



FACULTAD DE ECONOMÍA Y CIENCIAS EMPRESARIALES

**TEMA: SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA
MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

**ARTÍCULO ACADÉMICO QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS EMPRESARIALES**

**AUTOR
SIXTO AURELIO PRIETO COELLO**

**TUTOR
BENJAMÍN FELIZ**

SAMBORONDÓN, MARZO, 2014

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Six Sigma aplicado a empresas manufactureras para la mejora de procesos

Sixto A. Prieto

Universidad de Especialidades Espíritu Santo - Ecuador, Km. 2.5 Vía Puntilla

Samborondón, Facultad de Economía y Ciencias Empresariales, Edificio F,

klmprieto99@gmail.com

Resumen

Desde que Motorola desarrolló la metodología Six Sigma en 1986, esta se ha popularizado y esparcido por todos los rincones del mundo. Al comienzo, esta metodología era aplicada únicamente en procesos de manufactura, pero hoy en día esta se aplica en casi cualquier área de cualquier tipo de negocio. Six Sigma permite reducir al mínimo las variaciones de los procesos por medio de su metodología de mejora de procesos DMAIC y del uso de una gran variedad de herramientas estadísticas. Sus beneficios se han visto reflejados en el éxito que muchas empresas han tenido al aplicarla, sin embargo su implementación es complicada y muchas otras empresas han fracasado al intentarlo. Esta investigación presenta una revisión literaria de los conceptos más importantes y los factores críticos para la exitosa implementación de Six Sigma en empresas de manufactura. Además, se realiza el análisis de 5 casos exitosos de implementación de proyectos Six Sigma, por medio de los cuales se pretende sugerir una manera eficiente de aplicar la metodología en empresas de manufactura para mejorar los procesos de producción.

Palabras clave: Six Sigma, proceso de producción, manufactura, mejora de procesos, reducción de costos

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Abstract

Since Motorola developed Six Sigma in 1986, it has popularized and spread out to the whole world. At the beginning, this methodology was only applied on manufacturing processes, but today it's used on any area of any type of business. Six Sigma allows reducing processes variations to the minimum throughout its process improvement methodology called DMAIC and the support of a wide variety of statistical tools. Its benefits are clearly seen in the success that many companies have had when applying it. Nevertheless, its implementation is tough and many companies have failed implementing it. This research paper presents a literature review of the core concepts of Six Sigma and the critical success factors for its successful implementation in manufacturing companies. Moreover, a five-case analysis is made on successful implementation of Six Sigma projects, through which, the author pretends to suggest an efficient way to implement the methodology in manufacturing companies to improve production processes.

Keywords: Six Sigma, production process, manufacturing, processes improvement, costs reduction

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Introducción

Desde hace más de medio siglo se ha realizado diversos estudios con el objetivo de mejorar el rendimiento de los negocios. A partir de estos estudios, muchas filosofías y metodologías de trabajo han surgido para dar una mano a las empresas. Sin embargo, su puesta en marcha no siempre ha sido beneficiosa, pues muchas empresas han fracasado en el intento por diferentes motivos, en especial por su falta de compromiso con el proyecto de mejora.

Six Sigma es una de las metodologías de mejora de procesos y solución de problemas más eficiente, que contribuye a la reducción de costos y a incrementar la eficiencia operativa (Gygi & Williams, 2012). Six Sigma nació en Motorola en 1986 como una iniciativa de mejora de la calidad para eliminar los defectos de producción por medio de la eliminación de la variación de los procesos (Cole, 2011; Corbett, 2011).

En la actualidad, Six Sigma es una metodología ampliamente utilizada en todo el mundo en casi cualquier tipo de empresa, cuyo éxito en compañías como Motorola, General Electric y Honeybell continúa alentando a otras empresas a adoptarla, pues lo que impulsa a esta metodología es el objetivo de mejorar, de medir en base a los datos obtenidos y alcanzar la excelencia, para lo cual también demanda un cambio de mentalidad en los empleados enfocado a la calidad (Hartung, 2010).

En el Ecuador, la aplicación de Six Sigma en empresas de manufactura representa una gran oportunidad, ya que con el cambio de la matriz productiva se está incentivando la producción local. Por lo tanto, aplicar la metodología

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

ayudaría a las empresas nacionales a no sólo incrementar sus ventas sino también a hacerse más eficientes y competitivas.

Es por esto que surge la importancia de hacer un estudio para analizar el procedimiento para implementar un proyecto Six Sigma para mejora de procesos. La presente investigación buscará por medio de la revisión literaria y del análisis de 5 casos, sugerir los parámetros y procedimientos para implementar Six Sigma correctamente. Se revisará los factores críticos para su implementación y la forma como se llevaron a cabo los proyectos.

Revisión literaria

Antecedentes de Six Sigma

El concepto de esta metodología fue desarrollado en 1986 por Bill Smith, empleado de Motorola, quien propuso su estudio como un modelo para minimizar la variabilidad de los procesos de producción mediante la estandarización de la medición de los defectos de los productos. Este concepto comenzó aplicándose sólo en el área de manufactura, pero no tardó en expandirse a las demás áreas de la empresa y hacia empresas de todo el mundo (Motorola Solutions, 2012).

General Electric por ejemplo, obtuvo resultados asombrosos luego de aplicarla en sus operaciones. Según el reporte anual de General Electric de 1999, luego de cinco años de haber comenzado el proyecto Six Sigma, la empresa pasó de no generar utilidades a obtener más de 2.000 millones de dólares en beneficios (Antony & Banuelas, 2002).

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

De igual manera Motorola obtuvo excelentes resultados, pues luego de haber invertido por tres años alrededor de 170 millones de dólares en capacitación logró ahorrar 2.200 millones de dólares al reducir el costo de la mala calidad (Antony & Banuelas, 2002). Además, redujo drásticamente el tiempo de sus procesos de manufactura, en algunos casos de 40 días a menos de una hora (Sasthriyar, 2006).

