

# Reducción de scrap en el área de cigüeñal diésel en planta Ford, aplicando la metodología Seis Sigma



## Colaboración

René Manuel Breach Ochoa; María de Lourdes Salas Woocay; Leticia del Pilar de la Torre González, Instituto Tecnológico de Chihuahua

**RESUMEN:** La necesidad de aplicar técnicas y métodos estadísticos para el mejor desempeño de las organizaciones ha ido en aumento debido a la alta competitividad que existe entre las empresas para ampliar sus mercados. Los costos que se generan debido a los desperdicios es uno de los principales problemas que se tienen en las líneas de producción y deben ser eliminados para alcanzar los objetivos organizacionales. En forma integral la metodología Seis Sigma genera una visión estratégica para las compañías que están comprometidas en ofrecer al cliente productos y servicios libres de defectos disminuyendo la variación que existe en sus procesos, es un sistema que ayuda a tomar decisiones basadas en datos y ofrece una metodología estructurada para alcanzar mejoras mediante el uso de herramientas estadísticas que identifican las causas raíz de los problemas. En esta investigación se utilizó dicha metodología para la reducción del desperdicio en el área de maquinado de cigüeñal diésel, desglosando la clasificación del desperdicio por proceso, aplicando diagramas de Pareto, de Ishikawa y estudios de capacidad de proceso entre otras. Los resultados al aplicar la metodología DMAIC, fue la reducción del desperdicio a cero partes por millón defectuosas en el área de maquinado diésel a través de ajustes en la operación de la máquina.

**Palabras clave:** capacidad del proceso, diagrama de pareto, diagrama de Ishikawa, desperdicio, DMAIC, herramientas estadísticas, Seis Sigma.

**Abstract:** The need to apply statistical techniques and methods to improve the performance of organizations has increased due to the high competitiveness between companies to expand their markets. The cost generated due to waste are one of the main problems that exist in production lines and must be eliminated to achieve organizational objectives. Comprehensively, Six Sigma creates a strategic vision for companies that are committed to offer customers products and services free of defects by decreasing the variation that exists in their processes, it is a system that helps make decisions based on data and offers a structured methodology to achieve improvements by using statistical tools that identify the root cause of problems. In this investigation this methodology was used for the reduction of waste in the area of machining of diesel crankshaft, detailing the classification of waste per process by applying Pareto Chart, Ishikawa Diagram and process capability studies, among others. The result of using the DMAIC methodology, was the reduction of waste in the area of machining of diesel crankshafts through adjustments in the machine operation.

**Keywords:** process capability, pareto charts, ishikawa diagram, scrap, statistical tools, DMAIC.

## INTRODUCCIÓN

En el área de diésel de la Planta de Motores Ford se maquina el cigüeñal para dos tipos de motores el 4.4L y el 6.7L. Ambos tienen diversas operaciones de maquinado, fresado, rectificado y pulido en partes específicas del cigüeñal. El principal problema en esta área es el desperdicio debido a reprocesos, ajustes de máquina, cambio de modelos, etc. En la operación # 140 se realiza el rectificado de las caras de empuje en el principal #5 por medio de una máquina rectificadora que cuenta con una herramienta abrasiva en forma de rueda que es utilizada para remover cantidades pequeñas de material en las caras de empuje, dos gages palpadores informan a la máquina la cantidad de material que se tiene que remover, primero de la cara izquierda y después sobre la cara derecha. El problema que se detecta en esta operación es que el gage de la máquina en algunas piezas no está detectando material para remover y realizar el rectificado de las caras de empuje, dichas piezas no pueden

avanzar a la siguiente operación y se consideran SCRAP ya que no se pueden retrabajar.

A nivel empresa, Seis Sigma es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad y en la satisfacción de los clientes. La meta de Seis Sigma es lograr procesos en los cuales se generen como máximo 3.4 defectos por millón de oportunidades de error [1].

En 1987, Seis Sigma fue introducido por primera vez en Motorola por un equipo de directivos encabezados por Bob Galvin, presidente de la compañía con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos, desde entonces Seis Sigma ha sido adoptada, enriquecida y generalizada por un gran número de compañías [2],[4].

Seis sigma es la aplicación del método científico para el diseño y operación del sistema de administración que permite a los empleados ofrecer productos de gran valor. Las herramientas de seis sigma se aplican dentro de un modelo de mejora conocido como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y es utilizado cuando los objetivos de los proyectos pueden ser llevados a cabo mejorando los productos y procesos existentes [7]. En la fase de Definir se delimita y se sientan las bases para el éxito del proyecto, por ello al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en el equipo. Todo lo anterior se resumirá en la carta del proyecto. En la etapa de Medir se valida el sistema de medición para garantizar que la respuesta pueda medirse en forma consistente. La fase de Analizar identifica las maneras para eliminar la brecha entre el comportamiento actual del sistema o proceso y el objetivo deseado. Utiliza el análisis descriptivo de los datos y herramientas estadísticas para guiar dicho análisis. Mejorar el sistema, encontrar nuevas maneras para hacer las actividades mejores, más baratas y rápidas. Utiliza métodos estadísticos para validar la mejora. La última etapa que es Controlar puede utilizar la estandarización tal como el ISO 9000 para asegurar que la documentación es correcta. Monitorea la estabilidad del nuevo sistema a través de herramientas estadísticas tales como los gráficos de control [2].

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave de Seis Sigma, por lo tanto es necesario conocer las causas de variación. El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6M's (Maquinaria, Mano de Obra, Método, Medición, Materiales y Medio ambiente), por lo que si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, la razón se encuentra en una o más de las 6M's [1], [3], [7].

