

## producto perteneciente a una empresa manufacturera (Reducing costs associated with waste from a product of a manufacturing company)

**Miguel Martínez Quezadas & Juan Baldemar Garza Villegas**

Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, N.L. México.

Email: [jbg.villegas@hotmail.com](mailto:jbg.villegas@hotmail.com)

**Keywords:** quality, quality control, six sigma, waste

**Abstract.** This project is diagnosed two causes root (autonomous maintenance deficient system and there is no system for receiving raw material) that encourage production defects of a certain product. Having implemented the solutions which were: the redesign of autonomous maintenance system and created a system for receiving raw material, one could see a reduction of 73% for defects with respect to the previous year.

**Palabras clave:** Calidad, control de calidad, desperdicios, seis sigma

**Resumen.** Con este proyecto se diagnostica dos causas raíz (sistema deficiente de mantenimiento autónomo y no existe un sistema de recepción de materia prima) que propician los defectos de la producción de un determinado producto. Después de haber implementado las soluciones las cuales fueron: el rediseño del sistema de mantenimiento autónomo y creación de un sistema de recepción de materia prima, se pudo notar una reducción del 73% los defectos con respecto al año anterior.

### Introducción

En este trabajo se plasma un caso de investigación empírica, mediante la metodología DMAIC. La cual nos ayudó para diagnosticar tanto las necesidades del cliente, las causas raíz (sistema de mantenimiento deficiente y la falta de existencia de un sistema de inspección de materia prima) que propiciaban los defectos en un proceso. Por otra parte también se desarrollan

las soluciones e implementación de la mejora y por último la forma de estandarizar el proceso y controlarlo para que no vuelvan a surgir dichas causas del problema. Lo anterior se hace con la finalidad de reducir los desperdicios de la línea de producción de un producto perteneciente a una empresa manufacturera.

Este proyecto nace de la necesidad de la empresa por ser más competitivos en el mercado internacional de un producto derivado del acero, es por ello que la empresa responsable de su manufactura busca la disminución de los costos generados por los siete desperdicios. Al hacer un estudio cuantitativo de cuál era el desperdicio que impactaba en mayor proporción a los costos, obtuvimos que los defectos contaban con el 64.1% del total de los costos por desperdicios del año 2012.

La finalidad de este proyecto es disminuir el 2% de los costos de un producto perteneciente a una empresa manufacturera. Se logrará mediante la disminución del 65% de los defectos producidos durante el año 2012. No solo se obtendrán beneficios económicos sino que también aumentará considerablemente la productividad del producto y el aprovechamiento de los equipos.

## **Marco teórico**

Existen muchas y diferentes herramientas que pueden utilizarse para la reducción de costos asociados a los desperdicios de un producto, algunos ejemplos de ellos son las: técnicas específicas de la manufactura esbelta y de la metodología seis sigma como: el diagrama SIPOC, el diagrama de flujo, la matriz QFD, el método DMAIC que incluye las herramientas estadísticas en toda su gama, etc. Para este proyecto se utilizaron algunas de esas herramientas que a través de los años han generado los mejores resultados en las empresas de manufactura. La manufactura esbelta como se ha mencionado está muy dirigida a ahorrar toda clase de despilfarros en el sistema productivo, en forma de tiempos de producción y stocks innecesarios especialmente para esto se produce exactamente lo que se necesita y justo cuando se necesita. (Cuatrecasas, 2009). Incluso es considerado por algunos autores como sistema suave. Ya que incluye la perspectiva del análisis de los fenómenos sociales desde los cuales se contemplan las configuraciones del sistema como el producto del esfuerzo humano (Long, 2001).

Además utilizamos el software Minitab versión 16 para el desarrollo de algunos análisis de la metodología DMAIC Seis Sigma. Minitab es una aplicación informática estándar utilizada para la enseñanza de la estadística. En 1972, Minitab fue creado por los profesores de la Universidad del Estado de Pennsylvania, Dres. Barbara Ryan, Thomas Ryan y Brian Joiner, quienes desarrollaron una aplicación informática para hacer más interesante y significativa la estadística para los estudiantes del nivel introductorio. (Salafranca, 2005)

Seis Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta. Como métrica, Seis Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de producto o servicio está fuera de especificación.

Como filosofía de trabajo, significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyados en la aplicación de la metodología DMAIC, la cual involucra el uso de herramientas estadísticas, además de otras de apoyo. Como meta, un proceso con nivel de calidad Seis Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos. Es considerado un sistema duro. Los sistemas duros son problemas en donde se tiene conocimiento de este para así atacar dicha problemática que nos afecte. (Herrscher, 2010). Este tipo de sistemas tiene un enfoque diferente a la perspectiva humana ya que se enfoca en atacar problemas de instrumentales, máquinas etc.

Una empresa Seis Sigma solo produciría 3.4 defectos por millón de oportunidad (Escalante E. J., 2008). Dentro del concepto de Seis Sigma se puede complementar con el enfoque de Lean Manufacturing y en dicha filosofía, el Lean Manufacturing identifica siete (7) tipos de desperdicios, estos ocurren en cualquier clase de empresa o negocio y se presentan desde la recepción de la orden hasta la entrega del producto. A continuación se explica cada uno de ellos:

1. Sobreproducción: Procesar artículos más temprano o en mayor cantidad que la requerida por el cliente. Se considera como el principal y la causa de la mayoría de los otros desperdicios.
2. Transporte: Mover trabajo en proceso de un lado a otro, incluso cuando se recorren distancias cortas; también incluye el movimiento de materiales, partes o producto terminado hacia y desde el almacenamiento.

