gutiérrez Garza, Gustavo (2004). *Aterrizando Seis Sigma* (2a Edición) (pp. 11-13). México: Regiomontanas.

podemos decir que σ es una escala de calidad que mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de especificación.⁸

“ σ ” Como metodología: Es una estrategia de negocios y de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores, defectos y reducir el costo, mejorando los procesos enfocándose a las variables de importancia crítica para exceder las necesidades y expectativas de los clientes.⁹

Así mismo podemos decir que Seis Sigma es una metodología que ayuda a identificar y reducir la variabilidad en los procesos, productos y servicios cuyo objetivo es alcanzar no más de 3.4 defectos o errores en cada millón de oportunidades con la intención de tener un producto o un servicio más confiable y predecible. En donde una oportunidad está representada por la inspección de alguna característica del producto, tal como una dimensión o una cualidad que pudiera ser encontrada fuera de especificaciones y representar un defecto o error:

Tabla 1. Niveles de desempeño en Sigmas.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.40	99.9999998%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233.00	99.98%	5 - 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6.210	99.4%	15 - 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	68.807	93.3%	25 - 40% de Ventas	No Competitivo
2	308.537	69.2%	No Aplica	No Competitivo
1	690.000	30.9%	No Aplica	No Competitivo

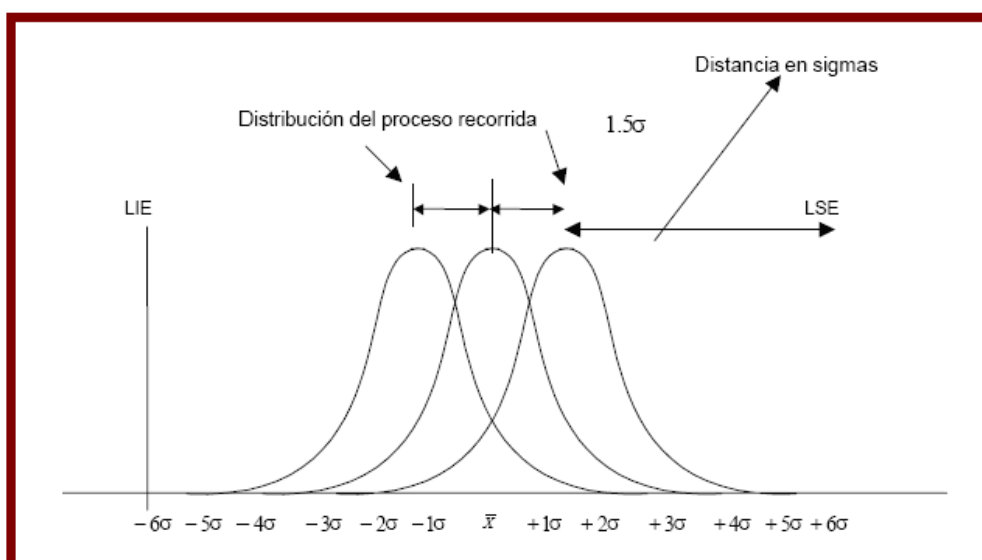
Fuente: George, Michael L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed* (Pág. 16). New York: McGraw-Hill.

La capacidad en número de sigmas del proceso se determina por el número de veces que el Valor numérico de la desviación estándar cabe en la distancia que existe entre la media aritmética del proceso si se distribuye en forma normal y el límite de especificaciones que se encuentre más cerca de ésta (ya sea el inferior LIE o el límite superior LSE).

⁸ Bonnin, Rigo (2005). *La estrategia “seis sigma” y el control interno de la calidad* (Vol. 3/49) (pp. 1-2). Barcelona: Revista Electrónica Diagnóstico in Vitro.

⁹ Anthony, J. (2006). *Design for Six Sigma: a Breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage* (Vol. 51) (Pág. 6). Work Study.

Figura 2. Distribución del proceso centrada (corto plazo) y recorrida 1.5 Sigmas (largo plazo). La capacidad en sigmas se mide por la distancia entre la media del proceso y el límite de especificación (LIE o LSE) más cercano



Fuente: Breyfogle III y Forrest W. (2003) (Página 14). *Implementing Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods* (2a Edición). New Jersey: John Wiley & Sons.

Finalmente a modo de resumen se puede decir que seis sigma es una metodología para resolver problemas crónicos que beneficia a los clientes y el desempeño financiero de la empresa, que reduce el desperdicio y la ineficiencia a través de un proceso sistemático de reducción de la variación y de la filosofía lean basada en el conocimiento científico y en la generación de datos.

Indicadores en Seis Sigma

Oportunidad de Defecto

Una oportunidad de defecto ocurre cada vez que se maneja el producto, servicio, o información, al punto en que un requerimiento de calidad del cliente no se cumpla o no se llega a satisfacer.

Una oportunidad de defecto cuenta el número de veces que un requisito puede no ser satisfecho, no las normas en que se puedan no cumplir. El número de oportunidades por unidad debe ser constante antes y después de la mejora.

Una oportunidad debería fundamentarse en un defecto que pueda suceder razonablemente; si algo nunca ha sido un problema, no debe contar como una oportunidad. El inflar artificialmente el número de oportunidades, inflará artificialmente el nivel de sigma.

El número de oportunidades de defecto debe tener alguna relación con la complejidad del proceso de valor agregado; esto quiere decir que los procesos más complejos deberían tener más oportunidades que los más simples.

Rendimiento

El Sigma se puede calcular ya sea por el número de ítems que lo logran sin defectos en “la primera vez que pasan” o en el número final de ítems que no tienen defectos una vez que se hayan corregido los errores.

En la mayoría de situaciones, es más lógico fundamentar el cálculo de Sigma en el rendimiento a la primera pasada.

Para calcular el Sigma hay dos métodos válidos: Obtener el rendimiento real en la tabla de conversión de sigma o buscar una aproximación Normal del rendimiento en la tabla de proceso sigma.

Capacidad del Proceso

La capacidad es el grado de aptitud que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas.

- Cuando el índice de capacidad de un proceso es alto, se dice que el proceso es capaz.
- Cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que esta bajo control.
- Un proceso va a estudiarse con respecto a una variable aleatoria que es el indicador de calidad.

Para cuantificar la Capacidad del Proceso se utilizan coeficientes que permiten comparar el rango de especificaciones con la fluctuación natural del proceso. La Capacidad del proceso se calcula tomando en cuenta los parámetros de la Tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de la Capacidad del proceso.

Notación	Uso	Fórmula
Cp	El proceso está centrado en los límites de especificación	$(LES - LEI) / 6\sigma$
Cpk	El proceso no está centrado en los límites de especificación pero está contenido en ellos	$\text{Min} \{ (LES - \mu) / 3\sigma, (\mu - LEI) / 3\sigma \}$
CPU	El proceso sólo tiene un límite de especificación superior	$(LES - \mu) / 3\sigma$

Notación	Uso	Fórmula
CPL	El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior	$(\mu - LEI) / 3\sigma$
Donde: LES: Límite de especificación superior del proceso LEI: Límite de especificación inferior del proceso μ : Media del proceso σ : Sigma del proceso		

Enfoque por procesos

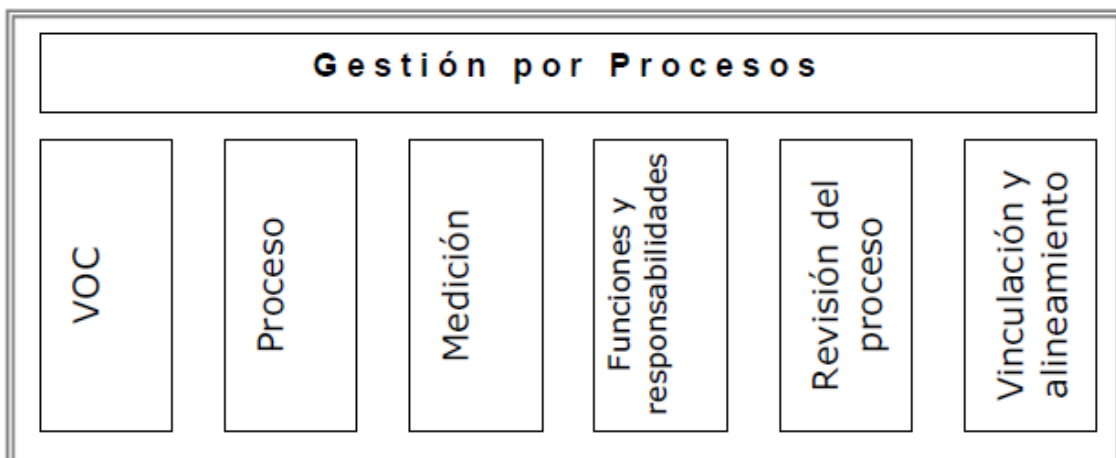
La gestión por procesos incluye documentar, medir, monitorear y controlar los procesos para garantizar que las necesidades de los clientes de desempeño efectivo del proceso, y la necesidad de eficiencia que requiere negocio, se satisfagan simultáneamente de la mejor manera posible.

La gestión por procesos se fundamenta en seis pilares, estos son:

- VOC.
- Proceso.
- Medición.
- Funciones y responsabilidades.
- Revisión del proceso.
- Vinculación y alineamiento.

La representación de estos Seis pilares esta dada en el Figura 3.

Figura 3. Los Seis Pilares de la Gestión por Procesos.



Identificar y controlar las “x” es un concepto clave de Seis Sigma, es decir identificar las variables controlables del proceso. Así, si y es el resultado del proceso y x_i las variables controlables.

$$y = f(x_1, x_2, \dots)$$

En mejoramiento, identificamos las “x” claves para reducir la variación en la “y”. En diseño, establecemos cuidadosamente las especificaciones en las “x” para que obtengamos la “y” deseada. En gestión por procesos, monitoreamos y controlamos las “x” para garantizar que obtengamos la “y” deseada.

Orígenes de la metodología Seis Sigma

Una vez que hemos definido el significado de Seis Sigma pasaremos a la etapa en la que mencionaremos brevemente los personajes destacados que han contribuido en la edificación de la metodología Seis Sigma, desde sus orígenes en los Estados Unidos y en el exterior del mundo:

Tabla 3. Personajes destacados que han contribuido en la construcción de la metodología Seis Sigma.

Año	Nombre	Contribución
1900-1920	Frederick Winslow Taylor (1856 - 1915)	<p>Las técnicas de Frederick W. Taylor llegaron a ser conocidas como la Administración Científica e hicieron al trabajo tangible y medible, a través de analizar los procesos de manufactura y convirtiéndolos en un conjunto de tareas que pudieron ser estandarizadas y repetitivas. Taylor concluyó que la mejor manera de mejorar la productividad era separar las actividades del trabajo de la planeación y mejorar los procesos usados para realizar el trabajo. Por consiguiente, se creó el modelo trabajo (hacer el trabajo) - administración (planificar y mejorar los procesos) para operar una organización. Algunas de las ideas de Taylor incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis y medición del trabajo para simplificar las tareas. ▪ Capacitación y asignación apropiada de los trabajadores a las tareas. ▪ Incentivos por buen desempeño. ▪ Uso de metas claras y específicas.
1913	Henry Ford (1863 - 1947)	<p>Henry Ford adoptó cuatro principios en su meta de producir un automóvil a un precio accesible:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Partes intercambiables. ▪ Flujo continuo División del trabajo. ▪ Reducción del esfuerzo desperdiciado. <p>Ford realizó estudios de tiempos y movimientos para determinar la velocidad exacta a la cual el trabajo</p>

Año	Nombre	Contribución
		<p>debería de avanzar y los movimientos exactos que los trabajadores deberían usar para cumplir sus tareas. Los primeros métodos de Ford son la fundación del:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Just in Time (Justo a Tiempo) y ▪ Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta)
1908	William Sealy Gossett (1876 - 1937)	<p>Gossett, escribiendo bajo el pseudónimo “Estudiante”, mientras trabajaba en una fábrica de cerveza Inglesa, inventa la distribución de “T-Student”. Esta distribución es utilizada, entre otras cosas, para probar la significancia estadística de los efectos de los mejoramientos del proceso.</p>
A lo largo de la década de los 20	Ronald Aylmer Fisher (1890 - 1962)	<p>En la década de los 20. Fisher creó el método estadístico para el Diseño de Experimentos (DOE - Design of Experiments) y la herramienta de análisis de datos, Análisis de Varianza (ANOVA), mientras trabajaba en la Estación Experimental de Agricultura Rothamsted de la Gran Bretaña.</p>
1924	Walter A. Shewhart (1891 - 1967)	<p>Una de las contribuciones de Shewhart fue la Hoja de Control, la cual desarrolla mientras trabaja en los laboratorios Bell, sobre el control y mejoramiento de los procesos de manufactura.</p> <p>La hoja de control combinó un diagrama del desempeño del proceso en el tiempo, con un conjunto de límites de control, el cual proporcionaba una evaluación estadística de como el proceso estaba cambiando. Esto permitía realizar una evaluación gráfica y analítica.</p> <p>Otra aportación es el Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) el cual, como ya hemos revisado, es un proceso metodológico básico para realizar las actividades de mejora y mantener lo mejorado.</p>
Durante las décadas de los 20 y 30	Harold F. Dodge (1893 - 1967) Harry G. Romig	<p>Harold F. Dodge y Harry G. Romig (1944), mientras trabajaban en los Laboratorios Bell en la década de los 20 y los 30, desarrollaron los métodos de aceptación de la muestra.</p> <p>Usando este método, una muestra del producto fabricado es inspeccionada para decidir si el lote entero del producto es aceptable para ser enviado al cliente. Las mediciones son realizadas sobre la muestra y si se satisface el criterio de aceptación el material es liberado para embarque. Si no se cumple con el criterio de aceptación, el material puede ser desechado, reprocesado o clasificado para encontrar el producto bueno, el cual sería entonces enviado al cliente, mientras que el producto defectuoso es desechado o reprocesado.</p>

Año	Nombre	Contribución
Durante las décadas de los 40 y 50	Diversas compañías	<p>Durante la década de 1940 y 1950, las compañías comenzaron a usar el Control Estadístico de Calidad (Statistical Quality Control - SQC) para controlar y mejorar la calidad del producto.</p> <p>El método SQC incluía las hojas de control de Shewhart, los métodos de aceptación de la muestra de Dodge y Romig y en algunos casos, particularmente en la industria química y de procesos, el diseño de experimentos de Fisher.</p>
De 1940 hasta finales de 1960	George E. P. Box y colaboradores	<p>A finales de 1940, 1950 y 1960 George E. P. Box y sus colaboradores, trabajaron para adaptar la metodología de Diseño de Experimentos de Fisher, la cual había sido desarrollada de la experimentación agrícola a los procesos industriales.</p>
1940	W. Edwards Deming (1900 - 1993)	<p>Conocido por introducir el control estadístico de la calidad en Japón. Deming también puso gran importancia en la responsabilidad de la administración, creyendo que era el responsable del 94% de los problemas de calidad. Deming también está relacionado con el ciclo "Planear-Hacer-Verificar-Actuar" como un ciclo de mejoramiento universal.</p> <p>Desarrolló los 14 puntos para la Gestión, con los que pretende mostrar la importancia del papel de las personas, y en especial de la dirección en la competitividad de las empresas. Dos de las contribuciones clave de Deming fueron la importancia de la administración del liderazgo y la reducción de la variación del proceso.</p>
1930	William E. Conway	<p>Conway creó un sistema de administración que permite a las organizaciones lograr mejoras profundas. Este sistema es llamado "La mejor manera de administrar".</p> <p>La principal actividad del sistema de Conway es eliminar el desperdicio de todos los procesos. Mientras la mayoría de los ejecutivos están familiarizados con el desperdicio asociado con las operaciones de manufactura, en realidad existen a lo largo de todas las funciones de la organización.</p>
1920-1940	Joseph Moses Juran (1904 - 1995)	<p>Juran desarrolló la trilogía de la calidad que se basa en tres aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Planeación de la calidad, ▪ Control de la calidad y ▪ Mejora de la calidad <p>Juran asocio la calidad con la satisfacción del cliente, enfatizó el mejoramiento de la calidad actual a través de una sucesión de proyectos de mejora, y creyó que</p>

Año	Nombre	Contribución
		<p>el liderazgo de la alta dirección de la función de calidad era crítico. Juran también puntualizó la reducción del costo de la no calidad como una clave para la competitividad.</p>
1945	Armand Feigenbaum (1922)	<p>Conocido como el autor del “Control Total de la Calidad” o “Calidad Total”.</p> <p>Feigenbaum definió la calidad total como un sistema eficaz para asegurar la producción y el servicio en la mayoría de los niveles económicos que permiten la satisfacción del cliente.</p>
Durante las décadas de los 50 y 60	John Wilder Tukey (1915 - 2000) y colaboradores	<p>En las décadas de 1950 y 1960, John W. Tukey (1977) y sus colaboradores en los Laboratorios Bell introdujeron los conceptos y métodos del Análisis de Datos Exploratorio.</p> <p>El trabajo de Tukey y de muchos otros, establecieron el análisis gráfico como un método creíble y necesario de hacer el análisis de datos, el cual, más tarde, llegó a ser parte integral de la metodología de la mejora de procesos.</p>
Finales de 1960 y principios de 1970	Diversas compañías	<p>A finales de 1960 y a principios de 1970, el Control Estadístico de Procesos (Statistical Process Control - SPC) llegó a ser ampliamente utilizado en el mejoramiento de procesos, particularmente en la industria automotriz.</p> <p>El SPC combinó las hojas de control, los estudios de capacidad de proceso (los estadísticos Cp y Cpk), los gráficos de Pareto para identificar las fuentes de defectos, los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad Gage para evaluar los sistemas de medición y otras herramientas para controlar y mejorar los procesos.</p> <p>Llegó a ser ampliamente reconocido que la calidad del producto estaba directamente relacionado al proceso que producía el producto, por lo que el enfoque cambió para incluir el mejoramiento del proceso así como el mejoramiento del producto.</p>
1960	Shigeo Shingo (1909 -1990)	<p>Una de las grandes contribuciones de Shingo en el área de calidad fue su desarrollo en 1960 del Poka Yoke.</p> <p>El término viene del japonés “poka (error accidental) y yoke (prevenir). La idea esencial del poka - yoke es diseñar procesos en donde los errores sean imposibles de cometer o al menos que sean de fácil detección y corrección. Los dispositivos poka - yoke caen en dos categorías principales: prevención y detección.</p>

Año	Nombre	Contribución
		Un dispositivo de prevención afecta el proceso de tal manera que es imposible cometer un error. Un dispositivo de detección señala al usuario cuando se ha cometido un error, de tal forma que el usuario puede rápidamente corregir el problema.
1962	Kaoru Ishikawa (1915 – 1989)	Su contribución fue el desarrollo, en 1962, de los Círculos de Calidad, que se refiere a grupos de voluntarios, estables en el tiempo, que tienen como objetivo principal mejorar la calidad de los procesos y el entorno de trabajo. Los círculos de calidad persiguen como objetivo último la obtención de mejoras en el seno de la empresa.
1945-1970	Taiichi Ohno (1912 - 1990)	Considerado como el iniciador sistema de gestión de la producción de Just in Time o Justo a Tiempo, el cual se define como: Sistema de gestión de producción que permite entregar al cliente el producto con la calidad exigida, en la calidad precisa y el momento exacto. La utilización del JIT está orientada a mejorar los resultados de la empresa con la participación de los empleados, a través de la eliminación de todas las tareas o actividades que no aporten valor (despilfarro), especialmente la reducción de inventarios.
1980	Philip B. Crosby (1926 - 2001)	Phil Crosby comenzó su trabajo como profesional de la calidad en una línea de ensamble en Crosley en 1952. El se propuso convencer a la administración de que era más rentable prevenir los problemas que arreglarlos. El trabajó para Crosley de 1952 a 1955; en Martin-Marietta de 1957 a 1965; y en ITT de 1965 a 1979. Como gerente de Calidad en Martin-Marietta, creó el concepto y programa de cero defectos.
Durante la décadas de los 80	Gen'ichi Taguchi (1924 - Actual)	El sistema de calidad de ingeniería del Dr. Gen'ichi Taguchi es uno de los grandes logros de la ingeniería del siglo XX. En la década de 1980. Taguchi desarrolló lo que se conoce como ingeniería de la calidad, métodos para el diseño de productos y desarrollo de procesos de industrialización. Estos métodos buscan la robustez de los productos, es decir, hacerlos insensibles a: <ul style="list-style-type: none"> ▪ La variabilidad debida a las diferentes condiciones de uso que puedan tener. ▪ La variabilidad que incorporan las materias primas que se utilizan para fabricarlos. ▪ La variabilidad propia del proceso de fabricación.
1980	Diversas compañías	A principios de 1980, impulsadas por la competencia de Japón y otros países del Pacífico, las compañías comenzaron a implementar la Administración de la

Año	Nombre	Contribución
		<p>Calidad Total (Total Quality Management - TQM).</p> <p>El TQM fue desarrollado antes que los métodos de mejora de la calidad y se enfocó en la administración del liderazgo, la gente y el trabajo en equipo, la administración y mejoramiento de procesos y en el beneficio de las necesidades del cliente.</p> <p>El TQM incluía el SPC y muchas otras herramientas estadísticas en el control de procesos y en el mejoramiento de las actividades incluyendo la voz del cliente. El TQM recurrió con fuerza a las enseñanzas de W. Edwards Deming (1982) quien había estado enormemente influenciado por Shewhart y su trabajo.</p>
1983	Masaaki Imai (1930- Actual)	<p>Es el difusor del KAIZEN, una estrategia de mejora continua, que sintetiza algunas de las principales teorías sobre la calidad, aplicándolas a todos los ámbitos de la empresa.</p> <p>Kaizen significa mejora. KAI, Cambio y ZEN, Bondad.</p>
1987	Kiyoshi Suzuki	<p>Una de las principales aportaciones de este autor es su teoría sobre la gestión visual, que destaca la importancia de la disponibilidad de la información necesaria para cada persona en su puesto de trabajo. Una aportación más moderna de este autor es la “mini-compañía”. Se trata de organizar cada una de las áreas de trabajo “homogéneas” como si fuera una mini-empresa, con sus proveedores y clientes, objetivos a cumplir, indicadores, planes de trabajo, reuniones, etc. Toda esta información está disponible y a la vista para todos los componentes de la mini-empresa.</p> <p>Asimismo, definió un octavo tipo de despilfarro, el principal, a los siete de Taiichi Ohno, la no utilización del recurso inteligente de todas las personas de la empresa.</p>
1990	Michael Hammer y James Champy	<p>El mensaje de Michael Hammer y James Champy sobre la re-ingeniería de procesos, introducida a principios de 1990 en la Reengineering the Corporation, fue bien recibido por una audiencia desencantada con el TQM y lista para usarla en la automatización de los procesos.</p>

Fuente: Cantú Delgado, Humberto (2001). *Desarrollo de una cultura de calidad* (22° Edición) (pp. 30-42). México: McGraw Hill.

El propósito de este cuadro es mostrar, lo que a mi juicio son, las principales aportaciones de cada uno de los autores seleccionados al desarrollo de la calidad y Seis Sigma. Al analizar la información, se puede observar que de

manera general se hace mención de diversos puntos, los cuales, ayudan a entender el progreso de la calidad hacia la metodología Seis Sigma:

1. Compromiso de la alta dirección.
2. Equipos de mejora de la calidad.
3. Medición de la calidad.
4. Capacitación.
5. Prevención de defectos.
6. Crecimiento con rentabilidad económica.
7. Cultura de calidad.
8. Métodos de supervisión.
9. Planeación del proceso y finalmente.
10. Control del proceso.

Así pues se puede comprender cómo simples indicadores de calidad evolucionaron hasta convertirse en una estrategia general para acelerar las mejoras alcanzar mejores niveles de desempeño enfocándose principalmente en los requisitos de cliente y la identificación y eliminación de las causas de los errores o defectos y finalmente la reducción de la variabilidad de los procesos el cual es el objetivo principal de Seis Sigma. Esto a su vez ayudará a las empresas a discernir que se tiene una mayor probabilidad de éxito y de permanencia en el mercado al desarrollar una cultura de mejora continua.

Los 6 principios de la metodología Seis Sigma¹⁰

Los puntos fundamentales en los que se basa esta metodología Seis Sigma son los siguientes:

I. Enfoque en el Cliente: La voz del cliente (VOC) es el fundamento de la metodología. Se tiene que poner especial atención en lo que el cliente solicita preguntándose de primera mano.

II. Administración basada en datos y en hechos: Durante la aplicación de la Metodología se identifican los métricos claves, después se realizan mediciones claras y se utilizan datos que son analizados para probar que las soluciones funcionan y mantienen las ganancias.

III. Los Procesos están donde está la acción: Seis Sigma se enfoca en el proceso, administración y mejora; El mejorar los procesos asegura ventajas competitivas, integrando un valor real a los clientes.

IV. Administración pro-activa: Es necesario que la Dirección sea dinámica,

¹⁰ Pande P. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Others Top Companies are joining Their Performance* (pp. 24 -36). USA: McGraw Hill.

receptiva, proactiva, establezca y de seguimiento a las metas fijadas de manera ambiciosa, a las prioridades claramente implantadas y se enfoque en la prevención de problemas (prevención de incendios).

V. Colaboración sin límites: Debe ponerse atención en derribar las barreras que limitan el trabajo en equipo entre los miembros de la organización; Siempre enfocados en las necesidades del cliente; los procesos trascienden mas allá de las barreras ínter departamentales.

VI. Enfoque a la perfección - tolerancia al fracaso: Las nuevas ideas y propuestas tienen un riesgo, vencer el miedo a cometer errores es necesario para lograr los objetivos que se han propuesto.

Objetivos de la metodología Seis Sigma

- Reducir la variabilidad.
- Optimizar productos y procesos.
- Mejora global del servicio al cliente.
- Crecimiento de productividad y valor agregado.
- Mejora de la capacidad y rendimiento de los procesos.
- Reducción de defectos totales y duración del ciclo.
- Aumento de la confianza del producto.
- Mejora en el flujo de procesos para hacerlos más predecibles.
- Mejora del retorno de su inversión.

Casos exitosos en la implementación de la metodología Seis Sigma

Existen innumerable cantidad de casos en los que se ha implementado la metodología Seis Sigma con éxito, a continuación mencionaremos algunos de los más importantes:

Tabla 4. Empresas que han logrado implementar la metodología Seis Sigma exitosamente.

