

## REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

# ***“Implementación de la metodología de Six Sigma para la reducción de costos de lubricantes para el conformado del tubos”***

**Autor: ANA CECILIA VIDALES ÁLVAREZ**

Tesis presentada para obtener el título de:  
**INGENIERO INDUSTRIAL EN PROCESOS Y SERVICIOS**

Nombre del asesor:  
**MDTI Erandi Yuritzí Velarde Cervantes**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS Y  
SERVICIOS**

“Implementación de la metodología de Six Sigma para la reducción de  
costos de lubricante para el conformado de tubos”

**TESIS**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL EN PROCESOS Y SERVICIOS**

**PRESENTA**

**ANA CECILIA VIDALES ÁLVAREZ**

**ASESOR**

**MGTI. Erandi Yuritzi Velarde Cervantes**

ACUERDO: 16PSU0050V

CLAVE: LIC100412 26/ABRIL/2010

MORELIA, MICHOACÁN

Julio, 2018

*Dedicada a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida y quienes me enseñaron que con esfuerzo y perseverancia se logran tus metas, y a mi esposo Luis por contar con su apoyo incondicional en cada decisión y paso de mi vida.*

## **Agradecimientos**

**A Dios** por permitirme llegar hasta donde estoy, porque sin su misericordia y amor no sería quien soy.

**A mis padres** por su apoyo incondicional, por su esfuerzo y sacrificios para ayudarme a llegar a donde estoy ahora y alentarme día a día a seguir creciendo.

**A mis hermanos** por apoyarme en este camino y alentarme siempre.

**A mi esposo** por su amor, apoyo incondicional, por compartir mis éxitos y fracasos.

**A mi asesora de tesis** por su disposición y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

**Al Ing. Miguel Eduardo**, por compartir sus conocimientos, experiencias, por su disposición de enseñarme y apoyarme en el desarrollo.



## **Resumen**

En el presente trabajo de graduación utilizamos la implementación de la metodología de Six Sigma y el uso de las herramientas de la misma. La metodología Six Sigma es aplicable en diferentes ramas de la industria; sin embargo este proyecto está basado específicamente en *Eaton Powering Business Worldwide*. Este inicia con la historia de Six Sigma, metodología y herramientas que se desarrollan. Seguido de esto, se presenta el marco teórico, el cual incluye la definición de dicha metodología así como las etapas de la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, implementar y controlar). De igual manera se describe la historia de la empresa *Eaton Powering Business Worldwide* planta Querétaro, seguido del desarrollo de la investigación en donde dicha metodología se utiliza para la reducción de costos de lubricante y errores en el conformado de tubos de acero y aluminio, el problema es que actualmente en las líneas de conformado E-70 y conformado VW se utiliza el cindol como lubricante para llevar a cabo el proceso, anteriormente en los conformados de Autoliv se ocupaba como lubricante el Metsol para el mismo proceso, se quedaron almacenados 1,026 litros de metsol en la planta de Eaton Querétaro. El objetivo principal de dicha experimentación es verificar que al utilizar el lubricante metsol no se vean afectadas las características del conformado de los tubos de acero y aluminio, la metodología que será utilizada es Six Sigma, el estudio se realizara en el área de conformado de los tubos, como resultado se pretende obtener un ahorro de costos y utilizar el lubricante metsol para dichos procesos sin afectar las características y requerimientos principales de dichos materiales.

Para finalizar se presentan las conclusiones y resultados de la investigación Six Sigma.

## **Abstrac**

In the present graduation work we used the implementation of the six sigma methodology and the use of the same tools. The six sigma methodology is applicable in different branches of the industry; however, it is based on Eaton Powering Business Worldwide. This begins with the history of Six Sigma, methodology and tools that are developed. Following this, the theoretical framework is presented, which includes the definition of this methodology as well as the stages of the DMAIC methodology (define, measure, analyze, implement and control). In the same way the history of the company Eaton Queretaro's described, followed by the development of the research where this methodology is used for the reduction of lubricant costs and errors in the conforming of steel and aluminum tubes. The problem is that currently in the lines of conformed E-70 and formed VW, cindol is used as a lubricant to carry out the process. Previously in the conformation of Autoliv, Metsol was occupied as a lubricant for the same process; 1026 liters of metsol were stored at the Eaton Queretaro plant. The main objective of this experimentation is to verify that when using the metsol lubricant the characteristics of the steel and aluminum tubes are not affected. The methodology that will be used is Six sigma. The study will be used in the area of the conformation of tubes, as a result it is intended to obtain cost savings and use the metsol lubricant for this processes without affecting the characteristics and main requirements of these materials.

Finally, the conclusions and results of the Six Sigma research are presented.

