

Control de la variabilidad de rueda dentada para maquinaria agroindustrial aplicando la Metodología Seis Sigma



Colaboración

Jorge Alberto Beristain Pérez; Ana Roselyn Pérez Méndez; Rosario Castro García, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

RESUMEN: Seis sigma, es una metodología enfocada a producir productos libres de defectos y procesos enfocados hacia el mejoramiento. El método DMAIC comprende de cinco pasos Definir, Medir, Analizar, Incorporar Mejoras y Controlar. Este proyecto se llevó a cabo en la empresa "Café de Veracruz, S.A. de C.V." ubicada en la ciudad de Huatusco, Veracruz., empresa donde fabrican maquinaria y equipo agrícola.

En este proceso, existe una variabilidad en el grosor de los dientes de ruedas dentadas para una despulpadora de Café y esta falta de calidad está generando insatisfacción en los clientes, basado en la identificación de Factores Críticos de Calidad, tales como: Diagrama de Pareto, Gráficos de Control, Estudio GR&R, además de la incorporación de un Mapa de Necesidades del Cliente e identificación de los CTQ's, esto con el objetivo de reducir piezas defectuosas y los costos por defectos de calidad.

Gracias al compromiso del gerente general, del equipo de colaboración y asesores externos, se logró culminar con éxito el proyecto y aumentar el nivel Sigma del proceso de un 2.39 a 8.79.

PALABRAS CLAVE: CTQ's, Diagrama de Pareto, Estudio GR&R, Factores Críticos de Calidad, Gráficos de Control, Mapa de Necesidades del Cliente, Metodología Seis Sigma, Satisfacción de los Clientes.

ABSTRACT: Six Sigma is a methodology focused to produce products free of defects and processes focused toward improvement. The DMAIC method comprises of five steps to Define, Measure, Analyze, incorporate improvements and Control. This project was carried out in the company "Coffee of Veracruz, S.A. de C.V." located in the city of Huatusco, Veracruz., a company where manufactured machinery and equipment. In this process, there is a variability in the thickness of the sprocket teeth.

Shows the importance of Six Sigma as a technique to reduce the variability of the thickness of the sprocket teeth for a Coffee pulper, allowing you to eliminate defective parts and contributing to the satisfaction of clients, based on the identification of critical factors such as Quality: Pareto Chart, Control Charts.

KEYWORDS: CTQ's, Pareto Diagram, GR&R Study, Critical Quality Factors, Control Charts, Customer Needs Map, Six Sigma Methodology, Customer Satisfaction.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto representa un paso más en el desarrollo de un producto único implementando una estrategia de mejora que permitiera disminuir desperdicios y fortalecer su imagen como un proveedor confiable.

Seis Sigma utiliza una metodología conocida como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve), Controlar) y una gran cantidad de herramientas estadísticas para el trabajo de los equipos (Membrado Martínez, 2013). Los empleados que participan en los proyectos de Seis Sigma reciben una intensa formación práctica antes y durante el desarrollo del proyecto. [1] [2]

La aplicación de la Metodología Seis Sigma se utilizó con el objetivo de minimizar piezas defectuosas al momento de maquilar engranajes de dientes rectos utilizados en el mecanismo de revolución de una despulpadora de café para una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de maquinaria para procesos

agroindustriales, principalmente para el procesamiento de café. [3]

El objetivo fue reducir el producto no conforme y minimizar los costos de no calidad para fortalecer las finanzas de la empresa, además de disminuir la variabilidad del proceso para hacerlo más confiable y evitar que los productos no conformes llegaran al cliente final. En el artículo se describen las acciones derivadas de la implementación de la Metodología Seis Sigma, así como también los resultados obtenidos. [4,5,6]

Seis Sigma se ha convertido en los últimos años en una de las estrategias con más éxito para la mejora de los resultados económicos de las organizaciones. Grandes empresas como Motorola o General Electric la consideran su estrategia clave y han contribuido de modo decisivo a su difusión (Membrado Martínez, 2013). [7,8]

MATERIAL Y MÉTODOS

El propósito de Seis Sigma es identificar, reducir y eliminar defectos en un proceso, los cuales son causa de inconformidades para los clientes y afectan la rentabilidad de las organizaciones. [9, 10,11]

Las etapas de Seis Sigma y las herramientas más utilizadas son las siguientes, [12,13,14]:

Tabla 1: Etapas y herramientas de Seis Sigma

Etapas Seis Sigma	Herramientas
Definir: Identifica lo importante para el cliente, el alcance del proyecto y los objetivos. El equipo debe ser cómplice del éxito.	Costo por baja calidad (COPQ), Gráfica de Pareto, Métrica de desempeño producto/proceso, Gráfica de flujo del proceso (alto nivel), la "voz del cliente, matriz críticos para el cliente.
Medir: Determinar lo que se debe medir (Y's) y valida el sistema de medición. Cuantifica el desempeño actual, revisa el alcance y el objetivo del proyecto.	Diagrama entrada-proceso-salida (IPO), Mapa de procesos (detallados), Hojas de Verificación, Diagrama de Pareto, Análisis de Sistemas de Medición (MSA). Análisis de Capacidad de Proceso.
Analizar: Determinar las causas (x's) de defectos y variación. Verifica que las causas son reales.	Diagramas de causa y efecto, matriz de causa y efectos de falla (AMEF), Gráficas de multivarianzas, correlación y regresión, prueba de hipótesis.
Mejorar: Identifica soluciones a las causas encontradas. Proporciona pruebas estadísticas de que las soluciones funcionan, posteriormente, implementarlas.	Diseño de experimentos, pruebas de error, tolerancia estadística, análisis de modos y efectos de falla (AMEF), pruebas de hipótesis.
Controlar: Establece controles para mantener la mejora. Proporciona pruebas estadísticas de que la mejora se sostiene.	Planes de control, cuadros de control, administración visual, procedimientos/instrucciones de trabajo, gráficas de control, capacidad de proceso, mantenimiento productivo total.

Fuente: Adaptado de (Pande, 2004; Pyzdek, 2003; Rath & Strong's consultants, 2002).