El objetivo de este trabajo es disminuir la variación del proceso en la operación #50 identificando la causa raíz de los rechazos para reducir el scrap o desperdicio en un 50% e incrementar el índice del desempeño real del proceso (Ppk) de la Operación #50.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

El desarrollo de esta investigación se efectuó en la planta Ford Motor Company S.A. de C.V. de Chihuahua, y la selección del proyecto está en base a los datos que se obtienen por área de la empresa, en donde se observó un alto desperdicio en el proceso de cigüeñal diésel específicamente en dos modelos de motor, 4.4 L (Lion) y 6.7 L (Scorpion). Dentro de esa área se realiza un diagrama de Pareto para poder observar los principales contribuyentes del desperdicio o scrap. La Figura 1 muestra que los tres principales contribuyentes del desperdicio son proceso, herramientas y retrabajos.

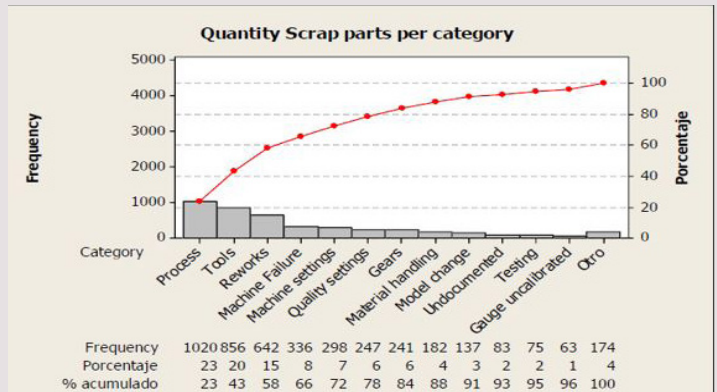


Figura 1. Diagrama de Pareto del área de cigüeñal

Se realiza otro diagrama de Pareto de la categoría de procesos. Ver Ffgura 2.

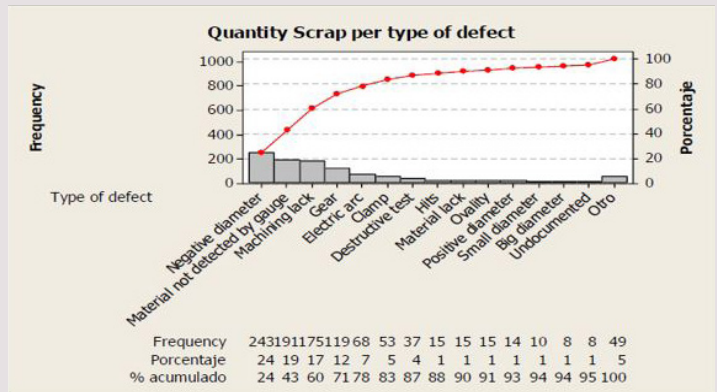


Figura 2. Diagrama de Pareto del proceso.

Con este diagrama se concluye que los diámetros negativos, material a remover no detectado por gage y falta de maquinado son los principales contribuyentes al scrap dentro de los procesos. En el caso de los diámetros negativos la empresa ha emprendido proyectos de mejora, por esta razón se decide tomar al segundo contribuyente el cual se localiza en la operación #140 en donde se realiza el rectificando de las caras de empuje en el principal #5. En base a esta información se puede realizar la Carta del proyecto (Tabla 1) que es la etapa final de la fase de definir, dicha carta contiene el nombre del proyecto,

fecha de inicio y terminación, enunciado del problema, alcance del proyecto, el objetivo SMART (específico, medible, alcanzable, relevante para la empresa y con un tiempo definido), el métrico, la voz del cliente y los miembros del equipo.

Tabla 1. Carta del proyecto

PROJECT CHARTER	
<b>Nombre del proyecto:</b>	Reducción de Scrap por falta de maquinado en rectificando de caras de empuje de cigüeñal
<b>Fecha de Inicio:</b> 06 de octubre de 2014	<b>Fecha de terminación:</b> 15 de enero de 2015
<b>Selección del proyecto:</b> En el área de maquinado de cigüeñal diésel se están presentando altos índices de Scrap provocado por el proceso, retrabajos, herramientas, fallos y ajustes en máquinas, entre otros. Se requiere emprender acciones para disminuir la cantidad de Scrap empezando a atacar a los mayores contribuyentes ya que esto está impactando tanto el aspecto financiero como en la capacidad de producción para satisfacer la demanda del área de ensamble.	
<b>Enunciado del problema:</b> En la operación #140 "Rectificado de las caras de empuje", se ha estado presentando que el gage de la máquina no está detectando material para remover y rectificar las caras de empuje del principal #5. El número de partes afectadas en el periodo de enero - agosto de 2014 ha sido de 191 unidades, lo cual tiene un gran impacto en pérdidas monetarias y en volumen de producción.	
<b>Alcance del proyecto:</b> El proyecto cubrirá las operaciones #50 "Torneado de principales y creación de undercuts" y la operación #140 "Rectificado de caras de empuje del principal #5", esta última es la operación donde se está presentando el problema.	
<b>Declaración del objetivo:</b> Reducir en un 50% el porcentaje de piezas que son rechazadas de la Operación #140 por falta de material para remover, disminuyendo la variación del proceso en la Operación #50 "Torneado de los principales y creación de los undercuts" aumentando el índice Ppk para producir piezas dentro de especificación.	
<b>Métrico primario:</b> PPMs (Partes por millón de oportunidades)	
<b>Caso del negocio:</b> Ford busca producir motores de la más alta calidad que satisfagan las necesidades del cliente al más bajo costo posible, buscando la mejora continua en sus procesos.	
<b>Voz del cliente:</b> El cliente es el área de ensamble de cigüeñal 4.4 y 6.7 litros. El área de ensamble requiere un producto que cumpla con las especificaciones establecidas en los planes de control, con características dentro de especificación de acuerdo a valores nominales y tolerancias mencionados en el plan de control. En el caso de la característica ancho entre caras de empuje, ensamble requiere que esta distancia este dentro de especificación ya que posteriormente se adhieren componentes en el principal #5.	