Six Sigma

Para Gygi & Williams (2012), Six Sigma es la metodología de solución de problemas más eficiente para mejorar el rendimiento de una organización. El concepto y la forma de ver esta metodología varía según el nivel de la organización en el que se aplique y del rol, o grupo de tareas sobre las que recae. Por ejemplo, su aplicación a nivel administrativo no es igual a su aplicación a nivel del área de producción (Harry, Hodgins, Hulbert, Lacke, & Mann, 2011).

Aruleswaran (2010), menciona que Six Sigma ha evolucionado de una mera técnica estadística de mejora de la calidad a una metodología que provee herramientas para mejorar la capacidad de los procesos y la calidad de los productos y servicios. De esta manera, se convierte en un sistema de gestión que se vuelve parte de la estrategia de negocio (Adams, Gupta, & Wilson, 2003; Goldratt Institute, 2009).

La aplicación de Six Sigma sin embargo, es un proceso complejo, es por eso que a pesar de que grandes empresas como General Electric, Honeybell, Sony, Ford, Motorola, Citybank, entre otras, tuvieron éxito, según David Fitzpatrick, apenas un 10% de las empresas que inician un proyecto Six Sigma obtienen resultados significativos (Antony & Banuelas, 2002).

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Six Sigma es aplicado a través de proyectos de mejora seleccionados en base a las metas operativas y a los beneficios financieros estimados (Corbett, 2011), con la ayuda de una gran variedad de herramientas estadísticas (Fritz, 2011; Jeyaraman & Kee, 2010; Jaglan, Kaushik, & Khanduja, 2011). Los proyectos están a cargo de equipos de cinturones verdes (*Green belts*) liderados por un cinturón negro (*black belts*) o por un maestro de cinturón negro (*master black belts*) (Ferguson, 2006).

Los cinturones son certificaciones que se obtienen según el nivel de conocimiento de la persona y su experiencia (Kubiak, 2012; Corbett, 2011). Las empresas deben seleccionar muy bien a sus aspirantes a obtener su certificación, ya que estos deben cumplir con ciertos requisitos (Ferguson, 2006; Mika, 2006; Motorola Solutions, 2012; Motorola Solutions, 2014).

Desde luego, no todos dentro de la empresa están en capacidad de participar en un proyecto Six Sigma, por eso se debe escoger a los mejores talentos, cuyos perfiles vayan acorde a las características del proyecto. La gerencia debe estar consciente de que este factor es fundamental para el éxito de la implementación de Six Sigma, por lo que debe cerciorarse de que se escoja a los más idóneos.

La Air Academy Associates (1998) presenta un cuadro descriptivo para un mayor entendimiento acerca de los requerimientos y el perfil que deben tener los aspirantes a obtener una certificación Six Sigma (Antony & Banuelas, 2002), el cual se muestra en la tabla 1.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

	Cinturones verdes	Cinturones negros	Campeones
Perfil	Conocimiento técnico. Respetado por sus compañeros. Conocimiento y manejo de herramientas básicas y avanzadas.	Título en alguna carrera técnica. Respetado por sus compañeros y la gerencia. Dominio de herramientas básicas y avanzadas.	Gerentes Sénior. Líder respetado y mentor de temas de negocio. Buen proponente de Six Sigma que hace las preguntas correctas.
Rol	Lidera importantes equipos de mejora de procesos. Lidera y entrena en herramientas y análisis. Asiste a los cinturones negros. Por lo general trabaja medio tiempo en los proyectos.	Lidera proyectos estratégicos de mejora de procesos de gran impacto. Agente e impulsor de cambios. Enseña y entrena a miembros de equipos de distintas funciones. Líder de proyecto a tiempo completo. Convierte los resultados y las ganancias en dinero.	Provee recursos y un fuerte liderazgo para los proyectos. Inspira una visión compartida. Establece planes y crea infraestructura. Desarrolla métricas. Convierte los resultados y las ganancias en dinero.
Entrenamiento	Dos sesiones de tres días, con un mes de separación entre cada sesión para aplicar al proyecto. Revisión del proyecto en la segunda sesión.	Cuatro sesiones de una semana con un mes de separación entre cada sesión. Revisión del proyecto en la segunda, tercera y cuarta semana.	Una semana de entrenamiento de campeón. Desarrollo e implementación del plan Six Sigma.
Número	1 por cada 20 empleados (5%).	1 por cada de 50 a 100 empleados (entre el 1% y 2%).	Uno por grupo o unidad de negocio, o por centro de manufactura de gran tamaño.

Tabla #1: Comparación del rol, perfil y tipo de entrenamiento en el sistema de cinturones Six Sigma.

Nota: Obtenido de “Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in organisations”, por J. Antony y R. Banuelas, 2002, *The TQM Magazine*, p 96.

Sigma es una letra griega que representa a la desviación estándar, la cual es una medida de dispersión que permite conocer qué tan lejos están los datos con respecto al promedio (Cervantes-Hernández, 2008). El nombre Six Sigma o seis

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

sigma en español, proviene de las \pm seis desviaciones estándar que esta metodología toma, yendo más allá de las ± 3 desviaciones estándar de una típica curva de distribución normal (Tennant G. , 2001). La figura 1 a continuación expone la curva de distribución normal estándar con ± 3 desviaciones.

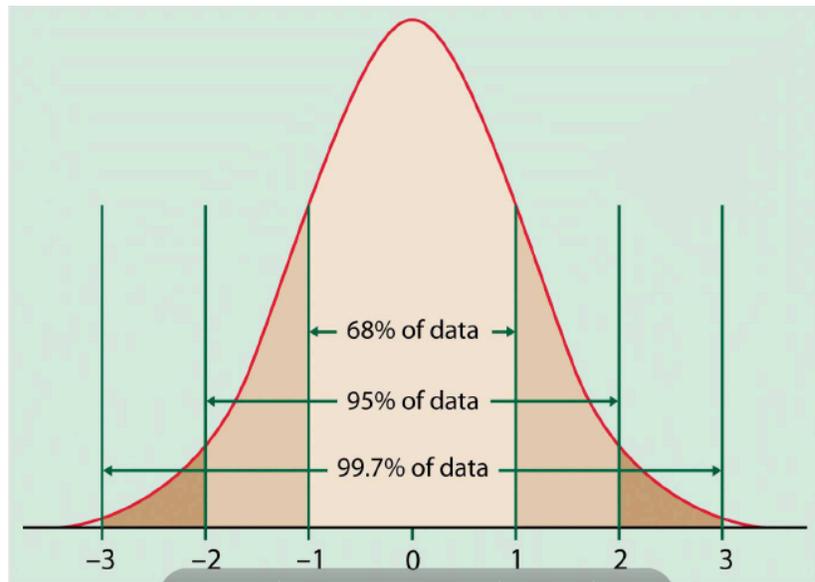


Figura 1: Gráfico de la curva de distribución normal estándar.