3. Tiempo de espera: Operarios esperando por información o materiales para la producción, esperas por averías de máquinas o clientes esperando en el teléfono.
4. Sobre-procesamiento o procesos inapropiados: Realizar procedimientos innecesarios para procesar artículos, utilizar las herramientas o equipos inapropiados o proveer niveles de calidad más altos que los requeridos por el cliente.
5. Exceso de inventario: Excesivo almacenamiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado. El principal problema con el exceso inventario radica en que oculta problemas que se presentan en la empresa.
6. Defectos: Repetición o corrección de procesos, también incluye re-trabajo en productos no conformes o devueltos por el cliente.
7. Movimientos innecesarios: Cualquier movimiento que el operario realice aparte de generar valor agregado al producto o servicio. Incluye a personas en la empresa subiendo y bajando por documentos, buscando, escogiendo, agachándose, etc. Incluso caminar innecesariamente es un desperdicio.

Aunque la identificación de desperdicios es importante, lo fundamental es eliminarlos. Todo el personal de la empresa se debe convertir en especialista en la eliminación de desperdicios, para lo cual la dirección de la organización debe propiciar un ambiente que promueva la generación de ideas y la eliminación continua de desperdicios. En este caso de estudio se realizó el diagrama SIPOC de sus siglas en inglés Supplier, Input, Process, Output y Customer (Proveedor, Entrada, Procesos, Salida y Cliente). También conocido como diagrama de alto nivel, es una herramienta que permite visualizar al proceso de manera sencilla y general. Este esquema puede ser aplicado a procesos de todos los tamaños y a todos los niveles, incluso a una organización completa. (Tovar, 2007).

La eliminación de desperdicios presenta resultados inmediatos en la reducción del costo, aumento de la productividad, organización del área de trabajo, entre otros. Sin embargo, generalmente se presentan problemas con el mantenimiento de los mejoramientos alcanzados, esto sucede debido que no se implementa un sistema que en el largo plazo sea capaz de mantener y adaptar la empresa a nuevos cambios en el entorno. (Meier, 2006).

En la actualidad el concepto Lean también es conocido y difundido

como el TPS (Toyota Production System) Sistema de Producción Toyota lo cual significa hacer más con menos, menos tiempo, menos espacio, menos esfuerzo humano, menos máquinas y menos materiales, mientras que los clientes reciben lo que ellos quieren. (Dennis, 2002)

La metodología utilizada para este caso de estudio fue el DMAIC acrónimo de sus siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve, Control, de la filosofía Seis Sigma enfocada en la mejora incremental de procesos existentes. A continuación se describe cada fase del método:

- Definir: Esta fase consiste, como su nombre lo dice, en definir cuál es el problema u oportunidad de mejora que tiene la empresa actualmente.
- Medir: La siguiente fase de la metodología es la medición. Esta fase tiene como fin averiguar cuál es la situación actual del proceso crítico que se desea analizar y mejorar. También en esta etapa evaluamos si el sistema de medición es confiable y la capacidad actual del proceso en estudio.
- Analizar: En esta fase se lleva a cabo el análisis de la información recolectada para determinar las causas raíz de los defectos e identificar oportunidades de mejora. Posteriormente se tamizan las oportunidades de mejora, de acuerdo a su importancia para el cliente, se identifican y validan sus causas de variación.
- Mejorar: Esta fase se lleva a cabo una vez conociendo los criterios para desarrollar aquellas propuestas de mejora capaces de contrarrestar directamente las causas raíz de los problemas mencionados en la etapa anterior. En esta fase por lo general se experimenta.
- Controlar: Esta fase inicia tras la validación de las propuestas, y sigue la definición del plan de control del proceso en cuestión. Para prevenir que la solución sea temporal, se documenta el nuevo proceso y su plan de monitoreo. El objetivo es lograr la solidez al proyecto a lo largo del tiempo. (Evans, 2008).

### **Definición del producto del caso de estudio**

El producto del estudio pasa por tres procesos que modifican la materia prima. La manufactura en la planta inicia en la recepción de la materia prima, posteriormente pasa por dos procesos más que ayudan a tratar el acero y así prolongar su vida de uso. Para finalizar es enviado a otro proceso,

caracterizado por disminuir el producto a cierto diámetro de acuerdo al uso que se le vaya a dar.

En el 2007 la compañía se vio afectada por competidores de talla mundial que ingresaron al mercado con una calidad inferior pero con una ventaja en los precios, que resultaba bastante atractiva a los consumidores. Debido a lo anterior en los últimos cinco años la empresa ha buscado reducir los costos de producción en los productos antes referidos para ser competitivos en materia de precio y calidad. El decremento desde el 2007 hasta el 2012 ha sido de un 37.5 % de las ventas, es por ello que al mejorar el precio de esta gama de productos se estima que se recupere buena parte del mercado perdido.

## **Fase: Definición**

### *Definición del problema*

La empresa manufacturera como precursor de ciertos productos siempre ha liderado el mercado, no obstante desde hace cinco años se han visto afectados por competidores internacionales. Dichos competidores han penetrado el mercado con productos de baja calidad a precios inferiores a los nuestros. Lo anterior ha significado una caída en la producción de tres de sus productos principales. Por supuesto que su propósito no es reducir la calidad de la amplia gama de productos, sino al contrario siempre intentar innovar para entregar productos con mayor calidad que certifiquen un ciclo de vida duradero, satisfaciendo hasta las más exigentes necesidades de los clientes. Esto lo logran mediante la implementación de la mejora continua del proceso que les ayuda a optimizar y reducir los costos de producción.

Como ya antes se ha mencionado, tres de sus productos principales comienzan su manufactura en base a disminuir la materia prima "acero" de acuerdo al uso que se le vaya a dar, es por ello que al reducir los costos de este proceso nos ayudaría a mejorar los costos de los tres primeros productos. Por consiguiente se opta por erradicar los desperdicios generados en el proceso debido al gran impacto que tiene.

Para cuantificar la magnitud del proyecto fue necesario el estudio minucioso de los siete desperdicios de la filosofía Lean (Dennis, 2002), enfocándonos en los desperdicios que tienen mayor influencia, se analizaron los datos históricos por desperdicio, con lo que se llegó a la Tabla 1.