**MEDIR**

En la carta del proyecto (Tabla 1) se puede observar que el objetivo es reducir en un 50% el porcentaje de piezas que son rechazadas en la operación #140 por la falta de material para remover, disminuyendo la variación del proceso en la operación #50, aumentando el índice Ppk para producir piezas dentro de especificación, teniendo como métrico las partes por millón defectuosas (PPM's). Después de tener la carta del proyecto se comienza con la fase de medir realizando un análisis del sistema de medición con un estudio corto de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) sobre la característica ancho del principal #5 de Cigüeñal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Estudio R&R Método corto Gage OP #50

ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL INSTRUMENTO (MÉTODO CORTO)											
Rene Breach								Fecha: 10/20/2014			
Persona responsable								Estudio: # 1			
								Departamento: Cigüeñal			
								Tipo de gage: Snap			
Nombre del equipo de medición: Snap											
Función: Medición de ancho del principal # 5 de Cigüeñal											
Especificaciones del producto				Límite inferior		Límite superior de especificación					
Nominal: 30.943				(Ei): 30.843		(ES): 31.043 (ES - Ei) 0.2					
Número de partes	Técnico #1	Técnico #2	Técnico #3	Vmax	Vmin	Rango	Valores de la constante K				
							Número de partes		# de operadores		
							2	3	4	5	
1	30.984	30.989	30.989	30.989	30.984	0.005	3.65	2.70	2.30	2.08	
2	30.988	30.986	30.987	30.988	30.986	0.002	2	4.02	2.85	2.40	2.15
3	30.993	30.993	30.991	30.993	30.991	0.002	3	4.19	2.91	2.43	2.16
4	30.986	30.987	30.985	30.987	30.985	0.002	4	4.26	2.94	2.44	2.17
5	30.983	30.982	30.984	30.984	30.982	0.002	5	4.33	2.96	2.45	2.18
6	30.985	30.987	30.984	30.987	30.984	0.003	6	4.36	2.98	2.46	2.19
7	30.989	30.991	30.985	30.991	30.985	0.006	7	4.40	2.98	2.46	2.19
8	30.982	30.983	30.983	30.983	30.982	0.001	8	4.40	2.99	2.48	2.19
9	30.995	30.993	30.993	30.995	30.993	0.002	9	4.44	2.99	2.48	2.20
10	30.981	30.979	30.981	30.981	30.979	0.002	10	4.44	2.99	2.48	2.20
Total de rangos:							0.027				
Promedio de rangos:							0.0027				
Error de medición = $k_2 \cdot R$											
EM = 0.008073											
$\sigma$ R&R = 0.0016											
EM como % de tolerancia:											
P/T = (EM * 100) / (ES - Ei)											
P/T = 4.04%											

Se pretende evaluar de manera rápida la variabilidad del sistema de medición por lo que se seleccionaron 10 partes y tres técnicos, los cuales midieron una vez el ancho del principal #5 en los diez cigüeñales con el tipo de gage llamado Snap. Se observó una precisión respecto a la tolerancia (P/T) de 4.04% que acorde a los criterios de aceptación la clasifica como un sistema de medición excelente. Es importante mencionar que el índice P/T expresa en porcentaje la comparación entre el error de medición y la variabilidad permitida que es la tolerancia, para la característica que se está midiendo. Este estudio determina que el instrumento de medición está proporcionando lecturas confiables. Se procede a recopilar las mediciones de la operación #50 para el ancho principal #5 para los dos tipos de modelo en estudio en sus diferentes líneas. Las Figuras 3, 4 y 5 son los histogramas dichas mediciones.

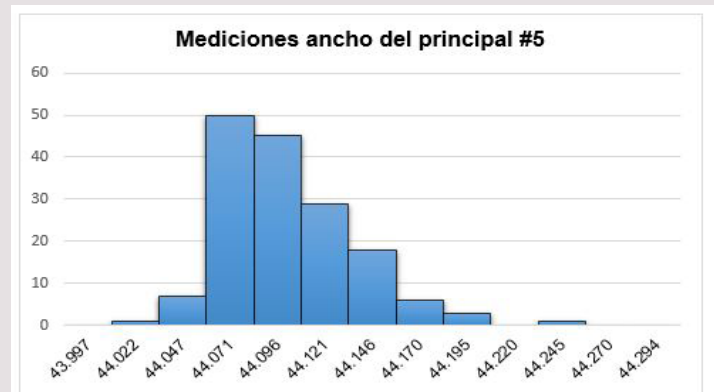


Figura 3. Histograma OP 50 A 4.4 L.

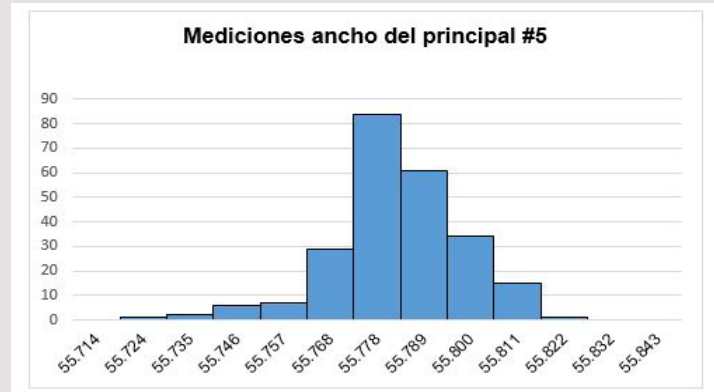


Figura 4. Histograma OP 50 B 6.7 L.

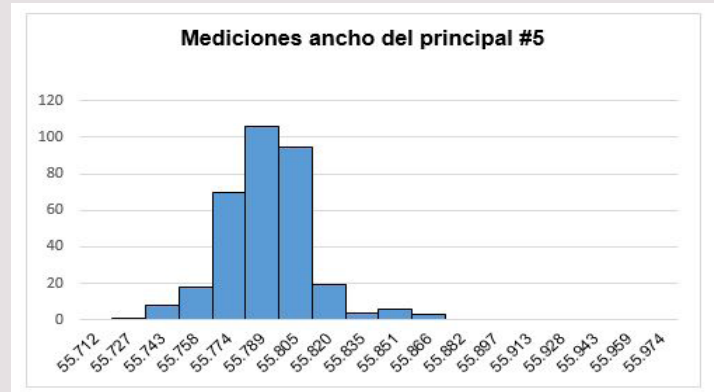


Figura 5. Histograma OP 50 C 6.7 L.