Nota: Obtenido de “Session 1.5 Normal Distribution Curve”, por A, Ibrahim y N, Mikhail, 2006, *South Egypt Cancer Institute*.

En términos estadísticos, esta metodología permite limitar los defectos a solamente 3.4 partes por cada millón de oportunidades, es decir, 3.4 partes defectuosas por cada millón de partes fabricadas (Antony & Banuelas, 2002; Cole, 2011; Laosirihongthong, Rahman, & Saykhun, 2005; Leong & Teh, 2012; Mika,

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

2006; Sasthriyar, 2006). La tabla 2 detalla el rendimiento del proceso y los defectos por millón de oportunidades según el nivel sigma alcanzado.

Nivel sigma	Defectos por millón de oportunidades	Porcentaje de error	Porcentaje de rendimiento
1	690000	69	31
2	308537	30.85	69
3	66807	6.68	93.3
4	6210	0.621	99.38
5	233	0.0233	99.977
6	3.4	0.00034	99.99966

Tabla #2: Niveles de rendimiento sigma.

Nota: Obtenido de “Lean Six Sigma”, por S. Sankar y N. Vivekananthamoorthy, 2011, *Libro Six Sigma Projects and Personal Experiences*, p 5.

La razón por la que se va más allá de las 3 desviaciones típicas, es porque a lo largo del tiempo según las experiencias de empresas de manufactura, la curva tiende a moverse fuera de los límites del proceso, moviendo la media ± 1.5 sigmas. Por lo tanto, al operar bajo un nivel sigma 3, en el largo plazo se estará operando bajo un nivel sigma 1.5, mientras que bajo un nivel sigma 6, en el largo plazo se operaría a un nivel sigma 4.5, y aún así se podría mantener el estándar de no más de 3.4 defectos por millón de oportunidades (Tennant G. , 2001).

Para llevar a cabo los proyectos de mejora, Six Sigma utiliza una metodología de solución de problemas y mejora de procesos llamada DMAIC, cuyas siglas en inglés significan definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Corbett, 2011; Ferguson, 2006; Lawson, 2007; Maleyeff, 2007; Anderson, Eriksson, & Torstensson,

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

2006). Para su implementación, cada una de las fases de la metodología se debe desarrollar rigurosamente en el orden indicado (Benbow & Kubiak, 2009).

Factores críticos para la implementación de Six Sigma

Los factores críticos son un enfoque desarrollado por un equipo de investigación del MIT *Sloan School of Management* para las necesidades de información gerencial (Rockart, 1979). Brotherton & Shaw (1996) definen a los factores críticos de una empresa como aquellos elementos que deben ser alcanzados por la compañía para identificar las áreas que generan mayores beneficios y que ayudan a la empresa a alcanzar sus metas..

Ha habido diversos estudios acerca de cuáles son los factores críticos para el éxito de un proyecto Six Sigma. Antony & Banuelas (2002) llevaron a cabo una investigación en el Reino Unido para determinar estos factores, y basándose en estudios de otros autores, concluyeron que existen doce factores críticos para una exitosa implementación: Compromiso e involucramiento de la gerencia, cambio cultural, comunicación, infraestructura organizacional, entrenamiento, unir Six Sigma con la estrategia de negocio, unir Six Sigma al cliente, unir Six Sigma a recursos humanos, unir Six Sigma a los proveedores, entender las herramientas y técnicas de Six Sigma, habilidades para dirigir el proyecto, priorización y selección del proyecto.

Según el tipo de empresa, estos factores pueden también variar. Spanyi & Wurtzel (2003) por ejemplo, mencionan que para el éxito de un proyecto Six Sigma en pequeñas y medianas empresas, es necesario un claro y fuerte compromiso de la gerencia, sentido de urgencia, clara definición de los requerimientos de los clientes,

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

comprensión de los procesos principales y los clientes clave, honestidad al medir el desempeño actual, disciplina para priorizar los proyectos de mejora críticos, recompensas y reconocimientos a los miembros de los equipos, comunicar las historias de éxito y fracaso, institucionalizar el enfoque.

Así mismo, Waxer (2010) menciona que para el éxito de la implementación de Six Sigma en cualquier tipo de empresa, incluyendo las pequeñas y medianas empresas es necesario el acuerdo y soporte por parte del equipo de gerencia, educación y entrenamiento, compromiso del recurso humano, compensaciones a los empleados.

Metodología

La presente investigación se llevará a cabo mediante una revisión literaria y el análisis de 5 casos para determinar cómo se debe aplicar Six Sigma en empresas de manufactura.. Las variables que se analizarán son de tipo cualitativo y se obtendrán del estudio de los cinco casos. El equivalente a la población (tamaño de muestra) en esta investigación son los casos sobre los que se realizará el análisis.