# Índice

Índice .....	i
Introducción .....	i
Antecedentes .....	ii
Planteamiento del problema .....	iv
Objetivo general .....	iv
Objetivos particulares.....	iv
Justificación.....	v
Hipótesis.....	vi
Capítulo 1 Lean Six Sigma.....	1
1.1. Six Sigma.....	1
1.1.1. Historia de Six Sigma.....	1
1.1.2. Definición de Six Sigma.....	2
1.1.3 Beneficios de Six Sigma .....	5
1.2 Lean.....	5
1.3 Lean Six Sigma .....	6
1.3.1 Beneficios de usar Lean Six Sigma.....	8
1.3.2 Infraestructura de Lean Six Sigma.....	8
1.3.3 Metodología de Lean Six Sigma .....	10
1.3.4 DMAIC.....	10
1.4 Herramientas de Calidad .....	14
1.4.1. Diagrama de Pareto .....	15
1.4.2. Diagrama de Ishikawa.....	16
1.4.3. Histograma .....	17
1.4.4 Diagrama de dispersión.....	18

1.4.5 Hoja de verificación .....	18
1.4.6 Estratificación.....	18
1.4.7 Diagrama de control .....	20
1.5 Herramientas estadísticas .....	21
1.5.1 Estudio de correlación .....	21
1.5.2 Estudio R&R .....	24
1.5.3 Estudio de linealidad y Bias .....	25
1.5.4 Six Pack análisis.....	26
1.5.5 Bloxplot.....	27
1.5.6 One-Way Anova.....	28
Capítulo 2 Eaton.....	30
2.1. Información general de Eaton .....	30
2.1.1. Historia .....	30
2.1.2. Misión.....	31
2.1.3 Visión .....	31
2.1.4 Ética.....	31
2.1.5 Valores .....	32
2.1.6 Filosofía.....	32
2.1.7 Política de calidad .....	33
2.1.8 Sostenibilidad.....	33
2.1.9 Mercados Eaton.....	34
2.2. Estructura organizacional.....	35
2.2.1. Organigrama gerencial .....	36
2.2.2. Recursos Humanos .....	37
2.2.3 Departamento de finanzas .....	38

2.2.4 Organigrama de proyectos .....	39
2.2.5 Calidad .....	39
2.2.6 Departamento de Continuous Improvement .....	40
2.2.7 Departamento de Materiales.....	41
2.2.8 Departamento de operaciones .....	42
2.2.9 EHS Departamento.....	43
Capítulo 3. Situación actual .....	44
3.1. Almacenamiento.....	44
3.3 Necesidad de la mejora continua .....	47
3.4 Identificación del área de mejora.....	47
3.5 Diagrama de flujo .....	47
Capítulo 4. Metodología.....	49
4.1. Definir .....	49
4.1.1 Mapa del Proceso del pensamiento .....	49
4.1.2 Actividades.....	50
Fuente:Eaton.....	50
4.2. Medir .....	51
4.2.1 Demanda.....	51
4.2.2 Estudio de correlación .....	52
4.2.3 Estudio de R&R .....	53
4.2.4 Estudio de Linealidad y Bias.....	53
4.3. Analizar .....	54
4.3.1 Tubo de aluminio .....	54
4.3.2 Tubo de Acero .....	57
4.2 Mejorar .....	60

4.3 Controlar.....	60
Capítulo 5. Resultados.....	62
5.1. Estudio de correlación.....	62
5.2. Estudio de R&R .....	63
5.3. Estudio de linealidad y Bias .....	64
5.3.1 Tubo de aluminio .....	66
5.3.2Tubo de Acero.....	69
5.3.3 Mantenimiento productivo total (TPM).....	77
5.3.3 Análisis económico .....	80
Conclusiones .....	81
Referencias .....	82
Índice de figuras .....	85

## **Introducción**

Seis Sigma es un sistema de medición basado en la medida estadística conocida como desviación estándar. El concepto de Seis Sigma se extiende más allá de la estadística. Es una metodología que utiliza un conjunto de herramientas para alcanzar metas agresivas con el fin de reducir la variación en los procesos, mejorar la satisfacción del cliente, generar crecimiento de negocio mejorar la rentabilidad, etc. (IngenieriaIndustrial, 2015)

Seis Sigma está adquiriendo mucha importancia en el ámbito de los negocios. En Estados Unidos de América es utilizada desde los años 80's y a pesar de que actualmente es conocida principalmente en países muy desarrollados, los resultados que muchas empresas han alcanzado han sido tales que muchas organizaciones quieren saber que es "Seis Sigma" y como pueden implementarlo y aplicarlo a su organización para que sobreviva la competencia agresiva que ha traído consigo la globalización. (Gestiopolis)

En el capítulo 3 se menciona la situación actual de la empresa, dicho trabajo de graduación lo desarrollamos en base a la empresa Eaton Querétaro, quien por estar comprometida con sus clientes, se ve en la necesidad de encontrar un método de implementación de la metodología Six Sigma para utilizar productos almacenados desde 4 años atrás en los procesos de conformado de los tubos, sin afectar las especificaciones exigidas por los clientes.