Compañía	Desde	Ahorros debidos a la aplicación de la metodología Seis Sigma
Motorola	1980 hasta la fecha	\$15 Billones de Dólares
General Electric	1991 hasta la fecha	\$ 6 Billones de Dólares
Dow	1997 hasta la fecha	\$1.5 Billones de Dólares
Aillied Signal	1991 hasta la fecha	\$2.1 Billones de Dólares
American Express	1998 hasta la fecha	\$20 Millones de Dólares

Compañía	Desde	Ahorros debidos a la aplicación de la metodología Seis Sigma
Avery Dannison	1999 hasta la fecha	\$50 Millones de Dólares
Becton Dickinson	1999 hasta la fecha	Más de \$50 Millones
Noranda	2000 hasta la fecha	\$100 Millones de Dólares
Bombardier	1997 hasta la fecha	Más de \$100 Millones de Dólares
DuPont	1999 hasta la fecha	Más de \$150 Millones de Dólares
Johnson & Johnson	1991 hasta la fecha	\$200 Millones de Dólares

Fuente: Breyfogle III y Forrest W. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods* (2a Edición). New Jersey: John Wiley & Sons.

Beneficios de la metodología Seis Sigma

Algunos de los Beneficios que la aplicación de la metodología Seis Sigma se enumeran a continuación:

- Reducción de costos.
- Mejora de la productividad.
- Satisfacción de los clientes por lo tanto aumento en la cartera de clientes.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Reducción de defectos.
- Desarrollo de productos y servicios.
- Mejorar la visión de la administración de las actividades, calidad y costos.
- Mejorar el entendimiento y la apreciación de la capacidad de servicio, así como los requerimientos actuales y propuestos, entre muchos otros.

Implementación de la metodología Seis Sigma

La implementación de Seis Sigma es posible no sólo en manufactura y electrónica donde se originó, si no también en cualquier tipo de organización, por ejemplo financiera, de servicios, gubernamental, química, farmacéutica; mejorando la organización y generando mayores utilidades.

Para lograr el más alto nivel de implementación de Seis Sigma se requiere de un compromiso con la mejora continua y sobre todo con el enfoque de seis sigma, iniciando en el más alto nivel de dirección de la organización. La experiencia demuestra que cuando la alta dirección no expresa su visión de la compañía, no transmite firmeza y con entusiasmo, no evalúa los resultados y no reconoce los esfuerzos, los programas de mejora continua se transforman en una pérdida de recursos valiosos. Es por esta razón que el proceso de

Implementación de Seis Sigma empieza con la sensibilización de los altos directores y ejecutivos para llegar al entendimiento del enfoque de la Metodología y para comprender los beneficios y las técnicas que le permitirán a la compañía alcanzar los niveles de calidad más altos.

El siguiente paso consiste en la selección del grupo de profesionales con capacidad y responsabilidad en sus áreas o funciones que van a ser intensivamente formados para liderar proyectos de mejora continua.

Formación de Líderes

El éxito del Seis Sigma no solo depende de la estrategia ni de la metodología, también depende en gran medida de las personas que participan en los proyectos de mejora.

Una definición clara de los roles es fundamental para el despliegue de la estrategia Seis Sigma, es por esta razón que muchos expertos en seis sigma, han reconocido los diferentes roles y responsabilidades de seis sigma. De lo cual se dice que los siguientes elementos constituyen el corazón de la metodología Seis Sigma: ¹¹

Tabla 5. Líderes de la metodología Seis Sigma.

Clasificación	Definición	Responsabilidades
<p>Champion (Ch)</p>	<p>Son líderes de la alta Gerencia que sugieren y apoyan proyectos, ayudan a obtener recursos necesarios y eliminan los obstáculos que impiden el éxito del proyecto. Él mismo forma parte del Comité de Liderazgo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implantarla Metodología. ▪ Garantizar que los proyectos están alineados con los objetivos generales del negocio. ▪ Definir los proyectos de mejora, junto con los Black Belts. ▪ Utilizar las herramientas y técnicas de Seis Sigma en sus proyectos. ▪ Prestar apoyo a la dirección en el despliegue de Seis Sigma en la organización. Conseguir mejoras significativas en los resultados del negocio. ▪ Dirigir, impulsar, apoyar, defender, sostener y extender los esfuerzos de Seis Sigma en una organización. ▪ Asesorar y aconsejar a la dirección sobre la prioridad, planificación y lanzamiento de

¹¹ Goffnett, Sean (September 2004 through December 2004). *Understanding Six Sigma Implications for Industry and Education* (Volume 20, Number 4) (Pág.5). Journal of Industrial Technology.

Clasificación	Definición	Responsabilidades
		<p>proyectos Seis Sigma, junto con los Black Belts.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Supervisar y hace el seguimiento de múltiples proyectos de Black Belts.
<p>Master Black Belt (MBB)</p>	<p>Es el experto en Seis Sigma para toda la compañía. Se desempeña como entrenador, mentor y consultor para los BB que trabajan en los diversos proyectos. Posee mucha experiencia en el campo de acción tanto en Seis Sigma como en actividades de operación, administrativas y de servicios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formar Black Belts en la metodología, herramientas y aplicaciones de Seis Sigma, para todas las actividades y niveles de la empresa. ▪ Proporcionar el liderazgo necesario en la integración del enfoque Seis Sigma con la estrategia de negocio de la empresa y contribuir a la creación y ejecución del plan estratégico y el plan de negocio. ▪ Dirigir personalmente varios equipos de proyecto con éxito.
<p>Black Belt (BB)</p>	<p>Los BB son personas que se dedican a detectar oportunidades de cambios críticas y a conseguir que logren resultados. El Cinturón negro posee firmes conocimientos tanto en materia de calidad, como en temas relativos a estadística, resolución de problemas y toma de decisiones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Liderar, desarrollar, formar y dirigir equipos de mejora Seis Sigma, equipos de Diseño para Seis Sigma o equipos de procesos transaccionales Seis Sigma. ▪ Asesorar y aconsejar a la dirección sobre la prioridad, planificación y lanzamientos de proyectos Seis Sigma. ▪ Utilizar, enseñar y difundir las herramientas y métodos Seis Sigma a los Green Belts y al resto de miembros del equipo.
<p>Green Belt (GB)</p>	<p>Es aquella persona formada en la Metodología Seis Sigma, que apoya a los BB y/o que dirige proyectos de mejora a nivel departamental, o participa en equipos de mejora inter-departamentales como un miembro más.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirigir equipos departamentales de proyecto para guiarles sobre cuándo y cómo utilizar las herramientas para solucionar los problemas en el proceso de mejora Seis Sigma. ▪ Mejorar la productividad y rentabilidad identificando y resolviendo los problemas crónicos y evitando deficiencias costosas, a niveles departamentales.

Fuente: Pyzdek, Thomas (2003). *The Six sigma Handbook: A complete guide for Green Belts, Black Belts and Managers at all levels* (1a Edición) (pp. 28-43). USA: McGraw-Hill.

En Seis Sigma se trabaja proyecto a proyecto como única forma de eliminar problemas sistemáticos de variabilidad que afectan a procesos medibles y que se traducen en defectos cuantificables.

En la fase de definir, son identificados los proyectos potenciales seis sigma. Las nominaciones pueden venir de varias fuentes, incluyendo clientes y mapas de flujo de valor (VSM). Para evitar sub-optimización, las gerencias tienen que evaluar y seleccionar los proyectos con el apoyo de los Black Belts. Los proyectos pueden ser de distinto alcance y duración.

Aunque los criterios para evaluar la selección de proyectos son muchos, la base primaria debe ser el costo de no calidad al nivel de la compañía o división.

La misión del proyecto es entonces preparada, y después confirmada por la gerencia. La gerencia selecciona al personal mas apropiado para formar el equipo para el proyecto y asigna las prioridades necesarias. El progreso del proyecto a través del ciclo DMAMC es monitoreado para asegurar el éxito.

Descripción del ciclo DMAIC (DMAMC)

La metodología consiste en 5 fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, y su abreviatura más común es DMAMC. Veamos a continuación las actividades que se llevan a cabo en cada una de estas fases:

Tabla 6. Descripción de las etapas y las herramientas comúnmente utilizadas en la metodología Seis Sigma.

Etapa	Descripción	Herramientas comúnmente utilizadas
Definir	En esta fase se realiza un análisis de impacto económico, análisis de uso de recursos y de impacto con el cliente de una serie de oportunidades de mejora	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoja de Cálculo / Procesador de Palabras / Concepto de crítico para el cliente. ▪ Diagrama de Gantt / Timeline. ▪ Diagrama de Flujo o Mapa del Proceso. ▪ Balance Scorecard. ▪ Diagrama de Pareto y Cartas de Control. ▪ Sugerencias / Reclamaciones. ▪ Diagrama Causa – Efecto. ▪ Matriz Causa – Efecto. ▪ CTQ Tree. ▪ FMEA. ▪ Encuestas / Entrevistas / Objetivos del Grupo.
Medir	Esta fase se refiere a la recolección de toda la información relevante sobre el proyecto de mejora, para lo cual es muy importante asegurarse de la confiabilidad de los	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de recolección de Datos. ▪ Encuestas / Entrevistas / Objetivos del Grupo. ▪ Hojas de verificación / Hojas de Cálculo. ▪ Diagramas SIPOC o IPO.

Etapa	Descripción	Herramientas comúnmente utilizadas
	<p>dispositivos de medición, que puedan ser instrumentos de medición o cuestionarios de evaluación para servicios. Se recolecta información de los indicadores clave del negocio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estadística Descriptiva y Capacidad del Proceso. ▪ Diagrama de Pareto y Cartas de Control. ▪ Análisis de los Sistemas de Medición. ▪ Diagrama de Flujo o Mapa del Proceso. ▪ Diagrama de Gantt / Timeline.
Analizar	<p>En esta fase se hace un análisis, para explorar y dar un diagnóstico del problema a partir de la información obtenida en la fase de medición. En ella se identifica las fuentes de variación, los factores que permiten lograr una mejora sustancial y lograr un mejor desempeño del proceso. En algunos casos es necesario en rediseñar el proceso o producto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diagrama de Pescado (Los 5 ¿por que?). ▪ Histogramas. ▪ Gráficas de Dispersión (Correlación). ▪ Prueba de Hipótesis / Chi – Cuadrada. ▪ Intervalos de Confianza. ▪ Diagrama de Pareto y Cartas de Control. ▪ Regresiones. ▪ ANOVA. ▪ DOE. ▪ Métodos de Superficie de Respuesta. ▪ Diagrama de Flujo o Mapa del Proceso.
Mejorar	<p>Esta fase se refiere a la búsqueda de variables que tienen mayor influencia en la variabilidad y la determinación de los niveles en que deben operar para tener el mejor desempeño del proceso: posteriormente, se afinan sus niveles para optimizar el desempeño del proceso. Para identificar las variables de influencia y sus niveles se utilizan diversos métodos de diseño de experimentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diagramas de Afinidad. ▪ Prueba de Hipótesis. ▪ Intervalos de Confianza. ▪ DOE. ▪ FMEA. ▪ Prueba de Error / Simulación. ▪ Diagrama de Flujo o Mapa del Proceso. ▪ Implementación y Plan de validación.
Controlar	<p>Consiste esta fase en el control de las variables críticas que causan la variabilidad de los procesos. Esto es, se asegura que las condiciones del nuevo proceso estén documentadas y monitoreadas de manera estadística con los métodos de control del proceso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cartas de Control. ▪ Mapeo del Proceso / Monitoreo / Plan de Respuesta. ▪ Poka – Yokes. ▪ Estandarización. ▪ Procedimientos Normalizados de Operación MSA o Gage R&R. ▪ Reporte Final. ▪ Presentación.

Fuentes: Reyes, Primitivo (Abril - Junio 2002). *Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones* (pp. 53-66). Revista contaduría y

Administración, No. 205. Goffnett, Sean (September 2004 through December 2004). *Understanding Six Sigma Implications for Industry and Education* (Volume 20, Number 4) (Pág.6). Journal of Industrial Technology.

Metodología Lean Manufacturing

Antecedentes

El término Lean fue acuñado por un grupo de estudio del Massachusetts Institute of Technology para analizar en el nivel mundial los métodos de manufactura de las empresas de la industria automotriz. El grupo destacó las ventajas de manufactura del mejor fabricante en su clase (la empresa automotriz japonesa Toyota) y denominó como a “Lean Manufacturing” al grupo de métodos que había utilizado desde la década de los años sesenta y que posteriormente se afinó en la década de los setenta con la participación de Taiichi Onho y Shigeo Shingo, con objeto de minimizar el uso de recursos a través de la empresa para lograr la satisfacción del cliente, reflejado en entregas oportunas de la variedad de productos solicitada y con tendencia a los cero defectos.

La metodología de Lean Manufacturing consiste de varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Reducir desperdicios y mejorar las operaciones, basándose siempre en el respeto al trabajador. Además Lean Manufacturing proporciona a las compañías herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige calidad más alta, entrega más rápida a más bajo precio y en la cantidad requerida.

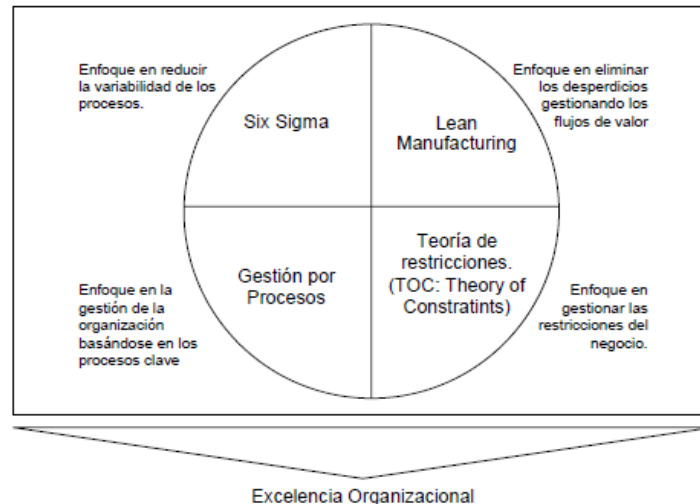
Lean Manufacturing o Manufactura Esbelta

Lean Manufacturing (o manufactura esbelta) es una metodología que se enfoca en la eliminación de cualquier tipo de pérdidas, temporal, material, eficiencia, o procesos. Es eliminar lo inútil con el objetivo de aumentar la productividad y la capacidad de la empresa para competir con éxito en el mercado. El objetivo de Lean Manufacturing es proponer mejoras en los procesos a través del análisis de la cadena de valor y la implementación de herramientas de calidad e indicadores macro.

Asimismo, Lean Manufacturing, propende a no realizar ninguna actividad que no genere valor para el producto (desperdicio), haciendo el proceso más ágil. Por su parte Seis Sigma reduce la variabilidad de aquel proceso a través de su conjunto actuar con los lineamientos de Gestión Procesos y la Teoría de

Restricciones logran en la empresa, excelencia en resultados, como lo describe la Figura 3.¹²

Figura 4. Six Sigma y Lean Manufacturing.



Beneficios de la aplicación de Lean Manufacturing

Algunos de los beneficios que genera a aplicación de la metodología Lean Manufacturing son:

- Reducción hasta de un 50% o más del espacio utilizado para manufactura.
- Reducción de la distancia entre los procesos.
- Mejora las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad.
- Reducción de tiempos de entregas (lead time - desde el pedido hasta la entrega del producto terminado) en promedio hasta del 50%.
- Reducción hasta de un 50% en promedio del tiempo de ciclo de manufactura.
- Reducción hasta del 100% del tiempo de preparación de cambio de modelo.
- Reducción de costos del producto en promedio 30%.
- Reducción de costos de herramientas para un nuevo producto.
- Reducción de defectos 50% en promedio lo que se traduce en una mejor calidad.
- Reducción de rechazos y desperdicio.
- Reducción de costos por inventario.

¹² Reyes, Primitivo (Abril - Junio 2002). Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones (Pág. 53). Revista contaduría y Administración, No. 205.

- Respuesta rápida al mercado.
- Menos mano de obra.
- Mayor eficiencia de equipo.
- Mayor tiempo de vida media de la maquinaria y equipos.
- Sistemas de producción más robustos.
- Mejor comunicación con el cliente, entre otras.

Herramientas comúnmente utilizadas en Lean Manufacturing

Los elementos de la manufactura esbelta se aplican a través de una serie de herramientas, entre las cuales destacan las siguientes:

5'S Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras. Las SS provienen de términos japoneses, estas son:¹³

1. Clasificar, organizar o arreglar (Seiri).
2. Ordenar (Seiton).
3. Limpieza (Seiso).
4. Estandarizar (Seiketsu).
5. Disciplina (Shitsuke).

Justo a Tiempo (Just in Time) es un conjunto integrado de actividades diseñadas para alcanzar grandes volúmenes de producción usando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y productos terminados. Por lo tanto, justo a tiempo es una filosofía industrial que consiste en la reducción de desperdicio (actividades que no agregan valor) es decir todo lo que implique sub-utilización en un sistema desde compras hasta producción.

Kanban Su significado en japonés es “etiqueta de instrucción”. Su principal función es ser una orden de trabajo, es decir, un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en que cantidad, mediante que medios y cómo transportarlo. Kanban cuenta con dos funciones principales: control de la producción y mejora de procesos. En este sistema de producción, el proceso se conduce de tal forma que cada operación vaya jalando el producto necesario de la operación anterior, solamente a medida que lo necesite.

¹³ George, Michael L. (2002). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed (Pág. 217). New York: McGraw-Hill.

- SMED** Método de cambios rápidos (Single Minute Exchange of Dies), este método, consiste en el “Cambio de troqueles en minutos de un solo dígito”, son teorías y técnicas para realizar el cambio del “Set - up” o preparación, o sea, el cambio de moldes o herramientas para cortar en una prensa, en un tiempo menor de diez minutos. Y esto aplica desde la última pieza buena que se fabrica, hasta la primera pieza buena del cambio en menos de diez minutos. Las máquinas tienen que ser rápidamente preparadas para producir los modelos en la línea ya que las normas son desplazar pequeños tamaños de lote.
- Poka – Yoke** Esta herramienta es otro aspecto desarrollado por Shigeo Shingo después de la segunda guerra mundial, fue diseñado para enfocarse en la búsqueda de la calidad de la fuente y en la recolección de los defectos tanto como sea posible desde su fuente.
- TPM** Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance). Este método se usa para maximizar la disponibilidad del equipo y maquinaria productiva de manufactura, evitando las fallas inesperadas y los defectos generados; el mantenimiento se logra al conservar la maquinaria actualizada y en condiciones óptimas de operación a través de la participación de diversos departamentos en un esquema parecido a la Calidad Total, pero enfocado a los equipos de manufactura, este método se denomina Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Control visual** Un control visual es un estándar representado mediante un elemento gráfico o físico, de color o numérico y muy fácil de ver. Un control visual se utiliza para informar de una manera fácil entre otros los siguientes temas:
- Sitio donde se encuentran los elementos.
 - Frecuencia de lubricación de un equipo, tipo de lubricante y sitio donde aplicarlo.
 - Estándares sugeridos para cada una de las actividades que se deben realizar en un equipo o proceso de trabajo.
 - Dónde ubicar el material en proceso, producto final y si existe, productos defectuosos.
 - Sitio donde deben ubicarse los elementos de aseo, limpieza y residuos clasificados.
 - Sentido de giro de motores.
 - Conexiones eléctricas.
 - Sentido de giro de botones de actuación, válvulas y actuadores.

- Flujo del líquido en una tubería, marcación de esta, etc.
- Franjas de operación de manómetros (estándares).
- Dónde ubicar la calculadora, carpetas bolígrafos, lápices en el sitio de trabajo.

Mapeo Proceso El mapeo de procesos es una herramienta que ayuda a las empresas a clarificar las situaciones críticas de sus procesos. Sus propósitos son: validar procesos de equipos multifuncionales, identificar las barreras y desconexiones en el proceso, distinguir entre lo “Actual” y lo “Deseado”, determinar las personas adecuadas para la toma de decisiones, dar prioridad a metas y crear un plan de acción.

Kaizen Blitz Este método se utiliza para hallar una solución rápida a problemas se presentan en las plantas de manufactura, a través de un equipo de acción rápida, el término Blitz se refiere a un ataque rápido de problemas, normalmente se trata de problemas sencillos de solucionar, pero que afectan de manera importante a la producción, como primer paso se integran equipos de acción rápida denominados Kaizen Blitz incluyendo a trabajadores, supervisor, mecánicos, inspector, etc. El objetivo es aprovechar la larga experiencia de los operadores para que identifiquen el problema y sus causas, aporten ideas y sugerencias y participen en la implantación de las soluciones.¹⁴

¹⁴ Reyes, Primitivo (Abril - Junio 2002). Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones (Pág. 55). Revista contaduría y Administración, No. 205.



Capítulo III
Marco de Referencia

Antecedentes de la empresa

Por cuestiones de confidencialidad de la información se ha decidido no mencionar el nombre de la compañía en donde se realizó esta tesis, por lo cual, durante el desarrollo de este trabajo solo se le denominará como una empresa fabricante de equipo eléctrico.

Ubicación:

Iztapalapa, Distrito Federal.

Perfil

Fabricante de equipo eléctrico que es especialista mundial en administración de la energía y que ofrece soluciones integradas para hacer que la energía sea segura, confiable, eficiente y productiva para los mercados de energía e infraestructura, de industria, de centros de administración de datos y redes, de edificios y residencial (ver Figura 5).

Figura 5. Mercados principales.



Visión de la empresa

Lograr más usando menos de nuestro planeta.

En la actualidad, vivimos en un mundo próspero y de rápido crecimiento en que la energía es fundamental.

Creemos que es una excelente oportunidad para que todos y cada uno de nosotros alcancemos nuestro verdadero potencial y, al mismo tiempo, disminuyamos el impacto en el medio ambiente.

Misión de la empresa

Ayudar a las personas a aprovechar al máximo su energía.

Ayudamos a las personas y organizaciones a sacar mayor provecho de su energía con soluciones que hacen que sus empresas sean más productivas y sostenibles.

Quiénes son

La empresa especialista mundial en administración de energía.

Con la más amplia cartera de actividades en administración de energía, esta empresa, hace que la energía sea:

- Segura, con energía y control.
- Confiable, con servicios de alimentación y enfriamiento críticos.
- Eficiente, con eficiencia energética.
- Productiva, con automatización industrial, de edificios y viviendas.
- Una cartera de actividades integrada y equilibrada.
 - Distribución eléctrica de voltaje medio y bajo.
 - Control y automatización industrial.
 - Automatización y seguridad de edificios.
 - Control y sistema de instalación (dispositivos de cableado + automatización de viviendas).
 - Monitoreo y control de energía.
 - Servicios de alimentación y enfriamiento críticos.
 - Servicios.

Información adicional

Su Portafolio Corporativo €18.3 billones en ingresos en el año 2008, 114,000 empleados en más de 100 países, 32% de retorno en la inversión en las economías emergentes. Soluciones vendidas en 190 países a través de sus distribuidores. Más de 200 plantas de manufactura cercanas a sus clientes.

Historia

La industria del hierro y del acero, la maquinaria pesada y la construcción de barcos en el siglo XIX. La administración de electricidad y automatización en el siglo XX. En sus 170 años de existencia, esta compañía ha estado a la altura de diversos desafíos y ha tomado decisiones estratégicas importantes para convertirse en un líder.

Siglo XIX

- 1836: Se hicieron cargo de las fundiciones, que estaban en dificultades. Dos años después, crearon la empresa.
- 1891: Habiéndose convertido en especialistas en armamento, esta empresa innovó para embarcarse en el emergente mercado de la electricidad.

Primera mitad del siglo XX

- 1919: Instalación de de la empresa en Alemania y Europa Oriental mediante la Unión Industrial y Financiera Europea (EIFU).

En los años que siguieron, esta empresa se asoció con Westinghouse, uno de los principales grupos eléctricos internacionales. El Grupo amplió su actividad a la fabricación de motores eléctricos, equipos eléctricos para centrales eléctricas y locomotoras eléctricas.

- Posguerra: Esta empresa abandonó gradualmente los armamentos y se volcó a la construcción, al trabajo en hierro/acero y a la electricidad. La empresa se reorganizó completamente a fin de diversificarse y abrirse a nuevos mercados.

Fines del siglo XX

- 1981-1997: Esta empresa siguió concentrándose en la industria eléctrica y, para ello, se separó de sus actividades no estratégicas. A esta política se le dio una forma concreta mediante adquisiciones estratégicas de diferentes marcas líderes en el mercado eléctrico en los años de 1988, 1991 y 1992 para pasar a formar parte del Grupo.
- 1999: El desarrollo de Ultra Terminal con la adquisición de la segunda mayor empresa europea en distribución eléctrica. En mayo de 1999, el Grupo cambió su nombre al nombre actual, para recalcar con más claridad sus conocimientos en el área eléctrica. El Grupo emprendió una estrategia de crecimiento acelerado y competitividad.
- 2000 - 2005: Crecimiento orgánico y seguir su política de adquirir empresas que permitieran a esta empresa posicionarse en nuevos segmentos de mercado: diálogo hombre-máquina, UPS (fuente de alimentación ininterrumpida), control de movimiento, Voz - Datos - Imagen, Tecnología de sensores, Automatización de edificios y seguridad.

Presencia en México

En la Figura 6, se puede observar la presencia en México del fabricante de equipo eléctrico objeto de estudio.

Figura 6. Plantas en México.



Planta en Iztapalapa

En la Figura 7, se muestran las superficies de las diferentes áreas principales de la planta en el D.F.

Figura 7. Áreas de la planta en el D.F.

Oficinas	Planta de Ensamble	Planta de Fabricación
<p>Area: 2,437 m²</p>	<p>Productos Estándar Mercado USA CSED, MP, EZM, Bucket Mercado Nacional Centros de Carga Interruptores de Seguridad Area: 5,180 m²</p>	<p>Fabricación Cizallas Troqueladoras Prensas Soldadoras Dobladoras Pintura Taller de herramientas Area: 6,195 m²</p>
	<p>Engineered Products Mercado Nacional Switchboards Media Tensión Centro de Control de Motores Otros Area: 5,180 m²</p>	

La descripción anterior, pretende mostrar que esta empresa de fabricación de equipo eléctrico ha sido desde sus inicios una compañía que ha pugnado por la mejora, innovando y desarrollando nuevos productos, lo que le hizo ganar nuevos mercados, generando que tuviera que expandirse alrededor del mundo,

en. De esto se puede comprender que el crecimiento económico de esta empresa, se debe en gran parte a la fabricación de productos de calidad, lo que la ha llevado a ser líder en su rubro (de acuerdo a la lista Forbes, ocupó el lugar 311 en el 2005) y una de las compañías más grandes a nivel mundial.