Tabla1. *Los siete desperdicios por costos*

Desperdicio	USD Anuales	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Defectos	\$5,747.87	69%	69%
Espera (tiempos muertos)	\$2,587.50	31%	100%
Reproceso	\$5.24	0%	100%
Movimientos Innecesarios	0	0%	100%
Sobre inventarios	0	0%	100%
Transportación Innecesaria	0	0%	100%
Sobre Producción	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 evidencia que más del 80% de los costos están constituidos por los defectos y las esperas. No obstante es importante recalcar que en base a los conocimientos del cliente hace referencia en atacar los defectos ya que de ahí provienen las esperas, es por ello que se enfocará a trabajar en los defectos los cuales impactan indirectamente en las esperas. Los desperdicios que tienen un costo de cero es debido a que el proceso ya mencionado anteriormente lleva un avance en los procesos de manufactura mediante el modelo de la gestión lean y ya han logrado optimizarlos.

### *Justificación del Proyecto*

Al disminuir el 65% de los defectos del producto significaría un decremento del 2% del costo total del producto, en términos financieros representaría el incremento de los ingresos brutos por la cantidad de \$3,736.12 USD mensuales.

No solo se tendrá un impacto particular en el producto sino que el proyecto va más allá de su alcance. Es por ello que se investigó si había productos defectuosos que pasaban como buenos y que eran detectados en algún proceso consiguiente. Dentro de los datos históricos se llegó al hallazgo de que a un proceso determinado se le atribuyen los defectos. Por consiguiente, lo anterior crea un efecto financiero en los 3 principales productos, al sumar el gasto por defecto podemos deducir que el impacto general tiene un estimado de \$5,747.87 USD anuales, de los cuales se estaría reduciendo a \$3,736.12 con la meta estimada.

*Declaración del Objetivo:*

Disminuir en un 2% los costos generados por desperdicios en la producción, en la planta. Dicha métrica se alcanzará con la reducción del 65% de defectos. Estos porcentajes están sustentados en la metodología de la Meta Seis Sigma-Línea Base.

*Línea Base. Process Entitlement con variable continua*

Son aquellas variables que tienen un valor numérico natural. (Anderson, 2003) En nuestro caso nuestra variable "Y" es continua y nos permite realizar la medición del nivel de desempeño del proceso al iniciar el proyecto, por lo general en términos de la métrica. (Gutierrez, 2009). A continuación se muestra a detalle los cálculos de la obtención de dichas relaciones. Para respaldar la proporción de defectos a reducir se comenzó con la investigación de los datos históricos por defectos en 2012 mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. *Cantidad de defectos del 2012 (Kg/TON)*

<b>Mes</b>	<b>Defectos (Kg./TON)</b>
Enero	4.46
Febrero	2.96
Marzo	2.8
Abril	3.2
Mayo	3.4
Junio	2.1
Julio	1.4
Agosto	3.2
Septiembre	2.0
Octubre	2.2
Noviembre	2.5
Diciembre	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo el valor máximo de 4.46 Kg/TON, el valor mínimo de 1.40 Kg/TON y el promedio de 2.80 Kg/TON. Dado a que se quiere minimizar la cantidad de defectos se trabaja con el valor mínimo.

$$\text{Factor Base} = (\text{Promedio} - \text{Valor M\u00ednimo}) / (\text{Est\u00e1ndar Seis Sigma}) \quad (1)$$

$$\text{Factor Base} = (4.46 - 1.40) / (0.70) \quad (2)$$

$$\text{Factor Base} = 0.98 \quad (3)$$

$$\text{Meta Seis Sigma} = (\text{Promedio} - \text{Factor Base}) \quad (4)$$

$$\text{Meta Seis Sigma} = (4.46 - 0.98) \quad (5)$$

$$\text{Meta Seis Sigma} = 1.82 \text{ Kg/TON} \quad (6)$$

$$\text{Porcentaje de Meta Seis Sigma} = 65\% \quad (7)$$

Al convertir la meta Seis Sigma en porcentaje optamos que tendr\u00edamos un 65% de reducci\u00f3n de defectos, es decir se dejar\u00e1 un margen de error del 35% de los defectos con respecto al 2012. Al enfocarse en la reducci\u00f3n del 65% de los defectos habr\u00eda mejoras financieras de \$3,736.12 USD mensuales. Adem\u00e1s de la disminuci\u00f3n de tiempos muertos en el proceso donde se elabora el producto.

Se realiz\u00f3 una entrevista a los clientes (\u00e1rea de calidad, mantenimiento y operarios del proceso) y lo que obtuvimos es que principalmente buscan que el material cumpla con los niveles establecidos para soportar la alta resistencia al que es sometido, que cumplan con ductilidad estandarizada y que cumpla con la maleabilidad fundada, estas \u00faltimas caracter\u00edsticas f\u00edsicas son factores que garantizan la transformaci\u00f3n de la materia a un producto de clase mundial.

Despu\u00e9s de conocer lo que el cliente busca, es necesario cuantificar y centralizar dichas necesidades para medir el nivel de satisfacci\u00f3n de estos y el cumplimiento de la calidad. Es por ello que la Tabla 3 plasma algunos de los requerimientos del cliente al igual que la forma cuantitativa de medirlos.

Tabla 3. *Requerimientos del cliente y su medición correspondiente*

Requerimientos	Medición
Producto sin ralladuras	Cantidad de defectos medidos en Kg/TON
Sin rebabas	Cantidad de defectos medidos en Kg/TON
Nivel óptimo de color	Cantidad de defectos medidos en Kg/TON
Empaque en buenas condiciones	Cantidad de defectos medidos en Kg/TON
Tiempo de entrega	Tiempo que transcurre entre la emisión del pedido y la disponibilidad, medido en horas

Fuente: Elaboración propia

La calidad puede definirse como la conformidad relativa con las especificaciones, a lo que al grado en que un producto cumple las especificaciones del diseño, entre otras cosas, mayor su calidad o también como comúnmente es encontrar la satisfacción en un producto cumpliendo todas las expectativas que busca algún cliente. (Tsuchiya, 1995).