Los casos analizados muestran la implementación de Six Sigma siguiendo el esquema DMAIC. En cada caso, las empresas llevan a cabo cada fase en base a sus necesidades y a lo decidido por el equipo a cargo del estudio. La tabla 3 esquematiza lo que involucra cada una de las etapas.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Procesos clave: Definir los requerimientos y expectativas del cliente. Definir el alcance del proyecto. Definir el proceso a través del mapeo del flujo de trabajo.	Procesos clave: Medir el proceso. Desarrollar un plan de recolección de datos. Recolectar y comparar información para determinar los problemas.	Procesos clave: Analizar las causas de los defectos y variaciones. Determinar las variaciones existentes. Priorizar las causas más importantes para su futura mejora.	Procesos clave: Mejorar el proceso para eliminar las variaciones. Desarrollar alternativas creativas implementar plan de mejora.	Procesos clave: Controlar las variaciones del proceso para satisfacer las necesidades de los clientes. Desarrollar una estrategia para monitorear el proceso que ha sido mejorado.
Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas
Cartas de proyecto, mapas de proceso, planes de comunicación, lluvia de ideas.	<i>Critical to satisfaction</i> (CTS), <i>Critical to Quality</i> (CTQ), plan de recolección de datos, diagramas de Pareto, R&R, matriz de voz del proceso, matriz de causa y efecto.	Diagramas de Ishikawa, histogramas y análisis gráfico, análisis de correlación, pruebas de hipótesis, <i>Failure mode error analysis</i> (FMEA).	Plan de mejora, análisis de costo-beneficio, costo de la baja calidad, diseño de experimentos, mapas de procesos.	Pruebas de hipótesis, análisis gráfico, análisis FMEA, plan de control, análisis de capacidad del proceso, pruebas de errores, Kaizen, cuadros de evaluación.

Tabla #3: Procesos y herramientas usadas en las fases DMAIC.

Nota: Elaborado en base a “Applying lean Six Sigma to reduce linen loss in an acute care hospital”, por S. Furterer, 2011, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, p 40. Copyright 2011 MultiCraft Limited y “Process Optimization by using Lean Manufacturing Technique (Six Sigma) – A Case Study in Manufacturing Industry”, por A. Gangai y G. Naik, 2014, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, p 99.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Análisis de casos

Caso 1: Empresa malaya fabricante de componentes para equipos electrónicos.

El caso de esta empresa es estudiado y analizado por Hamdan, Kamaruddin, Loong, Nee, & Tien (2012) en el departamento de ensamblado de un componente para equipos electrónicos.

Definición

En esta etapa, se estudia y determina la condición actual del proceso a través de una inspección de las áreas de trabajo para identificar desperdicios y oportunidades, también llamada inspección *gemba*. Luego, se inspeccionan las tareas realizadas por los trabajadores. Luego de esto, el equipo de ingenieros y el gerente se reunieron y definieron como metas del proyecto la reducción de la mano de obra y la reducción del tiempo del ciclo de ensamblaje.

Medición

En esta etapa, se realiza la recolección de los datos referentes al proceso. Para empezar, se miden los tiempos del proceso usando un cronómetro y tomando 30 muestras del ciclo del proceso en cada una de las 14 estaciones de la línea, para luego calcular el tiempo promedio de cada estación. Se elaboró una tabla descriptiva de los tiempos del proceso y un diagrama de distribución del flujo de trabajo.

Análisis

En esta etapa se analizaron los datos obtenidos de la medición. Se calculó el tiempo de procesamiento (*takt time*) para determinar con qué frecuencia la línea debe producir basado en la demanda de los clientes. El equipo se reunió además para hacer una lluvia de ideas y discutir con los operarios e ingenieros los problemas

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

observados. Utilizaron el diagrama de espina de pescado o de *Ishikawa* para encontrar las causas raíz del problema.

Mejoramiento

En esta etapa se implantaron soluciones efectivas sugeridas para superar las causas raíz descubiertas en el diagrama de *Ishikawa*. Las soluciones planteadas se obtuvieron luego de una lluvia de ideas realizada entre el personal operativo y los ingenieros de la empresa, desde luego tomando en cuenta el presupuesto de la empresa, la factibilidad del proyecto y el resultado esperado de cada una de las soluciones propuestas.

Control

En esta etapa, el equipo se aseguró de que la mejora del proceso sea continua y se plantearon nuevos estudios de movimiento y tiempo para realizarse en el futuro. Además, se realizaron chequeos periódicos de las soluciones planteadas para alcanzar el rendimiento esperado, y un plan de contingencia para la solución de los problemas que puedan surgir.

Caso 2: Empresa fabricante de circuitos para cartuchos de impresoras a inyección.

El estudio de este caso es realizado por Gómez, Noriega, Sánchez, & Valles (2009) en base al producto principal de la empresa, un circuito para cartuchos de impresora a inyección y su bajo rendimiento eléctrico.

Definición

Lo primero que hizo el equipo encargado del proyecto fue seleccionar las características críticas para el cliente y la variable de respuesta. Se determinaron

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

aquellas características críticas para la calidad (CTQ) y las críticas para el costo (CTC).

Medición

En esta etapa se evaluó el sistema de medición para cerciorarse de la validez de los datos. Primero, se realizó una prueba de normalidad de los datos y un análisis de la capacidad del proceso a través de experimentos controlados. Por otra parte, se llevó a cabo un estudio de repetibilidad y reproductibilidad para determinar la precisión del proceso de medición.

Análisis

En esta etapa, el equipo realizó una sesión de lluvia de ideas para determinar las posibles causas de los problemas. Los factores que fueron considerados más importantes fueron probados como hipótesis en varias pruebas estadísticas. Para la identificación de las causas potenciales se utilizaron diagramas de Pareto y matrices de causa y efecto. Una vez identificadas las causas importantes, se hizo un análisis de varianza y se realizaron gráficos de dispersión, histogramas y gráficos de cajón.

Mejoramiento

Una vez identificados los factores de variación, el equipo ideó posibles soluciones para luego implementarlas y verificar si la mejora obtenida era similar a la mejora esperada. Las medidas correctivas fueron aplicadas para cada una de las variables significativas obtenidas luego de los experimentos. El equipo además recomendó también realizar una evaluación de los beneficios obtenidos del proyecto de mejora.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Control

En esta etapa final, para estabilizar el proceso, se establecen los nuevos parámetros y se adoptan medidas para garantizar que las mejoras se mantengan. Para esto, la empresa hizo una inversión en equipos electrónicos de control para evitar posibles cambios en los parámetros, y se instauró un programa de mantenimiento preventivo.