El número de lecturas para el primer proceso es de 160, para la operación 50 B 6.7 L es de 240 y para la operación 50 C 6.7 L es de 330. Estos tamaños de muestra son adecuados para observar la distribución de las frecuencias de la característica que se midió y aparentan no tener una distribución normal debido al sesgo que se presenta en cada una de ellas. Por este motivo se procede a realizar pruebas de normalidad para cada uno de los procesos por medio de la prueba de Kolmogorov Smirnov como se muestra en las figuras 6, 7 y 8.

Para este estudio se utilizó el software estadístico Minitab en donde muestra en los tres casos un valor de P menor a 0.010 por lo que se concluye que la característica que se esta midiendo no sigue una distribución normal [6].

Se decidió elaborar gráficas de serie de tiempo para observar el comportamiento de las mediciones teniendo como referencia el valor nominal y los límites de especificación para la característica de calidad de importancia. En las figuras 9, 10 y 11 se muestran dichas gráficas.

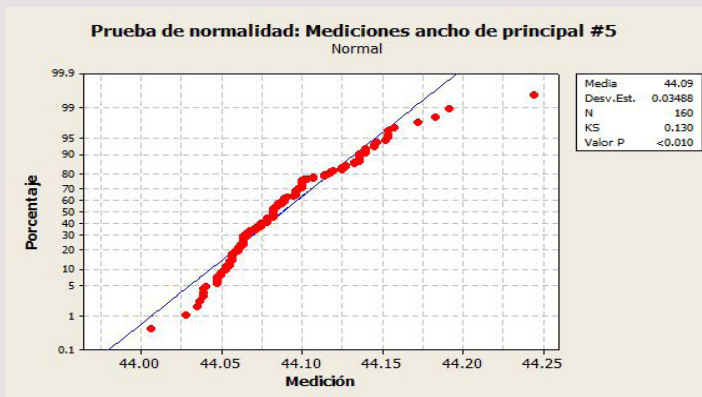


Figura 6. Prueba de Normalidad OP 50 A 4.4 L.

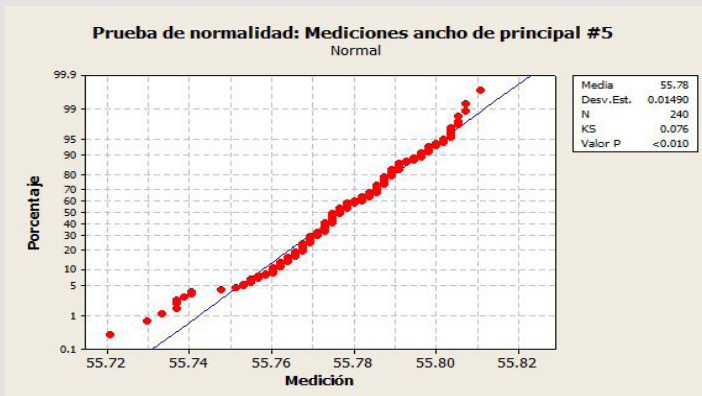


Figura 7. Prueba de Normalidad OP 50 B 6.7 L.

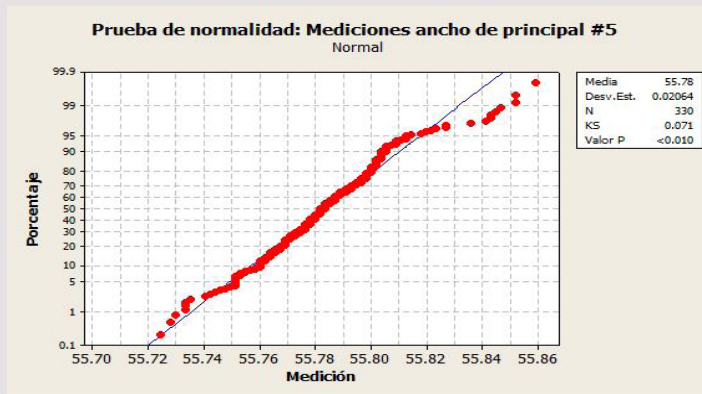


Figura 8. Prueba de Normalidad OP 50 C 6.7 L.

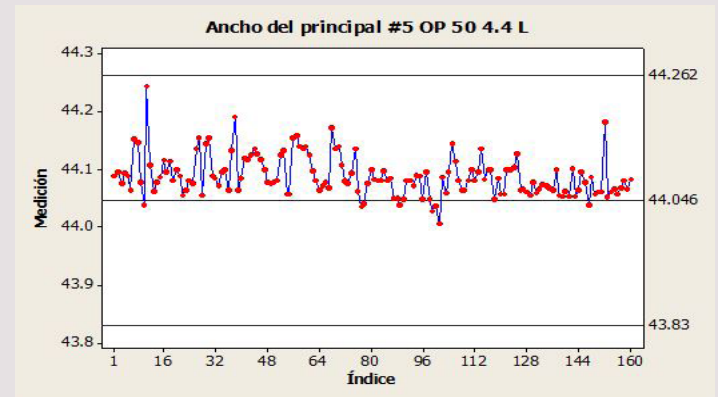


Figura 9. Gráfica Series de tiempo OP 50 A 4.4 L.