### Fase de medición

Es importante establecer el desempeño para la “Y” con la finalidad de ampliar y diagnosticar la situación real del proceso. A continuación se muestra el desempeño existente de la Y (Tabla 4).

Tabla 4. *Niveles de desempeño de la variable dependiente*

Y(s)	Medición	Situación Actual	Objetivo	Variable/Atributo
Primaria	Cantidad de defectos medida en Kg/TON	<p>¿Qué está mal?</p> <p>En el 2012 se reportaron costos de \$5,747.87 por defectos en el producto “X”</p> <p>¿En dónde ocurre?</p> <p>Este suceso se presentó en el proceso “X”</p> <p>¿Qué tanto ocurre?</p> <p>Con una frecuencia de 3.14 Kg/TON promedio mensual de defectos. Al finalizar ese año (2012) se cerró con 0.31% de productos defectuoso.</p> <p>¿Cómo se sabe qué ocurre?</p> <p>Los datos se obtuvieron mediante las bitácoras de registros de inspección del 2012 y las inconformidades de los consumidores.</p>	Reducción del 65% de los defectos del producto “X”.	Variable Continua
Secundaria	Aumento del tiempo de inspección medida en minutos.	No se tiene registrado.	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia.

Normalmente se empieza analizando las inconformidades del cliente ya que aquí radican las acciones más fuertes de inconformidad del proceso, sin embargo también se optó por el análisis anterior para ir especificando y delimitando las causas raíz. Del todo el estudio ya antes mencionado se llega a los siguientes datos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. *Defectos por motivo (2012)*

<b>Motivo</b>	<b>Kg de defecto</b>	<b>Porcentaje</b>
Mala adherencia	184,912.0	99%
RT alta	970.1	0.5%
Grumos	500.0	0.3%
Diámetro incorrecto	30.0	0.0%

Fuente: Elaboración propia

Al ser segmentados y analizados en la tabla 5, podemos destacar que el 99% es perteneciente a la mala adherencia, en cambio no se descalificará el segundo (RT alta) que contribuye con 0.5% de estos, debido a que podrían ambos estar relacionados con productos no conforme proveniente del proveedor, así mismo se tomará en cuenta los dos primeros. En esta misma etapa se realizó la validación del sistema de medición haciendo uso de un Gage R&R.

Un estudio Gage R&R es una herramienta de la fase de medir de la metodología DMAIC y sirve para evaluar el sistema de medición. Esta herramienta evalúa los estudios de repetitividad, reproducibilidad, exactitud, estabilidad y linealidad. Los usos de la evaluación son:

1. Aceptar equipo nuevo para la medición de variables críticas del proceso.
2. Comparar dos equipos de medición entre sí.
3. Evaluar calibrador "equipo" sospechoso.
4. Evaluar calibradores antes y después de repararlo.
5. Antes de implantar gráficas de control.
6. Cuando disminuya la variación del proceso.
7. De manera continua de acuerdo con la frecuencia de medición recomendada en los estudios.

Al método de Repetitividad y Reproducibilidad (R&R) se le conoce como método largo. Es la combinación de los estudios de Repetitividad y Reproducibilidad. (Escalante E., 2008). Los pasos para el estudio son:

1. Calibrar instrumento.
2. Seleccionar dos o tres operarios que midan por lo menos dos veces las mismas diez piezas (numeradas) en orden aleatorio.
3. Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunas fuera de ella.
4. Llenar el formato de Gage R&R a usar.

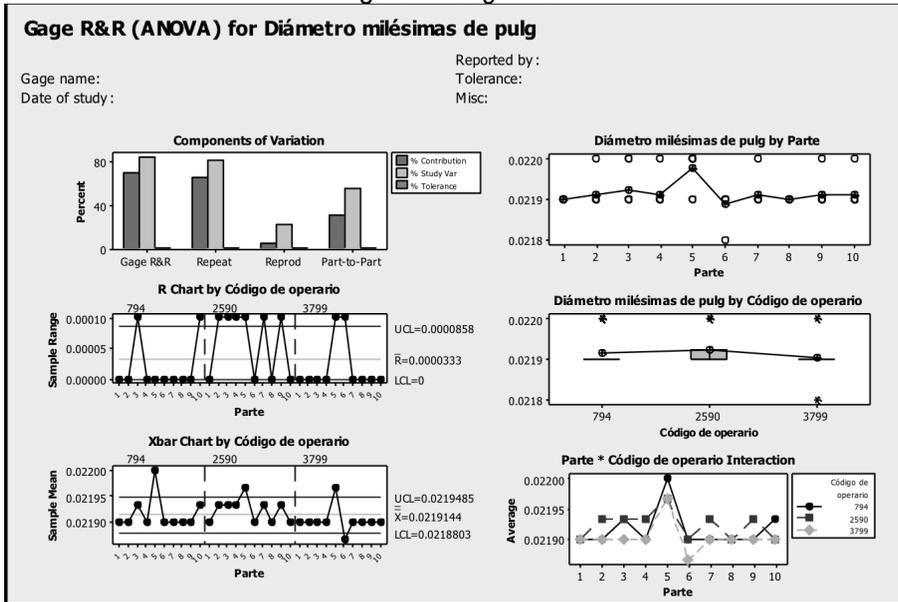
Si la repetitividad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son: el calibrador necesita mantenimiento, el calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido, mejorar la sujeción o localización de la pieza, existe mucha variación entre las piezas.

Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetitividad, las causas posibles son: el operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador, las calibraciones en la escala del instrumento no están claras, tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad.

En este proyecto se hace el uso del estudio Gage R&R para definir si el sistema de medición empleado es adecuadamente preciso, repetible, reproducible y estable (Escalante E., 2008). Se realizó el estudio con ayuda del software Minitab v16. El primer paso que se realizó fue realizar un grupo de tres de los 6 operarios, en donde se les dieron diez muestras seleccionadas aleatoriamente, para que posteriormente cada uno de ellos con su micrómetro realizarán tres mediciones de cada muestra. Se realiza el estudio y nos arroja los resultados de la Figura 1.