El proyecto se llevó a cabo en el centro de maquina- do CNC en donde se elaboran las piezas mecánicas necesarias para ensamblar la maquinaria agroindustrial. Se tomó especial atención al proceso de maquinado de una rueda dentada de crestas rectas Z30 forma con bulón esto con el objetivo de reducir la variación del grosor de los dientes y aumentar el nivel Sigma de 2.39 a 8.79. A continuación se describe cada fase del proyecto. [15,16,17]

Fase de Definición:

Para identificar los críticos de calidad (CTQs) referentes a las necesidades de los clientes se propusieron algunas herramientas de la Metodología Seis Sigma para entender los requerimientos de los mismos y entender la información recolectada y convertirla en potenciales indicadores de calidad. [18]

A continuación, se presenta en la Tabla 2, el Mapa de Necesidades del cliente para identificar cuáles son las áreas de oportunidad de la empresa y cuáles son las áreas en las cuales se puede mejorar para satisfacción de los mismos:

Tabla 2: Mapa de Necesidades del Cliente. Empresa Café de Veracruz, S.A. de C.V.

¿Quiénes son mis clientes?
Empresas que se dedican al cultivo, cosecha, procesamiento y venta de café a nivel estatal, nacional e incluso de carácter internacional, así como a particulares que deseen maquinaria para poner en marcha su propio negocio tales como beneficios y restaurantes.
¿Qué servicio o producto yo proveo a mis clientes?
Somos una empresa constituida para comercializar el café, suministros y equipos de la industria cafetalera desde su fase de producción hasta el servicio de cafetería, proporcionando servicios y productos con calidad consistente que nos afirma como un socio confiable.
Contamos con éste servicio para orientar y ayudar a nuestros clientes en la planeación, diseño, construcción e instalación de sus plantas productivas para que éstas sean eficientes, eficaces y puntuales en el desarrollo de sus actividades. Contamos desde luego con un estudio personalizado de acuerdo a las características y circunstancias de nuestros usuarios, un layout para ubicar las áreas de trabajo y el desarrollo del proyecto hasta dejarlo funcionando, todo con la aprobación del cliente buscando siempre su mayor satisfacción.
¿Qué es lo que les gusta de nuestros productos o servicios?
Nuestra meta primordial es ser el principal proveedor de maquinaria agroindustrial en México y que nuestros equipos se conozcan y utilicen en el extranjero. La calidad, tecnología y diseño cimentarán las columnas de la compañía.
<ul style="list-style-type: none"> • CALIDAD, sinónimo de garantía en nuestros productos y servicios. • TECNOLOGÍA, de punta para eficientar procesos y mejorar el medio ambiente. • DISEÑO vanguardista, signo de distinción de la competencia.
¿Qué es lo que necesitan que no estén consiguiendo?
Lo que ofrecemos que no ofrece la competencia:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Damos a los usuarios las capacidades necesarias para que lleven a cabo un buen uso y mantenimiento de los equipos que adquirieron y aprovechen al máximo las herramientas con las que ahora cuentan. 2. Como parte de un mejor servicio y atención a nuestros clientes, damos seguimiento periódico a los equipos y ofrecemos el mantenimiento adecuado en caso de ser necesario, esto con el fin de prolongar la vida útil de las máquinas y mantener contacto con los usuarios. 3. Como parte de un mejor servicio y atención a nuestros clientes, damos seguimiento periódico a los equipos y ofrecemos el mantenimiento adecuado en caso de ser necesario, esto con el fin de prolongar la vida útil de las máquinas y mantener contacto con los usuarios.

Fuente: Elaboración Propia.

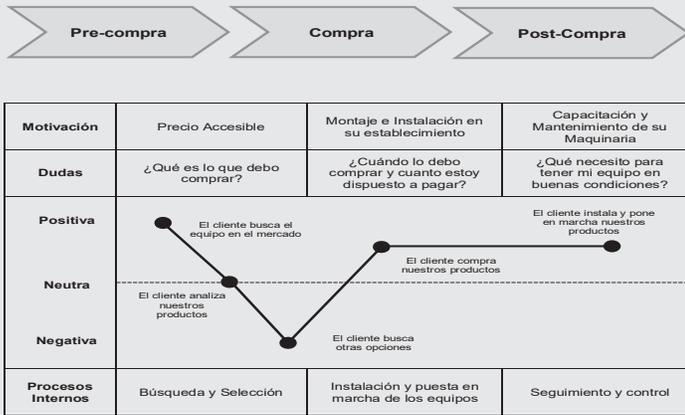


Figura 1. Mapa de Necesidades del Cliente, Servicio Pre-compra, Compra, Post-compra. Empresa Café de Veracruz, S.A. de C.V. Fuente: Elaboración Propia

Fase de Medición:

Según datos obtenidos en el área de maquinado para el proceso de fabricación de un engrane de dientes rectos Z30 con forma de bulón para una despulpadora de disco, se determinaron las fallas que presenta el centro de maquinado CNC, comprendido en el trimestre Enero 2017 – Marzo 2017, lo cual genera variaciones al momento de la fabricación del engrane, presentadas en la siguiente tabla especificando las frecuencias observadas durante el trimestre y el porcentaje de cada una de ellas.

Tabla 3: Tipos de Defecto presentados en el área de maquinado para el periodo enero 2017 – marzo 2017.

1	Errores debidos a los algoritmos de cálculo	65	28.76
2	Error de histéresis (desviación entre la posición real y la mandada por el punto de interés)	65	28.76
3	Excesos de dimensiones geométricas por deformaciones térmicas de la máquina	30	13.27
4	Desplazamientos relativos entre partes de la máquina no controlados	12	5.31
5	Mala posición en la planitud y rectitud de las superficies guía	12	5.31
6	Mala alineación de las superficies de sujeción	11	4.86
7	Mal apoyo de la pieza sobre el utillaje de amarre	9	3.98
8	No existe paralelismo de los ejes con las guías	8	3.54
9	No existe perpendicularidad del eje de husillo principal con la superficie de sujeción	8	3.54
10	Imprecisiones en los componentes utilizados en la máquina	4	1.77
11	Paros inesperados de la máquina por suministro eléctrico	2	0.88
TOTAL		226	100

Una vez establecidas todas las fallas presentadas por el centro de maquinado se procedió a elaborar un Diagrama de Pareto para identificar los pocos vitales de los muchos triviales.