Caso 3: Empresa mexicana fabricante de parlantes para carros.

Esta investigación fue llevada a cabo por Sánchez & Valles-Chávez (2011) en una empresa que recibía muchas quejas de sus clientes sobre la calidad de sus parlantes para carros.

Definición

En esta etapa se mantuvieron algunas reuniones y discusiones entre miembros de diferentes departamentos de la empresa. El equipo comenzó con la descripción del problema mediante la recolección de componentes defectuosos. El equipo analizó mediante un diagrama de Pareto los 5 defectos críticos del producto durante un periodo de 9 meses, y se realizó un mapeo de procesos (*Value Stream Mapping*) para identificar las actividades que no generaban valor para el cliente.

Medición

En esta etapa se llevaron a cabo estudios de repetibilidad y reproductibilidad de la capacidad del proceso para evaluar los sistemas de medición. Se tomaron muestras de las variables y se elaboró una matriz de causas de error. Con los datos obtenidos se realizó un estudio de varianza y se analizó el índice de capacidad del

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

proceso por medio de la observación directa del componente crítico. Además, para validar la normalidad de los datos, se llevó a cabo la prueba de normalidad Anderson-Darling.

Análisis

En esta etapa se identificó y evaluó las causas de la variación por medio de la matriz de causa y efecto. Posteriormente, el equipo encargado del proyecto, seleccionó las causas más importantes que podrían generar variación. También se elaboró un diagrama de Ishikawa luego de una sesión de lluvia de ideas. Se realizó un análisis de regresión, un análisis de varianza, y una prueba Kruskal-Wallis para evaluar las posibles causas, y se finalizó con un análisis de múltiples variables

Mejoramiento

Esta fase comenzó con el rediseño de las herramientas utilizadas en las bobinas-membranas y su clasificación, algo que nunca antes se había considerado en la empresa. Luego de implementar las mejoras, se realizaron pruebas de normalidad y de Box-Cox a una muestra de 36 piezas para estimar la capacidad del proceso.

Control

En esta etapa, luego de aplicar las mejoras se tomaron algunas medidas de control. Un supervisor se encargó de realizar controles de calidad del proceso. Se adoptó además la norma ISO/TS 16949, y se estandarizó los trabajos realizados por los obreros. El nuevo diseño del trabajo fue documentado para controlar que los nuevos parámetros se mantengan, y también se realizaron pruebas confirmatorias y cuadros de control.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Caso 4: Compañía hindú fabricante de transformadores eléctricos

Este caso fue estudiado por Agrawal, Bangar, Bhanpurkar, & Goyal (2012) y se desarrolló en el área de tanqueo de los transformadores, ya que los productos salían con fugas de material.

Definición

Para definir el problema y los objetivos del proyecto, el equipo a cargo obtuvo datos de la observación directa del proceso, las quejas de los clientes, planes y programaciones de manufactura, archivos financieros, reportes de calidad, órdenes de compra, y mediciones de rendimiento. Además, se organizaron reuniones para intercambiar información con gerentes, ingenieros, técnicos, obreros, vendedores y todas las partes interesadas. Se usaron además, diagramas de Pareto usando el software Minitab para definir el problema principal.

Medición

En esta etapa, los autores midieron y determinaron los factores más críticos generadores de problemas. Utilizaron algunas herramientas, como el VSM, un diagrama de Ishikawa obtenido luego de sesiones de lluvia de ideas, y un estudio FMEA o análisis de modo de falla y efecto por sus siglas en inglés. El estudio FMEA permitió evaluar las causas en base a su severidad, ocurrencia y detección. Además, se elaboró un diagrama de Pareto para los resultados del estudio FMEA.

Análisis

En esta fase se analizaron los datos obtenidos en la fase de medición, y las múltiples causas que se tenían se fueron descartando hasta llegar a las más importantes de todas. Para esto, se realizaron pruebas de normalidad y un estudio de

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

capacidad para evaluar si el proceso satisfacía los requerimientos demandados. A través del estudio de capacidad se obtuvieron los índices Cp y Cpk.

Mejoramiento

El equipo encargado del proyecto trabajó en mejorar los factores más importantes que estaban generando las variaciones en el proceso, en especial los que generaban la fuga de material durante el proceso de tanqueo. El equipo desarrolló experimentos para encontrar y establecer los nuevos parámetros, determinar el nuevo nivel sigma, y diseñó nuevos cuadros y parámetros de medición.

Control

En esta etapa, el equipo reafirma la efectividad del proyecto. Las especificaciones para los procesos que estaban generando las variaciones fueron cambiadas en base a las recomendaciones hechas por el equipo.

Caso 5: Empresa hindú fabricante de gatos hidráulicos

Este trabajo fue realizado por Khanduja & Kumar (2013) en base al principal componente del gato hidráulico, la cabeza de la bomba, la cual estaba generando muchos rechazos.

Definición

Aquí el equipo definió los problemas y objetivos del proyecto, así como los requerimientos de los clientes. Se estructuró el diagrama de flujo del proceso de fabricación de la cabeza de la bomba, y se dibujó también un mapa del flujo del proceso mencionado.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Medición

En esta fase el equipo desarrolló un análisis del sistema de medición. Se llevaron a cabo estudios de repetibilidad y reproductibilidad usando el software Minitab para determinar qué tanta variación del proceso se debía a la variación en los sistemas de medición. Para esto, se hizo un experimento que involucró a un operador y un investigador, y una muestra de 10 cabezas de bomba, las cuales fueron probadas dos veces.

Análisis

Algunas herramientas estadísticas fueron utilizadas para analizar los resultados obtenidos de las mediciones. Se hizo un análisis de la capacidad del proceso para verificar si los sistemas utilizados satisfacían los requerimientos, y se utilizó también el software Minitab para graficar los datos obtenidos. El equipo también hizo un diagrama de Ishikawa para encontrar las causas que estaban generando rechazos del componente en estudio.

Mejoramiento

En esta etapa, el equipo desarrolló experimentos de diseño para optimizar el valor de los parámetros de las causas principales que estaban generando los rechazos. Se diseñó un experimento de 2×2 , es decir, un experimento de dos factores en cada nivel. Para esto, también fue utilizado el software Minitab.