Actualmente esta compañía, continúa siendo una empresa que posee grandes ventajas competitivas, que busca estar siempre a la vanguardia, ofreciendo productos de la más alta calidad, lo cual lo logra implementando diversos métodos de mejora continua, siendo unos de ellos, el Seis Sigma.

Introducción a los procesos de manufactura

La manufactura es una actividad importante desde el punto de vista tecnológico, económico e histórico. Se puede definir la tecnología como una aplicación de la ciencia que proporciona a la sociedad y a sus miembros aquellos bienes que son necesarios o deseados. Existen numerosos ejemplos de tecnologías que afectan directa o indirectamente nuestra vida diaria. Considere, por ejemplo, la lista de productos que aparecen a continuación; son el resultado de diversas tecnologías que ayudan a nuestra sociedad y a sus miembros a vivir mejor. ¿Que tienen esos productos en común? Todos son manufacturas. Estos portentos tecnológicos no existirían si no hubiera sido posible producirlos. La manufactura es el factor esencial que los ha hecho posibles gracias a la tecnología.

Productos representativos de varias tecnologías, que impactan en su mayoría a casi todas las personas:

- Zapatos para atleta.
- Bolígrafo.
- Teléfono celular.
- Reproductor de discos compactos.
- Lentes de contacto.
- Calculadora electrónica manual.
- Bombilla de luz incandescente.
- Robot industrial.
- Circuito integrado.
- Televisor a color de pantalla grande.
- Aparato de diagnóstico médico por imagen de resonancia magnética.
- Horno de microondas.
- Silla de patio de una pieza moldeada en plástico.
- Computadora personal.
- Máquina fotocopidora.
- Reloj de pulsera de cuarzo.

- Llanta radial de automóvil.
- Raqueta de tenis de material compuesto.
- Grabadora de videos.
- Máquina lavadora y secadora.

Económicamente, la manufactura es un instrumento importante que permite a una nación crear riqueza material. En la moderna economía internacional, una nación necesita una sólida base manufacturera (o recursos naturales importantes) si desea tener una economía fuerte con la cual brindar a su pueblo un alto nivel de vida.

Históricamente se ha subestimado la importancia de la manufactura en el desarrollo de las civilizaciones; no obstante, las culturas humanas que han sabido hacer mejor las cosas a lo largo de la historia, han sido las más exitosas. Haciendo mejores herramientas, se perfeccionaron las artesanías y las armas; la artesanía les permitió un mejor nivel de vida, las armas les permitieron conquistar a las culturas vecinas en tiempos de conflicto. En la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) Estados Unidos sobrepasó a Alemania y Japón en producción, lo cual fue una ventaja decisiva para ganar la guerra. La historia de la civilización ha sido en gran parte, la historia de la habilidad humana para fabricar cosas.

Manufactura

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (manos) y factus (hacer); esta combinación de términos significa hacer con las manos. La palabra inglesa manufacturing tiene ya varios siglos de antigüedad, y la expresión “hecho a mano” describe precisamente el método manual que se usaba cuando se acuñó la palabra.

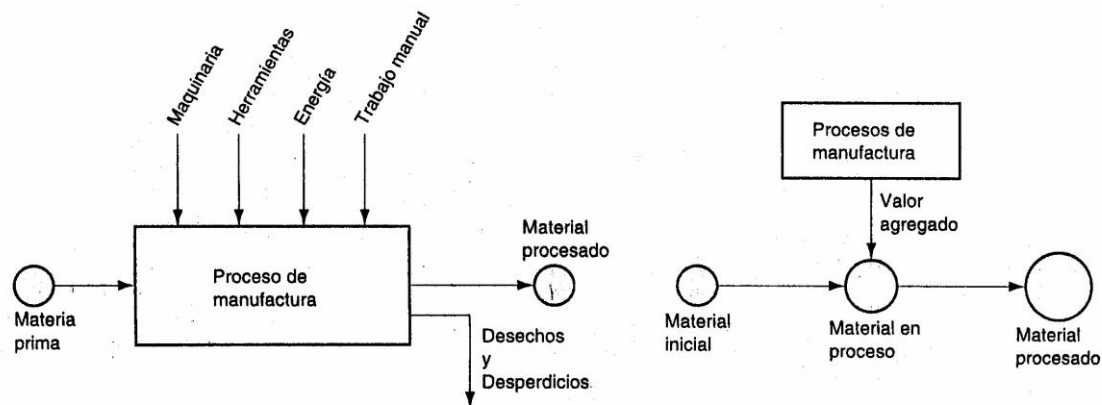
Definición de manufactura

La manufactura, como campo de estudio en el contexto moderno, puede definirse de dos maneras: tecnológica y económica. Tecnológicamente es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades, o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados. Los procesos para realizar la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, tal como se describe en la Figura 3. La manufactura se realiza casi siempre como una sucesión de operaciones. Cada una de ellas lleva al material cada vez más cerca del estado final deseado.

Figura 8. Dos maneras de definir manufactura:

(a) Como un proceso técnico

(b) Como un proceso económico



Económicamente, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones o procesos de ensamble, como se muestra en la Figura 8 (b). El punto clave es que la manufactura agrega valor al material original, cambiando su forma o propiedades, o al combinarlo con otros materiales que han sido alterados en forma similar. El material original se vuelve más valioso mediante las operaciones de manufactura que se ejecutan sobre él. Cuando el mineral de hierro se convierte en acero, se le agrega valor. Cuando la arena se transforma en vidrio, se le agrega valor. Lo mismo sucede cuando el petróleo se refina y convierte en plástico; y cuando el plástico se moldea en una compleja geometría de una silla de patio, se hace aún más valioso.

Aunque la manufactura es una actividad importante, no se lleva a cabo por sí misma. Se realiza como una actividad comercial por parte de las compañías que venden sus productos a los consumidores.

El tipo de manufactura que maneja una compañía depende de la clase de productos que fabrica. Se puede explorar esta relación si examinamos primero los tipos de industrias de manufactura, e identificamos después los productos que elaboran.

Industrias manufactureras

Son empresas y organizaciones que producen o abastecen bienes y servicios, pueden clasificarse como primarias, secundarias o terciarias. Las industrias primarias son aquellas que cultivan y explotan los recursos naturales, tales como la agricultura y la minería. Las industrias secundarias adquieren los productos de las industrias primarias y los convierten en bienes de consumo o de capital. La actividad principal de las industrias en esta categoría es la manufactura, incluyendo también la construcción y las instalaciones para la producción de energía. Las industrias terciarias constituyen el sector de servicios de la economía. En la Tabla 7 se presentan las listas de industrias específicas en cada categoría.

Tabla 7. Industrias específicas en las categorías primaria, secundaria y terciaria, sobre la base aproximada a la International Standard Industrial Classification (ISIC) usada por Naciones Unidas.

Primarias	Secundarias	Terciarias (Servicios)
Agricultura	Bebidas	Banca
Forestal	Materiales para construcción	Comunicaciones
Pesca	Productos químicos	Educación
Ganadería	Computadoras	Entretenimiento
Canteras	Construcción	Servicios financieros
Minería	Enseres domésticos	Gobierno
Petróleo (extracción)	Procesamiento de alimentos	Salud y servicios médicos
	Vidrio y cerámica	Información
	Equipos eléctricos	Servicios legales
	Refinación de petróleo	Bienes raíces
	Productos farmacéuticos	Reparación y mantenimiento
	Plásticos (formado)	Restaurantes
	Instalaciones de generación de energía	Comercio al detalle
	Textiles	Turismo
	Madera y muebles	Transporte

En este texto nos interesan las industrias secundarias (columna central en la Tabla 7); donde se encuentran clasificadas las compañías dedicadas a la manufactura; sin embargo, la Internacional Standard Industrial Classification (ISIC) utilizada para recopilar la Tabla 7, incluye varias industrias cuyas tecnologías de producción no se cubren en este texto, por ejemplo: bebidas, productos químicos y procesamiento de alimentos. En este texto la palabra manufactura significa la producción de equipo y herramientas, lo cual comprende desde tuercas y tornillos hasta equipos eléctricos y armas. Se incluyen también productos cerámicos y plásticos, pero se excluyen: ropa, confección, y por supuesto programas de computación. Nuestra pequeña lista de industrias manufactureras aparece en la Tabla 8.

Tabla 8. Industrias manufactureras cuyos sistemas y procesos quedan probablemente incluidos en este texto.

Industria	Productos típicos
Automotriz	Metales básicos
Enseres domésticos	Electrónica
Equipo	Metales habilitados
Vidrio, cerámica	Maquinaria pesada
Plásticos (formado)	Llantas y productos de hule

Industria	Productos típicos
Automóviles, camiones, autobuses y motocicletas	Hierro y acero, aluminio, cobre
Aparatos para el hogar grandes y pequeños	Televisores, videograbadoras y equipos de audio
Maquinaria industrial, equipo eléctrico	Partes maquinadas, estampados metálicos, herramientas
Productos vítreos, herramientas cerámicas, lozas	Maquinas herramientas, equipo de construcción
Plásticos moldeados, extrusiones	Llantas, suelas de hule, pelotas de tenis

Capacidad de manufactura

Una planta de manufactura consiste en un conjunto de procesos y sistemas (y desde luego trabajadores) diseñados para transformar una cierta clase limitada de materiales en productos con valor agregado. Estos tres pilares materiales, procesos y sistemas constituyen la esencia de la manufactura moderna. Existe una gran interdependencia entre estos factores. Una empresa dedicada a la manufactura no lo puede hacer todo; sin embargo tiene que realizar sólo ciertas cosas y debe hacerlas bien. La eficacia de la manufactura se refiere a las limitaciones físicas y técnicas de la empresa manufacturera y de cada una de sus plantas. Podemos identificar varias dimensiones de esta capacidad y aptitud:

- 1) Capacidad y aptitud tecnológica de proceso
- 2) Tamaño físico y peso del producto
- 3) Capacidad de producción

Capacidad tecnológica

La capacidad tecnológica de proceso de una planta es el conjunto de procesos de manufactura del cual dispone una empresa. Algunas plantas realizan operaciones de maquinado, otras laminan lingotes de acero convirtiéndolos en láminas, y algunas más construyen automóviles. Un taller de maquinado no puede laminar acero y el de laminación no puede construir carros. La característica fundamental que distingue a estas plantas son los procesos que pueden realizar. La capacidad tecnológica de proceso está relacionada estrechamente con el tipo de material. Ciertos procesos de manufactura se adaptan a ciertos materiales, mientras que otros procesos se adaptan a otros materiales. Al especializarse en algún proceso o grupos de procesos, la planta se especializa simultáneamente en un cierto tipo de material.

Limitaciones físicas del producto

Un segundo aspecto de la capacidad y aptitud de manufactura es el que impone el producto físico. En una planta con un cierto conjunto de procesos existen limitaciones sobre el peso y tamaño de los productos que pueden

manejarse; los grandes y pesados son difíciles de mover, se requieren grandes grúas puente. La planta debe estar equipada con grúas de la capacidad de carga necesaria para mover los productos. Las partes y productos pequeños hechos en grandes cantidades pueden manejarse con transportadores u otros medios. La limitación sobre el tamaño y peso de los productos se extiende también a la capacidad física de los equipos de manufactura. Las máquinas de producción se diseñan en diferentes tamaños; las más grandes pueden usarse para procesar piezas grandes. De aquí que el conjunto de equipos de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta tenga que planearse para productos que entran dentro de un cierto rango de tamaño y peso.

Capacidad de producción

Una tercera limitación sobre la capacidad y aptitud de la planta es la cantidad de producción que puede ser generada en un período establecido (mes o año por ejemplo). Esta limitación en cantidad es llamada comúnmente capacidad de planta o capacidad de producción, y se define como la máxima velocidad de producción que una planta puede lograr bajo condiciones dadas de operación. Las condiciones de operación se refieren al número de turnos de trabajo por semana, horas por turno, niveles de mano de obra directa en la planta, etc. Estos factores representan insumos de la planta manufacturera. Dados estos insumos, ¿cuánta producción puede generar la planta?

La capacidad de la planta se mide generalmente en términos de unidades producidas, tales como toneladas de acero producidas por una acería, o el número de carros producidos por una planta ensambladora. En estos casos los productos son homogéneos; en otros, donde las unidades producidas no son homogéneas, hay factores más apropiados de medida como las horas hombre de capacidad disponible en un taller mecánico que produce una variedad de partes.

Manufactura flexible

La tecnología de manufactura flexible es una gran promesa para el futuro de la manufactura. Beneficios potenciales son el mejoramiento en calidad, la reducción en costos e inventario, y un mejor manejo de los productos. Esta tecnología puede dividirse en dos segmentos: Flexible Manufacturing Systems (FMS, sistemas flexibles de manufactura) y Flexible Manufacturing Cells (FMC, celdas flexibles de manufactura).

Flexible Manufacturing Systems (FMS)

Un FMS tiene varias definiciones, debido a que la gente trata de describirlo desde su propia perspectiva. A un nivel superior, un FMS es una colección de FMC. También puede ser un grupo de máquinas manufactureras dedicadas a un solo propósito, proveyendo flexibilidad debido tanto al flujo variable de material entre estaciones como a las diferentes combinaciones de usar estaciones de operaciones simples. En ambos casos, el resultado final es la

capacidad de manufacturar piezas o ensamblados usando el mismo grupo de máquinas. Una línea de producción con uso y operación variable de las estaciones puede funcionar como FMS. Es por esto que la manufactura flexible describe cualquier grupo de máquinas o centros con el objeto de mover material entre ellos. El sistema completo está manejado por computadores, los cuales pueden manufacturar colectivamente diferentes partes y productos desde el inicio al final.

Los sistemas FMS para manufactura también son denominados sistemas CIMS (Computer Integrated Manufacturing Systems).

Las máquinas herramientas usadas en FMS usualmente son centros de mecanizado CNC, pero también pueden usarse otros equipos, como estaciones de inspección o de ensamblado, e incluso equipamiento para acabado superficial. El concepto FMS de manufactura está caracterizado por la capacidad de integrar estaciones de trabajo, manejo automático de materiales y control computacional.

El uso de FMS con lleva al uso de otros sistemas, como son la tecnología de grupo (GT, Group Technology), que permite clasificar piezas con características de fabricación similares, la tecnología JIT (Just In Time, justo a tiempo), que permite que las materias primas lleguen al lugar indicado en el momento preciso, los sistemas MRP (Material Requirements Planning, planeación de requerimientos de productos), donde el material entrante es seleccionado para llegar al lugar correcto a la hora indicada, y finalmente los sistemas CAD, con el fin de permitir el uso de datos y especificaciones milimétricas del diseño en la programación de máquinas de control numérico (NC) e inspección automática.

El concepto FMS es visto por muchos expertos como, al menos, una solución parcial al problema de producción de mediano volumen, la cual alcanza a nivel de países industrializados al 40% de la producción total. Los productos hechos en masa alcanzan solo el 25% del total. Los sistemas FMS son más aplicables a los procesos de familia de partes, o piezas de volumen medio de producción como ejes, bloques de motor, etc.

Al usar FMS se reducen los costos de mano de obra directa, pero aumentan los de mano de obra indirecta, debido al mayor nivel de complejidad del hardware. También se reducen los tiempos de producción, debido a la mayor eficiencia de uso de las máquinas, la cual puede alcanzar el 85%, valor considerado excelente. Existe con FMS una posibilidad de acomodar cambios en el volumen de partes, mezclar productos y hacer cambios en el diseño, sin tener grandes problemas. Debido a la mayor velocidad de procesamiento de las partes, se puede reducir notablemente el inventario, especialmente si se usan los sistemas JIT y MRP. La administración de la planta se simplifica con FMS al tener el control principal un computador, el cual puede manejar pequeños cambios o denunciar fallas. De esta manera se facilita el sistema de control gerencial.

La justificación de costos de un FMS puede subdividirse en los costos de adquisición y los costos de operación. Los costos de adquisición deben realizarse una sola vez, e incluyen la preparación del lugar físico, el costo del equipo, el diseño del sistema y la preparación inicial de los operadores. Los costos de operación son comparables a los costos de otros tipos de plantas e incluyen programación de uso, manutención, reprogramación y actividades de control de calidad actual y bajo posibles nuevas normas.

La tendencia actual es a usar diseños más modulares, los cuales permitan a los fabricantes de máquinas herramientas tener algunos de los módulos básicos de funciones preconstruidos, o a usar piezas y sub-ensambles más comunes, con el fin de disminuir los tiempos de entrega.

Al planear la instalación de un sistema FMS, es necesario ceñirse a un modelo de implementación preexistente, el cual puede ser enfatizado en alguno de sus puntos por alguna empresa en particular; sin embargo, la experiencia ha demostrado que ninguno de los pasos puede saltarse por completo. Este modelo se presenta a continuación:

1. Definir qué se va a producir y si la planta y el personal está capacitado para eso.
2. Establecer familias de partes entre los productos o componentes.
3. Determinar el volumen a producir en el corto plazo (el primer año).
4. Pronosticar el volumen a producir a 10 años plazo.
5. Analizar con profundidad las capacidades del personal, sus contratos y un futuro jefe del proyecto*.
6. Analizar ofertas de equipos y sistemas, elegir con ayuda pagada la mejor opción.
7. Hacer una evaluación general del proyecto, incluyendo los costos. Los sistemas pueden costar de uno a veinte o más millones de dólares.
8. Mandar a pedir (comprar) el sistema.
9. Anticipar la puesta en marcha, tanto dentro como fuera de la planta, hablando con proveedores y distribuidores.
10. Desarrollar las rutinas del sistema, establecer mantenciones, preparar el área de instalación y visitar al constructor del sistema, con el fin de chequearlo y mostrarlo a sus futuros operarios.
11. Instalar el sistema.
12. Realizar post auditorias o revisiones periódicas, tanto con el constructor como con los operarios, con el fin de comprobar si los planes originales se están cumpliendo a cabalidad.

** Tras estos primeros cinco pasos se podrá asegurar si la empresa es candidata a usar un sistema FMS o no. Si lo es, la información obtenida será de gran importancia al implementar el resto del programa.*

La implementación de un sistema FMS debería cumplir con algunas especificaciones, y aunque éstas no son absolutamente necesarias, se aconseja su uso:

- Se deben establecer caminos para desarrollar subsistemas comunes de control de estadísticas, administración de manutención, de tal manera que éstos estén integrados con los otros subsistemas.
- Se debe usar un software común para integrar los sistemas actuales.
- Se debe usar convenciones (software) comunes para las interfaces hombre/máquina, de tal manera que los operadores, inspectores y mantenedores usen el mismo procedimiento al interactuar con todas las máquinas.
- Se debe usar una base de datos administrativa.
- Se debe usar equipamiento computacional común para la información gráfica y de texto.
- Las especificaciones de control de programación deben estar estandarizadas con el fin de incorporar interfaces de comunicación con los proveedores y distribuidores.

El uso de robots se ha intensificado últimamente, a tal punto que hoy son vistos simplemente como máquinas herramientas CNC, que son incorporadas a FMSs y FMCs. Cuando son apropiados, los robots se usan para el manejo de materiales, fijación de piezas en las máquinas y otros procesos que son hechos mejor por el robot que por una máquina CNC dedicada. Muchos distribuidores de FMS proveen los robots como parte integral de los sistemas, y en esto hay que tener precaución, pues los robots no son siempre compatibles.

El software y hardware FMS deben trabajar juntos en tiempo real, y una simulación es una buena manera de asegurar que esto ocurra. Debe existir primero una planeación de la capacidad de la planta para así, conociendo la demanda y las condiciones de operación, diseñar una estrategia que permita una adecuada base para la fase de planeación del MRP. Éste, basado en los inventarios que maneja, desarrolla un programa de entrega de productos. El CAPP también ofrece ayuda a la hoja de ruta de un producto, incluyendo los estándares de tiempo directo del diseño, permitiendo la viabilidad de la integración con los sistemas CAD / CAM. Debe existir, por tanto, un programa computacional de tiempo real que vaya comprobando la ejecución de las funciones encomendadas, y que reconozca errores de tal manera de no mandar materiales a una máquina que esté fallando.

El manejo de herramientas es otro aspecto que ha ido adquiriendo importancia en los FMSs que cortan metales. No tener operadores que vigilen las operaciones de corte implica tener sensores automáticos de quebrazón de herramientas, de tal manera de detectar problemas cuando éstos ocurran.

El uso de herramientas de calidad es esencial en las operaciones de precisión. Esto además aumenta la productividad y flexibilidad de un sistema FMS de

varias maneras, pues usando portaherramientas adecuados se aumenta la repetitividad de uso de una máquina, especialmente con el uso de máquinas programables. Este es el caso de los centros de mecanizado, los cuales pueden realizar operaciones de torneado y fresado, usando los magazines de herramientas adecuados. Hoy en día estos magazines pueden cargar 90 o más herramientas.

Los requerimientos del sistema de control de un FMS son mucho más que simples máquinas NC. La necesidad de lograr coordinación e integración en todos los aspectos de las operaciones de manufactura incluye sistemas de manejo de materiales, máquinas manufactureras, equipamiento de inspección, de recolección de datos y de reporte. Las necesidades de información de estos equipos deben ser manejadas por sistema de control del FMS. La jerarquía de control se divide en tres niveles de control:

- El programador dinámico, el cual determina el nivel de producción inmediato de cada pieza para así aprovechar al máximo la capacidad cambiante del sistema.
- El secuenciador de procesos, el cual determina el detalle del movimiento interno de piezas. Para achicar el número de posibilidades a evaluar en este nivel, algunos de los conflictos interdependientes son resueltos en un nivel menor por un mecanismo más rápido, para determinar el tiempo de mecanizado.
- La asignación de recursos dinámicos, o nivel de comunicación, el cual transmite las decisiones y recibe información de los controladores de las máquinas. Una parte de este nivel está a cargo de juntar datos estadísticos, monitorear las opciones del sistema y proveer servicios de aplicación en el momento oportuno. Un procesador de eventos coordina las actividades generales en el controlador.

Flexible Manufacturing Cells

Un FMC es un grupo de máquinas relacionadas que realizan un proceso particular o un paso en un proceso de manufactura más largo. Puede ser, por ejemplo, una parte de un FMS. Una celda puede ser segregada debido a ruido, requerimientos químicos, requerimientos de materias primas, o tiempo de ciclos de manufactura. El aspecto flexible de una celda flexible de manufactura indica que la celda no está restringida a sólo un tipo de parte o proceso, mas puede acomodarse fácilmente a distintas partes y productos, usualmente dentro de familias de propiedades físicas y características dimensionales similares.

Un FMC es un centro simple o un pequeño conjunto de máquinas que unidas producen una parte, sub-ensamble o producto. Una de las distinciones entre una celda y un sistema es la falta de grandes manipuladores de material entre las máquinas de una celda. Las máquinas en una celda están usualmente ubicadas de manera circular, muchas veces con un robot en el centro, el cual mueve las partes de máquina en máquina. El conjunto de máquinas en una celda se complementa para efectuar una actividad básicamente relacionada, como mecanizado, taladrado, terminación superficial o inspección de una

pieza. Un FMS puede contener múltiples celdas, las cuales pueden realizar diferentes y variadas funciones en cada celda o en una máquina o centro en particular.

Algunos empresarios han manifestado que el primer beneficio de FMC es en el área de control de la producción. Las celdas reducen el tiempo de proceso y el inventario. Además, moviendo varios procesos a una celda, se logra que muchas órdenes de producción se consoliden en una sola orden. De esta manera se programa mejor la producción, así como se disminuyen los movimientos de material, si se usa en conjunto los principios JIT.

Las celdas de mecanizado son generalmente más baratas para instalar y desarrollar, permitiendo al usuario implementar tecnología de manufactura flexible de manera gradual. La opinión actual de muchos usuarios de FMC es "más simple es mejor". Los empresarios manufactureros están implementando celdas flexibles de manufactura, y luego integrando las celdas, pero sin las uniones forzadas e interdependencias de un FMS totalmente operativo. Varios usuarios FMS no han logrado nunca una total funcionalidad en sus sistemas, debido a funcionamiento impreciso o falta de comunicación. El software FMS es uno de los más grandes problemas para estos usuarios. Es por esto que la tendencia hoy en día apunta a la implementación de celdas flexibles.

En la planeación de la instalación de un FMC, varias áreas deben ser tomadas en consideración:

- Área de trabajo directo: Selección de máquinas que funcionarán sin operador, minimización de tiempos de preparación y tiempo perdido.
- Área de trabajo indirecto: Inspección, manejo y envíos.
- Área de máquinas: Herramientas, enfriadores y lubricantes.
- Área de manejo de materiales y papeleo: Movimientos de partes, programación de trabajos, tiempos perdidos.

Los programas de simulación para celdas ocupan elementos de ambos tipos de simulación detallados anteriormente, pues en la fase inicial usan una simulación discreta para luego usar una continua. Este tipo particular de simulación se denomina simulación de celda de trabajo.

El control de las operaciones de los centros de mecanizado, son manejados por una unidad central de procesamiento (CPU). Los datos programados son ingresados y modificados, y la ubicación y estado de los pallets es mostrado en tiempo real. La programación de tiempo, el número de programas requeridos y el total acumulado de mecanizados incompletos están también a la mano. Algunos controladores también manejan la selección de herramientas, el monitoreo de las condiciones de corte y la generación de rutas óptimas para las herramientas.

Funcionalmente, el sistema de control debe ser capaz de lo siguiente:

1. **Monitoreo de equipos:** Se extiende así la capacidad del operador.
2. **Monitoreo de alarma:** Detecta y reporta condiciones de error, y responde con acciones alternativas automáticamente.
3. **Administración de programas:** Permite guardado, carga y descarga de programas e instrucciones para equipos programables o manuales.
4. **Control de producción:** Analiza el trabajo en proceso y optimiza con esos datos el despacho de piezas terminadas.