Mediante este análisis es evidente cuáles son los tipos de defectos más frecuentes. Se puede observar que los cinco primeros tipos de defectos representan el 81% (pocos vitales) mientras que los otros seis representan el 19% (muchos vitales) aproximadamente. Por el principio de Pareto se puede deducir que la mayor parte de las causas que generan variaciones en el proce-

so de maquinado para el engrane de una despulpadora de disco pertenece a los cinco primeros defectos, de manera que si se eliminan las causas que los provocan desaparecería la mayor parte de los defectos. [19]

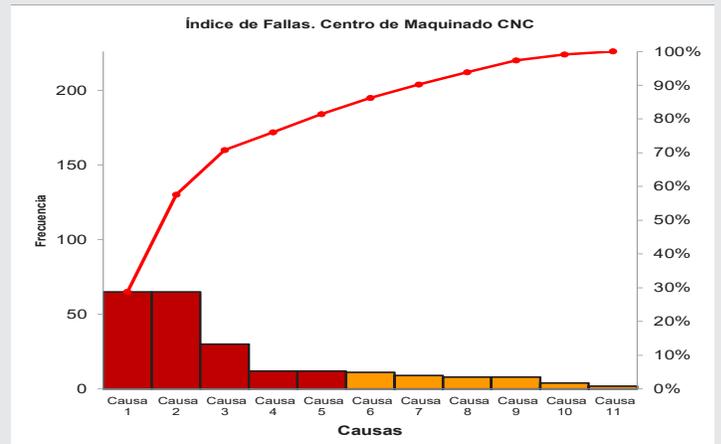


Figura 2. Diagrama causa y efecto Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Características Técnicas del Engrane

RUEDA DENTADA DE DIENTES RECTOS Z30	
MATERIAL:	Acero Inoxidable al Cromo
PESO:	11888.51 gramos
GROSOR DE DIENTE:	14.86 mm
ESPACIO ENTRE DIENTES:	16.92 mm
CRESTA:	4 mm
DIAMETRO EJE DE PASO	60 mm

Es conveniente realizar un mapa de proceso del engrane para determinar las fases del proceso de maquinado, el cual consiste en dos áreas en específico; la primera es la de Maquilado/Habilitado, donde se realizan los cortes que conformar el engrane y la segunda es el acabado y rectificado.

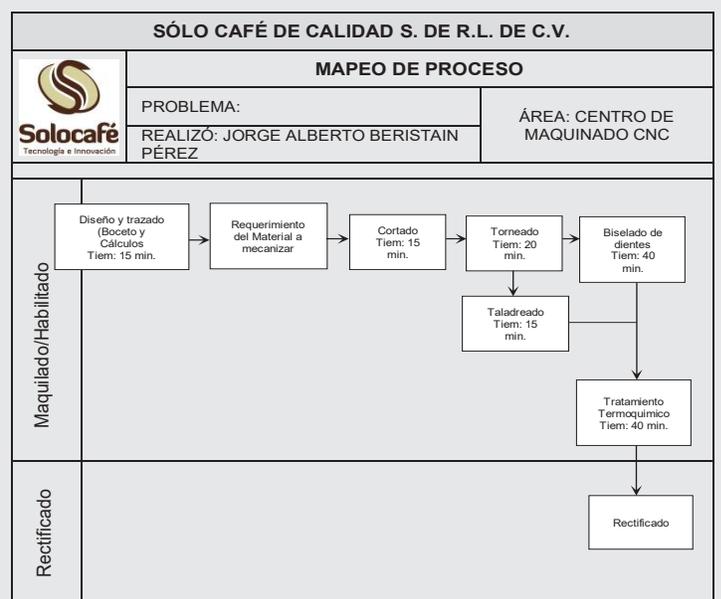


Figura 3. Mapa de Proceso Engranaje de dientes rectos Z30 con forma de Bulón. Empresa Café de Veracruz, S.A. de C.V. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta el engrane terminado elaborado en Solidwork 2015 ° con sus características técnicas para el área de maquinado.

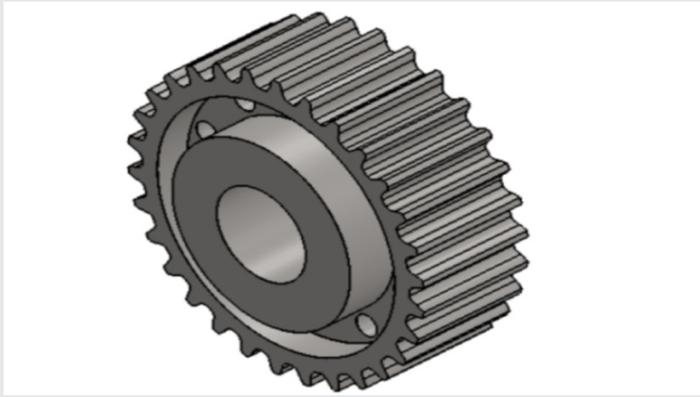


Figura 4. Engrane de dientes rectos hecho en Solidwork 2015 ° Vista Isométrica

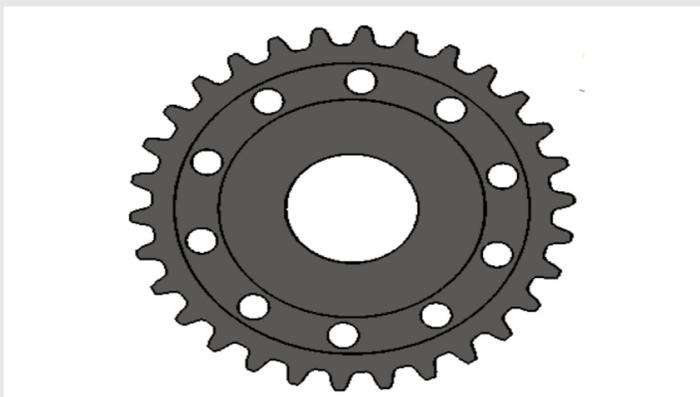


Figura 5. Engrane de dientes rectos hecho en Solidwork 2015 ° Vista Frontal

Se toma en cuenta las medidas del espesor del diente de la rueda dentada, para ello se utilizó un pie de rey digital esto con la finalidad de obtener las medidas más exactas posibles con una precisión de 0.001 mm. El dimensionamiento en Solidwork 2015 ° de la pieza en el plano de ingeniería la medida del grosor es 14.83 mm, mientras que al momento de realizar las mediciones se pudo observar que las medidas oscilaban entre 14.229 y 14.505 mm. Esto nos da una discrepancia importante entre el diseño y la manufactura.