En el capítulo 4 desarrollamos métodos y análisis para la utilización de lubricantes Cindol sin afectar las características principales del producto que son tubos de acero y aluminio sometidos a procesos de conformado, satisfaciendo las necesidad que exige cada cliente.

## **Antecedentes**

En noviembre del 2004 se hizo una investigación en la universidad Don Bosco titulada PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA SEIS SIGMA A LAS EMPRESAS CERTIFICADAS CON ISO 9000 Y ORIENTADAS AL PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS, para obtener el título de ingeniero industrial, la investigación que se hizo en la empresa dejó en evidencia de la existencia de problemas que generan desperdicios, tiempos muertos, problemas en moldes, falta de accesorios, desgaste de accesorios en cada uno de los procesos, determinando como la causa raíz las especificadas en la herramienta del AMEF . Al verificar los resultados de la mejora a largo plazo, se obtiene un panorama de disminución de costos por unidades que antes eran desperdicio convirtiéndose en piezas buenas, que en comparación con los costos de capacitación estos son menores. La evaluación del costo beneficio indicó que la metodología es aceptada para la implementación de mejora continua de los procesos de producción de la empresa. (Portillo Echegoyen, 2004)

Otro estudio realizado en el 2005 en el instituto politécnico nacional titulada FILOSOFIA SEIS SIGMA UNA METODOLOGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PRODUCTOS Y SERVICIOS EN EL SECTOR PRODUCTIVO para obtener el título de Ingeniero en robótica industrial, llegó a la conclusión de que la calidad en los productos manufacturados por una empresa es esencial para la satisfacción de nuestro mercado, así mismo consideran que la filosofía seis sigma es una herramienta muy poderosa para tener el control saber dónde te encuentras parado y así mismo como ser los mejores ante los competidores. Aplicar esta metodología es un beneficio para los costos de la empresa, ya que saber manejar esta metodología será una ventaja para los ingenieros en robótica para así saber cómo automatizar los procesos de fabricación de la empresa. (Vazquez Cervantes, 2005)

En Mayo del 2006 se presentó un trabajo de investigación con el título de MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE SEIS SIGMA EN BASE A UNA INDUSTRIA DE ACERO para obtener el título de ingeniero industrial en la Universidad de San Carlos, con este estudio se buscaba la mejora continua de los procesos, la metodología seis sigma está diseñada con ese fin, por medio de la aplicación de esta metodología se obtuvo un mejor

conocimiento de los procesos de la organización, se incrementó la satisfacción de los clientes así como se encontraron costos ocultos y fallas de calidad en el proceso de fabricación del hacer. Como resultado de la investigación se obtuvo una reducción del 99% en los costos de materia prima y fabricación. (Avila Calvillo, 2006)

En 2009 en la Universidad de las Américas se llevó a cabo una investigación para obtener el título de Ingeniero de producción industrial con el título de PLAN DE MEJORA EN EL PROCESO DE PREPARACIÓN DE CONSERVAS EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA APLICANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA, en donde uno de los procesos es el envasado de aceitunas, el problema es que al llevarse a cabo dicho proceso, existe un gran desperdicio de aceitunas, se usó esta metodología para la reducción de desperdicios en donde después de los estudios e investigación se implementaron las mejoras propuestas que lograron el objetivo de esta tesis. (Vacas, 2009)

Otra investigación de la metodología de six sigma fue realizada en el 2010 en la Universidad Nacional Autónoma de México con el título de DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE VENTAS DE UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA BASADO EN LA METODOLOGÍA SIX SIGMA para obtener el título de Ingeniero industrial e Ingeniero electricista en donde la problemática fue para la empresa, el año anterior a la investigación no cumplió con sus objetivos, además de bajar varios lugares en el mercado de la industria farmacéutica, en donde se propuso realizar un diagnóstico a dicho departamento basado en la metodología de six sigma, se pudieron aplicar cada una de las etapas de la metodología para buscar una solución a la problemática de ventas de la empresa farmacéutica en donde se propuso la implementación de varias mejoras que podrían optimizar los resultados en el objetivo de ventas y del proceso mismo. (Castro Rodríguez, 2010)

## **Planteamiento del problema**

¿Es factible utilizar el lubricante Metsol para el proceso de conformado E-70 y conformado VW obteniendo el mismo nivel de calidad?