Las celdas flexibles han encontrado importantes aplicaciones en todo tipo de empresas, logrando mejoras del siguiente orden:

- **En mecanizado:** 30% de disminución en tiempo muerto y un 55 a 85% de aumento en la utilización de máquinas.
- **Con utilización de robots:** Casi 100% de aumento en la producción y un 75% de ahorro en el tiempo de producción.

La necesidad de continuas y largas corridas de productos estándar puede requerir la vuelta al sistema de líneas de producción, sin embargo, la necesidad de programación flexible y dinámica, gran variabilidad de productos y personalización de productos para los requerimientos del cliente, llevará a muchas compañías al uso de celdas o sistemas flexibles de manufactura.

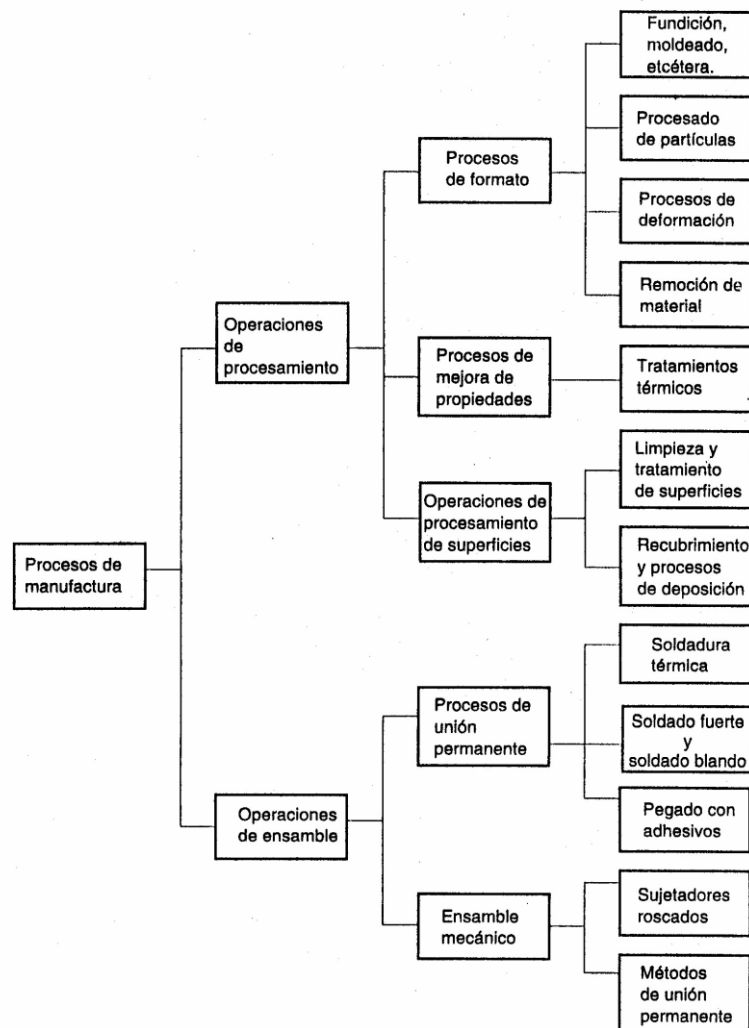
Nacidas de la necesidad de competir contra las presiones globales, y hechas posibles por la reestructuración industrial y los rápidos cambios de la tecnología, las celdas flexibles de manufactura están proveyendo soluciones claras a muchos empresarios manufactureros. Muchos observadores de la industria ven con buenos ojos el futuro - un futuro en el que las FMCs no sólo van a solucionar difíciles problemas de manufactura, sino también van a servir como el peldaño a los FMSs, así como a las "fábricas del futuro".

Procesos de manufactura

Los procesos de manufactura pueden dividirse en dos tipos básicos: **1) operaciones de proceso y 2) operaciones de ensamble**. Una operación de proceso transforma un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado para el producto. Esto le agrega valor al cambiar la geometría, las propiedades o la apariencia del material inicial. Por lo general, las operaciones de proceso se ejecutan sobre partes discretas de trabajo, pero algunas de ellas se aplican también a artículos ensamblados. Una operación de ensamble une dos o más componentes para crear una nueva entidad llamada ensamble, sub-ensamble o cualquier otra manera que se refiera al proceso de unir (por ejemplo a un ensamble soldado se le llama conjunto soldado).

En la Figura 9 se presenta una clasificación de procesos de manufactura. Algunos de estos procesos usados en la manufactura moderna se remontan a la antigüedad.

Figura 9. Clasificación de procesos de manufactura.



Operaciones de proceso

Una operación de proceso utiliza energía para alterar la forma, las propiedades físicas o el aspecto de una pieza de trabajo a fin de agregar valor al material. Las formas de energía incluyen la mecánica, térmica, eléctrica o química. La energía se aplica de forma controlada mediante la maquinaria y su herramienta. También puede requerirse la energía humana, pero los seres humanos generalmente se dedican a controlar las máquinas, a examinar las operaciones, a cargar y descargar partes antes y después de cada ciclo de operación. Un modelo general de las operaciones de proceso se ilustra en la Figura 8 (a): el material se alimenta en el proceso, la maquinaria y las

herramientas aplican la energía para transformar el material, y la pieza terminada sale del proceso. Como se muestra en dicho modelo, la mayoría de las operaciones de producción producen desechos o desperdicios, ya sea como un aspecto natural del proceso (por ejemplo, material removido en maquinado) o en la forma de ocasionales piezas defectuosas. Un objetivo importante en la manufactura es la reducción del desperdicio en cualquiera de estas formas.

Comúnmente se requiere más de una operación de proceso para transformar el material inicial a su forma final. Las operaciones se realizan en una sucesión particular que se requiera para lograr la geometría y las condiciones definidas por las especificaciones de diseño.

Se distinguen tres categorías de operaciones de proceso: **1) operaciones de formado, 2) operaciones para mejorar propiedades y 3) operaciones de procesado de superficies.** Las operaciones de formado alteran la geometría del material inicial de trabajo mediante diversos métodos que incluyen los procedimientos comunes de fundición, forjado y maquinado. Las operaciones para mejorar propiedades agregan valor al material con la mejora de sus propiedades físicas sin cambiar su forma; el tratamiento térmico es el ejemplo más común. Las operaciones de procesado de superficies tienen por objeto limpiar, tratar, revestir o depositar materiales en la superficie exterior de la pieza de trabajo; ejemplos comunes son la electro depositación y la pintura que se aplican para proteger la superficie o para mejorar su aspecto.

Procesos de formado La mayoría de los procesos de formado aplican calor, fuerza mecánica o una combinación de ambas para efectuar un cambio en la geometría del material de trabajo. Hay diversas formas de clasificar los procesos de formado. La clasificación empleada en este libro se basa en el estado inicial del material e incluye cuatro categorías:

1. **Fundición, moldeado** y otros procesos en los que el material inicial es un líquido calentado o semifluido.
2. **Procesado de partículas:** el material inicial es un polvo que se forma y calienta para darle una geometría deseada.
3. **Procesos de deformación:** el material inicial es un sólido dúctil (usualmente metal) que se deforma para formar la pieza.
4. **Procesos de remoción de material:** el material inicial es un sólido (dúctil o frágil) del cual se quita material para que la pieza resultante tenga la geometría deseada.

En la primera categoría, el material inicial se calienta lo suficiente para transformarlo en un líquido o llevarlo a un estado altamente plástico (semifluido). Casi todos los materiales pueden procesarse de esta manera. Todos los metales, los vidrios cerámicos y los plásticos pueden ser calentados a temperaturas suficientemente altas para convertirlos en líquidos. El material en forma líquida o semifluida, se vierte o es forzado a fluir en una cavidad de un molde para dejar que se solidifique, tomando así una forma igual a la de la

cavidad. Los procesos que operan de esta forma se llaman fundición y moldeado.

Fundición es el nombre usado para metales y moldeado es el término de uso común para plásticos. El trabajo en vidrio implica formar la pieza mientras éste se encuentra en un estado semifluido caliente, usando una variedad de técnicas que incluyen la fundición y el moldeado. Los materiales compuestos en matriz de polímeros se forman también mientras se encuentran en una condición fluida; algunos de los procesos son los mismos que se usan para los plásticos, mientras que otros son considerablemente más complicados. Esta categoría de procesos de formado se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Los procesos de fundición y moldeado parten de un material al que se ha calentado hasta un estado fluido o semifluido. El proceso consiste en (1) vaciado del fluido en la cavidad de un molde y (2) dejar enfriar el fluido hasta su total solidificación y remoción del molde.

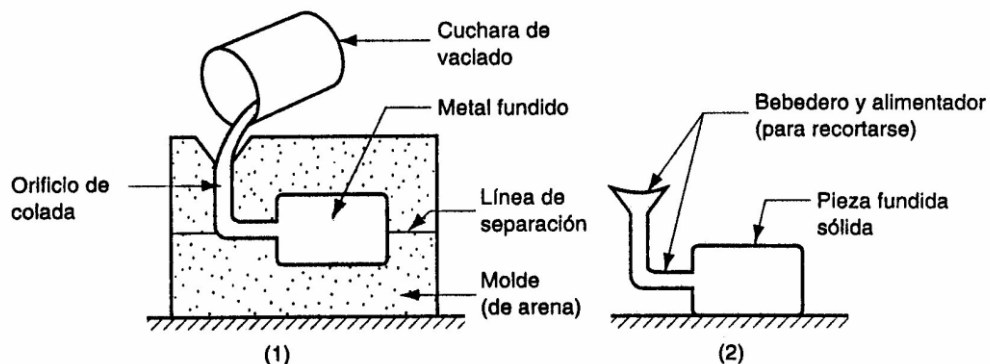
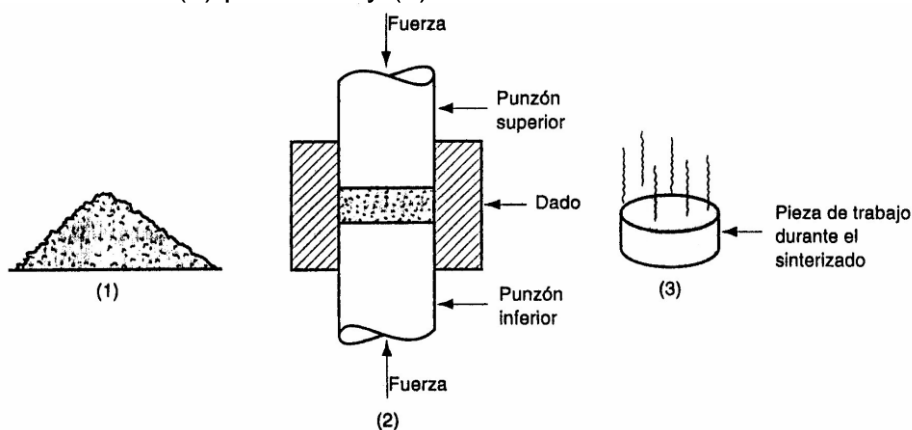


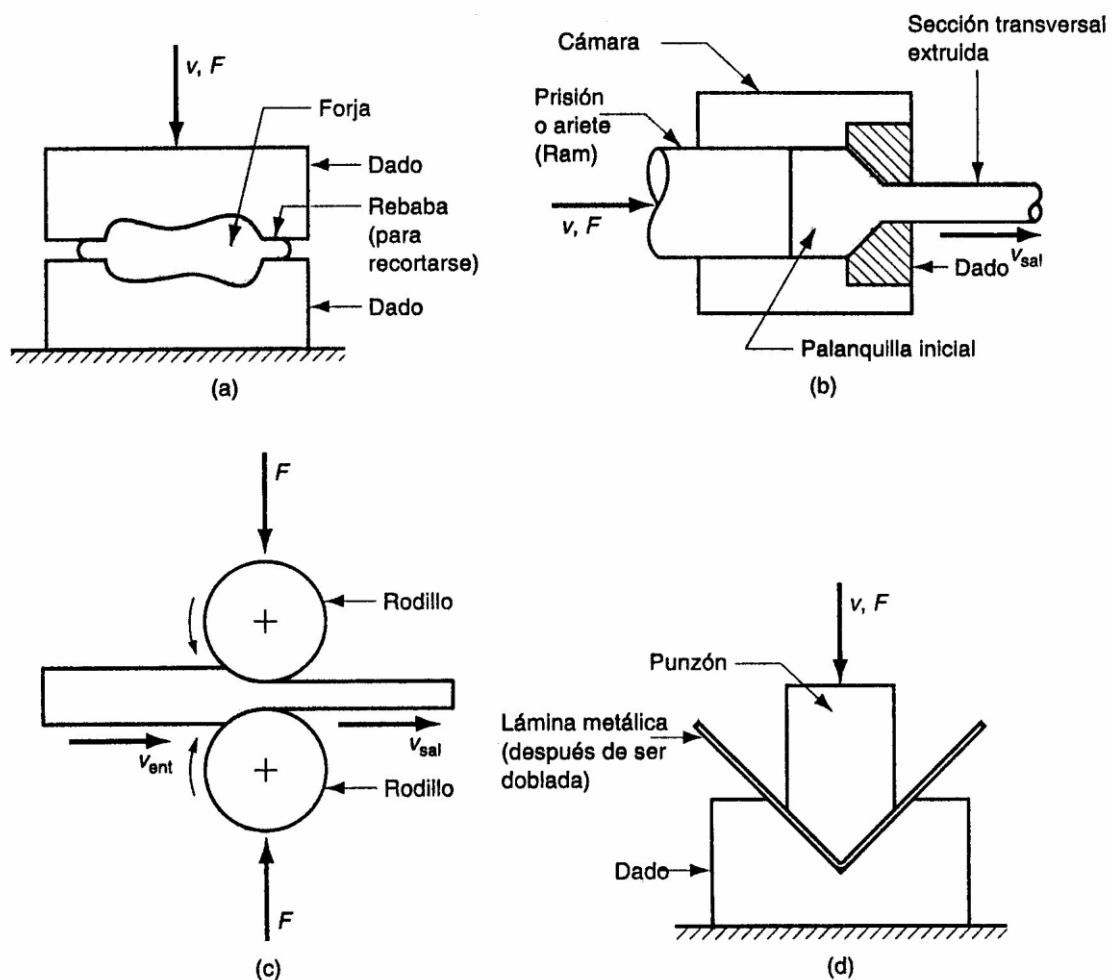
Figura 11. Procesado de partículas: (1) el material inicial es polvo; el proceso normal consiste en (2) prensado y (3) sinterizado.



En el procesamiento de partículas, los materiales iniciales son polvos de metales o polvos cerámicos. Aunque estos dos materiales son bastantes diferentes, los procesos para formarlos en el procesamiento de partículas son muy similares; la técnica común involucra prensado y sinterizado, como se ilustra en la Figura 11, en que el polvo es primeramente prensado en la cavidad de un dado a muy alta presión. Esto ocasiona que el polvo tome la forma de la cavidad, pero la pieza así compactada carece de la fortaleza suficiente para cualquier aplicación útil. Para aumentar su fortaleza, la parte se calienta a una

temperatura por debajo de su punto de fusión, lo cual ocasiona que las partículas individuales se unan. La operación de calentamiento se llama sinterizado.

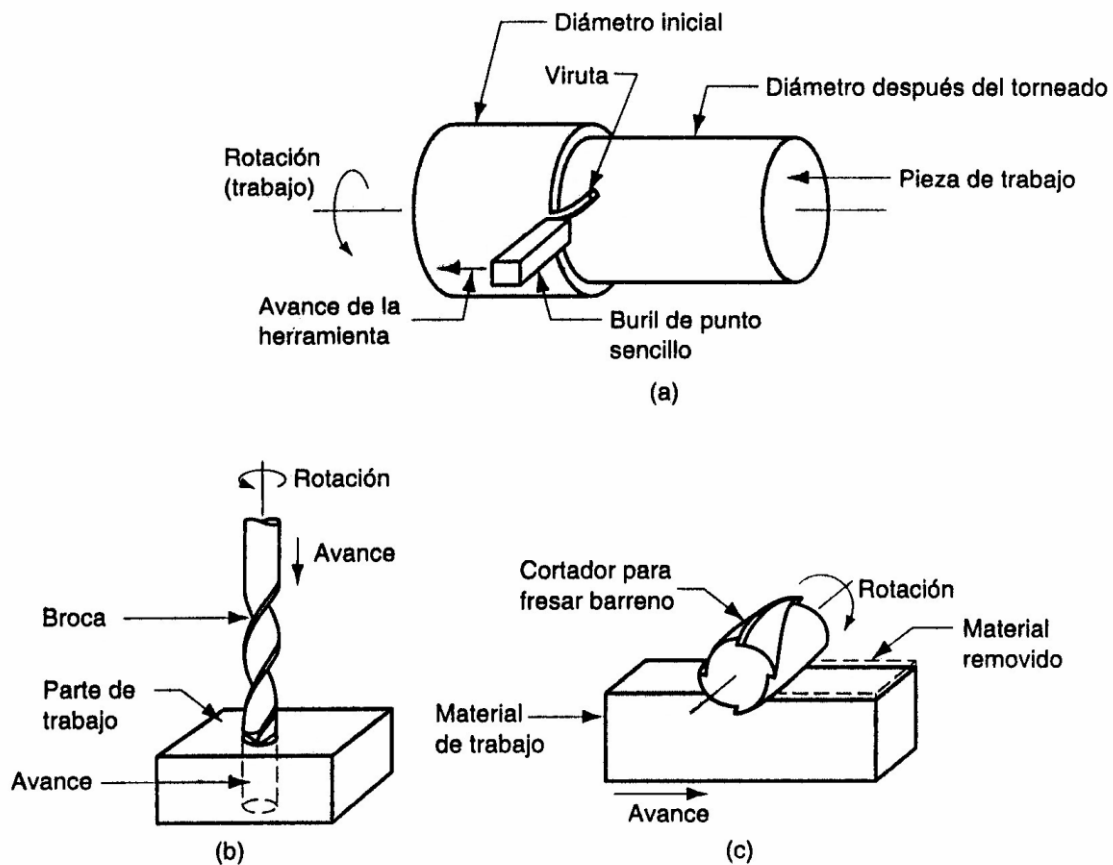
Figura 12. Algunos procesos comunes de deformación: (a) forjado, en donde las dos partes de un dado comprimen la pieza de trabajo para que ésta adquiera la forma de la cavidad del dado; (b) extrusión, en la cual se fuerza una palanquilla a fluir a través del orificio de un dado, para que tome la forma de la sección transversal del orificio; (c) laminado, en el cual una placa o palanquilla inicial es comprimida entre dos rodillos opuestos para reducir su espesor; y (d) doblado de una chapa metálica. Los símbolos v y F indican movimiento y fuerza aplicada, respectivamente.



En los procesos de deformación, la pieza inicial se forma por la aplicación de fuerzas que exceden la resistencia del material a la deformación. Para que el material pueda formarse de esta manera debe ser lo suficientemente dúctil para evitar la fractura durante la deformación. A fin de aumentar su ductilidad (y por otras razones), el material de trabajo frecuentemente se calienta con anterioridad a una temperatura por debajo de su punto de fusión. Los procesos de deformación se asocian estrechamente con el trabajo de metales, e incluyen operaciones tales como forjado, extrusión y laminado, las cuales se muestran

en la Figura 12. También se incluyen dentro de esta categoría los procesos con chapas metálicas como el doblado que se ilustra en la parte (d) de la figura.

Figura 13. Operaciones comunes de maquinado; (a) torneado, en el cual un buril de punto sencillo remueve material de una pieza de trabajo giratoria para reducir su diámetro; (b) taladrado, en donde una broca rotatoria avanza dentro del material para generar un barreno redondo; (c) fresado, en el cual se hace avanzar un material de trabajo por medio de un cortador giratorio con filos múltiples.



Los procesos de remoción de material son operaciones que quitan el exceso de material de la pieza de trabajo inicial para que la forma resultante adquiera la geometría deseada. Los procesos más importantes en esta categoría son operaciones de maquinado como torneado, taladrado y fresado (Figura 13). Estas operaciones de corte son las que más se aplican a metales sólidos. Se ejecutan utilizando herramientas de corte que son más duras y más fuertes que el metal de trabajo. El esmerilado es otro proceso común en esta categoría, en el cual se usa una rueda abrasiva de esmeril para quitar el material excedente. Hay otros procesos de remoción de material denominados no tradicionales porque no usan herramientas tradicionales de corte y abrasión. En su lugar emplean rayo láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas y energía electroquímica.

Es conveniente minimizar los desechos y el desperdicio al convertir una pieza de trabajo inicial en su forma subsecuente. Ciertos procesos de formado son

más eficientes que otros desde el punto de vista de la conservación del material. Los procesos de remoción de material (por ejemplo, maquinado) tienden a desperdiciar mucho material simplemente por la forma en que trabajan, el material que quitan de la pieza de trabajo inicial es un desperdicio. Otros procesos, como ciertas operaciones de colado y moldeado, convierten en casi un 100% el material inicial en producto final. Los procesos de manufactura que transforman casi toda la materia prima en producto terminado y no requieren ningún maquinado adicional para lograr la forma final de la pieza de trabajo se llaman procesos de forma neta. Los procesos que requieren un maquinado mínimo para producir la forma final se llaman procesos de forma casi neta.

Procesos de mejora de propiedades El segundo tipo en importancia de procesamiento de materiales se realiza para mejorar las propiedades físicas o mecánicas del material de trabajo. Estos procesos no alteran la forma de la parte, excepto en algunos casos de forma no intencional. Los procesos más importantes de mejora de propiedades involucran tratamientos térmicos que incluyen diversos procesos de recocido y resistencia para metales y vidrio. El sinterizado de polvos cerámicos y de metales es también un tratamiento térmico que hace resistente una pieza de polvo metálico prensado.

Operaciones de procesamiento de superficies

Las operaciones de procesamiento de superficie incluyen:

1) Limpieza, 2) tratamientos de superficie, y 3) procesos de recubrimiento y deposición de películas delgadas. La limpieza incluye procesos mecánicos y químicos para quitar la suciedad, la grasa y otros contaminantes de la superficie. Los tratamientos de superficie incluyen tratamientos mecánicos como el chorro de perdigones y chorro de arena, así como procesos físicos como la difusión y la implantación iónica. Los procesos de recubrimiento y deposición de películas delgadas aplican un revestimiento de material a la superficie exterior de la pieza de trabajo. Los procesos comunes de revestimiento incluyen el electro depositado, el anodizado del aluminio, los recubrimientos orgánicos (conocidos como pintura) y el esmalte de porcelana. Los procesos de deposición de películas delgadas incluyen la deposición química y física de vapores para formar revestimientos sumamente delgados de sustancias diversas.

Las operaciones de recubrimiento se aplican más comúnmente a partes metálicas que a los productos cerámicos o a los polímeros. En muchos casos se aplican recubrimientos sobre ensambles; por ejemplo, las carrocerías soldadas de automóviles se pintan y recubren. Existen buenas razones para aplicar recubrimientos a la superficie de una parte o producto: **1) protección contra la corrosión, 2) color y apariencia, 3) resistencia al desgaste y 4) preparación para procesamientos subsiguientes.**

Operaciones de Ensamble

El segundo tipo básico de operaciones de manufactura es el ensamble, en el cual dos o más partes separadas se unen para formar una nueva entidad, los componentes de ésta quedan unidos en forma permanente o semipermanente. Los procesos de unión permanente incluyen: la soldadura térmica, la soldadura fuerte, la soldadura blanda y el pegado con adhesivos. Estos procesos forman una unión entre componentes que no puede deshacerse fácilmente. Los métodos de ensamble mecánico aseguran dos o más partes en una unión que puede desarmarse cuando convenga; el uso de tornillos, pernos, tuercas y demás sujetadores roscados son métodos tradicionales importantes dentro de esta categoría. El remachado, los ajustes a presión y los encajes de expansión son otras técnicas de ensamble mecánico que forman uniones más permanentes.

En electrónica se usan métodos especiales de ensamble, algunos de los cuales son iguales a los anteriores o adaptaciones de los mismos. Por ejemplo, la soldadura blanda se usa ampliamente en ensamblajes electrónicos, los cuales están relacionados directamente con el armado de componentes (como los circuitos integrados encapsulados) en las tarjetas de circuitos impresos para producir los complejos circuitos que se usan en muchos productos actuales.

Troquelado de metales

En términos sencillos, el troquelado es un método para trabajar láminas metálicas en frío, en forma y tamaño predeterminados, por medio de un troquel y una prensa. El troquel determina el tamaño y forma de la pieza terminada y la prensa suministra la fuerza necesaria para efectuar el cambio.

Cada troquel está especialmente construido para la operación que va a efectuar y no es adecuado para otras operaciones. El troquel tiene dos mitades, entre las cuales se coloca la lámina metálica. Cuando las dos mitades del troquel se juntan se lleva a cabo la operación. Normalmente, la mitad superior del troquel es el punzón (la parte más pequeña) y la mitad inferior es la matriz (la parte más grande). Cuando las dos mitades del troquel se juntan, el punzón entra en la matriz.

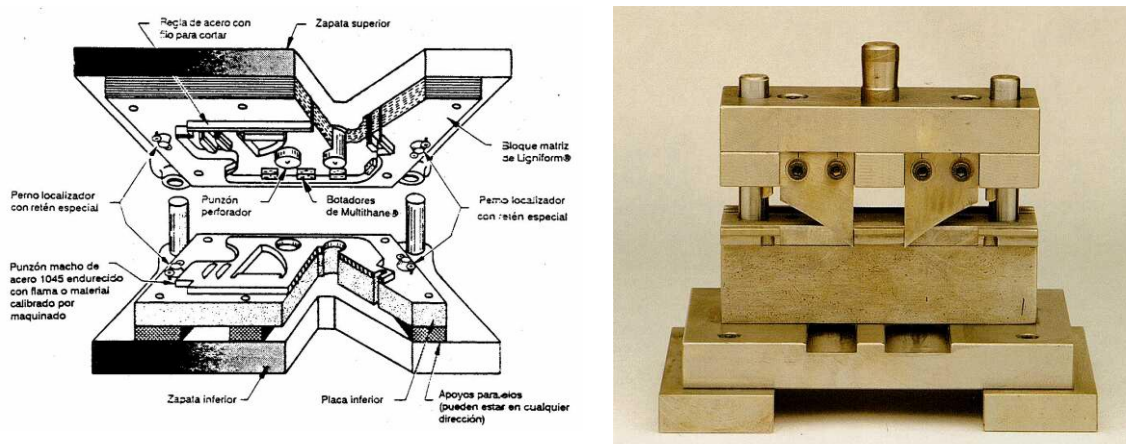
En la matriz se realizan unas aberturas, por medio de varios métodos. La forma del punzón corresponde a la abertura de la matriz pero es ligeramente más pequeño, en una cantidad igual a la determinada por el "Juego entre matriz y punzón" requerida. El tipo y espesor del material y la operación que se va a llevar a cabo establecen dicho juego.