Para poder determinar la variabilidad del proceso de este engrane importante dentro del funcionamiento de la maquina en cuestión. En ese sentido es importante realizar el análisis del sistema de medición con la finalidad de analizar la variación de las mediciones realizadas en un mismo Gage de Medición (Repetibilidad) y la variación de las mediciones realizadas por el operador (reproducibilidad). Para reducir la variación actual del proceso, se deben de identificar y separar la variación debida al sistema de medición.



Figura 6. Engrane de dientes rectos hecho en Solidwork 2015 ° Vista de Detalle

Siguiendo la metodología propuesta por el sistema de medición MSA se realizó una prueba con 2 operadores para medir el grosor del diente de 5 engranes 2 veces, para un total de 20 repeticiones. Se utilizó el Software estadístico Minitab 15 °.

R&R del sistema de medición			
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	
R&R del sistema de medición total	0.0000001	0.00	
Repetibilidad	0.0000001	0.00	A
Reproducibilidad	0.0000000	0.00	
Operadores	0.0000000	0.00	
Parte a parte	0.0013995	100.00	
Variación total	0.0013996	100.00	
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	
R&R del sistema de medición total	0.0002236	0.001342	
Repetibilidad	0.0002236	0.001342	
Reproducibilidad	0.0000000	0.000000	
Operadores	0.0000000	0.000000	B
Parte a parte	0.0374106	0.224463	
Variación total	0.0374112	0.224467	
Fuente	%Var. de estudio (%SV)		
R&R del sistema de medición total	0.60		
Repetibilidad	0.60		
Reproducibilidad	0.00		
Operadores	0.00		
Parte a parte	100.00		
Variación total	100.00		

Número de categorías distintas = 235

Figura 7. Hoja de Salida Estudio R&R. Minitab 15 °

La interpretación de los resultados del estudio R&R en el área que se señala como A y B, es la siguiente:

Minitab utiliza el procedimiento del análisis de varianza (ANOVA) para calcular los componentes de la varianza y luego, utiliza esos componentes para estimar el porcentaje de variación causado por el sistema de medición. La variación aparece en la figura No 7 R&R del sistema de medición.

Minitab calcula el porcentaje de variación al dividir cada valor de variación del estudio entre la variación total y multiplicarlo por 100. El porcentaje de variación para el estudio R&R del sistema de medición es:

$$(0.001342/0.224467)*100=0.60 \% \quad (Ec.1)$$

Este número determina el número de intervalos de confianza que se traslapa y que abarcan el rango de

variación del producto. El valor de número de categorías distintas estima cuantos grupos separados de partes puede distinguir el sistema.

Para este caso, se midieron 5 piezas diferentes, Minitab reporto que el sistema puede discernir 235 categorías distintas. Esto significa que el sistema puede distinguir entre partes de manera excelente.

Con la realización de este estudio de medición se puede determinar que la reproducibilidad tiene un porcentaje de variación del 0.60% por lo cual se considera altamente aceptable ($0.1 \cdot r < R < 0.3 \cdot r$) en base a la importancia de aplicación, costo de equipo de medición, costo de servicio de calibración o reparación, etc. por último se observa que la repetibilidad y la reproducibilidad están muy por debajo del 10% esto quiere decir que el sistema es ACEPTABLE. Los estudios R&R del sistema de medición (cruzados), igual que otros procedimientos de análisis de sistemas de medición, son experimentos diseñados para que los resultados sean válidos. La aleatorización y el muestreo son esenciales.

Fase de análisis:

El objetivo del análisis de capacidad es determinar la variación natural de un proceso cuando se han minimizado los efectos de todos los factores ajenos que no contribuyen al mismo (Bertrand L. Hansen, Prabhakar M). [21, 22]:

Además de la variación natural, hay dos factores que influyen en la capacidad del proceso: en primer lugar, las tolerancias y especificaciones en el proyecto del producto y en segundo, las mismas tolerancias y especificaciones en la medida en que afectan a la producción.

Para llevar a cabo la Capacidad del Proceso se tomaron 50 engranes totalmente al azar y se procedió a medir el grosor de los dientes. A continuación, se presentan los gráficos de control obtenidos mediante el software estadístico de Minitab 15 °.

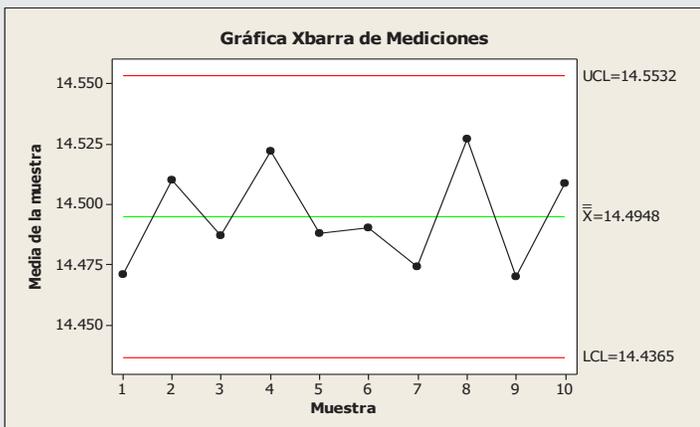


Figura 8. Gráfica Xbarra para Mediciones Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

En esta gráfica se puede observar que de los 50 datos recabados para la implementación del proyecto Minitab los clasifíco en 10 subgrupos de 5 datos cada uno. Se puede observar también que no existen datos atípicos que sobrepasen los Límites de Control, aunque también se encuentran muy dispersos de la media general de 14.4948.

En la gráfica R se puede observar que al igual que la gráfica anterior no existen datos atípicos y todos los rangos de las mediciones se encuentran dentro de los límites de control. Además, se puede establecer que los operadores están midiendo los engranes de manera correcta.