Como resultado del anterior estudio se tiene evidencia estadística suficiente para decir que el sistema de medición no es confiable ni aceptable, es por ello que el equipo de trabajo toma la decisión de hacer medidas de contención, que garanticen la fiabilidad del sistema de medición. El problema radica en la repetitividad del proceso ya que tiene un 65.15% de contribución en la variación del sistema de medición (más del 9% no es aceptable). Otro de los parámetros que es importante identificar es el porcentaje de la variación del estudio (% Estudio de Variación) el cual nos arroja un total de 83.50%, siendo aceptable menor o igual al 30%.

Figura 1. Gage R&R



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

La resolución de un sistema de medición debe ser la decima parte del sistema del proceso, es decir debe de medir hasta un 10% de la unidad de lo que se va a medir. En nuestro caso necesitamos que el instrumento mida diezmilésimas de pulgada. La acción más práctica fue solicitar el apoyo de un micrómetro que midiera hasta diezmilésimas de pulgada al departamento de calidad el cual fue proporcionado inmediatamente con lo que así se garantizaba más precisión en la toma de datos. A continuación se presenta el nuevo estudio Gage R&R medido con un micrómetro de mayor resolución (véase Tabla 6 y Tabla 7).

Tabla 6. Tabla con interacción ANOVA

Fuente	GL	SC	SM	F	P
Parte	9	0.0000073	0.0000008	62.1591	0.000
Código de op	2	0.0000000	0.0000000	1.0568	0.368
Parte*Código de op	18	0.0000002	0.0000000	1.9235	0.031
Repetibilidad	60	0.0000004	0.0000000		
Total	89	0.0000080			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Fuente: elaboración propia utilizando el software Minitab.

Tabla 7. *Gage R&R para validar el sistema de medición*

Fuente	VarComp	%Contribución (of VarComp)	Desv.Est (SD)	Estudio de Var (6*SD)	% Est de Var (%SD)	%Tolerancia (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000000	9.12	0.0000943	0.0005657	30.20	0.06
Repetibilidad	0.0000000	6.95	0.0000823	0.0004940	26.37	0.05
Reproducibilidad	0.0000000	2.17	0.0000459	0.0002757	14.72	0.03
Código de op	0.0000000	0.03	0.0000050	0.0000298	1.59	0.00
Código de	0.0000000	2.14	0.0000457	0.0002741	14.63	0.03
op*Parte	0.0000001	90.88	0.0002976	0.0017859	95.33	0.18
Part-To-Part	0.0000001	100.00	0.0003122	0.0018733	100.00	0.19
Total de Variación						

Número de Categorías distintas = 4

Fuente: Elaboración propia utilizando el software Minitab.

En estos primeros datos se puede notar que el código de op. (P-value de 0.368) no es significativo, en cambio la interacción entre parte y código de operador son significativos, así mismo la parte. Descartando que la variabilidad del estudio se deba por la parte.

Al analizar los nuevos datos se ve con claridad que el porcentaje de contribución del sistema Gage R&R disminuyó radicalmente ya que ahora contamos con un 9.12% de este parámetro con lo que se diagnostica aceptable al igual que el porcentaje de la variación del estudio ya que ahora cuenta con un porcentaje del 30.20%. Y por último podemos analizar el número de categorías el cual nos dio un valor de 4 siendo este valor muy aceptable en el estudio. Con los datos anteriores se concluye que el sistema de medición es aceptable. Después de haber validado el sistema de medición fue necesario hacer una recolección de datos para conocer los estándares de desempeño actual del proceso. Se procedió a formular un plan de recolección de datos que garantice la representatividad de la población y todos sus defectos.

Como primer paso se procedió a conocer el tamaño de muestra a realizar, mediante el apoyo de la siguiente formula estadística. (Acuña, 2003)

Datos:

N=Tamaño de la población por turno es de 50 piezas.

p= Probabilidad de éxito 80%.

q= Probabilidad de fracaso 20%.

E=Error 10%.

Z=Nivel de confianza 95%.

$$Z_{\alpha/2}^2 = Z_{0.05/2}^2 = Z_{0.025}^2 = 1.962 = 3.8416 \quad (1)$$

(El valor 1.962 se obtuvo de la tabla de la Distribución normal)

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * N * p * q}{Z_{\alpha/2}^2 * p * q + N * E^2} \quad (2)$$

$$n = \frac{3.8416 * 50 * 0.8 * 0.2}{3.8416 * 0.8 * 0.2 + 50 * 0.1^2} \quad (3)$$

$$n = 27.59 = 28 \text{ pieza} \quad (4)$$

Por lo que se opta por tomar 30 muestras que garanticen la representatividad de la población para así contar con evidencias suficientes sobre los estándares de desempeño del proceso.

### Fase de análisis

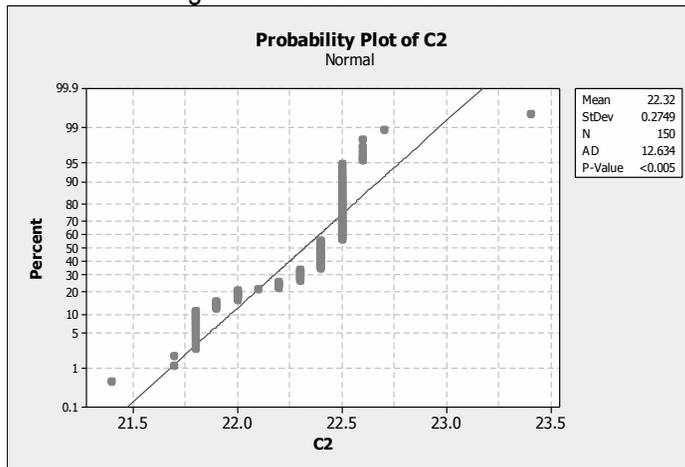
Desde la etapa de medición se empezó a pre diagnosticar la problemática actual, es importante tomar en cuenta que actualmente ya se cuenta con los principales defectos (mala adherencia, RT alto (Exceso de dureza), grumos y diámetro incorrecto), pero es importante conocer las causa de estos, es decir las X(s) que originan las variaciones de la Y.