Las dos partes se encuentran montadas en un porta troquel: la matriz montada sobre la base y el punzón en una zapata superior. El uso de un porta troquel asegura una alineación adecuada del punzón y la matriz, sin importar el estado de la prensa. Los troqueles más simples son los que se emplean para hacer agujeros en una lámina.

La prensa usada para llevar a cabo estos cambios de forma tiene una mesa estacionaria o platina, sobre la cual se sujeta la matriz. Una corredera guiada o carro, que sujeta el punzón, se mueve hacia arriba y abajo perpendicularmente a la platina. El movimiento y la fuerza del carro son suministrados por un cigüeñal, un excéntrico o cualquier otro medio mecánico. También se emplean prensas accionadas hidráulicamente.

El troquelado de láminas metálicas incluye el corte o cizallado, el doblado o formado y las operaciones de embutido superficial o profundo. El corte alrededor de toda la periferia de una pieza se llama "recortado". El corte de agujeros en una pieza de trabajo se llama "punzado" o, "perforado". La Figura 14 muestra un troquel recortador con regla de acero.

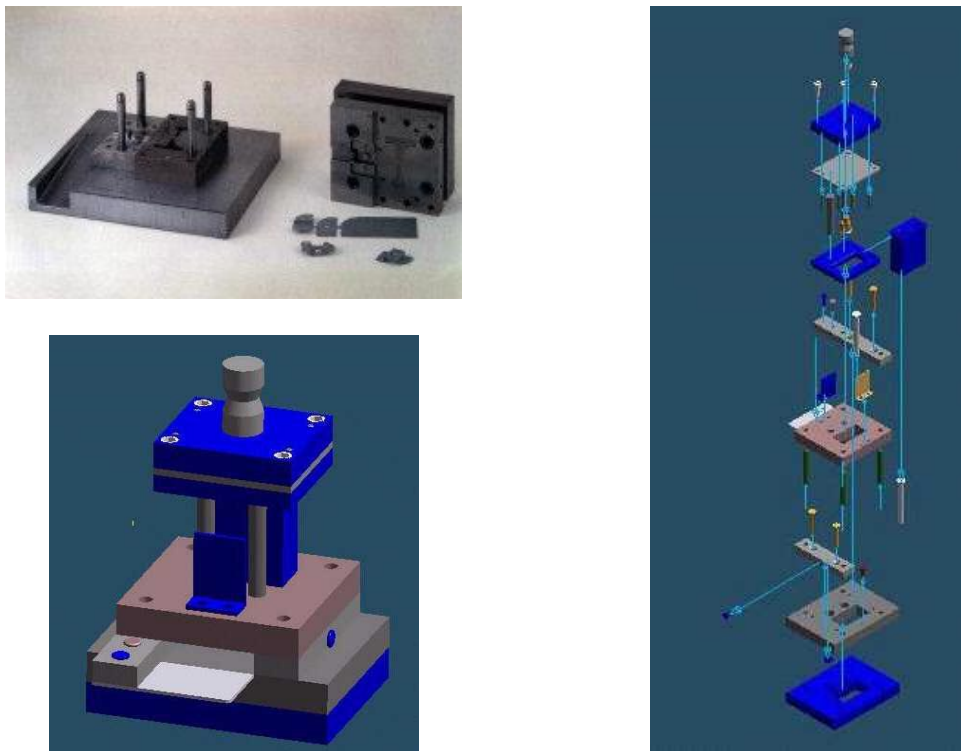
Figura 14. Vistas de un troquel recortador con regla de acero.



Porta troquel maestro: troquelado en troquel ajustable: es un método útil para operaciones de troquelado secundarias (después del recortado). El punzonado, recorte en ángulo, avellanado y otras operaciones se encuentran entre las que se pueden efectuar. Este sistema emplea combinaciones reutilizables de matriz y punzón para cada agujero u otro elemento que se troquele en la pieza de trabajo.

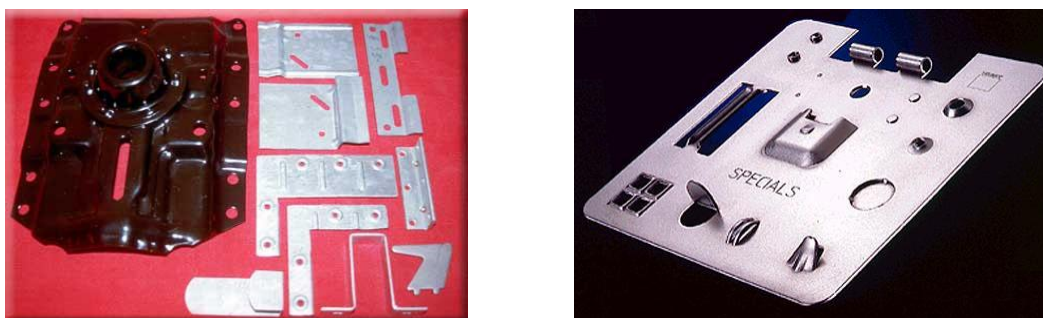
Estas combinaciones se sujetan al porta troquel maestro reutilizable. El número de juegos de punzón-matriz usados y su posición determinan la configuración de la pieza de trabajo troquelada. En cada combinación punzón-matriz se tienen incorporados dispositivos botadores, los cuales están atornillados al porta troquel maestro o sostenidos magnéticamente como se muestra en la Figura 15. Con frecuencia se emplean plantillas para colocar las combinaciones punzón-matriz en especial si el trabajo se realiza periódicamente.

Figura 15. Porta troquel combinado.



Características y aplicaciones del troquelado de metales Quizá la principal característica de las piezas metálicas troqueladas es que, con unas cuantas excepciones, el espesor de la pared es esencialmente el mismo en toda la pieza. Las piezas troqueladas terminadas son, algunas veces, bastante complicadas en forma, con muchas salientes, brazos, agujeros de varias formas, huecos, cavidades y secciones levantadas como se muestra es la Figura 16. En todos los casos, el espesor de la pared es esencialmente uniforme. No se realizan repujados gruesos del tipo que se encuentra en muchos vaciados.

Figura 16. Colección de piezas troqueladas.



Los troquelados se llevan a cabo en espesores que varían desde 0.025 mm. hasta 9 mm. de espesor. El tamaño de las piezas troqueladas va desde la más pequeña usada en los relojes de pulsera, hasta los, grandes tableros empleados en camiones o aviones.

El ingeniero de diseño debe tener presente el borde característico de una pieza troquelada, especialmente si incluye superficies de rozamiento o si, por apariencia u otras razones, se requieren bordes tersos. El diseñador también debe estar consciente de las rebabas que quedan en un lado de las piezas troqueladas y ser cuidadoso al diseñarlas, con objeto de poder removerlas con facilidad o que no interfieran con las subsecuentes operaciones o funcionamiento.

Troquelado convencional

Las piezas troqueladas pueden maquinarse después del recortado o doblado si se requieren dimensiones más precisas de las que pueden producirse por troquelado, o cuando se requieren formas que no son factibles solamente por troquelado. Ejemplos de esto es el escariado de los barrenos centrales de poleas o engranes troquelados, superficies rectificadas para darles planicidad y ranuras o áreas de alivio que requieren un cambio en el espesor de la pieza.

Cantidades económicas para producción El troquelado convencional es un proceso de alta producción. La producción es muy rápida, de 35 a 500 o más golpes por minuto. Si la producción total es suficiente para justificar el uso de troqueles compuestos o progresivos, tanto el recortado como el doblado pueden realizarse en un solo golpe de prensa. En estos casos, las piezas pueden producirse completas a una velocidad de miles por hora.

Un troquel progresivo para la producción de piezas similares a las ilustradas en la figura 9 y de un troquel doblador que juntos, cuestan sólo la mitad de un troquel progresivo. Como regla general, un troquel progresivo no deberá considerarse, a menos que puedan eliminarse cuando menos dos operaciones secundarias.

El costo de los troqueles de doblez varía considerablemente, según su complejidad y tamaño. Un troquel simple convencional para formar un doblez puede ser muy barato, mientras que un troquel para doblado complejo o un troquel de embutido para una pieza grande pueden requerir una inversión grande.

Como resultado de estos significativos costos de herramental para el troquelado de metales, aun con bajos costos de mano de obra por unidad con operaciones múltiples, el troquelado convencional es un proceso para alta producción.

Las prensas troqueladoras son relativamente bajas en costo comparadas con otro equipo para alta producción. Sin embargo, el costo de la prensa no es un factor significativo en el cálculo del tamaño del lote económico, debido a que las prensas son versátiles. Casi cualquier prensa tiene la posibilidad de realizar un amplio rango de operaciones de troquelado.

Troquelado de pequeños volúmenes En forma muy general, puede decirse que para condiciones promedio, la línea divisora entre producciones de poco

volumen y las regulares (de volumen medio) está entre 5,000 y 10,000 piezas por partida o lote. Probablemente lo más importante es la cantidad total que se espera produzca el herramental durante su vida. Si esta cantidad es menor de 20,000, entonces los métodos para pequeños volúmenes probablemente darán los costos totales más bajos. Cuando se requiere de 10,000 a 20,000 piezas, puede ser ventajoso tener tanto estimaciones de herramental convencional como de herramental para bajos volúmenes de producción. Esto permite hacer un estudio comparativo de costos.

Otra regla para diferenciar el método de bajo volumen y el regular es la siguiente: cuando el costo de los troqueles excede el costo de las piezas por producir, se trata de un trabajo de bajo volumen.

Otra ventaja de los métodos para volúmenes pequeños es el poco tiempo requerido para la elaboración del herramental necesario. Debe notarse, sin embargo, que la calidad de las piezas producidas con el herramental de tipo permanente es usualmente superior que la producida con troqueles temporales y, por tanto, la intercambiabilidad de las piezas producidas es mejor.

Los métodos de troquelado para bajos volúmenes deben considerarse en cualquiera de las siguientes condiciones:

1. Para producciones piloto, prototipo o experimentales, particularmente cuando se esperan cambios de diseño, por lo que aún no es recomendable el uso de herramental permanente.
2. Para producción de piezas de repuesto después de que el herramental original se ha desechado.
3. Para productos como equipo industrial, médico o de laboratorio cuyos volúmenes de producción no son grandes.
4. En los casos en que es esencial el envío inmediato de un componente para el éxito comercial de un producto (por ejemplo, un artículo de temporada cuyo desarrollo ha comenzado tardíamente o requiere mucho tiempo). Con un menor tiempo de fabricación del herramental, la producción puede empezar con más rapidez. En estos casos, los requerimientos económicos básicos (bajo costo y alta productividad) pueden desecharse con el herramental temporal. Estas consideraciones deben tomarse en consideración cuando luego se desarrolle el herramental de tipo permanente.
5. Como repuesto a herramientas de tipo permanente, cuyo trabajo es esencial, a fin de evitar requiere altos rangos de producción (250,000 piezas al año, por ejemplo) para justificar la inversión. Los troqueles convencionales para producir tales piezas podrían constar de un troquel recortador y perforador interrupciones en el proceso de manufactura.
6. Para negocios con escaso presupuesto donde no se considera conveniente invertir una gran suma en costoso herramental permanente.

Proceso de troquelado fino

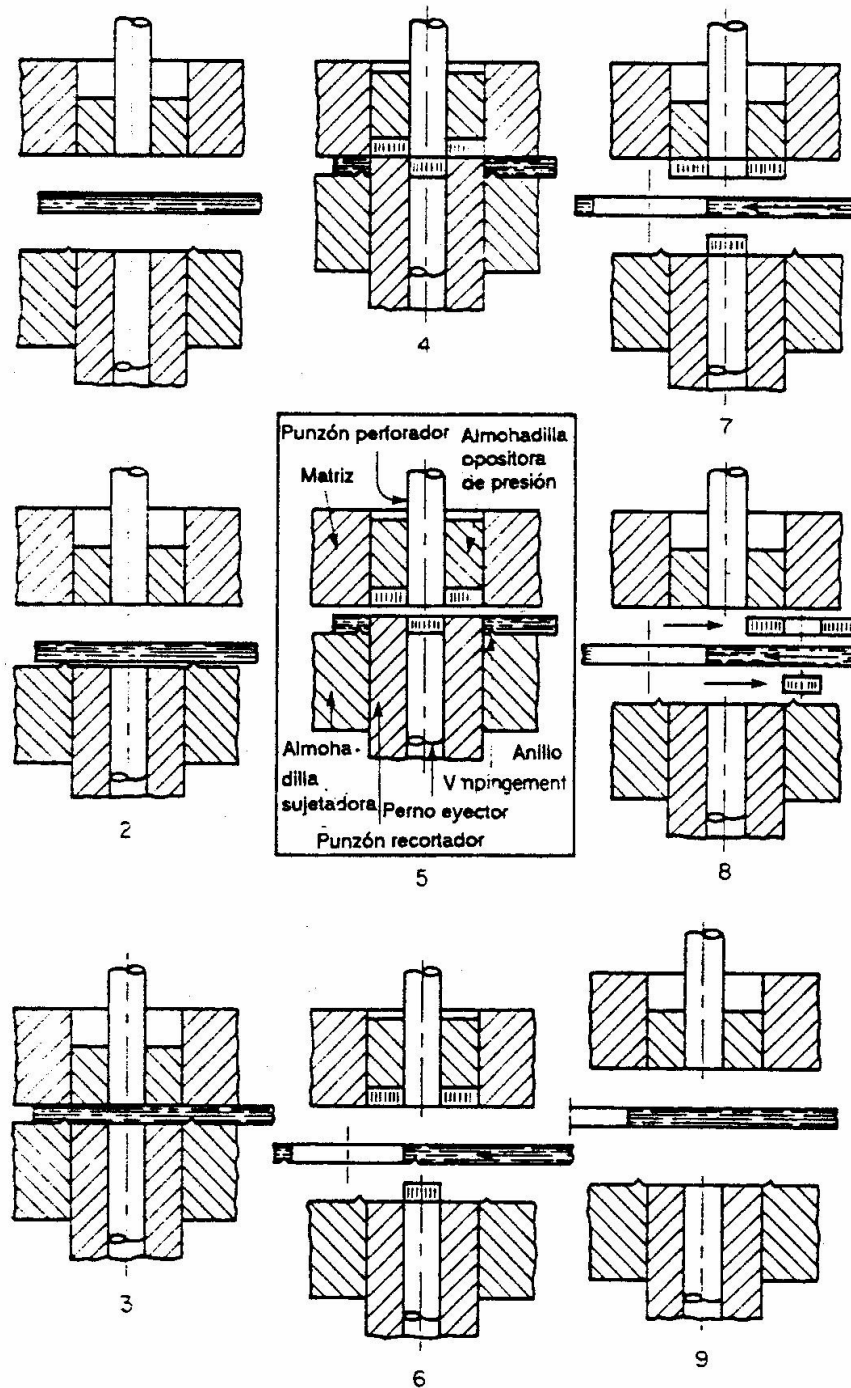
El proceso de troquelado fino es una técnica de prensado que utiliza una prensa especial y herramientas y troqueles de precisión para la producción de piezas que quedan casi terminadas y listas para usar cuando salen de la prensa de troquelado fino, a diferencia de las piezas que se troquelean por métodos convencionales. El troquelado fino produce piezas con superficies cortadas limpiamente a lo largo de todo el espesor del material. En comparación, las piezas troqueladas convencionalmente por lo general exhiben un borde cortado con limpieza sólo sobre un tercio del espesor del material y el resto presenta fracturas. Con el troquelado convencional, cuando estas superficies desempeñan alguna función, se puede requerir alguna forma de operación secundaria de acabado, como, rectificado, escariado, pulido, etc. A menudo se necesitan varias de estas operaciones para terminar la pieza.

Cuando se emplea el troquelado fino, aparte del mejoramiento de la calidad de las superficies cortadas, puede obtenerse una mayor precisión dimensional; además el proceso permite operaciones que normalmente no se realizan con troquelado convencional.

Ciclo de la prensa En la Figura 17 se presenta la secuencia de operaciones durante un ciclo de la prensa para troquelado fino:

1. El troquel se carga con material.
2. El movimiento hacia arriba del carro levanta la platina inferior y el porta troquel. Esto levanta el material hasta la cara de la matriz.
3. Conforme cierra el troquel, el anillo V se encaja en el material. El material se sujeta entre el anillo V (o agujón) y la placa de la matriz, por fuera del perímetro de corte. El contrapunzón (el cual está bajo presión) sujeta el material contra la cara del punzón cortador por la parte interior del perímetro de corte.
4. Mientras la presión del anillo V y la contrapresión se mantienen constantes, el punzón continúa su carrera hacia arriba, cortando limpiamente la pieza. Ésta queda dentro de la matriz mientras que el recorte interior queda dentro del punzón. En la posición máxima superior, todas las presiones son eliminadas.
5. El carro se retrae y se abre el troquel.
6. Casi enseguida de que se abre el herramental, se vuelve a aplicar la presión del anillo V. Esto desprende del punzón la tira del material que había quedado insertada en él y empuja el recorte interior fuera del punzón. La alimentación con material comienza.
7. Se vuelve a aplicar la contrapresión expulsando la pieza que continuaba en la matriz.
8. La pieza y el recorte se saca del área del troquel por medio de un chorro de aire o con un brazo removedor.
9. El ciclo se completa y queda listo para volver a empezar.

Figura 17. Ciclo de una prensa de troquelado fino.



Herramental, troqueles, troqueles progresivos, siempre que es posible, se produce una pieza con un troquel compuesto con objeto de fabricarla en una sola operación. Los troqueles progresivos para troquelado fino han estado en uso por varios años.

Las operaciones que pueden efectuarse en los troqueles progresivos para troquelado fino son las siguientes:

- Achaflanado (interno o externo).
- Doblado (laterales, lengüetas salientes, etc.).
- Acuñaado para abocados adelgazado del material en componentes tipo martillo, bridas y monedas o medallas.
- Formado embutidos superficiales son posibles en ciertas piezas y materiales).

Características típicas y sus aplicaciones

Las razones para considerar el troquelado fino incluyen la necesidad de acabados superficiales mejorados, forma de escuadra en los bordes cortados, mayor precisión dimensional y una apariencia y planicidad superiores, comparadas con las que se obtienen mediante el troquelado convencional.

Se pueden incorporar piezas como pistas para levas, pernos localizadores, remaches y guías a la pieza hecha por troquelado fino. La producción de engranes, segmentos de engrane, trinquetes y cremalleras es uno de los principales campos de aplicación del troquelado fino.

Acabado superficial y escuadrado de los bordes El acabado promedio de la superficie en piezas hechas por troquelado fino es de 0.45 μm . Es posible obtener un súper acabado de 0.1 a 0.2 μm con matrices de carburo para aplicaciones como levas especiales para las cuales se requiere una superficie pulida. Debido al desgaste de los troqueles y a los materiales usados, la cifra de 0.45 μm puede rebasarse después de producir cierto número de piezas.

La perpendicularidad se los bordes cortados rara vez es de 90 grados, pero no varia mas de 40 a 50 minutos, aproximadamente. La calidad del material cortado y le estado del herramental son las condiciones que mas influyen en estas características.

Cantidades económicas para producción

Generalmente el troquelado fino puede clasificarse como un proceso de producción de alto volumen, ya que la calidad y el costo del herramental requieren una razonable cantidad de piezas para justificar el gasto. Una comparación entre varios métodos de producción debe mostrar una verdadera justificación, debido a que los costos del herramental no son el único factor que debe tomarse en cuenta. En algunos casos, cantidades de 1,000 a 5,000 piezas pueden amortizar el costo del herramental. Esto sucede cuando se elimina una costosa operación secundaria (como el perfilado por control numérico, rectificado o un escariado difícil) al diseñar la fabricación de la pieza por medio de troquelado fino. Como guía general, puede decirse que las cantidades mínimas por considerar están entre 10,000 y 20,000 piezas.

Comparaciones producción - tiempo

El ciclo de operación es ligeramente más lento en el troquelado fino que en el troquelado convencional. Una rapidez de prensa de 45 golpes por minuto podría ser un buen promedio en las operaciones de troquelado fino. Al comparar el troquelado fino con el troquelado convencional, el costo total de todas las operaciones necesarias para completar una pieza incluyendo el maquinado secundario, deben considerarse.



Capítulo IV
Propuesta de Mejora

Propuesta de mejora

Introducción

La propuesta de mejora consiste en la aplicación de las metodologías Seis Sigma y Lean Manufacturing (ver Figura 18) primeramente para poder incrementar el nivel de servicio, reducir el desperdicio, alcanzar los niveles estándar de eficiencia de producción y por consiguiente reducir costos.

Figura 18. Seis Sigma y Lean Manufacturing.



Contexto de investigación

Alcance

Esta investigación se realizó dentro de las instalaciones de la empresa de manufactura de equipo eléctrico, dentro del área de fabricación y ensamble.

“Seis Sigma empieza y termina con el Cliente”

Metodología de aplicación

Se realizó la aplicación de las herramientas Seis Sigma, la cual estuvo basada en el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y la forma en la que se estuvo recolectando los datos se describe en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9. Desarrollo de la metodología y forma de recolección de datos en cada una de las etapas.

Etapa	Pasos	Herramienta Utilizada (recolección o análisis de datos)
Definir	Definición de los integrantes del equipo	Designación por parte de la empresa
	Definición del alcance del Proyecto e Identificación de las Variables Críticas de entrada y salida del Proceso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5W's y 2H's ▪ Diagrama de Causa y Efecto ▪ Métricas Y y x's ▪ SIPOC (Mapa de proceso de alto nivel)
Medir	Confirmación de las variables críticas de entrada y salida del Proceso, validación de los métodos de medición y recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de proceso (nivel de servicio) ▪ Métrica Y, definición de "base line" y objetivo ▪ Histograma de tiempo de ciclo
Analizar	Identificación de variables críticas de entrada al proceso vitales y desarrollo estadístico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Histograma de tiempo de ciclo ▪ Boxplot de tiempo de ciclo ▪ Pareto de análisis de la demanda ▪ Pareto de fallas por producto, por familia de producto y por número de catálogo ▪ Métrica X's (análisis de la demanda)
Mejorar	Optimización de proceso e implementación de mejoras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redefinición de tiempos de ciclo ▪ Balanceo de inventario ▪ Revisión de backlog ▪ Stock de seguridad ▪ Programa de producción ▪ Nueva nave de producción "Lean" ▪ Logística
Controlar	Diseño de los controles necesarios para mantener el proceso en óptimas condiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuevo mapeo de proceso ▪ Gráfica de control (Nivel de servicio) ▪ Mejora de nivel de servicio ▪ Desviación estándar de nivel de servicio ▪ Cálculo de "Sigma" de nivel de servicio ▪ Plan de control ▪ Evaluación financiera ▪ Mejora continua

Mejora de proceso utilizando DMAIC (Project Charter)

Nombre del proyecto: Mejoramiento de nivel de servicio

- **Indicador Clave del Proceso (KPI – Key Process Indicator):** Entregas a tiempo.
- **Nivel de servicio inicial (base line):** 74.7%
- **Nivel de servicio por alcanzar (goal):** 97.0%

Definición del problema

El nivel de servicio de uno de los proveedores de partes estampadas del área de fabricación de la empresa de manufactura de equipo eléctrico durante el 2008 fue de 73.8%, afectando tres de las principales líneas de producto. Cabe mencionar que este es el tercer proveedor más importante en número de líneas para el área de fabricación. Constantemente hay órdenes vencidas y el proceso de reabastecimiento esta fuera de control.

Beneficios potenciales

- Reducción de costos al evitar falta de inventario.
- Reducción de recursos utilizados para dar seguimiento a la operación del proveedor de partes de estampado.
- Asegurar las entregas a tiempo.
- Tener un proveedor confiable.

Establecimiento de la meta

- **Critico de Calidad 1 (CTQ₁):** Lograr y mantener un nivel de servicio de entregas a tiempo del 96% al finalizar el proyecto.
- **Critico de Calidad 2 (CTQ₂):** Mantener un tiempo de ciclo de 5 días o menos.

Alcance del proceso

- **Inicio del proceso:** Desde la colocación de la orden al proveedor de estampados.
- **Terminación del proceso:** Orden recibida en la planta de fabricación de la empresa de equipo eléctrico.
- **Incluye:** Todos los productos del proveedor de estampados.
- **Excluye:** El resto de productos.

Programa para el desarrollo del proyecto

Etapa	Meta
D	Mayo 2009
MA	Julio 2009
I	Agosto 2009
C	Septiembre 2009

- **Valor de Sigma inicial:** 2.2
- **Valor Objetivo de Sigma:** 3.4
- **Definición de defecto:** Nivel de servicio por debajo del 96%

Comentarios

Uno de los factores principales para el éxito de este proyecto, es lograr el compromiso y participación de los empleados y gerentes del proveedor de partes estampadas.



Esta es una de las etapas más importantes, debido a que con una buena y clara definición el desarrollo del proyecto, este irá en buena dirección y se logrará alcanzar los objetivos y metas.

Para definir el proyecto se pueden seguir los siguientes pasos:

- Identificar las oportunidades de mejora.
- Definir las metas y objetivos del proyecto.
- Estructurar un grupo de trabajo.
- Identificar los recursos clave.
- Entender la voz del cliente.
- Revisar esta etapa con el equipo de trabajo, etc.