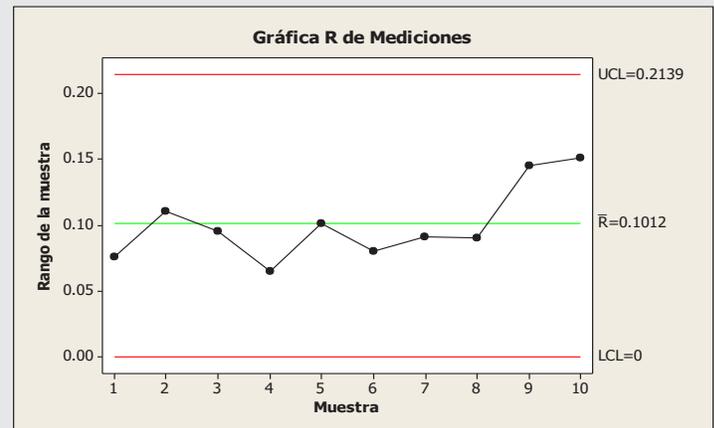


Figura 9. Gráfica de Rangos para Mediciones Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

El siguiente paso en la elaboración del proyecto fue determinar si los datos en las mediciones obtenidas tenían una distribución normal. Para ello se utilizó la Prueba de Normalidad Anderson - Darling. Se establecieron las hipótesis necesarias con un nivel de confianza del 95% y una significancia del 5%.

H₀ = Los datos obtenidos en las mediciones se comportan de manera normal según la prueba de normalidad Anderson - Darling.

H₁ = Los datos obtenidos en las mediciones NO se comportan de manera normal según la prueba de normalidad Anderson - Darling.

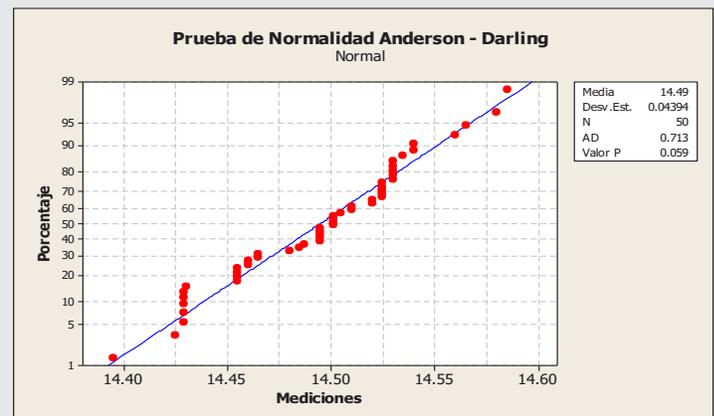


Figura 10. Prueba de Normalidad Anderson - Darling Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

En base a la evidencia muestral y con un 95% de confianza, se acepta la hipótesis nula y se infiere que los datos obtenidos en las mediciones se comportan de manera normal, según la prueba de Anderson - Darling con valor $p = 0.059$.

Para realizar el informe de la capacidad de proceso fue necesario elaborar un histograma de capacidad. El valor objetivo a alcanzar para el grosor de los dientes era de 14.86 mm, más sin embargo, las mediciones obtenidas al momento de realizar las pruebas arrojaron que los datos oscilaban entre 14.395 y 14.585 mm; lo cual quiere decir que se está muy lejos de alcanzar el valor objetivo establecido por el software de diseño. Esto pudiera deberse a las causas antes mencionadas en el Diagrama de Pareto. Se estableció entonces dar un Límite de Especificación Inferior de 14.3 mm y un Límite de Especificación Superior de 14.6 mm, por lo cual las mediciones que no estuvieran dentro de esos Límites de Especificaciones serían consideradas como defectuosas.

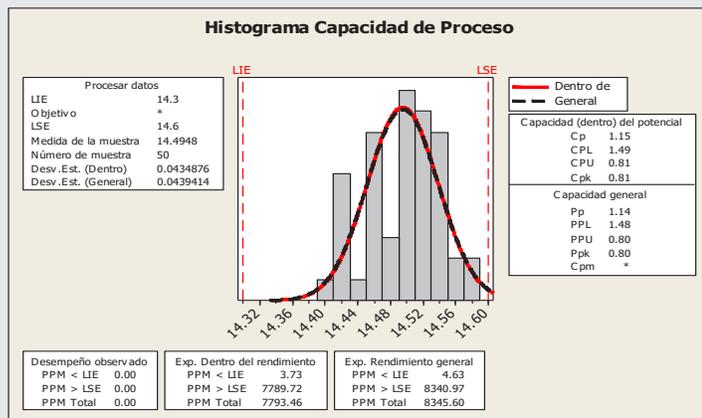


Figura 11. Histograma de Capacidad del Proceso Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

Mediante esta gráfica se puede determinar que la Capacidad de Proceso (C_p) fue de 1.15, lo cual permite establecer cuantitativamente que la operación permite satisfacer las necesidades de los clientes al momento de manufacturar el engrane respecto a las características técnicas establecidas en la Ficha de Proceso que se envía al centro de Maquinado CNC. Esto con respecto a la Capacidad dentro del potencial, mientras que para la Capacidad general (P_p) se obtuvo un valor de 1.14. Esta capacidad se establece a largo plazo mientras que la Capacidad dentro del potencial hace referencia a la muestra de los 50 engranes que se tomaron aleatoriamente.

Por otro lado, el C_{pk} es igual a 0.81, y el P_{pk} es de 0.80 menor a 1, esto confirma la incapacidad actual de la operación reflejando la necesidad de plantear propuestas de mejoramiento.

Una vez realizadas las mediciones, se puede indicar que el Nivel Sigma para la capacidad dentro del poten-

cial es de 2.42 haciendo referencia que este parámetro es para las 50 muestras tomadas al azar, mientras que para la capacidad general es de 2.39 a largo plazo.