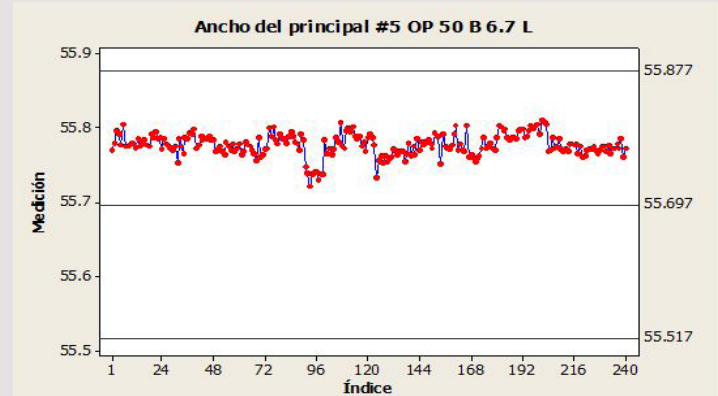


Figura 10. Gráfica Series de tiempo OP 50 B 6.6L.

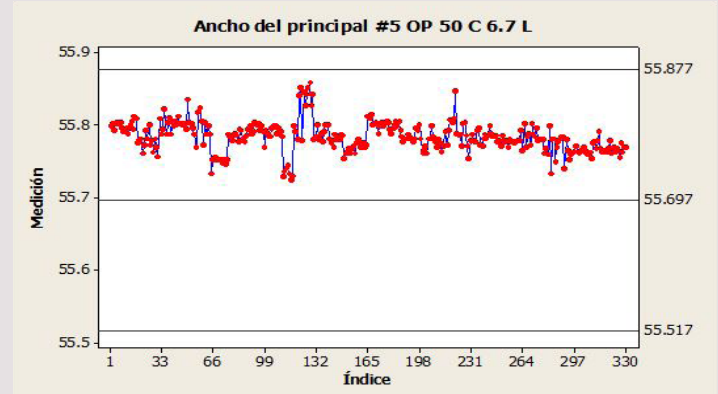


Figura 11. Gráfica Series de tiempo OP 50 C 6.6L

El ancho principal #5 en la operación #50 en los diferentes modelos se encuentran por arriba del valor nominal, lo que significa que se está removiendo más material en esta operación. Es necesario conocer la capacidad que tienen estos procesos y debido a que no siguen una distribución normal se tienen dos opciones para el estudio: normalizar los datos o identificar el tipo de distribución de los mismos para utilizar esa distribución en el cálculo de capacidad. Al tratar de normalizar los datos no se encontró un algoritmo que permita realizar esta acción por lo que se procede a utilizar el programa "Stat Fit" que está contenido en el software ProModel para identificar el tipo de distribución a la cual se ajustan los datos. En la Figura 12 se muestra el ajuste de una de las operaciones #50.

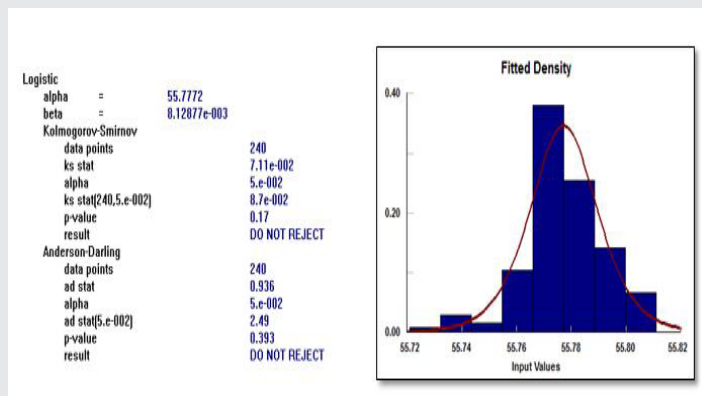


Figura 12. Tipo de distribución OP 50 C 6.7 L.

La distribución de los datos de la operación # 50 A 4.4 L se ajustan a una distribución Log Logística y las mediciones de las operaciones # 50 B y C se ajustan a una distribución logística. De acuerdo a este estudio se pueden utilizar dichas distribuciones para calcular la capacidad del proceso de cada tipo de operación A, B y C. De nuevo se utiliza el software estadístico Minitab para el cálculo del índice del desempeño del proceso. La Ec(1) se utiliza para obtener el índice del desempeño, su numerador expresa la tolerancia permitida y el denominador es la variación natural del proceso a  $\pm 3\sigma$ .

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad Ec (1)$$

Este índice del desempeño del proceso es llamado también índice de capacidad a largo plazo por la forma en la que se estima su variación. La Ec(2) se utiliza para el cálculo de la desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad Ec (2)$$

El Pp ó índice de desempeño solo indica si el proceso es o no potencialmente capaz para cumplir con las especificaciones de la característica que se está midiendo, sin embargo no muestra si el proceso cumple realmente con los requerimientos del cliente. Por esta situación se calcula el índice de capacidad real (Ppk) que es el mínimo valor entre el Ppl y Ppu [3], [7].

$$Ppu = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \quad Ec (3)$$

$$Ppl = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma} \quad Ec (4)$$

Si el valor de Ppk es mayor a 1.33 se considerará que el proceso es realmente capaz.

Para la característica del ancho principal #5 en cada una de sus operaciones #50, A, B y C se realizó el estudio de capacidad utilizando el software estadístico de MINITAB indicándole en cada caso el tipo de distribución de los datos para realizar el estudio [6]. La Figura 13 muestra uno de los estudios de capacidad del ancho principal.

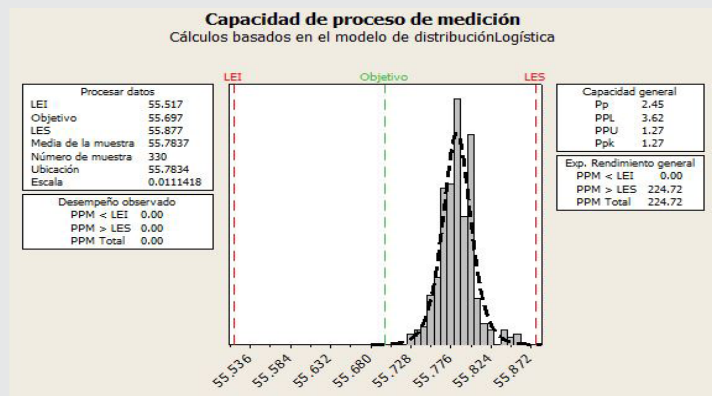


Figura 13. Estudio de capacidad OP 50 C 6.7 L.