Para realizar la anterior tarea fue necesario organizar una junta tanto con el área de calidad como los operarios del proceso (seis operarios). Durante la junta se realizó una lluvia de ideas, gracias a esta dinámica pudimos recolectar todas las X(s) desde diferentes puntos de vista. En esta junta se implementó la metodología de los Cinco Porque 's, con la finalidad de encontrar las causas raíz de la problemática actual. En la junta se procede a realizar un diagrama que clarifique y ordene todas las ideas recolectadas. Finalmente se toma la decisión de utilizar el diagrama de árbol como herramienta de análisis junto con otras más.

Como segundo paso se tuvo que determinar la distribución de los datos en "Y", esto con la finalidad de conocer si ésta es perteneciente a una distribución normal y así proceder al cálculo de los niveles de desempeño (media, sigma, Cp y Cpk). En cambio si fuese una distribución no normal se tiene que realizar el estudio de capacidad en base a la mediana (mediana,

cuartil y percentil) o de lo contrario convertir los datos a normal mediante el apartado Box-Cox de Minitab. Por ello se procede a hacer un análisis de normalidad, dicho estudio se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Prueba de Normalidad



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

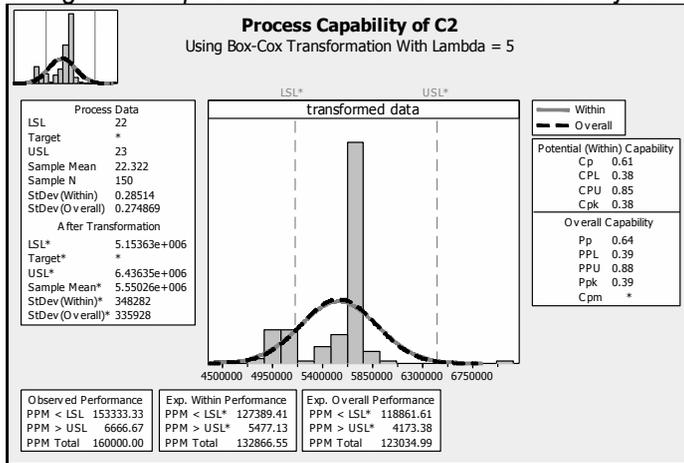
Con lo anterior tenemos la plena seguridad que la distribución se presenta con una distribución no normal debido a que tiene un P-value menor a 0.05 (P-value mayor a 0.05 es normal), es por ello que se procede realizar la transformación de los datos no normales a normales mediante el Box-Cox (Ver Figura 3). Posteriormente se evaluó la Capacidad potencial del proceso (Cp). Relaciona la amplitud de las tolerancias con la variabilidad natural del proceso (Carot, 1998).

- Si  $C_p < 1.33$  se dice que el proceso es no capaz.
- Si  $C_p = 1.33$  se dice que el proceso es potencialmente justamente capaz.
- Si  $C_p > 1.33$  se dice que el proceso es potencialmente capaz.

Si su  $C_p$  tiene un valor de 2 requiere menos vigilancia por lo tanto menos frecuencia de muestreo.

Capacidad real del proceso ( $C_{pk}$ ). Evalúa la capacidad real de un proceso tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso. (Cabrera, s.f.)

Figura 3. Capacidad del Proceso. Antes de la mejora



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

Con lo anterior podemos concluir que tanto la capacidad de proceso como la capacidad real son deficientes ya que no cumplen con los estándares aceptables del control estadístico de la calidad. En otras palabras se cuenta con un Cp de 0.61 no cumpliendo con un  $Cp > 1.33$ , originando fabricación de productos fuera de tolerancias. En cambio el Cpk tiene un valor de 0.38 por lo que tampoco cumple con  $Cpk > 1.33$ , esto quiere decir que el proceso no se ajusta adecuadamente a las tolerancias.

Como conclusión el proceso no es capaz debido a que tiene amplias variaciones naturales del proceso. Así mismo cuenta con variaciones en tolerancias de especificación.

En esta etapa del proyecto fue necesario realizar un diseño de experimentos. El diseño de experimentos (DOE) permite analizar datos mediante modelos estadísticos para observar la interacción entre las variables independientes y como afectan a la variable dependiente. Montgomery (2004) establece que la importancia del diseño de experimentos recae en la necesidad que tienen las empresas de contar con procesos óptimos con la menor variabilidad para incrementar la calidad en sus productos o servicios.

Para lo anterior se determinaron algunas pruebas con los factores que afectan al producto final. Es por ello que el equipo se dio a la tarea de tomar muestras que interrelacionen las dos X(s) (falta de sistemas de herramientas

y materia prima). Antes de tomar las muestras se delimita el DOE llegando a la conclusión que más se acopla a las necesidades de este proyecto es el experimento factorial  $2^k$ . El experimento factorial permite observar el efecto que tiene cada variable independiente sobre la variable dependiente, así como el efecto que tienen las interacciones entre estas variables. Se deben definir los factores y niveles del experimento. Un factor es cualquier influencia que pueda afectar a la variable de respuesta y que sea controlada por el experimentador. Los niveles son las categorías o intensidades que tiene cada factor previamente establecido.

En este caso los factores  $k$  hace referencia a las  $X(s)$  ya antes prestables, dándonos pauta a que tenemos que hacer un experimento de cuatro corridas en donde interactúan las dos  $X(s)$  críticas. Para lo anterior se complementó el experimento con tres replicas.