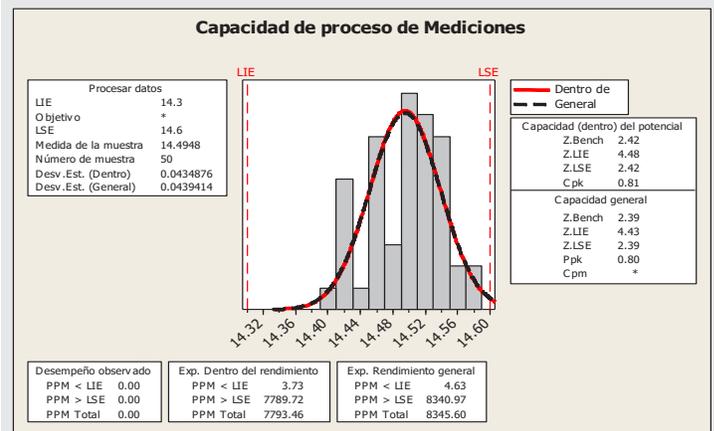


Figura 12. Histograma de Capacidad del Proceso, Cálculo del Nivel Sigma Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

Mediante esta gráfica se puede observar que el rendimiento esperado a largo plazo es de 8345.60 partes por millón lo cual se traduce literalmente a que podemos encontrar 8345.60 engranes que se encuentran fuera de los Límites de Control Superior e Inferior por cada millón de engranes que se produzcan. Mientras tanto se observa que existen 7793.46 partes por millón englobadas en el rendimiento dentro del potencial.

Con base a esta evidencia estadística se deduce que se puede pasar de tener 0.834% de engranes por millón que no cumplen con las especificaciones requeridas a tener 0.779% de engranes por millón sólo si se reduce la variación del proceso.

Fase de mejora:

Se deberá de modificar las especificaciones técnicas de la Ficha de Proceso que se envía al área de maquinado y modificar las medidas que se tenían del grosor del diente de 14.86 mm a 14.5 mm en el programa de Solidwork 2015 °. Entonces ahora se tendría una reducción de 0.36 mm y una adecuación en los Límites de Especificación de ± 0.05 mm como tolerancia geométrica dentro del proceso de maquinado y que no afectara en el proceso de revolucionado del engrane. Además de ello se harían las correcciones necesarias a la máquina, tales como: mala posición en la planitud y la rectitud de las superficies guía, mala alineación de las superficies de sujeción, imprecisiones en los componentes utilizados por la máquina entre muchas otras fallas que pudieran estar ocasionando variaciones en el proceso al momento de maquilar el engrane.

Una vez hechas las correcciones necesarias se procedió nuevamente a realizar una segunda corrida para determinar si existe evidencia estadística que demostrara si hubo mejoría o no en la capacidad del proceso en la fase de mejora. Para llevar nuevamente la Capaci-

dad del Proceso se tomaron nuevamente 50 engranes totalmente al azar y se volvió a medir el grosor de los dientes utilizando nuevamente el software estadístico de Minitab 15°. Los resultados se presentan a continuación:

En la gráfica R se puede observar que al igual que la gráfica anterior no existen datos atípicos y todos los rangos de las mediciones se encuentran dentro de los límites de control. Además, se puede establecer que los operadores están midiendo los engranes de manera correcta.

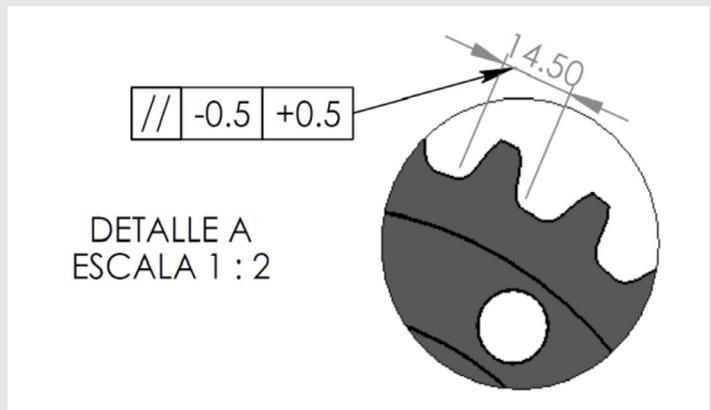


Figura 13. Engrane de dientes rectos hecho en Solidwork 2015° Vista de Detalle Fase de Mejora

Una vez realizado los ajustes en la Ficha de Proceso de maquinado del engrane y corregido los ajustes en el algoritmo de diseño en Solidwork 2015°, se estableció como nuevo valor objetivo a alcanzar para el grosor de los dientes 14.5 mm con un Límite de especificación de ± 0.05 mm.

Una vez establecidas estas nuevas especificaciones se realizó nuevamente el cálculo de los índices de capacidad estadísticos de procesos (Cp, Cpk, Nivel Sigma y Defectos por Millón de Oportunidades). Los nuevos datos obtenidos se presentan a continuación:

En esta gráfica se puede observar que no existen datos atípicos que sobrepasen los Límites de Control y ahora se encuentran más cercanos a la media de 14.49974.

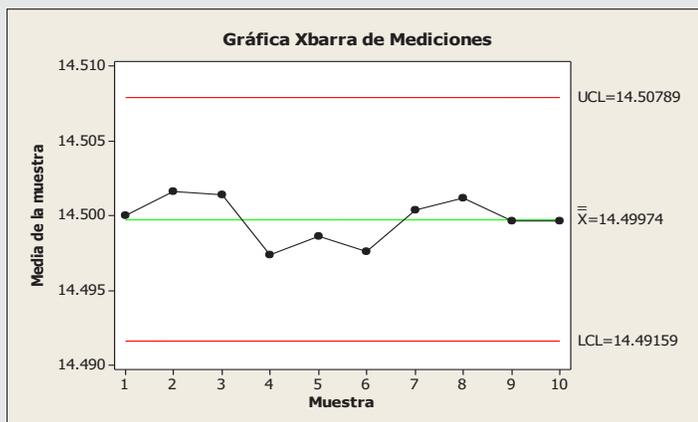


Figura 14 Gráfica Xbarra para Mediciones Fase de Mejora Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15°