Control

En esta última etapa, el equipo hizo un gráfico de dispersión para chequear la variación del proceso luego de las mejoras aplicadas. Para este gráfico, se tomaron 100 muestras luego de haber sido aplicadas las mejoras recomendadas.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Resultados

A continuación, la tabla 4 presenta los resultados obtenidos en cada caso.

Caso 1	Reducción del tiempo de producción y la cantidad de mano de obra requerida en la sección de ensamblaje en 8.34% y 37.5% respectivamente.
Caso 2	Se identificó y controló el factor crítico que generaba más problemas y se eliminó un 1.88% de partes defectuosas, o 18788 partes por millón de oportunidades.
Caso 3	Eliminación del desperdicio de tiempo en reprocesamiento, y se solucionó el problema reportado por los clientes, y se logró un ahorro de \$31048 anuales en la línea de sub ensamble.
Caso 4	Se eliminó los derrames del líquido de los tanques y se sentó un precedente para futuros proyectos Six Sigma en otras áreas.
Caso 5	Aumento del nivel sigma de 2.21 a 5.64 y se redujo significativamente el costo de producción en 192900 Rupias por año.

Tabla #4: Resultados de los proyectos Six Sigma en los casos analizados.

Análisis de los resultados

Existen similitudes y diferencias entre los casos respecto a la forma en la que fueron llevadas a cabo las etapas. Además, algunos casos proveen más información que otros, por lo que es posible que los autores hayan omitido cierta información, sin que eso signifique que hayan omitido procedimientos. Más bien, es posible que hayan suprimido información considerada redundante, como el uso de software, ya que no en todos los casos se especifica que se usó software estadístico, sin embargo, en base a la literatura revisada, es impensable que en un proyecto Six Sigma no se use software estadístico. A continuación, la tabla 5 presenta las herramientas y recursos utilizados durante la ejecución de los proyectos Six Sigma en los casos analizados.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Casos	Definición	Medición	Análisis	Mejora	Control
Caso 1	<i>Gemba</i> , reuniones de trabajo.	Mapa de procesos (VSM), estudio de tiempo y movimiento, experimentos controlados.	<i>Takt-time</i> , lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, gráficos de barras,	Lluvia de ideas, reuniones de trabajo.	Estudio de tiempo y movimiento, plan de contingencia, controles de calidad.
Caso 2	Características críticas para el cliente, características críticas para el costo, diagramas de cajón.	Estudio de normalidad, análisis de capacidad del proceso, estudio de repetibilidad y reproductibilidad, experimentos controlados.	Lluvia de ideas, prueba de hipótesis, matriz de causa y efecto, diagrama de Pareto, análisis de varianza, diagrama de dispersión, histogramas, gráficos de cajón experimentos controlados.	Tecnificación, estandarización del trabajo, gráficos de cajón, experimentos controlados.	Mantenimiento preventivo, controles de calidad, prueba de igualdad de varianzas, gráficos de barras.
Caso 3	Reuniones de trabajo, diagrama de Pareto, mapa de procesos (VSM).	Estudio de repetibilidad y reproductibilidad, matriz de causa y efecto, análisis de varianza, análisis de capacidad del proceso, observación directa, prueba de normalidad Anderson-Darling, experimentos controlados.	Matriz de causa y efecto, diagrama de Ishikawa, lluvia de ideas, análisis de regresión, análisis de varianza, análisis Kruskal Wallis, análisis de múltiples variables, experimentos controlados.	Estudio de normalidad, estudio Box-Cox, experimentos controlados.	Control de calidad, cuadros de control, estandarización del trabajo, experimentos controlados.
Caso 4	Reuniones de trabajo, observación directa, diagrama de Pareto.	Mapa de procesos (VSM), diagrama de Ishikawa, lluvia de ideas, estudio FMEA, diagrama de Pareto.	Estudio de normalidad, análisis de capacidad del proceso, gráfico de barras, gráfico de dispersión.	Cuadros de evaluación, experimentos controlados.	Rediseño de especificaciones de productos, controles de calidad.
Caso 5	Mapa de procesos (VSM).	Estudio de repetibilidad y reproductibilidad, software Minitab, experimentos controlados.	Análisis de capacidad del proceso, diagrama de Ishikawa, gráficos de barra, pruebas T, experimentos controlados, software Minitab.	Experimento de 2*2, experimentos controlados, gráficos lineales, software Minitab.	Gráfico de dispersión para control estadístico.

Tabla #5: Herramientas y recursos utilizados en los casos estudiados.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Se puede observar que no existe consistencia en cuanto al tipo de herramientas que se usaron en cada etapa. Por ejemplo, en los casos 3 y 5 se utilizó VSM durante la etapa definición, mientras que esta misma herramienta se utilizó en los casos 1 y 4 durante la etapa de medición. El diagrama de Ishikawa es una de las herramientas más consistentes, pues está presente en 4 de 5 casos, aunque en los casos 1, 3 y 5 se usó durante la etapa de análisis, mientras que en el caso 4 se usó en la etapa de medición.

La herramienta usada en más casos en la misma etapa es el estudio de repetibilidad y reproductibilidad, la cual es usada en los casos 2, 3 y 5 durante la etapa de medición. Otra herramienta consistente utilizada es el análisis de la capacidad del proceso, la cual está presente en 4 casos; en los casos 4 y 5 fue utilizada durante la etapa de análisis, mientras que en los casos 2 y 3 fue utilizada en la etapa de medición. El análisis de varianza aunque sólo mencionado en los casos 2 y 3, es una importante herramienta que cabe ser destacada.

También se observa que distintos tipos de gráficos son utilizados durante las etapas, siendo los más importantes los diagramas de Pareto y los de dispersión. Como se mencionó anteriormente, es posible que en algunos casos los autores no hayan mencionado algunas herramientas o procedimientos que quizás las consideraron como obvias o intrínsecas al proceso.