Como conclusión del estudio experimental anterior se puede decir que existe evidencia tanto empírica, como estadística y científica para afirmar que los herramientas y la materia prima son los precursores en la fabricación del producto. Por lo que las acciones a tomar serán en base a estos dos factores, no obstante se analizó el nivel de conformidad cuando se relacionan estos dos factores, esto con la finalidad de conocer como se relacionan e impactan en el producto final.

Tabla 8. *Vista parcial del Experimento realizado  $2^k$*

Variable	Efecto	Coeficiente	Error Est Coef	T	P
Constante		0.022575	0.000012	1915.55	0.000
Factor 1	0.000017	0.000008	0.000012	0.71	0.500
Factor 2	0.000050	0.000025	0.000012	2.12	0.067
Interacción	-0.000017	-0.000008	0.000012	-0.71	0.500

S=0.0000408248  
 PRESS=0.00000003  
 R-Sq = 40.74%

Fuente: Elaboración propia utilizando el software Minitab.

### Fase de implementación de la mejora

En esta fase se establecieron las actividades del proyecto para para eliminar las causas raíz. El plan consistió en definir actividades para eliminar

las causas del problema, para cada actividad y establecer responsables. En esta fase se utilizó la herramienta AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla). El AMEF ayuda a determinar las acciones a tomar para minimizar este riesgo. Dentro del AMEF se tiene que considerar las siguientes puntos:

- 1.- En una escala del 1-10, la tasa de la gravedad de los efectos del fallo de las experiencias de los clientes.
- 2.- En una escala del 1-10, determinar con qué frecuencia se produce la causa del modo de fallo.
- 3.- En una escala del 1-10, determinar la eficacia de los controles actuales puede detectar la causa del modo de fallo. Si un buen sistema de detección (tal como un sistema de retroalimentación automático) está en su lugar, asignar un 1 o 2 para esta columna. Si hay controles están en su lugar, asigne un 10 en esta columna.

Multiplique la gravedad, la aparición y clasificaciones de detección juntos para calcular un número prioritario de riesgo (NPR). El NPR más alto posible sería 1000 y el NPR más bajo sería 1.

Los valores bajos indican un menor riesgo. El NPR es un indicador de qué insumos claves del proceso (x) medidas recomendadas deben ser identificados para, para reducir el riesgo para el cliente (paso 12). Si, sin embargo, cualquier entrada de clave del proceso (x) tienen una clasificación de severidad de 9 o 10, los esfuerzos deben centrarse primero en estas entradas de proceso clave para asegurar la detección es al menos un 1 o 2 y que aparece, es también un número bajo.

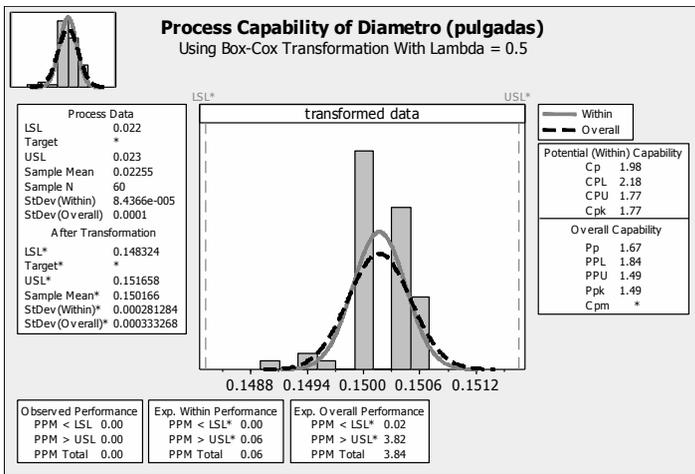
En este proyecto se utilizó el NPR para determinar y discutir lo que se tomarán las medidas recomendadas para minimizar el riesgo para el cliente. (Ginn, 2004). Este proceso es muy relevante para garantizar la mejora. En esta fase de la metodología DMAIC participaron todas las áreas involucradas con sus diferentes niveles jerárquicos.

## **Fase de control**

En esta fase del proyecto el equipo opta por diseñar un plan de contingencia para los modos de falla potenciales de las dos causas raíces encontradas en la fase de análisis. Este plan se hace con la finalidad de garantizar la mejora del proyecto, así como prever cualquier amenaza potencial para el producto o el cliente.

Se realiza una comparación antes de la intervención del equipo de trabajo y después de la intervención. Es necesario darle continuidad a las mismas mediciones ya que de todo caso se hubiese tenido que hacer refinaciones tanto a la línea base como al objetivo. Debido a que se cuenta con un P-value menor a 0.050 se tiene evidencia estadística suficiente para decir que los datos no se comportan de manera normal, es por ello que se procede a analizar los datos mediante la función Box- Cox de Minitab. En la Figura 4 se muestra el cálculo del Cp y Cpk.

Figura 4. Capacidad del proceso. Después de la mejora



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

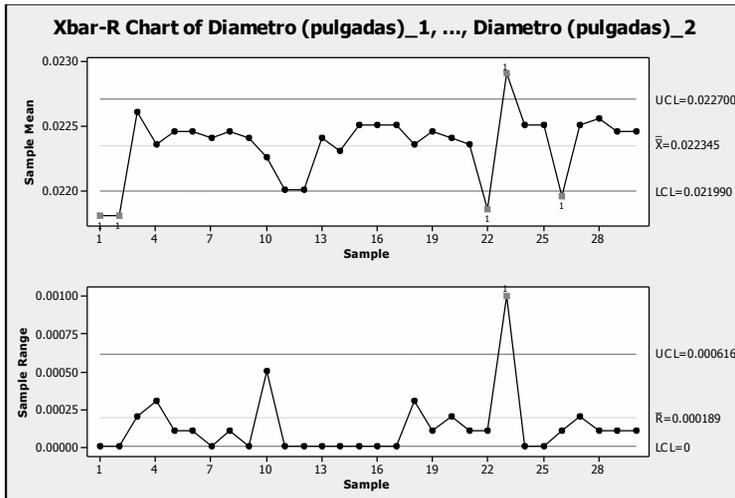
Con la figura anterior podemos observar que se obtuvo un Cp de 1.98 con lo que se puede decir que el proceso es potencial mente capaz, es decir que es marginalmente un proceso de calidad Seis Sigma. En cambio el Cpk se obtuvo un valor de 1.77 con lo que se recomienda estar monitoreando el proceso cada 8 horas ya que puede existir defectos en ese lapso de tiempo.