Definición 5W's y 2H's (CTQ's - VOB / VOC)

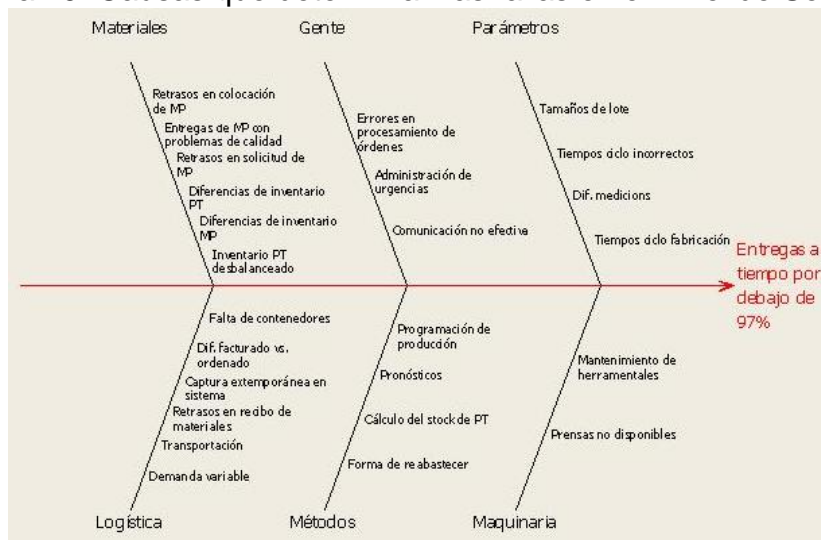
Tabla 10. 5W's y 2H's.

Why? ¿Por qué decimos que es un problema?	Porque el nivel de servicio del proveedor de estampados se encuentra consistentemente fuera de objetivo. En 2008 el Nivel de Servicio fue de 73.8%
Where? ¿Dónde sucede?	En el área de fabricación del proveedor de estampados
Who? ¿A quién afecta?	A líneas de ensamble de producto estándar y del Centro de Distribución (ducto cuadrado, cabeceras y respaldos y línea Bravo)
Which? ¿Cuál es su naturaleza?	Existe permanentemente backorder. No hay stock disponible en las instalaciones del proveedor de estampados para surtir a tiempo las órdenes que se colocan
When? ¿Cuándo sucede?	En forma permanente
How? ¿Cómo sabemos?	Por los resultados del nivel de servicio y por los problemas que se ocasionan en la línea de producción por falta de material
How many? ¿Cuánto afecta?	El proveedor de estampados es el número cinco en términos de compras. El número de referencias que involucra son cerca de 90. Es el tercer proveedor más importante para el área de fabricación.
Definición	
El servicio del proveedor de estampados durante el 2008 tuvo un nivel de servicio del 73.8% afectando tres líneas de producto. Se tienen órdenes vencidas permanentemente y el proceso de reabastecimiento está fuera de control.	

Definición de Y y X's (CTQ'S - VOB / VOC)

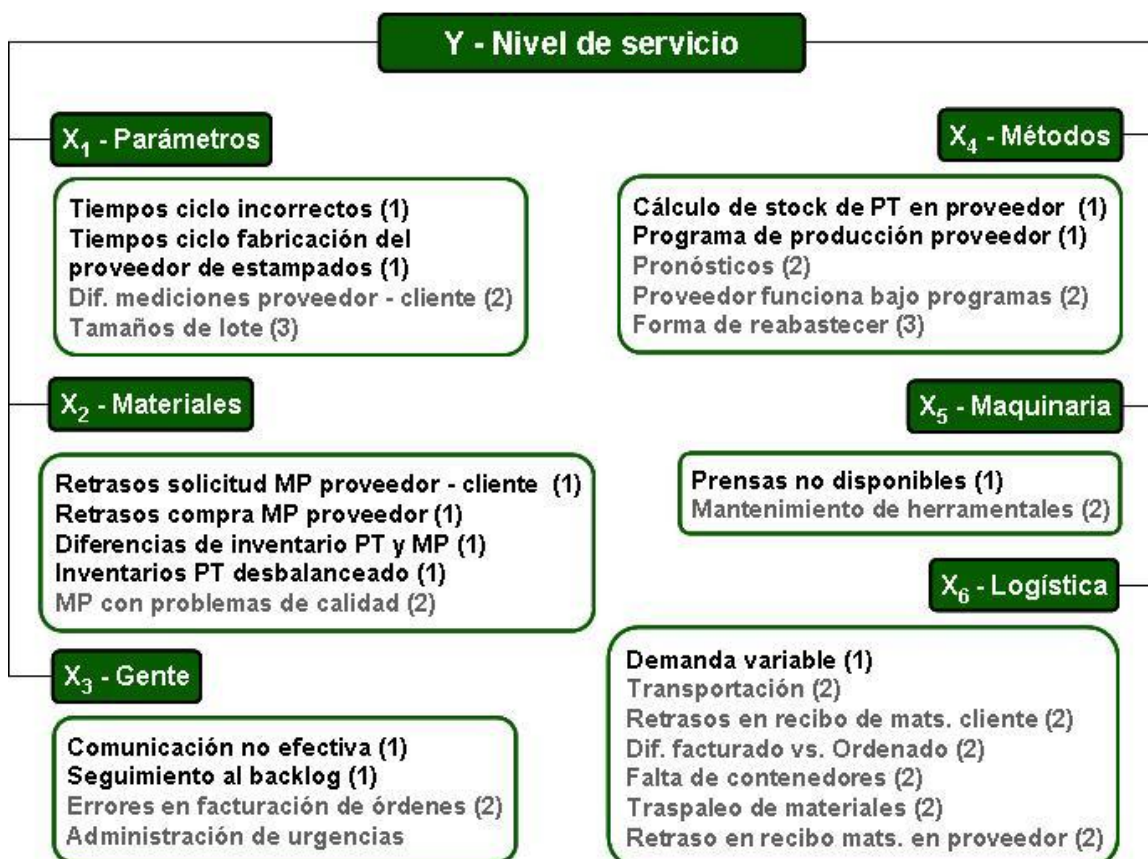
Herramienta visual utilizada por un equipo para organizar lógicamente las Causas Potenciales (X's) de un Problema o Efecto Específico (Y) provenientes de una sesión de "lluvia de ideas". Figura 19, Ishikawa de causas que originan las fallas de Nivel de Servicio.

Figura 19. Causas que determinan las fallas en el Nivel de Servicio



Una vez identificadas las causas y clasificadas por rubro se procederá a darles nivel de criticidad para encontrar las X's críticas del proceso (ver Figura 20).

Figura 20. X's críticas del proceso.



Mapa de proceso de alto nivel (SIPOC)

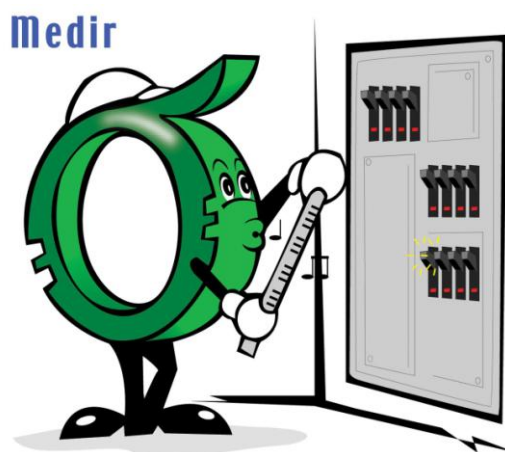
Es un método de análisis de problemas que considera todos los elementos de un sistema (ver Figura 21):

- Supplier (Proveedor): Proporciona el insumo al proceso.
- Input (Insumo): Es la materia prima del proceso (datos, material, etc.).
- Process (Proceso): Transformaciones a la materia prima por medio de acciones de nuestro equipo.
- Output (Resultado): Es el producto del proceso.
- Customer (Cliente): Es quien recibe el resultado del proceso.

El objetivo es detectar lo importante para el cliente.

Figura 21. Mapa de proceso de alto nivel.

S	I	P	O	C	
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES	
Materiales fabricación	Requerimientos de partes troqueladas	Entregas a tiempo de proveedor a cliente	Entrega de partes troqueladas	Línea de producción estándar	
Logística proveedor	Requerimientos de materia prima		Recibo de partes troqueladas		
Producción proveedor	Fabricación de partes troqueladas		Descuento en backlog de cantidades entregadas		Línea de producción de Centro Distribución
Embarques proveedor	Embarque de partes troqueladas en fechas solicitadas y cantidades requeridas		Tramite de facturas para pago		



Seis Sigma se ha caracterizado de otras técnicas por su base en las mediciones, y es que Seis Sigma considera importante las mediciones por las siguientes razones:

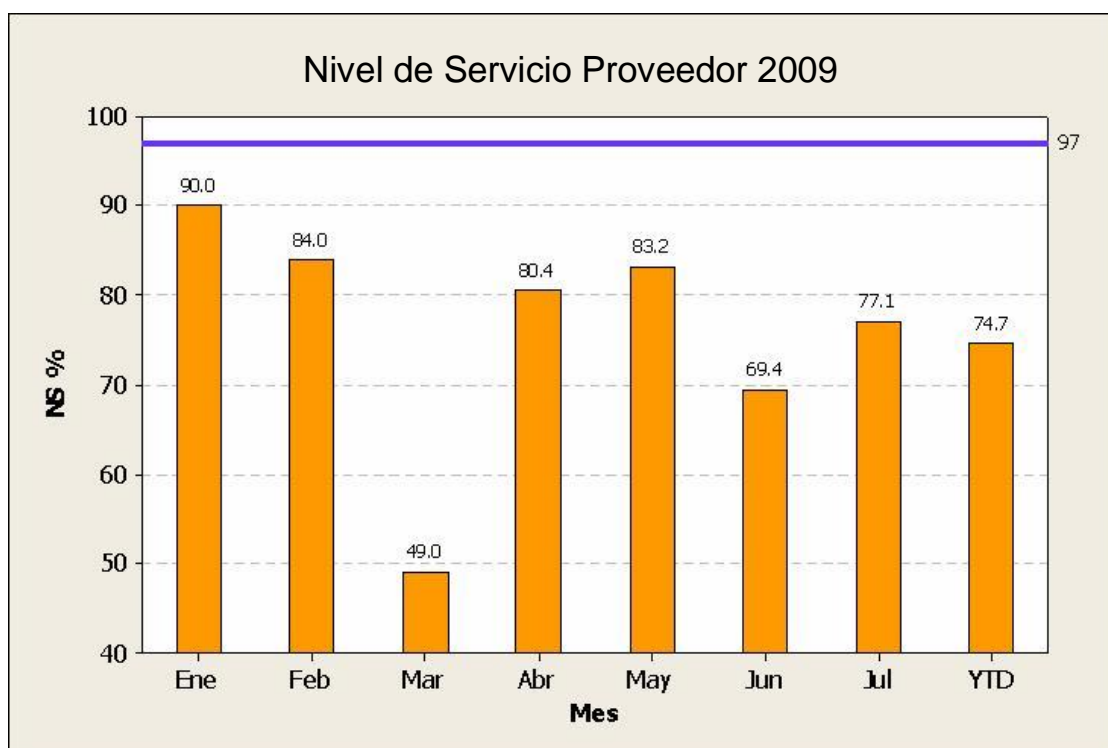
- La percepción y la intuición no siempre es el reflejo real de las cosas.
- Se deben entender los procesos para conocerlos y poder identificar donde están las áreas de oportunidad; así mismo determinar si el

proceso es estable o predecible y la variación del mismo, además sirve para saber el desempeño.

- Para conocer al cliente y entenderlo, para saber si está satisfecho con el producto o no.
- Para poder documentar y comprobar la mejora.

Métricas Y – Nivel de Servicio (métricas Y & X's)

Figura 22. Nivel de Servicio 2009



Nota: El nivel de servicio siempre estuvo fuera de objetivo.

Métricas Y – Definición de nivel de servicio inicial y objetivo

El nivel de Sigma del cuál partimos es 2.2 que corresponde a un nivel de servicio de 74.7% en el periodo de Enero a Julio 2009 (ver Figura 22). Nuestro objetivo va a ser llegar a un Sigma de 3.4 y un nivel de servicio de 97.0 % medido de Agosto a Noviembre del 2009.

Con base a esta información podemos calcular el nivel de Sigma del proceso, ver Tabla 11, Cálculo de Sigma del proceso.

Tabla 11. Cálculo de Sigma del proceso.

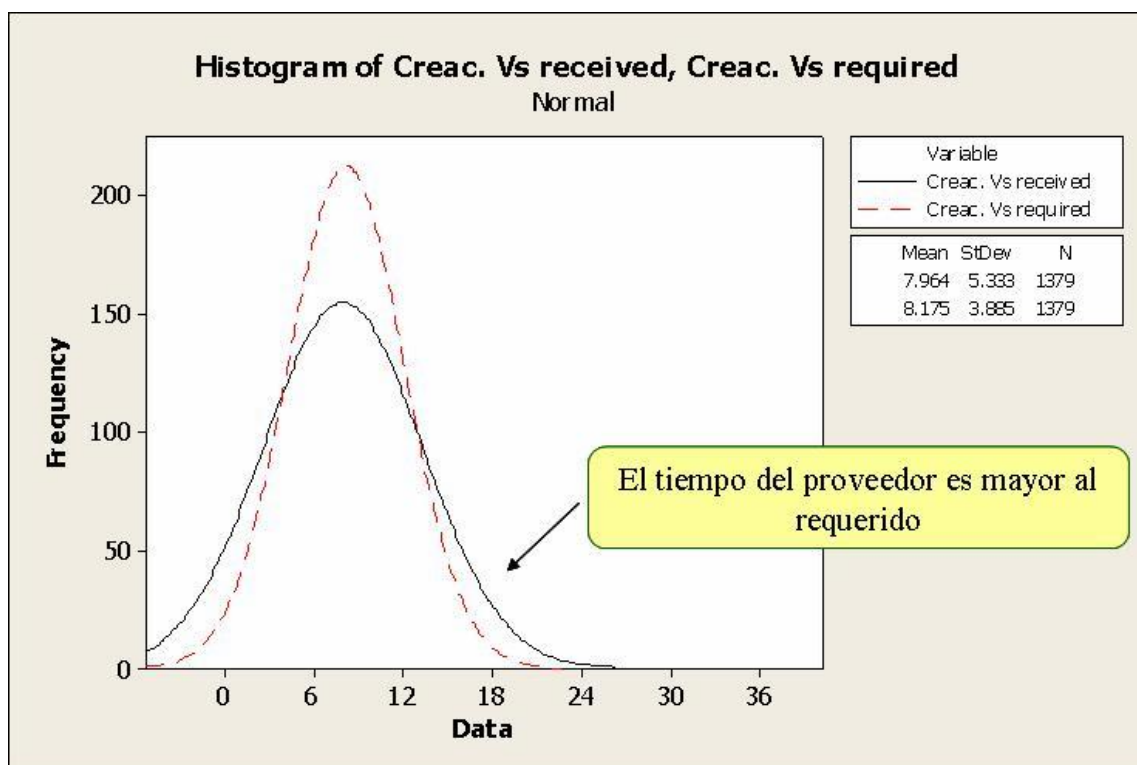
Calculating Process Sigma :		Attributes		
1	Determine number of defect opportunities	O =	1	1
2	Determine number of units processed	N =	1664	416
3	Determine total number of defects made (include defects made and later fixed)	D=	426	12
4	Calculate Defects per Opportunity		0.2560	0.0288
4.1	Defects per Million of Opportunities	DPMO =	256010	28846
5	Calculate Yield	Yield = (1-DPO) x 100 =	74.4%	97.1%
6	Look up Sigma in the process Sigma Table	Process Sigma =	2.2	3.4

Base line Objective

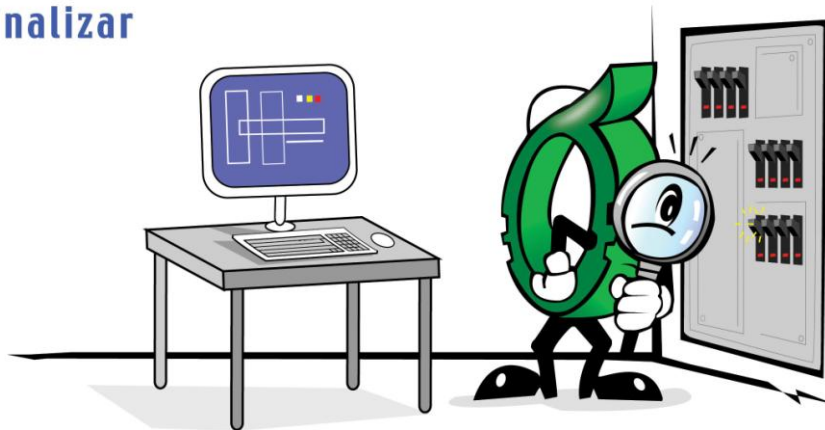
Métricas X's – Tiempo de ciclo

Los histogramas agrupan acorde a las frecuencias que se encuentran dentro de ciertos rangos o clases (ver Figura 23).

Figura 23. Histograma de tiempo de entrega



Analizar

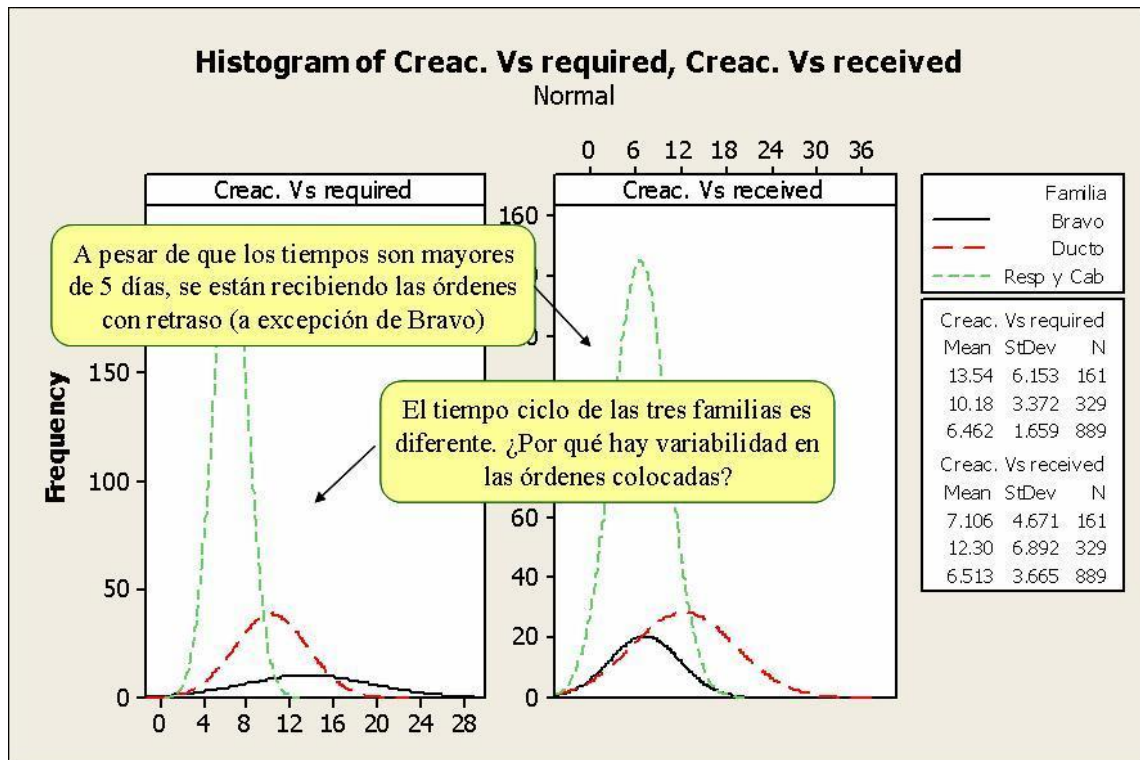


Como resultado de la etapa de medir, se generan datos del proceso, clientes, etc. Ahora, éstos se deben interpretar para luego implementar una mejora.

Métricas X's – Tiempo de ciclo

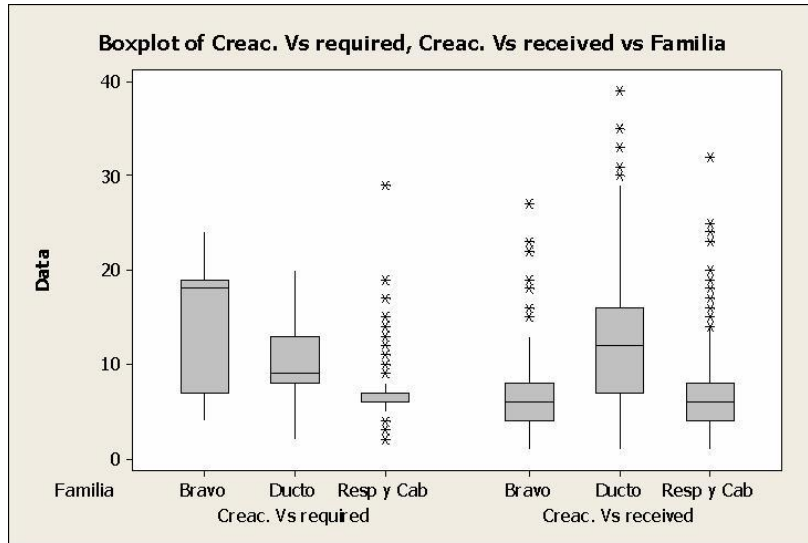
En la Figura 24, se muestra el histograma de tiempo de ciclo diferentes familias de producto.

Figura 24. Histograma de diferentes familias de producto.



El Boxplot, es un gráfico representativo de las distribuciones de un conjunto de datos en cuya construcción se usan cinco medidas descriptivas de los mismos, a saber: mediana, primer cuartil, tercer cuartil, valor máximo y valor mínimo.

Figura 25. Distribuciones de diferentes familias de producto.



La dispersión de los datos es muy grande tanto en requerido como en recibido. Hay muchos “outlayers” (ver Figura 25).

Métricas X’s – Análisis de la demanda

La Gráfica de Pareto es una herramienta sencilla pero poderosa al permitir identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción de mejora sin malgastar esfuerzos ya que con el análisis descartamos las mayorías triviales.

Figura 26. Pareto de fallas por tipo de producto.

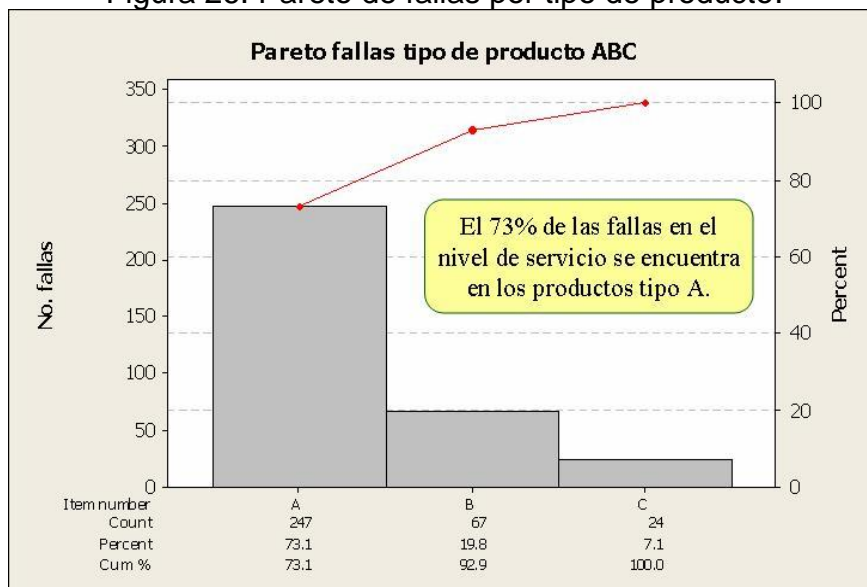


Figura 27. Pareto de fallas por familia de producto.

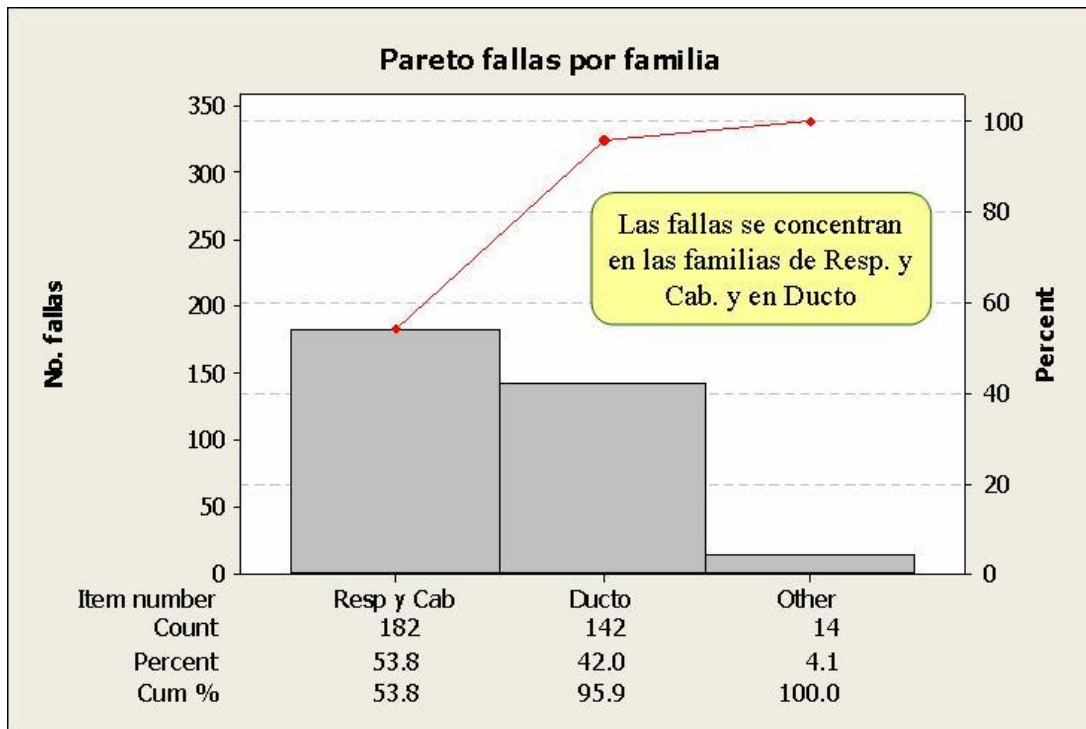


Figura 28. Pareto de fallas por número de catálogo.