El estudio de capacidad de la operación #50 C 6.7L muestra un Pp = 2.45, un Ppl= 3.62, un Ppu= 1,27 y por lo tanto un Ppk = 1.27. Esto indica que la variabilidad de este proceso es pequeña y es la causa de tener un índice de desempeño potencial alto, sin embargo se puede observar que el proceso está desfasado a la derecha del valor nominal y esto se ve reflejado en el valor del Ppu. Esta observación también se puede ver en las gráficas de las Figuras 9, 10 y 11, además se debe considerar que eventualmente todo proceso en el largo plazo se puede desfasar hasta 1.5 veces la desviación estándar, aumentando las partes por millón defectuosas [4]. El estudio de capacidad de las demás operaciones muestra aproximadamente el mismo comportamiento y valores de Pp y de Ppk.

### ANALIZAR

Para determinar la causa raíz se realizó un diagrama de Ishikawa considerando Método, Materiales, Mano de Obra y Máquinas:

### Análisis del Método.

El procedimiento y frecuencia de medición está definido en el DCP (Dynamic Control Plan), el cual es un plan de control que contiene la siguiente información:

Nombre de la característica de calidad que se mide, valores de especificación (nominal y tolerancias), frecuencia de medición, número de gage en base a plano, tipo de característica que se mide: si es significativa o de alto

impacto para el cliente, número de plan de reacción a seguir en caso de anomalía como: piezas fuera de especificación y fallas en máquina, entre otros, así como el número de formato para registrar las lecturas.

Para asegurar el apego al estándar y evaluar que tanto conoce el técnico su operación, los líderes de equipo y los Process Coach realizan trabajo estandarizado a los técnicos, el cual consta de 3 fases:

1.-PJO (Periodic Job Observation), esta fase la desarrolla el líder y consiste en observar como el técnico realiza su operación y verifica que lo realice de acuerdo al estándar.

2.-Deep Knowledge, la segunda fase la desarrolla el Process Coach y consiste en una serie de preguntas estandarizadas para evaluar el conocimiento profundo del técnico hacia su operación.

3.-Detección de anomalías, la tercera fase también la desarrolla el Process Coach y es para reforzar con el técnico el que hacer en caso de alguna anomalía y explicarle los planes de reacción.

Dicho lo anterior se concluye que las responsabilidades y procedimientos se encuentran definidos y no depende del criterio de una persona. Por lo que se descarta esta M como causa raíz principal.

#### **Análisis de material**

Se refiere al material para la forja del cigüeñal que llega del proveedor hacia la línea para ser maquinado. El proveedor del cigüeñal cuenta con equipos avanzados en el proceso de fabricación del cigüeñal, tecnologías de preformado, corte, prensas de formado en caliente, tratamiento térmico y metalúrgico. Las líneas en las que fabrica la forja son automatizadas, con sistemas de control numérico y el manejo de material es robotizado. Es el proveedor quien realiza la inspección en su proceso asegurando que el material llegue dentro de especificación a la línea de maquinado.

Debido a que se trata de un solo proveedor, es decir que no hay influencia de múltiples proveedores y que no ha habido cambios recientes en el material, se descarta esta M como causa raíz del problema en estudio.

#### **Análisis de Mano de obra**

Se considera al personal que interactúa con el material y equipo en el proceso de maquinado del cigüeñal. Al ser un proceso que requiere conocimiento técnico, todo el personal de producción tiene nivel técnico, están entrenados y tienen conocimiento de su operación.

Esta rama de mano de obra en el Ishikawa tiene interacción con la rama del método, en donde se mencionó acerca del trabajo estandarizado que realiza el Process Coach con el personal. Sin embargo es importante mencionar que mucho influye la habilidad, capacidad, motivación y compromiso que tenga la persona para seguir y apegarse a los

procedimientos establecidos.

Dentro de los roles y responsabilidades del técnico se encuentra:

- Constante monitoreo de la máquina.
- Orden y limpieza (5s) a la máquina.
- Mantenimiento autónomo a la máquina.
- Mantenimiento preventivo a la máquina.
- Asegurar correr dentro de especificación las características de calidad que maquina su operación.

Realizar ajustes a la máquina cuando haya: cambio de modelo, cambio de insertos de herramienta dañados y cambio de herramienta por cumplimiento de vida.

Es importante mencionar que cuando la herramienta ha llegado al límite de ciclos de vida o algún inserto ha sufrido daño, el desempeño de la máquina se verá afectado al realizar la operación y como consecuencia repercute en la calidad. Cuando sucede esto, el técnico se encarga de hacer ajustes en la máquina y llevar piezas a CMM que es un departamento con equipo de medición más especializado para asegurar que la máquina continúa funcionando con parámetros que aseguren la calidad. Además las partes que se clasifican como "no conformes" son segregadas del proceso y se realiza un procedimiento para realizar una "evaluación de riesgo" sobre el uso de la pieza.

De ahí la importancia de que el técnico siga el procedimiento de su plan de control y detección de anomalías.

No se descarta la mano de obra como potencial causa raíz debido a que el monitoreo adecuado de la máquina y la vida y desgaste de la herramienta es fundamental. Omitir algún ajuste o hacer algo incorrecto puede repercutir en la calidad del producto.