Conclusiones

Luego de revisar la literatura existente y analizar los casos referidos, se evidencia cómo Six Sigma puede ayudar a mejorar los procesos de producción y

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

cómo se debe implementar en una empresa manufacturera. Pero su aplicación es compleja y podría acarrear muchos inconvenientes a lo largo de la etapa de implementación.

Para la puesta en marcha de Six Sigma, se debe seleccionar proyectos relevantes a las necesidades de mejora de la empresa y que precisan objetivos claros que justifiquen la realización de los mismos. Además, la selección de personal es clave para el éxito del proyecto. Se debe seleccionar a los más idóneos para hacerse cargo de los proyectos, y si la empresa no cuenta con el personal requerido, deberá contratar a expertos externos.

El trabajo en equipo es clave para el éxito de cualquier proyecto Six Sigma, y el compromiso de cada miembro del equipo es vital. Así mismo, el apoyo total de la gerencia es de suma importancia sobre todo para la obtención de los recursos necesarios y para compensar a los equipos por su esfuerzo. Capacitar al personal es crucial, ya que sin eso no se podría mantener el nuevo nivel de desempeño alcanzado, y peor aún se podría hacer mejora continua.

Respecto a los casos analizados, cada empresa llevó a cabo su proyecto en base a sus problemas, necesidades y tipo de producto, por eso se evidencian algunas similitudes y diferencias entre cada caso. Queda claro además, que los experimentos controlados y las herramientas estadísticas para su análisis son indispensables en cualquier proyecto Six Sigma. A continuación, se describe a criterio del autor en base a los casos analizados, cómo se debería llevar a cabo la implementación de Six Sigma en una empresa manufacturera.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Definición

Como se mencionó en la revisión literaria, el involucramiento de la gerencia es muy importante desde el comienzo del proyecto. En esta etapa se debe definir el estado actual del proceso que se pretende mejorar y los objetivos que se esperan alcanzar luego de aplicar las medidas correctivas. Para esto, es necesario que todas las partes involucradas mantengan reuniones e intercambien información acerca del proceso y se definan en conjunto los objetivos a alcanzar. La retroalimentación de los clientes también es fundamental para conocer cuáles son sus requerimientos del producto, por lo que debe ser considerada durante esta etapa.

Medición

Luego de definir los objetivos del proyecto y el estado actual del proceso, es necesario hacer mediciones de las tareas o componentes involucrados. Para esto, es necesario hacer un mapeo de los procesos (VSM), tomar muestras de los componentes y medir los tiempos de cada etapa del proceso que se está estudiando. El estudio de repetibilidad y reproductibilidad, así como el análisis de varianza son recomendados para determinar el nivel de variación existente. Así mismo, es necesario determinar el índice de capacidad del proceso. Todas estas mediciones deben ser obtenidas mediante experimentos controlados y determinados según lo resuelto por el equipo en base a los objetivos del proyecto y al tipo de producto o proceso que está siendo medido.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Análisis

Aquí se debe determinar las principales causas de variación del proceso, lo cual conlleva el uso de más herramientas estadísticas y de más experimentos de ser el caso. Es recomendable que el equipo encargado del proyecto realice reuniones de trabajo con todos los involucrados en el proceso para analizar y determinar las posibles causas de variación, las cuales deben ser diagramadas en matrices de causa y efecto o en un diagrama de Ishikawa. Las causas obtenidas deben ser luego evaluadas mediante pruebas o experimentos de ser el caso, para determinar cuales son las más importantes. El diagrama de Pareto y los diagramas de dispersión son de mucha ayuda para visualizar las causas más importantes y descartar aquellas que tienen poca o mínima influencia en la variación.

Mejoramiento

Luego de determinar las principales causas de los problemas, se deben implementar las medidas correctivas necesarias. El equipo encargado del proyecto y los demás actores involucrados deben realizar sesiones de trabajo y lluvia de ideas para determinar las soluciones que serán implantadas. En esta etapa también son establecidos nuevos parámetros de medición en el proceso, para lo cual, en algunos casos se deberán llevar a cabo experimentos controlados y el uso de herramientas estadísticas como el análisis de varianza. Se debe considerar también la factibilidad económica de la implementación de las mejoras y los resultados que se espera obtener.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Control

Finalmente, en esta fase del proyecto, se debe de verificar periodicamente que los nuevos estándares establecidos para el proceso se cumplan y se mantengan a lo largo del tiempo, e incluso se mejoren. Las tablas de control son de mucha ayuda para registrar los niveles alcanzados. Además, es necesario que periódicamente se tomen muestras o se realicen mediciones y análisis del proceso para corroborar las mejoras alcanzadas. Los controles de calidad nunca están de más, y con los nuevos parámetros establecidos se puede mejorar aún más los resultados alcanzados.

Referencias

- Adams, C., Gupta, P., & Wilson, C. (2003). *Six Sigma Deployment*. Burlington, Massachusetts: Butterworth-Heinemann.
- Agrawal, P., Bangar, A., Bhanpurkar, A., & Goyal, S. (2012). Implementation of Six Sigma Program for Lean Manufacturing "To reduce the rework waste in Transformer manufacturing unit by eliminating defect of leakage from bushings in oil filled transformers". *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering* , 1 (3), 6-11.
- Anderson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *The TQM Magazine* , 18 (3), 282-296.
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *The TQM Magazine* , 14 (2), 92-99.
- Aruleswaran, A. (2010). *Changing with Lean Six Sigma*. Puchong, Malasia: LSS Academy Sdn. Bhd.
- Benbow, D., & Kubiak, T. (2009). *The Certified Six Sigma Black Belt Handbook*. Milwaukee, Wisconsin: Quality Press.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