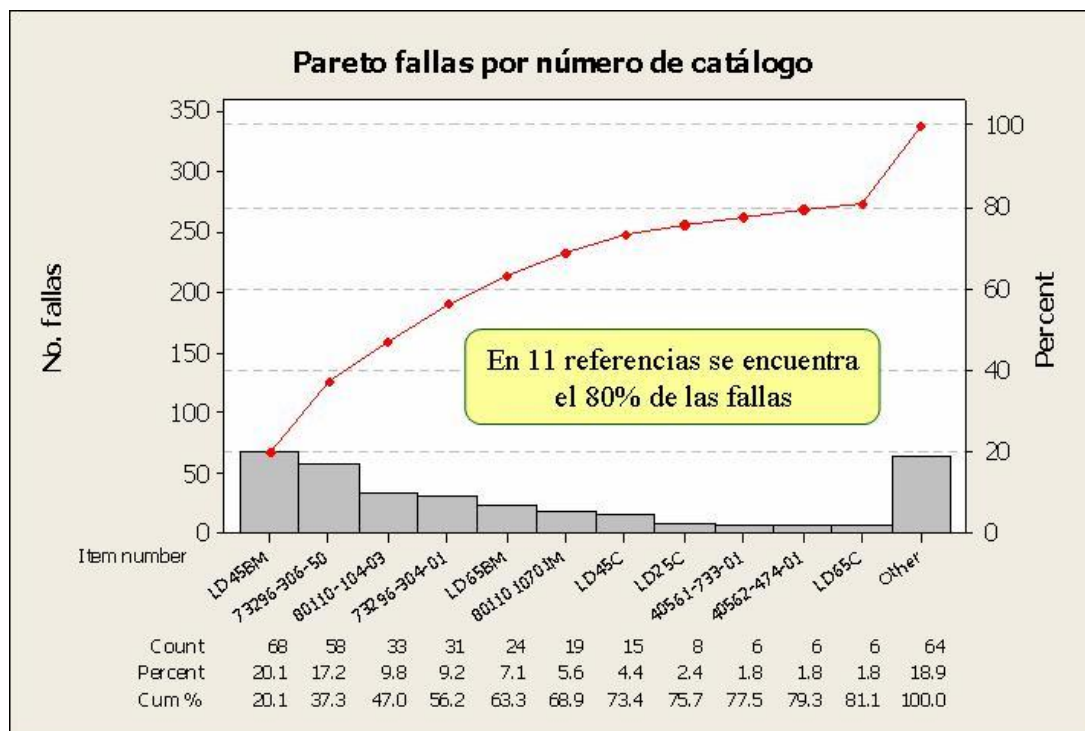


Figura 29. Gráfica por familia de productos.

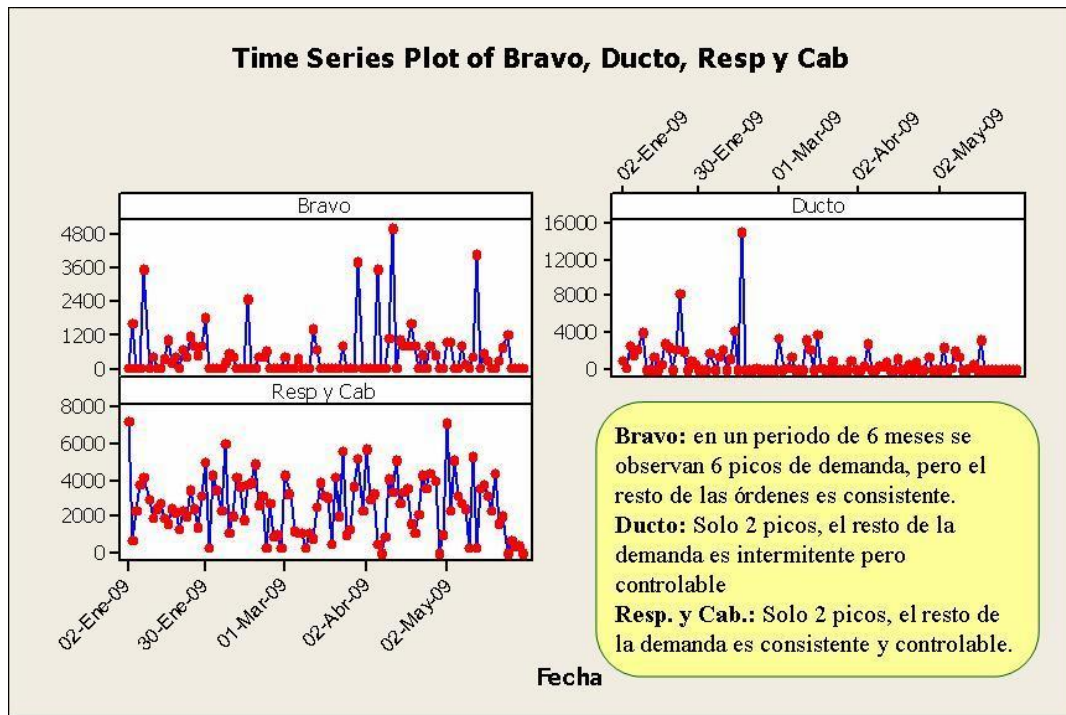


Figura 30. Grafica por producto (a).

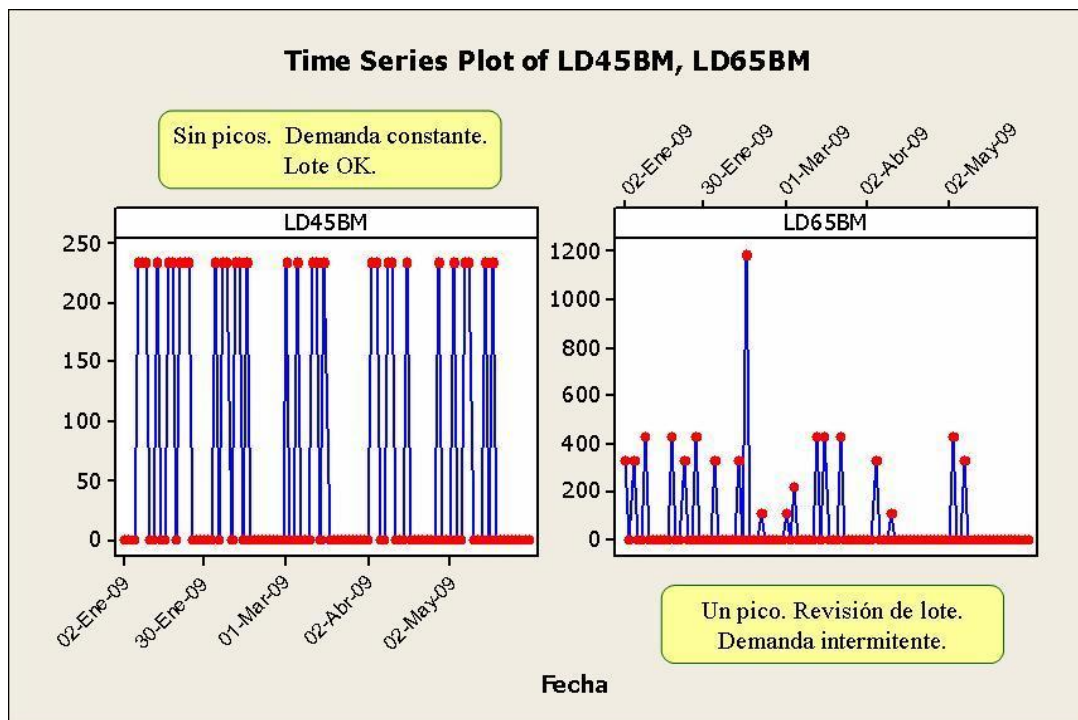


Figura 31. Grafica por producto (b).

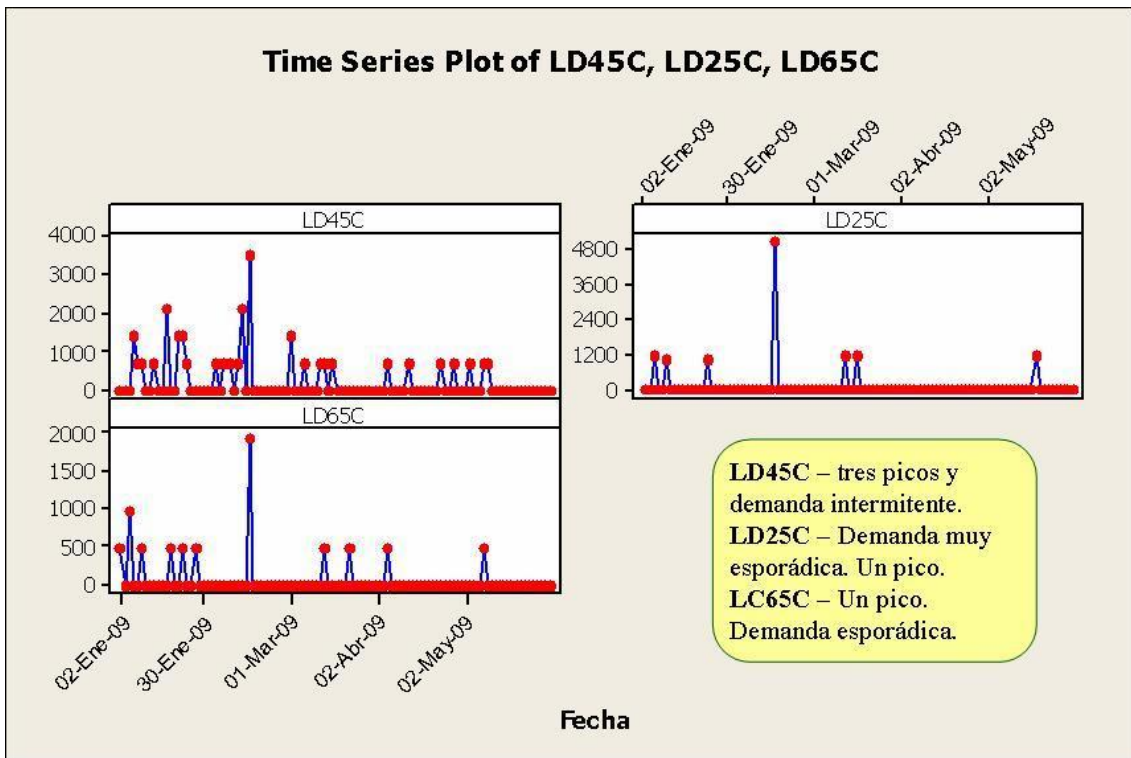


Figura 32. Grafica por producto (c).

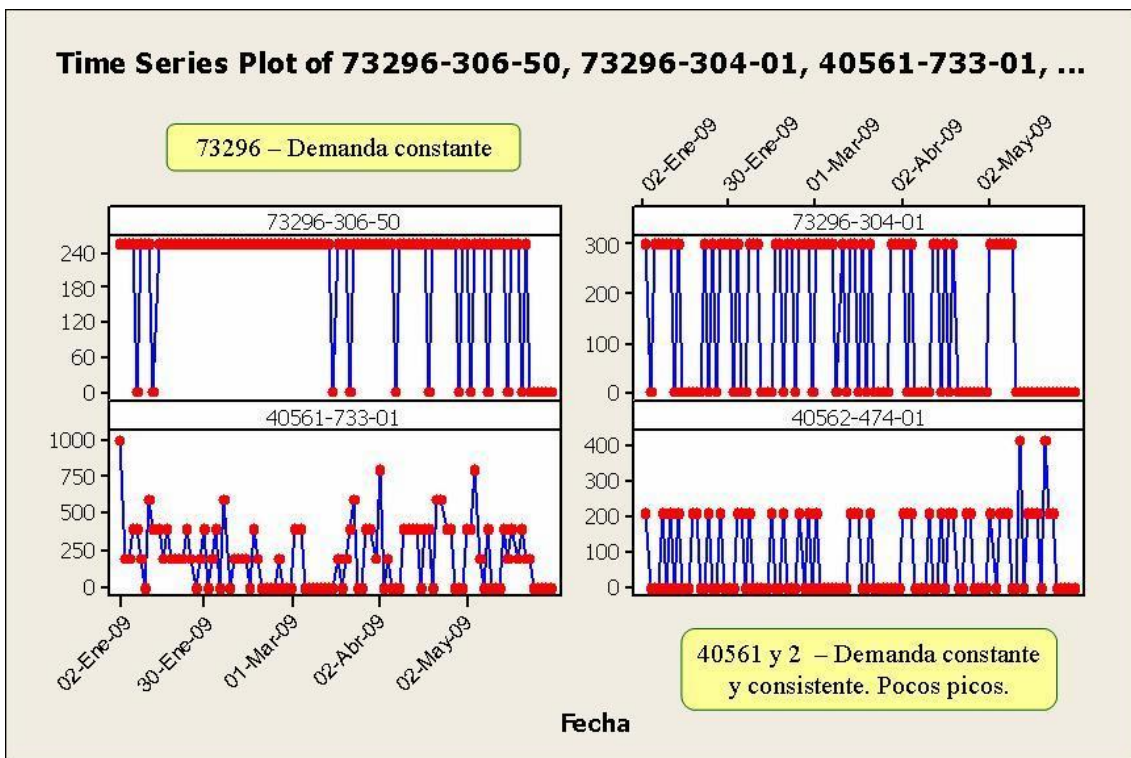
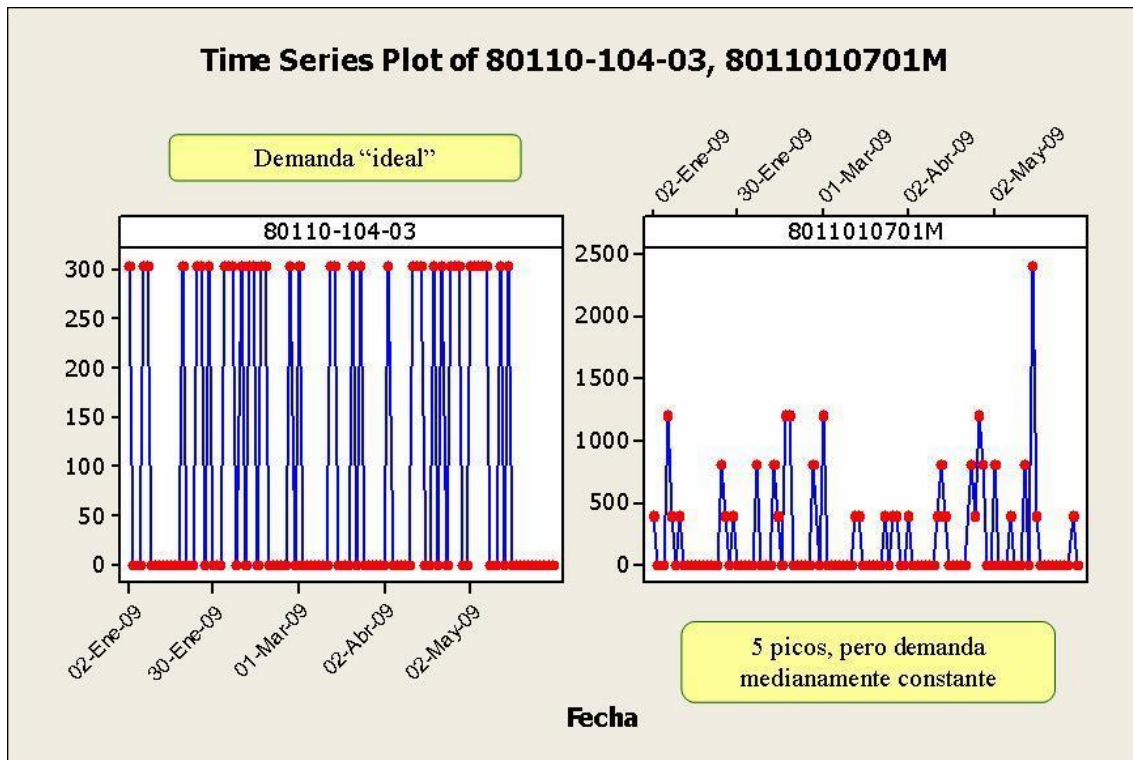
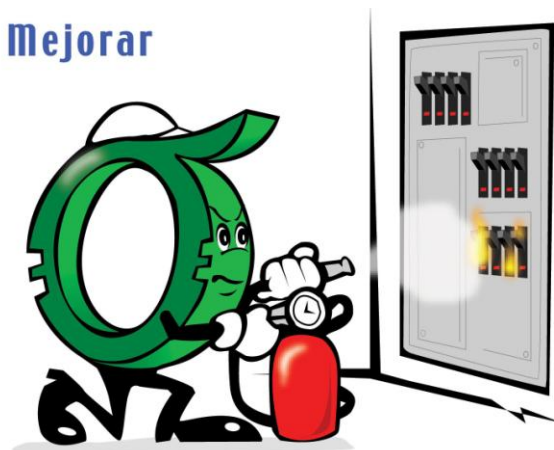


Figura 33. Grafica por producto (d)



Mejorar



En esta etapa ya se tiene un análisis de toda la información, ya se ha llegado a conocer mejor el proceso, los clientes, etc. Se conoce bien el problema y sus causas, entonces ya se tienen ideas de que hacer para mejorar; sin embargo, se debe recordar que no se puede confiar en la intuición o percepción, se debe probar si son correctas y producirán un resultado que solucione el problema.

Solución para la X crítica del proceso – X₁ Parámetros

Tiempos ciclo incorrectos

Acciones:

- Se corrigieron y verificaron los tiempos cargados en el sistema.
- La familia de Bravo fue ajustada a 5 días como el resto de los productos.
- Se presenta listado de validación.

Tiempos ciclo de fabricación del proveedor de estampado

Acciones:

- Se hará análisis del tiempo ciclo de Enero a Junio.
- Se comparará información con el nuevo esquema de producción del área de fabricación para medir el nuevo tiempo ciclo (ver Tabla 12).

Tabla 12. Tiempos ciclos corregidos a 5 días.

ITEM	KCTIM	ITEM	KCTIM	ITEM	KCTIM
40534-339-01	5	A76D063	5	L76C184-17	5
40534-363-02	5	A76D064	5	L76C184-18	5
40561-159-02	5	A76D065	5	L76C184-2	5
40561-673-02	5	A76D067	5	L76C184-3	5
40561-691-01	5	A76D068	5	L76C184-4	5
40561-733-01	5	A76D069	5	L76C184-5	5
40561-774-01	5	A76D072	5	L76C184-6	5
40561-776-01	5	A76D074	5	L76C184-7	5
40561-904-01	5	A76D075	5	L76C184-8	5
40561-905-01	5	A76D076	5	L76C184-9	5
40561-915-01	5	A76D077	5	LD21B	5
40561-916-01	5	A76D081	5	LD21C	5
40562-037-01	5	A76D082	5	LD22B	5
40562-274-01	5	A76D083	5	LD22C	5
40562-424-01	5	A76D084	5	LD25B	5
40562-474-01	5	A76D085	5	LD25C	5
73294-011-01	5	A76D312	5	LD41B	5
73294-701-01	5	A78D416-2	5	LD41C	5
73296-304-01	5	A78D416-3	5	LD42B	5
73296-306-50	5	L76C184-1	5	LD42C	5
80110-104-03	5	L76C184-10	5	LD45BM	5
8011010701M	5	L76C184-11	5	LD45C	5
A76D057	5	L76C184-12	5	LD61B	5
A76D058	5	L76C184-13	5	LD61C	5
A76D060	5	L76C184-14	5	LD62C	5
A76D061	5	L76C184-15	5	LD65BM	5
A76D062	5	L76C184-16	5	LD65C	5

Solución para la X crítica del proceso – X₂ Materiales

Retrasos de solicitud Materia Prima Proveedor - Cliente (1)

- Reunión con proveedor de Materia Prima, proveedor de estampados y cliente para revisar:
 - 1) Manejo del inventario.
 - 2) Tiempo de reacción.
 - 3) Pesos físicos de materiales.

Retrasos de compra de Materia Prima Cliente – Proveedor de materia prima (1)

- Debido a las diferencias de inventario

Diferencias de inventario Producto Terminado y Materia Prima (1)

- Bajo el esquema de maquila, se deben realizar conciliaciones de inventario de forma mensual y hacer los ajustes de inventario.
- Se buscará un esquema de “outsourcing” en donde el proveedor de estampados será dueño y responsable del inventario de Materia Prima y Producto Terminado.
- Mejorar el almacenamiento e identificación adecuada de Materia Prima y Producto Terminado.

Inventarios de Producto Terminado desbalanceado (1)

- Validar los métodos de cálculo de stock de seguridad de Producto Terminado para garantizar un nivel de servicio del 98%.
- Monitoreo de la demanda para hacer ajustes en el stock de seguridad.

Solución para la X crítica del proceso – X₃ Gente

Comunicación no efectiva

Acciones:

- Comunicación continua y eficiente entre el equipo participante y el cliente.
- Monitoreo diario del nivel de servicio.

Seguimiento al backlog

Acciones:

- Revisión y seguimiento diario del backlog.
- Anticipación suficiente de entregas para asegurar entregas a tiempo.

Solución para la X crítica del proceso – X₄ Métodos

Cálculo de stock de Producto Terminado con el proveedor de estampados

Acciones:

- Generación y mantenimiento de un stock de seguridad para cada número de parte asegurando el cumplimiento de tiempo ciclo de 5 días y produciendo para reabastecer dicho stock.

Programa de producción del proveedor de estampados

Acciones:

- Se separa la producción a una nueva entidad que trabajará de forma independiente y exclusiva para el fabricante de equipo eléctrico.
- El proveedor de estampados establecerá un sistema de planeación integral para producción, abasto de materia prima y embarques.
- Inspección física diaria de embarques por parte del equipo responsable (planeación logística / producción / calidad).

Solución para la X crítica del proceso – X₅ Maquinaria

Prensas no disponibles

Acciones:

- Se construyó una nueva nave de producción para independizar la operación del área de fabricación de la empresa de equipo eléctrico del resto de la operación del proveedor de estampados. Esta nave se constituirá como una nueva empresa llamada Estampados y Ensamblados.
- Se instalaron las prensas y máquinas necesarias para correr todas las piezas en esta nave.
- Se definió el layout asignando lugar para almacén de materia prima y producto terminado.

- Se estima que con un turno se puede abastecer la demanda al nivel actual, quedando capacidad disponible para crecimiento.
- Queda pendiente la definición de 3 troqueles que corren en alto tonelaje:
 - Se sugiere hacer la operación en dos pasos para disminuir el tonelaje requerido (opción 1).
 - Se sugiere partir el troquel para que puedan correr en prensas de menor tonelaje.

Layout de la nueva nave de producción

En la Figura 34, se muestra el nuevo Layout propuesto.

Figura 34. Nuevo Layout de la nave de producción.



- 1 – Prensa de 400 ton
- 2 y 3 – Prensa de 300 ton
- 3, 4 y 5 – Prensa de 250 ton
- 6 – Alimentador automático

- 7, 8 y 9 – Prensa de 80 tons (ducto)
- 10 y 11 – Dobladoras (ducto)

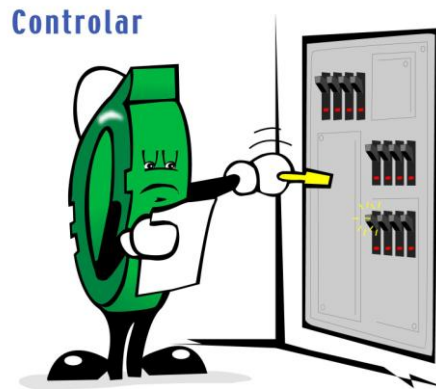
Solución para la X crítica del proceso – X₆ Logística

Demanda variable

Acciones:

- Paralelo a este proyecto se desarrollará uno nuevo que este enfocado a la mejora en la asertividad de pronósticos. Cada mes el proveedor de estampados recibirá información de pronósticos que le permitirá hacer su planeación.
- En los análisis de demanda realizados no se observan problemas en la forma de ordenar.

- Se estará monitoreando la demanda para tomar las correcciones necesarias.
- Se planea tener una logística de 4 embarques a la semana para hacer más eficiente la operación.
- Se harán modificaciones a los racks para maximizar la cantidad de piezas de ducto enviadas por embarque.



Para asegurar que el proyecto generará los beneficios estimados a lo largo de un tiempo, es necesario controlar.

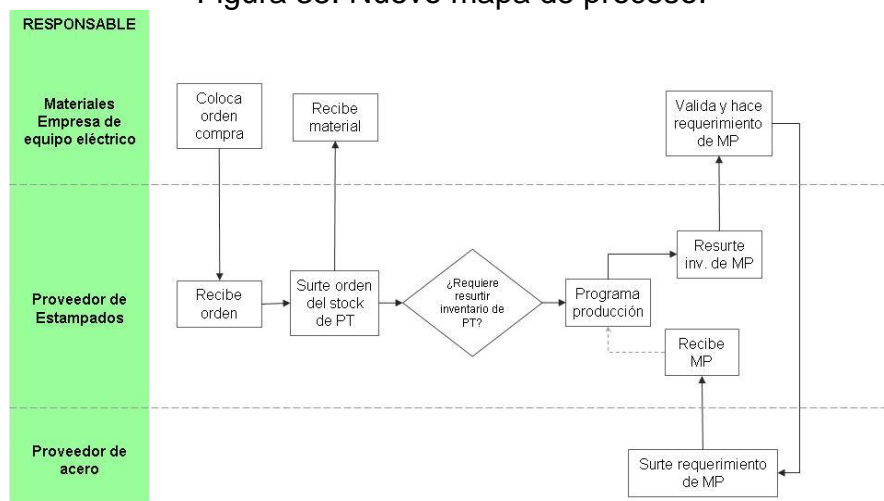
En esta etapa se analiza el y evalúa el desempeño actual y su relación con el desempeño inicial. Además, también esta es la etapa donde se cuantifican los ahorros.

Nuevo mapeo del proceso

El mapa de proceso es una herramienta fundamental de 6 Sigma. En la cual, el proceso real se documenta.

Es de suma importancia que se realice con cuidado dado que afecta al proceso que estamos mejorando. La acción de “Caminar el proceso” puede tomarse en forma literal.

Figura 35. Nuevo mapa de proceso.