#### **Análisis de Máquina**

El problema de falta de material para rectificar las caras de empuje del cigüeñal es detectado en la operación #140, donde la máquina arroja el rechazo en pantalla como "Material no detectado para remover", en algunos casos no rectifica ninguna de las dos caras y en otros casos solo rectifica una de las caras. Es importante mencionar que el trabajo de la máquina consiste en remover pequeñas cantidades de material de las caras del principal #5, esto lo hace por medio de una herramienta abrasiva en forma de rueda en donde dos gages palpadores informan a la máquina de cuanto material se dispone para remover y hacer el rectificado.

La distancia entre caras de empuje una vez rectificadas es una característica de calidad, la cual tiene su respectiva especificación, de ahí la importancia del cálculo que hace el gage para saber cuánto remover y estar dentro de especificación. La OP # 140 está **mu**y **relacionada** con la OP # 50 "Torneado y creación de

undercuts en los principales” ya que esta operación es la que maquina y define el ancho que tendrán los principales, incluido el principal # 5.

Si lo vemos desde el concepto de cliente interno, podemos decir que la OP # 140 es cliente interno de la OP # 50, donde la primera le demanda que el ancho específicamente del principal # 5 le llegue dentro de especificación para poder hacer exitosamente su función de rectificar las caras de empuje. Si el ancho del principal # 5 sale de la OP # 50 fuera de especificación significa que ha sido removido una cantidad mayor de material y es material que está faltando al momento de que la pieza pasa por la OP # 140. Acorde al análisis de capacidad para la OP # 50 se determinó que en efecto existe un desplazamiento hacia la especificación superior y hay área de oportunidad en PPMs.

De las 4Ms analizadas en el diagrama de causa – efecto, se determina como potencial causa raíz piezas fuera de especificación para la característica de calidad “ancho del principal # 5” provenientes de la OP # 50.

**MEJORAR**

En la etapa de analizar se determina que la causa raíz del problema que se presenta en la operación #140 en el que se tienen piezas fuera de especificación en el ancho principal #5 al salir de la operación #50, es debido a que ya se había observado en la etapa de medición que la máquina es capaz de producir piezas dentro de especificación, sin embargo el ajuste con el que se está maquinando está desfasado hacia la especificación superior y está operando en promedio a 0.044 µm por arriba del valor nominal. Se propone ajustar la máquina buscando centrar el proceso y en consecuencia mejorar el índice PpK. La Figura 14 muestra el comportamiento de dicho ajuste.



Figura 15. Inserto despostillado.

Después de cambiar este inserto se toman de nuevo 30 mediciones como se muestran en la figura 16.

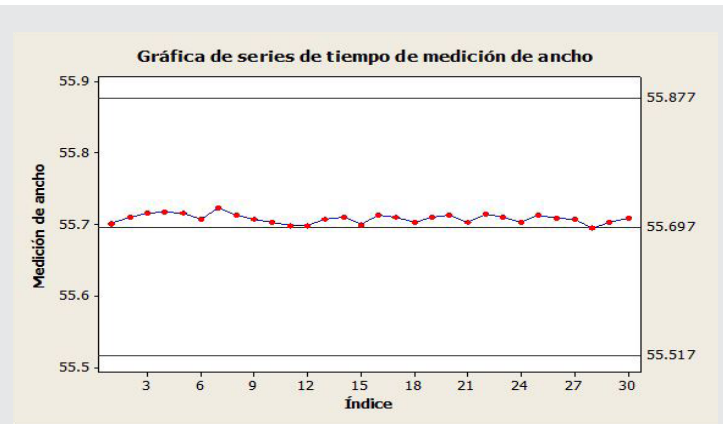


Figura 16. Seguimiento del Ancho del principal #15

**CONTROLAR**

Actualmente cada operación cuenta con un DCP (Dynamic Control Plan), este estipula el método de medición, descripción de la característica de calidad, valor nominal, tolerancias, frecuencias de inspección, métodos de detección, método de prevención y el plan de reacción a seguir en caso de presentarse una anomalía. Para llevar el plan de control se recomienda lo siguiente:

Concientizar al técnico en la importancia de apearse al plan de control y respetar la frecuencia de inspección de la característica de calidad “ancho principal #5”, al inicio de turno y una vez cada 10 piezas que provengan de dicha operación, para evitar que dichas piezas pasen a la siguiente operación fuera de especificación.

Hacer una evaluación a los técnicos sobre el conocimiento del plan de reacción para características fuera de especificación.

Revisar periódicamente la vida útil de la herramienta (información en la pantalla de la máquina) para detectar a tiempo los insertos rotos.

Llenar de manera correcta la hoja de trabajo y guardar los registros dentro de las carpetas.

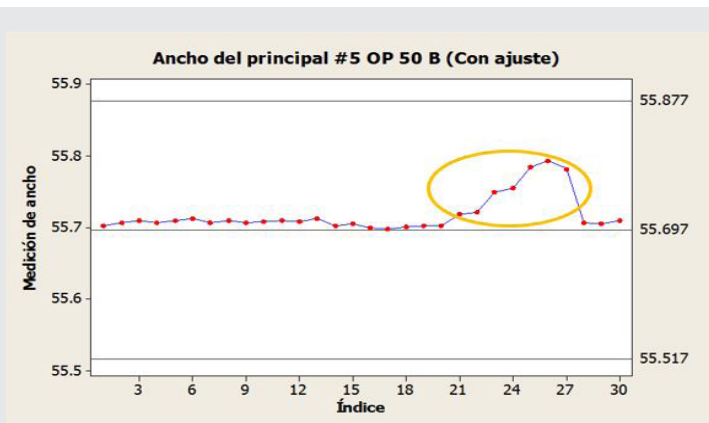


Figura 14. Ancho del principal #5 con Ajuste

Como se puede observar a partir de la pieza 21 existe un incremento en la desviación con respecto al objetivo o valor nominal, se investiga la causa con los técnicos de la máquina detectando que el inserto está despostillado como se muestra en la Figura 15.

**RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Se tomaron datos de nuevo para evaluar a la característica de calidad "Ancho principal #5" en los días posteriores al ajuste con el objeto de calcular de nuevo la capacidad del proceso. La Figura 17 muestra el comportamiento de la característica después del ajuste.