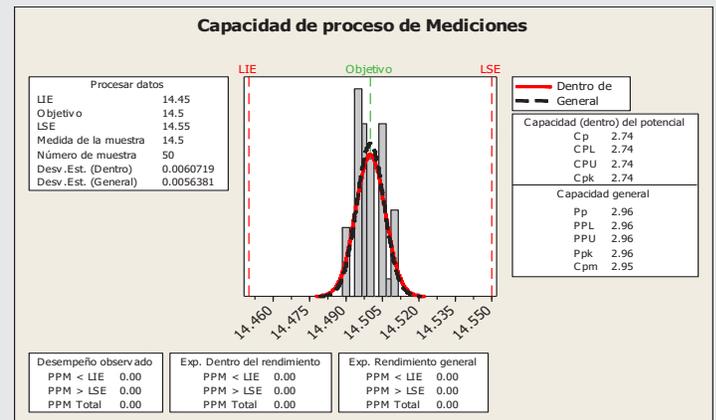


Figura 16. Histograma de Capacidad del Proceso Fase de Mejora Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15°

Mediante esta gráfica se puede determinar que la capacidad de proceso dentro del potencial mejoró de 1.15 a 2.74, lo cual permite establecer cuantitativamente que la operación permite satisfacer las necesidades de los clientes al momento de manufacturar el engrane respecto a las características técnicas de la nueva Ficha de Proceso que se envió al centro de Maquinado CNC, mientras que la Capacidad general mejoró de 1.14 a 2.96. Por otro lado, el Cpk mejoró de un 0.81 a un 2.74 mientras que el Ppk mejoró de un 0.81 a 2.96, esto confirma que hubo una mejora significativa en la disminución de la variación del proceso respecto a la primera prueba que se realizó, lo cual sugiere que la propuesta para mejorar el proceso fue la adecuada.

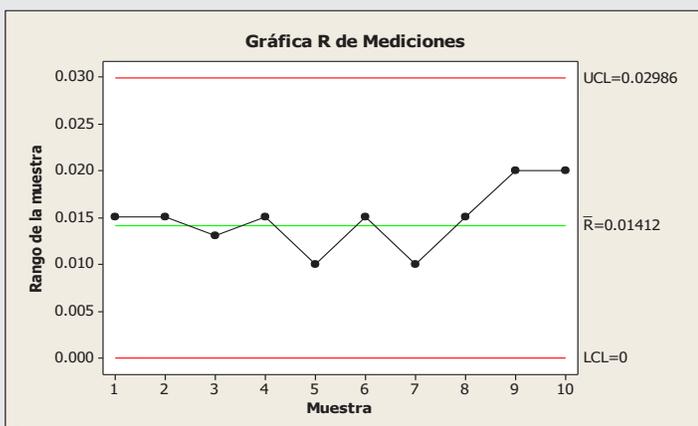


Figura 15. Gráfica de Rangos para Mediciones Fase de Mejora Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15°

Una vez realizadas las mediciones se puede identificar que el Nivel Sigma para la capacidad dentro del potencial mejoró de un 2.42 a 8.15, mientras que para la capacidad general mejoró de un 2.39 a 8.79 a largo plazo.

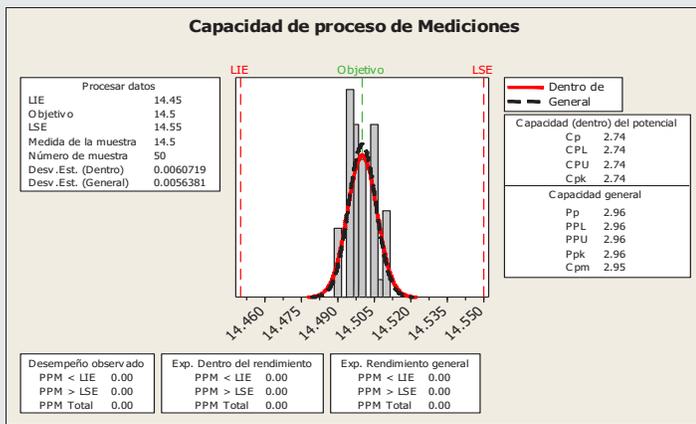


Figura 17. Histograma de Capacidad del Proceso, Cálculo del Nivel Sigma Fase de Mejora

Fuente: Elaboración Propia. Minitab 15 °

Mediante esta gráfica se puede observar que el rendimiento esperado a largo plazo se redujo a 0 partes por millón al igual que el rendimiento dentro del potencial de igual manera se redujo a 0. Esto se traduce literalmente que por cada millón de engranes que la empresa fabrique existe una probabilidad estadística del 0% de encontrar un engrane que no cumpla con las especificaciones de los Límites de Control Superior e Inferior, de esta manera resulta evidente que la variación en el proceso se redujo considerablemente y que la propuesta para mejorar fue la adecuada.

Fase de control:

Una vez implementadas las mejoras en el proceso, el último paso es asegurar que las implementaciones se mantengan y estén siendo actualizadas a través del tiempo.

Para garantizar el mantenimiento y control de las mejoras obtenidas, se sugiere que se realice una medición de manera semanal o quincenal de los índices Cp, Cpk, Nivel Sigma y para los CTQs y otros factores críticos del proceso de maquilado del engrane, utilizando la metodología de las etapas anteriores. Se sugiere la utilización de Gráficos de Control Xbarra y Gráficos de Rangos, de tal forma que el proceso este centrado en las condiciones de desempeño planificadas buscando que contribuyan a la eficiencia, eficacia y satisfacción de los clientes.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados generales del proyecto detallados en la siguiente tabla:

1. La capacidad del proceso mejoró a 2.74, ubicándolo en un Nivel Sigma de 8.79, sin embargo, se debe tener la disciplina necesaria para mantenerlo e incluso mejorarlo.
2. La credibilidad y confianza con el cliente se vio beneficiada ya que el producto no presenta más este defecto.

3. La empresa empezará a utilizar las diferentes herramientas de Seis Sigma para comenzar a corregir fallas en otros productos y/o procesos.