Comparando los resultado anteriores con los del apartado donde se realizó el análisis de capacidad antes de la implementación de la mejora del proceso, podemos concluir que se mejoró tanto la capacidad de proceso de 0.61 a 1.98 y la capacidad real del proceso de 0.38 a 1.77.

Otro de los factores que el equipo de mejora toma en cuenta son los gráficos de control para la variable “Y” del proyecto, esto con la finalidad de

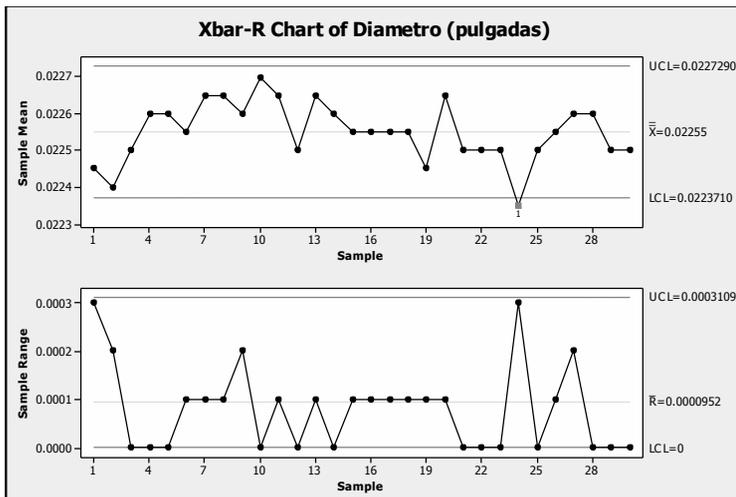
comparar la estandarización y el control de las mejoras. A continuación la Figura 5 la y la Figura 6 nos permite ver el contraste antes y después de la mejora.

Figura 5. Gráfica de control antes de la mejora



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

Figura 6. Gráfica de control después de la mejora



Fuente: Elaboración propia, usando Minitab.

## Conclusiones

Como conclusión del proyecto en Abril 2013 se tuvo un total de 0.86 Kg/TON de desperdicio y en Abril 2012 se tuvo un total de 3.19 Kg/TON con lo que hubo una reducción del 73% de desperdicios. Por lo tanto no solo se cumplió con el objetivo (reducción de un 65% de los desperdicios) sino que la superamos por un 8% del objetivo planteado. En cambio en el aspecto económico se proyectó una reducción del 2%, en cambio se redujo el costo un 5% con respecto al 2012, superando el objetivo general un 3% de lo estimado.

El sistema de mantenimiento integral mejoró debido a que se cambió la cultura del operador para mejorar la eficiencia de las operaciones. Esto a las juntas de seguimiento y a los controles establecidos del proyecto a través del mantenimiento autónomo.

El sistema de inspección de materia prima dio pauta a que el proveedor tomara acciones correctivas. El análisis de capacidad de un proceso es de gran utilidad para demostrar que un fabricante cuenta con un proceso que cumple con los requerimientos de sus clientes. Esto sirve para poder comparar competencias en el mercado y así poder tomar la mejor decisión desde la perspectiva del cliente.

Como se pudo observar la metodología DMAIC ayuda en la toma de decisiones en la mejora del proceso a analizar. Es decir, al disminuir la variabilidad del proceso se aumenta la capacidad potencial del mismo. Aunque al disminuir la variabilidad se tienen que considerar muchos factores como: ambiente natural de trabajo, características de la materia prima, el factor humano, factor maquinaria, etc. Después de lograr reducir la variabilidad, es más fácil aumentar la capacidad real, ya que esto se refiere a realizar ajustes más sencillos al proceso.

## Referencias

- Acuña, J. (2003)., *Ingeniería de confiabilidad*. Cartago, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Anderson, D. (2003). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Thompson.
- Cabrera, R. C. (s.f.). *Lean Six Sigma TOC. Simplificado*. PYMES. México.
- Carot, V. (1998). *Control estadístico de calidad*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, servicios de publicaciones.

- Cuatrecasas, L. (2009). *Diseños avanzados en procesos y plantas de producción flexible*. Barcelona: Profit Editorial.
- Dennis, P. (2002). *Lean Production Simplified: A plain language guide to the world's most powerful production system*. New York: Productivity Press.
- Escalante, E. J. (2008). *Seis-sigma: metodología y técnicas*. Mexico: LIMUSA.
- Evans, J. R. (2008). *Administración y control de la calidad*. México: CENGAGE.
- Ginn, D. (2004). *The desing for six sigma*. Salem, N.H: GOAL/QPC.
- Gutierrez, H. (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. Guadalajara, México: McGraw Gill.
- Herrscher, E. (2010). *El valor sistémico de las organizaciones*. México: Granica.
- Long, N. (2001). *Psicología del desarrollo una perspectiva centrada en el actor*. México: Norman Long.
- Meier, J. L. (2006). *The Toyota Way Fieldbook*. Nueva York: McGraw Hill.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
- Rey, F. (2003). *Técnicas de resolución de problemas*. México: Publiequipo.
- Salafranca, L. (2005). *Análisis estadístico mediante aplicaciones informáticas: SPSS, Stratgraphics, Minitab y Excel*. Barcelona: Gráficas Rey.
- Tovar, A. (2007). *CPIMC. Un modelo de administración por procesos*. México: Panorama Editorial.
- Tsuchiya, S. (1995). *Mantenimiento de calidad*. Portland: Productivity Press