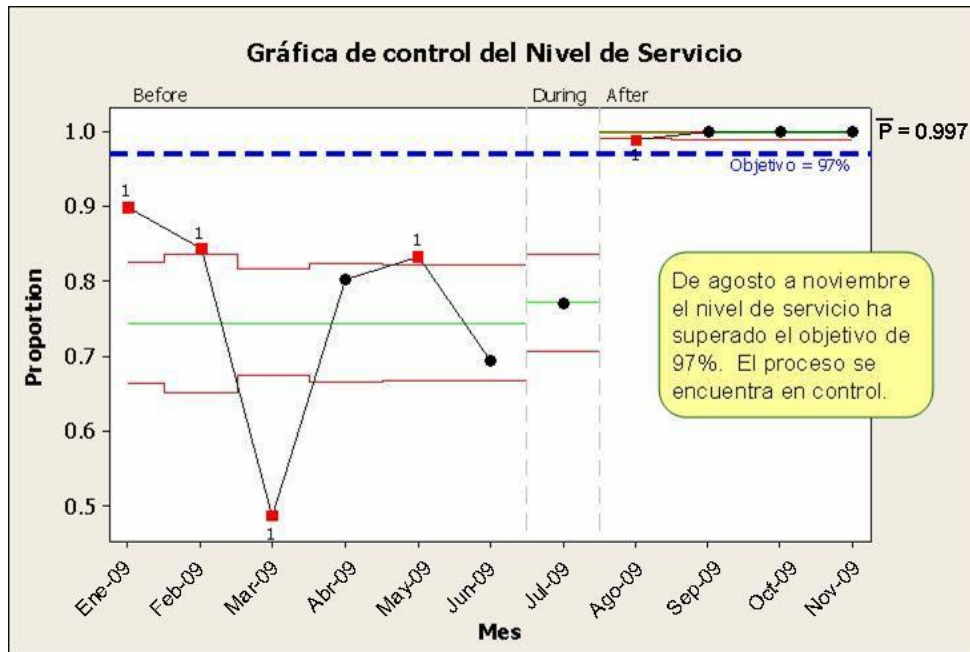


Nivel de Servicio

Es una herramienta estadística que detecta la variabilidad, consistencia, control y mejora de un proceso.

La gráfica de control se usa como una forma de observar, detectar y prevenir el comportamiento del proceso a través de sus pasos vitales.

Figura 36. Gráfica de control de nivel de servicio.



Tiempo ciclo

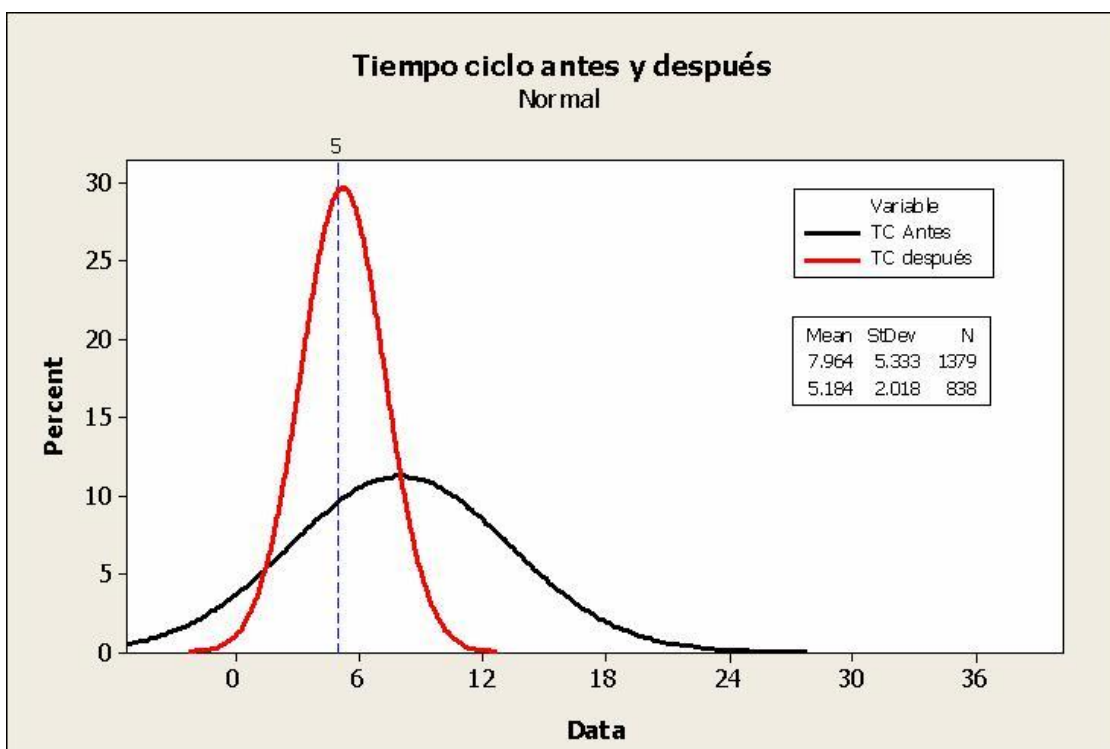
Tabla 13. Tiempo de ciclo de familias de producto.

Estado	Todas las familias		Respaldos y cabeceras		Ducto		Bravo	
	○	*	○	*	○	*	○	*
Tiempo ciclo requerido								
Antes	8.2	3.9	6.6	1.7	10.2	3.4	13.5	6.2
Después	6.4	1.7	5.9	0.6	10.0	2.7	6.1	0.7
% de mejora	-22%	-55%	-12%	-64%	-2%	-20%	-55%	-88%
Tiempo ciclo recibido								
Antes	8.0	5.3	6.5	3.7	12.3	6.9	7.1	4.7
Después	5.2	2.0	4.6	1.0	8.7	2.9	5.1	1.8
% de mejora	-35%	-62%	-30%	-73%	-29%	-58%	-28%	-62%

A nivel total, se observan porcentajes de mejora muy importantes tanto en media como en desviación estándar.

- Todas las familias mejoraron sus tiempos ciclos tanto requeridos como recibidos y las desviaciones son menores.
- Todos los valores "recibidos" son menores que los "requeridos". Esto está permitiendo alcanzar el nivel de servicio objetivo.

Figura 37. Histograma de tiempo de ciclo (antes y después)



Nivel de Servicio

Tabla 14. Nuevo Sigma de nivel de servicio.

Calculating Process Sigma :		Attributes		
		Base line	Objective	Ago-Nov
1	Determine number of defect opportunities O =	1	1	1
2	Determine number of units processed N =	1664	416	1647
3	Determine total number of defects made (include defects made and later fixed) D =	426	12	5
4	Calculate Defects per Opportunity	0.2560	0.0288	0.0030
4.1	Defects per Million of Opportunities DPMO =	256010	28846	3036
5	Calculate Yield Yield = (1-DPO) x 100 =	74.4%	97.1%	99.7%
6	Look up Sigma in the process Sigma Table Process Sigma =	2.2	3.4	4.2

Evaluando el desempeño de los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre, obtenemos una Sigma de 4.2, la cual supera el objetivo estimado.



Plan de control

Para asegurar la permanencia de los resultados, se define el siguiente plan de control:

Tabla 15. Plan de Control.

Actividad	Responsable	Frecuencia
Revisión de nivel de servicio	Compras	Mensual
Revisión del tiempo ciclo para cada familia	Re abastecedor	Trimestral
Revisión y actualización de demanda anual para cálculo de stock de producto terminado	Planeación proveedor de Estampados	Mensual
Envío de pronósticos	Compras	Mensual
Conciliación de inventarios (mientras no se cambie a esquema "outsourcing")	Materiales y proveedor de Estampados	Mensual

Evaluación financiera

Después del desarrollo de este proyecto se cuantificarán ahorros por 2 rubros principales:

- Disminución del inventario debido al nuevo tiempo ciclo (reducción de 8 a 5 días promedio). Ver siguiente tabla para detalle.
- \$ 44,290 Dólares.
- Reducción de costos administrativos y de seguimiento.

Tabla 16. Estimación de ahorros.

Rubro	Ahorro anual (Usd)
3 viajes mensuales a Puebla	1,235
6 horas semanales de seguimiento (reabastecedor)	2,306
6 horas semanales de seguimiento (comprador)	2,882
2 horas semanales de seguimiento (gerente)	2,210
Total anual	8,632

Tabla 17. Disminución de ahorros en Kanban

Item	Costo Std	Kanban	Tiempo ciclo	ADU	DDLT anterior	DDLT actual	Dif \$ (ahorro)
73296-306-50	21.9912	K	5	962	7693	4808	63,445.62
LD45BM	80.5914	K	5	211	1690	1056	51,073.86
73296-304-01	17.1824	K	5	736	5888	3680	37,936.72
A76D067	115.9046	K	5	106	850	531	36,934.92
LD65BM	120.4297	K	5	80	642	402	29,012.09
A76D057	24.5556	K	5	348	2788	1742	25,671.14
LD45C	33.9871	K	5	238	1902	1189	24,236.86
A76D063	100.6762	K	5	73	584	365	22,040.89
A76D061	100.6762	K	5	68	541	338	20,432.46
A76D074	155.9020	K	5	42	338	211	19,751.30
LD25B	44.9820	K	5	127	1014	633	17,097.43
80110-104-03	25.7705	K	5	183	1462	913	14,124.69
L76C184-14	130.6325	K	5	32	253	158	12,413.19
LD65C	44.5142	K	5	81	652	407	10,878.43
A76D058	31.4535	K	5	106	852	532	10,044.16
8011010701M	16.2652	K	5	189	1511	945	9,218.51
A76D069	126.0312	K	5	24	192	120	9,086.24
40534-339-01	57.5832	K	5	50	402	251	8,678.62
L76C184-6	94.0475	K	5	28	227	142	7,989.55
LD25C	19.9547	K	5	132	1054	659	7,890.64
L76C184-10	114.0452	K	5	19	155	97	6,639.06
A76D062	100.6795	K	5	21	168	105	6,340.41
L76C184-5	94.0475	K	5	19	153	96	5,407.73
A76D060	90.7048	K	5	19	152	95	5,172.32
Disminución en el Kanban (pmx)							491,772.36
Disminución en el Kanban (usd)							44,289.85

Mejora Continua

A partir de la tercera semana de Octubre, se dará inicio al programa de “Mejora Continua” para la nueva empresa proveedora de Estampados y Ensamble.

Producción

- Tiempo de montaje de troqueles.

Logística

- Estandarización de los medios de empaque.
- Habilitación de los medios de empaque faltantes.
- Planeación de requerimientos mensuales (pronósticos).
- Conciliaciones mensuales.
- Mantener el stock de seguridad (inventario).

Calidad

- Habilitación de medios de control.
- Definición de nivel de calidad.

- Ayudas visuales.
- Capacitación para el “Autocontrol”.
- Elaboración del Manual de Calidad.
- Tiempo de montaje de troqueles.

Mantenimiento**A troqueles:**

- Programa de optimización de herramientas según requerimientos de calidad.
- Seguimiento al plan de mantenimiento preventivo.
- Refaccionamiento de troqueles.

A prensas:

- Programa de mantenimiento preventivo.
- Elaboración de expedientes.
- Refaccionamiento de prensas.

CONCLUSIONES

En los últimos años, empresas de fabricación y de servicios han implantando programas de calidad y mejora continua, basadas en la metodología Seis Sigma, el uso de esta metodología y las técnicas asociadas han mostrado resultados impresionantes, tal y como lo muestran los casos de Motorola, General Electric, Mabe o American Express entre otros.

Empresas que quieren alcanzar la mejora continua basada en la metodología Seis Sigma, reducen costos a través de la eliminación de errores, reducen el tiempo de ciclo, incrementan su productividad, mejoran la calidad en el proceso de desarrollo y lanzan nuevos productos exitosamente al mercado. Seis Sigma es además una estrategia administrativa en la cual las herramientas estadísticas son utilizadas para lograr mayores utilidades y mayores ganancias en calidad.

Sin duda, cuando hablamos de incrementar la productividad y mejorar la calidad del proceso, considero importante destacar mi contribución durante el desarrollo del presente proyecto, el cual consistió en garantizar que se llevara a cabo un proceso formal y estructurado que asegurara que los recursos se enfocaran en lograr resultados, a través de dirigir los siguientes aspectos:

- Coordinar el desarrollo del Charter del proyecto.
- Asignar el BlackBelt y determinar los integrantes del equipo.
- Monitorear el progreso del proyecto.
- Remover los obstáculos que se presentaron durante el desarrollo del proyecto.
- Decidir el curso de acción para las diferentes opciones / soluciones.
- Verificar y retroalimentar el plan de implementación.
- Asegurar los beneficios del proyecto.
- Garantizar que el proyecto estuviera alineado con la estrategia de la organización.

Otra contribución adicional durante el desarrollo del proyecto, fue el evitar que el entusiasmo de los participantes los llevara a tener una lectura equivocada de los datos, de tal forma que se pudieran obtener beneficios tangibles al implementar la estrategia de la metodología Seis Sigma, tales como:

- Reducción de costo.
- Reducción de defectos.
- Crecimiento de mercado al tener producto disponible.
- Mejora en los productos y servicios.
- Cambio de cultura en el personal.
- Mejora en la productividad.

- Mejora en las relaciones con los clientes al entregar el producto a tiempo.

Asimismo, durante el análisis que se realizó a la empresa fabricante de equipo eléctrico, se determinó que el nivel de servicio que se le proporcionaba a los clientes finales en promedio era de 82.0% en las líneas de producto Bravo y ducto cuadrado, debido a que el proveedor de estampados que suministra componentes para el ensamble de productos durante el 2008 tuvo un promedio un nivel de servicio del 73.8%. En el periodo Enero a Julio del 2009 el nivel de servicio del mismo proveedor fue de 74.7% con un Sigma de 2.2.

Esto provoca que las entregas al cliente final se retracen debido a la sobre demanda de estos productos, a pesar de que el Centro de Distribución cuenta con un inventario de seguridad. Asimismo, esto provoca cancelaciones ocasionales de pedidos de los clientes finales, dando a la competencia oportunidad de vender productos similares.

Adicionalmente se sabe que para cubrir la demanda es necesario pagar tiempo extra en el área de fabricación, la cual se traduce en gastos variables altos. Debido a esta situación la empresa que manufactura equipo eléctrico decide invertir recursos en el mejoramiento de dicha líneas de producción, con la finalidad de reducir costos en la manufactura de dichos productos y mejorar el nivel de servicio proporcionado a los clientes finales.

Se nombro un líder para este proyecto y en forma conjunta con el equipo de trabajo se aplican las 5 fases de la metodología Seis Sigma con las siguientes conclusiones:

1. Tiempos de ciclo incorrectos cargados en el sistema.
2. Tiempos de ciclo de fabricación del proveedor de estampado incorrectos.
3. Retrasos en la solicitud materia prima por parte del proveedor.
4. Retrasos en la compra de materia prima por parte del fabricante de equipo eléctrico.
5. Diferencias de inventario en el producto terminado y materia prima.
6. Inventarios de producto terminado desbalanceados.
7. Comunicación no efectiva entre cliente y proveedor.
8. Falta de seguimiento al back log.
9. Falta de definición del stock de producto terminado con el proveedor de estampados.
10. Falta de definición de un programa de producción del proveedor de estampados.
11. Falta de capacidad de producción (prensas no disponibles).
12. Demanda variable.

Una vez determinadas las soluciones a los problemas anteriores, se procedió a construir el plan de control, el cual tuvo la finalidad de integrar la información obtenida, para que de esta manera se pudiera garantizar que la manufactura pudiera ser repetible y reproducible en las condiciones de operación óptimas con un nivel de servicio igual o mayor al 97% con un Sigma de 4.2.

Finalmente se realizó el análisis de los costos, en donde se puede observar que se logró una reducción de aproximadamente \$ 45,000 Dólares al reducir el inventario de 8 a 5 días promedio.

En base a los resultados obtenidos al finalizar este estudio se puede concluir que se acepta la Hipótesis propuesta en esta tesis, la aplicación de la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing ayudarán a la empresa de manufactura de equipo eléctrico a reducir sus costos en el inventario e incrementar el nivel de servicio, pues al día de hoy se han podido medir los beneficios obtenidos durante los últimos 4 meses del año 2009.

Adicionalmente gracias a que se han logrado mejorar los problemas en las fabricación del ducto cuadrado, hoy en día se ha evitado tener entregas tardías con los clientes finales con un nivel de servicio del 100% y también se han eliminado las reclamaciones y el back order,

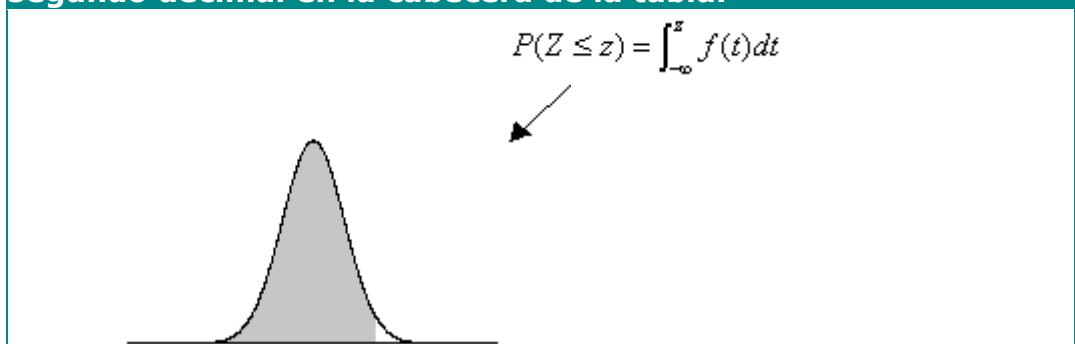
RECOMENDACIONES PARA LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS

Considerando los buenos resultados obtenidos durante el desarrollo de esta tesis, mi recomendación sería que se tome como base esta información y se apliquen las mejoras a las demás líneas de fabricación. El uso de un programa Turbo Seis Sigma puede traer beneficios en mucho más corto tiempo, ya que la información derivada de este trabajo acortaría el tiempo pues gran parte de la investigación, metodología y resultados fueron aplicados con éxito y aseguran el desarrollo de un proyecto satisfactorio. Con esto se podrían comprobar los beneficios de la aplicación de estas Metodologías en la Industria Manufacturera de Equipos Eléctricos.

Anexos

I. Tabla de áreas bajo la curva normal

Tabla : Áreas bajo la curva normal estándar. Los valores de la tabla que no se muestran en negrita representan la probabilidad de observar un valor menor o igual a z. La cifra entera y el primer decimal de z se buscan en la primera columna, y el segundo decimal en la cabecera de la tabla.



Segunda cifra decimal del valor de z										
z	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

II. Relación de Figuras

Número de Figura	Descripción	Página
1	La fábrica oculta	13
2	Distribución del proceso centrada (corto plazo) y recorrida 1.5 Sigmas (largo plazo)	19
3	Los seis pilares de la gestión por procesos	21
4	Six Sigma y Lean Manufacturing	36
5	Mercados principales	41
6	Plantas en México	44
7	Áreas de la planta en el D.F.	44
8	Dos maneras de definir manufactura	47
9	Clasificación de procesos de manufactura	57
10	Los procesos de fundición y moldeo	59
11	Procesado de partículas	59
12	Algunos procesos comunes de deformación	60
13	Operaciones comunes de maquinado	61
14	Vistas de un troquel recortador con regla de acero	64
15	Porta troquel combinado	65
16	Colección de piezas troqueladas	65
17	Ciclo de una prensa de troquelado fino	69
18	Seis Sigma y Lean Manufacturing	73
19	Causas que determinan las fallas en el Nivel de Servicio	77
20	X's críticas del proceso	78
21	Mapa de proceso de alto nivel	79
22	Nivel de Servicio 2009	80
23	Histograma de tiempo de entrega	81
24	Histograma de diferentes familias de producto	82
25	Distribuciones de diferentes familias de producto	83
26	Pareto de fallas por tipo de producto	83
27	Pareto de fallas por familia de producto	84
28	Pareto de fallas por número de catálogo	84
29	Gráfica por familia de productos	85
30	Grafica por producto (a)	85
31	Grafica por producto (b)	86
32	Grafica por producto (c)	86
33	Grafica por producto (d)	87
34	Nuevo Layout de la nave de producción	91
35	Nuevo mapa de proceso	92

Número de Figura	Descripción	Página
36	Gráfica de control de nivel de servicio	93
37	Histograma de tiempo de ciclo (antes y después)	94

III. Relación de Tablas

Número de Tabla	Descripción	Página
1	Niveles de desempeño en Sigmas	18
2	Cálculo de la Capacidad del proceso	20
3	Personajes destacados que han contribuido en la construcción de la metodología Seis Sigma	22
4	Empresas que han logrado implementar la metodología Seis Sigma exitosamente	29
5	Líderes de la metodología Seis Sigma	31
6	Descripción de las etapas y las herramientas comúnmente utilizadas en la metodología Seis Sigma	33
7	Industrias específicas en las categorías primaria, secundaria y terciaria	48
8	Industrias manufactureras cuyos sistemas y procesos quedan probablemente incluidos en este texto	48
9	Tabla 9. Desarrollo de la metodología y forma de recolección de datos en cada una de las etapas	74
10	5W's y 2H's	77
11	Cálculo de Sigma del proceso	81
12	Tiempos ciclos corregidos a 5 días	88
13	Tiempo de ciclo de familias de producto	93
14	Nuevo Sigma de nivel de servicio	94
15	Plan de Control	95
16	Estimación de ahorros	95
17	Disminución de ahorros en Kanban	96

Glosario de términos y abreviaturas

AMEF	Análisis del Modo Potencial de Falla y Efecto
ANOVA	Analysis of Variance (Análisis de Varianza)
BB	Black Belt (Cinturón Negro)
Ch	Champion (patrocinadores de la Metodología Seis Sigma)
COPO	Cost of Poor Quality (Costos de no Calidad)
Cp / Cpk	Índice que indica la Capacidad de un Proceso determinado
CTO	Critical to Quality (Característica Crítica para la Calidad del Producto)
DOE	Design of Experiments (Diseño de Experimentos)
DMAMC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar
ESC	Executive Steering Committee (Comite Ejecutivo de Liderazgo)
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (Análisis de Modo Potencial de Falla y Efecto)
GR	Green Belt (Cinturón Verde)
KPIV's	Key Process Input Variables (Variables Críticas de Entrada al Proceso)
KPOV's	Key Process Output Variables (Variables Críticas de Salida del Proceso)
MAP	Marking, Assembly & Packaging (Marcado, Ensamble y Empaque)
MDD	Millones de Dólares
MRD	Master Black Belt (Maestro Cinturón Negro)
MSA	Measure System Analysis (Análisis del Sistema de Medición)
Ppm	Partes por Millón
RPN	Risk Priority Number (Número de Prioridad de Riesgo)
R&R	Repeatability and Reproducibility (Repetitibilidad y Reproducibilidad)
SIPOC	Mapa de Proceso que ayuda a identificar Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Pasos del Proceso (Process Steps), Salidas (Outputs), y Clientes (Customers)
SMED	Single Minute Exchange of Die (Cambios Rápidos de Herramientas)
SPC	Statistical Process Control (Control Estadístico de Proceso)
SOC	Statistic Quality Control (Control Estadístico de Calidad)
TPM	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)
TQM	Total Quality Management (Administración de la Calidad Total)
VOC	Voice of the Customer (Voz del Cliente)
VSM	Value Stream Map (Mapa de Corriente de Valor)

Bibliografía

1. Wheat Barbara, Milis Check y Carnell Mike (2003). Seis Sigma. Una parábola sobre el camino hacia la excelencia y una empresa esbelta (20° Edición). Colombia: Grupo Editorial Norma.
2. Gutiérrez Pulido, Humberto y De la Vara Salazar, Román (2004). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. México: Editorial McGraw Hill.
3. Evans, James (2005). Administración y control de la calidad (62° Edición). México: Editorial Thomson.
4. Cantú Delgado, Humberto (2001). Desarrollo de una cultura de calidad (22° Edición). México: McGraw Hill.
5. George, Michael L. (2002). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed. New York: McGraw-Hill.
6. Gutiérrez Garza, Gustavo (2004). Aterrizando Seis Sigma (2a Edición). México: Regiomontanas
7. Bonnin, Rigo (2005). La estrategia “seis sigma” y el control interno de la calidad (Vol. 3/49). Barcelona: Revista Electrónica Diagnóstico in Vitro.
8. Anthony, J. (2006). Design for Six Sigma: a Breakthrough business improvement strategy for achieving competitive advantage (Vol. 51). Work Study.
9. Breyfogle III y Forrest W. (2003). Implementing Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods (2a Edición). New Jersey: John Wiley & Sons.
10. Pande P. (2000). The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Others Top Companies are joining Their Performance. USA: McGraw Hill.
11. Goffnett, Sean (September 2004 through December 2004). Understanding Six Sigma Implications for Industry and Education (Volume 20, Number 4). Journal of Industrial Technology.
12. Pyzdek, Thomas (2003). The Six sigma Handbook: A complete guide for Green Belts, Black Belts and Managers at all levels (1a Edición). USA: McGraw-Hill.
13. Reyes, Primitivo (Abril - Junio 2002). Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. Revista contaduría y Administración, No. 205.
14. Barba, Enric. Boix, Francesc - Cuatrecasas, Lluís. Seis Sigma - Gestión 2000.
15. Chowdhury (2001). Subir - El Poder de Seis Sigma. Prentice Hall.
16. Saderra Jorba, Lluís (1993). El secreto de la calidad japonesa. Marcombo.
17. Crosby, Philip B. (1989). Hablemos de calidad. McGraw Hill.
18. Plotkin, Hal (Mayo 2003). Six Sigma. Qué es y cómo utilizarlo. Harvard Business Review / Management Herald.

19. Castro, Cecilia (2000). Seis Sigma, el último grito de la calidad. Diario Clarín (31/08/03). Harry, Mikel. The vision of Six Sigma, case studies and applications - Sigma Publishing Company.
20. Hoerl, Roger (1998). Six Sigma and the future of the quality profession. IEEE Engineering Management Review.
21. Agut, Joaquim (2000). La qualitat Sis Sigma. Revista de Qualitat.
22. Serieyx, Herve(1989). Le Zero Mepris. Inter. Éditions.
23. Brue, Greg (2002). Seis Sigma para Directivos. McGraw Hill.
24. Curso Six Sigma (1999-2000). GE Power Systems, Aircraft Engines, Capital, Medical Systems, Appliances.
25. Curso Six Sigma Greenbelt (1999). Bombardier Transportation.
26. Curso Six Sigma Blackbelt / Greenbelt.
27. www.isixsigma.com