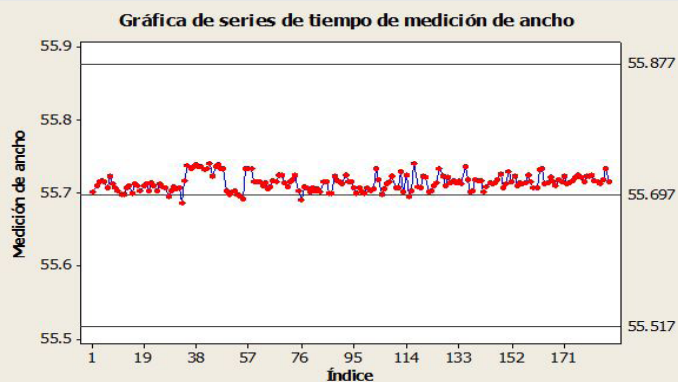


Figura 17. Ancho principal #15 después del ajuste.

Con Stat Fit de ProModel para ver comportamiento de los datos de la Figura 17 y acorde al estudio se muestra que esta distribución es lognormal en la Figura 18.

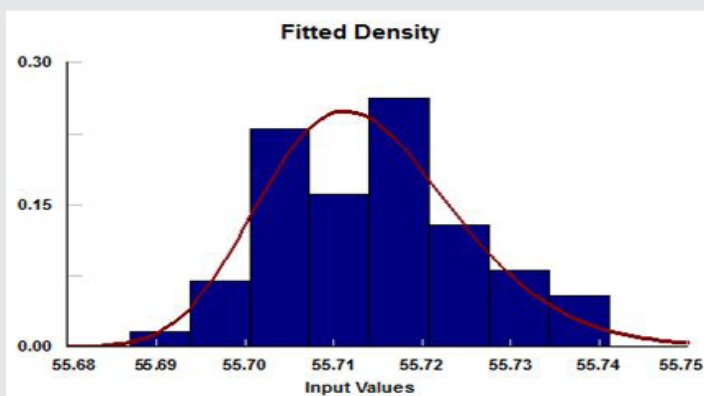


Figura 18 Ancho principal #15 después del ajuste.

El análisis de capacidad (Figura 19) del proceso muestra que ahora se tiene un Ppk de 4.88, se ve una distribución de proceso más centrada al valor objetivo/nominal. No se tiene PPMs para la especificación superior e inferior.

Este proyecto demandó gran trabajo de campo durante la etapa de medición para la recopilación de los datos, también se le dedicó bastante tiempo al análisis y observación en la identificación de las causas potenciales que estaban provocando el problema que se quería resolver.

La implementación de mejora se llevó a cabo sólo en la máquina de la Operación #50 de la línea de 6.7 litros, en la cual se realizó un ajuste para centrar el proceso, logrando los siguientes resultados:

- Mejora de los índices de capacidad a largo plazo.
- Eliminación del desplazamiento y variabilidad.
- Mejora considerablemente del métrico de partes por millón de oportunidades fuera de especificación.
- Cero desperdicio.

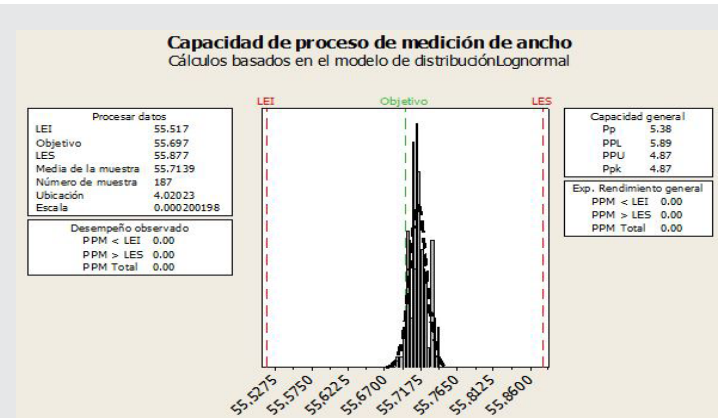


Figura 19 Análisis de capacidad del proceso después del ajuste OP # 50 B 6.7L

Se podría también hacer el ajuste a la máquina de la línea flexible, con la evidencia de que las mejoras que se logran en el proceso son considerables en la implementación en la línea de 6.7 litros. El análisis para realizar el ajuste en la línea flexible ya se llevó a cabo en la etapa de medición, solo queda dar seguimiento y pedir la autorización a las personas responsables de la línea como son: Team Manager, Senior Process Coach e Ing. Manufactura para realizar también los ajustes correspondientes en la máquina de la línea flexible. Cabe mencionar que los datos que se muestran en esta investigación fueron codificados para la confidencialidad de la empresa.

**BIBLIOGRAFÍA:**

- [1] Breyfogle, Forrest W. *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods/ Forrest W. Breyfogle, III. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003*
- [2] Harry, Mikel Ph.D. Schroeder Richard: *Six Sigma the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. Doubleday, 2000*
- [3] Kubiak, T.M: *The certified six sigma black belt handbook/ T.M. Kubiak, Donald W. Benbow. Milwaukee, Wis. ASQ Quality Press, 2009.*
- [4] Pande, Peter S. Neuman Robert P. Cavanagh Roland R. *Las claves prácticas de Seis Sigma/traducción Juan Manuel Caro. Madrid: Mc Graw Hill, 2004.*
- [5] Pande, Peter S. *¿Qué es Seis Sigma? / Peter Pande, Larry Holpp/ traducción Enrique Barba. Madrid: Mc Graw Hill, 2007*
- [6] Pochampally, Kishore K. Gupta, Surendram. *Six Sigma case studies with Minitab. CRC Press Taylor & Francis Group 2014*
- [7] Pyzdek, Thomas. *The Six Sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels / Thomas Pyzdek, Paul A. Keller. New York: Mc Graw-Hill, 2010*