- Brotherton, B., & Shaw, J. (1996). Towards an identification and classification of critical success factors in UK hotels P1c. *International Journal of Hospitality Management*, 15 (2), 113-135.
- Cervantes-Hernández, P. (2008). Media, varianza y desviación estándar. *Ciencia y Mar*, 7 (34), 29-31.
- Cole, B. (2011). *Lean-Six Sigma for th Public Sector: Leveraging Continuous Process Improvement to Build Better Governments*. Milwaukee, Winsconsin: American Society for Quality.
- Corbett, L. (2011). Lean Six Sigma: the contribution to business excellence. *International Journal of Lean Six Sigma* , 118.
- Ferguson, D. (2006). Lean and Six Sigma: The same or different. *Management Services* , 15.
- Fritz, J. (noviembre de 2011). *Implementing lean manufacturing and six sigma in a manufacturing environment*. Recuperado el 2014 de marzo de 2014, de North-West University:
http://dspace.nwu.ac.za/bitstream/handle/10394/8086/Marnewick_JF.pdf?sequence=2
- Furterer, S. (2011). Applying lean Six Sigma to reduce linen loss in an acute care hospital. *International Journal of Engineering, Science and Technology* , 3 (7), 39-55.
- Gangai, A., & Naik, G. (2014). Process Optimization by using Lean Manufacturing Technique (Six Sigma) – A Case Study in Manufacturing Industry. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology* , 3 (3), 98-108.
- Goldratt Institute. (2009). *AGI - Goldratt Institute*. Obtenido de <http://www.goldratt.com/pdfs/CombiningLSSandTOC.pdf>
- Gómez, B., Noriega, S., Sánchez, J., & Valles, A. (2009). Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: A Case Study. *International Journal of Industrial Engineering* , 16 (3), 171-181.
- Gygi, C., & Williams, B. (2012). *Six Sigma For Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hamdan, A., Kamaruddin, S., Loong, O., Nee, L., & Tien, C. (2012). Adoption of Six Sigma Concept in Process Improvements Methodology: A Case Study. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , 2 (7), 12-17.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

- Harry, M., Hodgins, O., Hulbert, R., Lacke, C., & Mann, P. (2011). *Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hartung, M. (2010). *Lean - Six Sigma: Quality & Process Management for Managers & Professionals*. BoD.
- Ibrahim, A., & Mikhail, N. (abril de 2006). *Session 1.5 Normal Distribution Curve*. Recuperado el 28 de marzo de 2014, de South Egypt Cancer Institute: <http://www.seci.info/amalsamy/Epi%201.5.pdf>
- Jaglan, P., Kaushik, P., & Khanduja, D. (2011). Six Sigma: A Road Map for SMEs. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2 (4), 461-464.
- Jeyaraman, K., & Kee, L. (2010). A conceptual framework for critical success factors of lean Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1 (3), 191-215.
- Khanduja, R., & Kumar, V. (2013). Application of Six-Sigma Methodology in SSI: A Case Study. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3 (3), 971-976.
- Kubiak, T. (2012). *The Certified Six Sigma Master Black Belt Handbook*. Milwaukee, Wisconsin: Quality Press.
- Laosirihongthong, T., Rahman, S., & Saykhun, K. (2005). *Critical factors for successful six-sigma implementation: an analytical hierarchy process (AHP) based*. Recuperado el marzo de 2014, de University of Wollongong: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=3421&context=commpapers>
- Lawson, R. (junio de 2007). Combining Lean and Six Sigma. *Strategic Finance*, 69.
- Leong, T.-W., & Teh, P.-L. (2012). Critical success factors of six sigma in original equipment manufacturer company in Malaysia. *International Journal of Synergy and Research*, 1 (1), 7-21.
- Maleyeff, J. (2007). *Washington State Department of Health*. Obtenido de <http://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/1000/PMC-ImproveServiceDeliveryLeanSixSigmaReport.pdf>
- Mika, G. (2006). Six Sigma Isn't Lean. *Manufacturing Engineering*, 137 (1), 18.

SIX SIGMA APLICADO A EMPRESAS MANUFACTURERAS PARA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Motorola Solutions. (2012). *Lean Six Sigma Green Belt Training*. Recuperado el 9 de marzo de 2014, de

<http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Solutions/EMEA-Training-Site/Available-Courses/Promotions/Images/Green%20belt.pdf>

Motorola Solutions. (2014). *Lean Six Sigma Black Belt Certification*. Recuperado el 9 de marzo de 2014, de

<http://www.motorolasolutions.com/US-EN/Training+Home/Lean+Six+Sigma/Black+Belt>

Motorola Solutions. (2014). *Lean Six Sigma Professional Services*. Recuperado el 9 de marzo de 2014, de

<http://www.motorolasolutions.com/US-EN/Training+Home/Lean+Six+Sigma>

Rockart, J. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, 57 (2), 238-241.

Sánchez, J., & Valles-Chávez, A. (14 de julio de 2011). *InTech*. (A. Coskun, Ed.)

Recuperado el 12 de marzo de 2014, de Successful Projects from the Application of Six Sigma Methodology: <http://www.intechopen.com/books/six-sigma-projects-and-personal-experiences/5-successful-projects-from-the-application-of-six-sigma-methodology>

Sankar, S., & Vivekananthamoorthy, N. (14 de julio de 2011). *InTech*. (A. Coskun, Ed.)

Recuperado el 14 de marzo de 2014, de Lean Six Sigma:

<http://www.intechopen.com/books/six-sigma-projects-and-personal-experiences/lean-six-sigma>

Sasthriyar, S. (2006). *The critical success factors for six sigma implementation*.

Recuperado el marzo de 2014, de Universiti Sains Malaysia:

http://eprints.usm.my/25972/1/THE_CRITICAL_SUCCESS_FACTORS_FOR_SIX_SIGMA_IMPLEMENTATION.pdf

Spanyi, A., & Wurtzel, M. (2003). *Six sigma for the rest of us*. Recuperado el 9 de marzo de 2014, de Quality Digest:

http://www.qualitydigest.com/july03/articles/01_article.shtml

Tennant, G. (2001). *Six Sigma: SPC and TQM in manufacturing and services*. Aldershot, Inglaterra: Gower Publishing Limited.

Waxer, C. (2010). *Is Six Sigma just for large companies? What about small companies?*

Recuperado el 9 de marzo de 2014, de iSixSigma:

<http://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/getting-started/six-sigma-just-large-companies-what-about-small-companies/>