Tabla 5. Resultados Generales del Proyecto

Fuente: Elaboración Propia

	CAPACIDAD DEL PROCESO							
	ANTES (PRIMERA PRUEBA)				DESPUÉS (FASE DE MEJORA)			
	Cp	Cpk	Pp	Ppk	Cp	Cpk	Pp	Ppk
	1.15	0.81	1.14	0.80	2.74	2.74	2.96	2.96
	NIVEL SIGMA							
ANTES (PRIMERA PRUEBA). CAPACIDAD DEL PROCESO DENTRO DEL POTENCIAL				DESPUÉS (PRIMERA PRUEBA) CAPACIDAD GENERAL				
2.42				8.15				
ANTES (FASE DE MEJORA). CAPACIDAD DEL PROCESO DENTRO DEL POTENCIAL				DESPUÉS (FASE DE MEJORA). CAPACIDAD GENERAL				
2.39				8.79				
DPMO								
ANTES				DESPUÉS				
8345.60				0				

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología Seis Sigma es una herramienta de gran ayuda para reducir la variabilidad y centrar el proceso, eso se traduce en reducir la cantidad de producto defectuoso y aumentar la rentabilidad en la empresa (Iwaarden et al., 2008) [9].

Para la exitosa aplicación de la Metodología Seis Sigma fue necesario el compromiso del equipo de trabajo y de todos los miembros de la empresa, además de establecer controles que permitieran mantener los beneficios para evitar volver a prácticas inadecuadas.

En este artículo se ha ilustrado un ejemplo de la aplicación de Seis Sigma para la solución de un problema en específico. Con esto se demuestra que haciendo uso de las herramientas de la Metodología que se tiene disponible se pueden obtener buenos resultados y así aumentar la productividad y la competitividad de las empresas, sin importar si ésta es una grande o mediana empresa, como bien lo menciona parte de los beneficios de Seis Sigma.

Se estima que la efectividad en la aplicación ha estado fundamentada en los siguientes aspectos: a) una fuerte capacidad de liderazgo del equipo asignado al proyecto para conducir los procesos de análisis e implementación de mejoras de manera planificada; b) la efectiva utilización de métricas y herramientas de mejoramiento de la calidad en forma oportuna y con un proceso de recopilación de datos veraz y c) la disposición de la gerencia de la empresa para asignar los recursos que exigía el proyecto, con la intención de materializar las mejoras propuestas.

Con el desarrollo de esta aplicación, Seis Sigma fue adecuado para el proceso como una estrategia de me-

joramiento de la calidad y productividad, en el ámbito de los procesos de maquilado de ruedas dentadas. También, deja un antecedente para que la empresa "Café de Veracruz, S.A. de C.V. incorporen la metodología en otros procesos con otras problemáticas y con ello más empresas la adopten sin importar el tamaño para que empleen las herramientas de Seis Sigma.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Rowland Hayler (2005) "What is Six Sigma Process Management", McGraw-Hill.

[2] Barbara, Wheat, Chuck Mills y Mike Carnell (2004) "SEIS SIGMA, una parábola sobre el camino hacia la excelencia y una "empresa esbelta". Ediciones Granica.

[3] Poder, E. M., (2002) "Ventaja competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior. Ed. Patria. México. Revista Ingeniantes 22

[4] Bañuelas, R. Antony, J. Brace, M. (2005) "An Application of Six Sigma to Reduce Waste, Quality & Reliability Engineering International" [5] Harris Elrich Betsi (2002) "Transactional Six Sigma and Lean Servicing". St Lucie Press.

[6] Hector, Rodriguez-Salazar Jesus, Rojas Julieta, Zazueta Guillermo (1996) "Estrategias de Manufactura aplicando la metodología SixSigma". Maya Editorial Oceánica.

[7] Pande, P. S., Neuman, R. P., y Cavanagh, R.R. (2000) "The six sigma way, how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance" Ed. McGraw-Hill. United States of America.

[8] Moosa, K., y Sajid, A. (2010), "Critical analysis of Six Sigma implementation. Total Quality Management & Business Excellence", Vol. 21, No. 7.

[9] Iwaarden, J. V., Wiele, T. V., Dale, B., Williams, R., y Bertsch, B. (2008), "The Six Sigma improvement approach: a transnational Comparison". International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 23.

[10] James E. Brady, Theodore T. Allen (2006) "Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research," Quality and Reliability Engineering International. Vol. 22.

[11] J. Antony, M.Kumar, and C.N. Madu (2005) "Six Sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises" International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 22, no. 8.

[12] Harry, M., y Schroeder, R., (2000), Six Sigma: "The Breakthrough Management Strategy Revolutio-

nizing World's Top Corporations" Ed. Double Day. United States of America.

[13] Fontanie, C.W., (2007), "Six sigma and organizational culture" Northeastern University College of Business Administration, United States of America.

[14] Mintzberg, H., Quinn, J.B. y Voyer, J. (1997) "El proceso estratégico. Contextos y casos" Ed. Pearson. México.

[15] Fred, R. D. (2008) "Conceptos de administración Estratégica" Ed. Pearson. México.

[16] Quinello, R. (2006), "O processo de institucionalização do seis sigma em uma empresa automotivística" Revista de administração mackenzie, Volume 7, No. 3. [17] Geier J., (2011) "Embedding lean six sigma into everyday use ensures sustainable culture change at Xerox" Global Business & Organizational Excellence, Vol. 6, No. 30.

[18] Pyzdek, T. (2003). "The six sigma handbook" Ed. McGraw-Hill. United States of America.

[19] Harry, M & Schroeder, R. (2000), "Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionising the world's top corporations" Currency Publishers. United States of America.

[20] S. Pande, Peter; P. Neuman Robert; R. Cavanagh, Roland. (2002), "Las claves del Seis Sigma. La implantación con éxito de una cultura que revoluciona un mundo empresarial" Mc Graw Hill. España.

[21] Bertrand L. Hansen, Prabhakar M. Grare (1990) "Control de Calidad. Teoría y Aplicaciones" Ediciones DÍAZ DE SANTOS S.A. Madrid, España.

[22] Arango Serna, Martín Darío; Gómez Montoya, Rodrigo Andrés; Álvarez Uribe, Karla Cristina (2011) "Identificación de Oportunidades de mejora en la gestión del transporte del carbón en Colombia con Six Sigma" Boletín de Ciencias de la Tierra, núm. 30. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

[23] Evaluación de la variación de un sistema de medición. Disponible en: <http://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/samplematerials/TrainingSampleMeasurementSystemsMTB16ES.pdf>. Fecha de Consulta: 11 de Julio del 2017.

[24] Bañuelas, R. Antony, J. Brace, M. , 2005, "An Application of Six Sigma to Reduce Waste", Quality & Reliability Engineering International pp. 553-570.