- Actualmente en las líneas de conformado E-70 y conformado VW se utiliza el cindol como lubricante al momento de hacer el conformado del tubo.
- La demanda promedio del cindol es de 120 litros x mes con un costo de \$ 82.40s por litro.
- Anteriormente en los conformados de Autoliv se ocupaba como lubricante el Metsol para el mismo proceso, debido a que ya no existe negocio con Autoliv se quedaron almacenados 1,026 litros de metsol.

## **Objetivo general**

Con la ayuda de la metodología Six Sigma verificar la posibilidad de utilizar el lubricante metsol para la conformación de tubos de aluminio y acero con el lubricante cindol sin que se vea alteradas la calidad y las características del producto final.

## **Objetivos particulares**

- Utilizar los lubricantes metsol en stock para evitar pérdidas de la empresa
- Cuantificar los datos obtenidos de las observaciones y generar indicadores que me ayuden al resultado del estudio al finalizar la experimentación.
- Determinar mediante estudios si las características del formado de los tubos son alteradas durante los procesos.
- Generar un ahorro en el costo del consumo del lubricante.

## **Justificación**

Actualmente en las líneas de conformado E-70 y conformado VW se utiliza el cindol como lubricante al momento de hacer el conformado del tubo. La demanda promedio del cindol es de 120 litros x mes con un costo de \$ 82.40 pesos por litro.

Anteriormente en los conformados de Autoliv se ocupaba como lubricante el Metsol para el mismo proceso, debido a que ya no existe negociación alguna con Autoliv se quedaron almacenados 1,026 litros de metsol.

Elegimos Six Sigma como tema de tesis porque es una metodología de gran ayuda para mejorar los procesos de las empresas y de igual manera la reducción de errores de los procesos, la calidad y la mejora es un tema relevante en las empresas, y esta metodología contribuye mantenerlas o de igual manera estar en constante mejora, muchas empresas aun no lo llevan a cabo six sigma ya que algunas consideran que no existe como tal una estandarización, ya que depende de la necesidad de implantación de cada empresa, es por ello que este estudio para mí es muy interesante al implementar una metodología en una gran empresa que ayude a optimizar sus recursos sin movimiento o uso sin perder la calidad y características esenciales de calidad en sus productos.

La planta *Eaton* será la empresa beneficiada al realizar este estudio ya que será en la misma en donde se realizarán pruebas para reducir los errores y la posibilidad de utilizar un lubricante almacenado en el formado de los tubos, tendrá un alcance explicativo, ya que el estudio está dirigido a la experimentación de los lubricantes.

Este estudio ayudará a resolver la problemática de lubricantes almacenados en la planta, si es factible utilizarlos y no alterará las características de los tubos, esta investigación será factible ya que existe la información necesaria y la posibilidad de recolectar los datos necesarios para llegar a la conclusión del estudio, dicho estudio no puede ser aplicado en otras empresas, ya que esta planta requiere satisfacer necesidades específicas en la producción.

## **Hipótesis**

Hipótesis.

El lubricante Metsol puede reemplazar al lubricante Cindol sin afectar los estándares de calidad y las características del producto final.

Hipótesis Nula

El lubricante Metsol no puede reemplazar al lubricante Cindol sin afectar los estándares de calidad y las características del producto final.

# Capítulo 1 Lean Six Sigma

En este capítulo se describirá la fusión que existe entre la metodología six sigma con lean manufacturing y el proceso que se lleva a cabo para implementar esta metodología en la mejora de los procesos de una organización.

## 1.1. Six Sigma

Six Sigma es una metodología diseñada para mejorar procesos, la cual centra tu atención en la reducción de la variabilidad de los mimos, con lo cual se logran reducir o eliminar los defectos o fallos en la elaboración de un producto o servicio.

### 1.1.1. Historia de Six Sigma

La metodología Six Sigma fue desarrollada en los años 80's por la empresa Motorola, Posteriormente, en 1991, se implanta la metodología Six Sigma en AlliedSignal. A esta implantación le siguen numerosas iniciativas, como la de Texas Instruments, si bien no es hasta que Jack Welch implanta la metodología en General Electric, cuando se consiguen resultados impactantes y se difunde a nivel internacional la potencia del enfoque Six Sigma.

Durante la década de los 90, numerosas empresas han introducido esta novedosa pero a la vez experimentada técnica dentro de sus organizaciones tales como Bombardier, Siebe, Sony, Polaroid corporation, Toshiba, entre muchas más; en España está siendo aplicada por importantes empresas como por ejemplo Sony, Ford, Ericsson, ENUSA, General Electric.

El objetivo de Six Sigma se centra en la consecución de defectos por millón de oportunidades no superior a los 3,4 defectos por millón, entendiéndose por defecto todo aquel elemento del producto o servicio que cause la insatisfacción de un cliente.

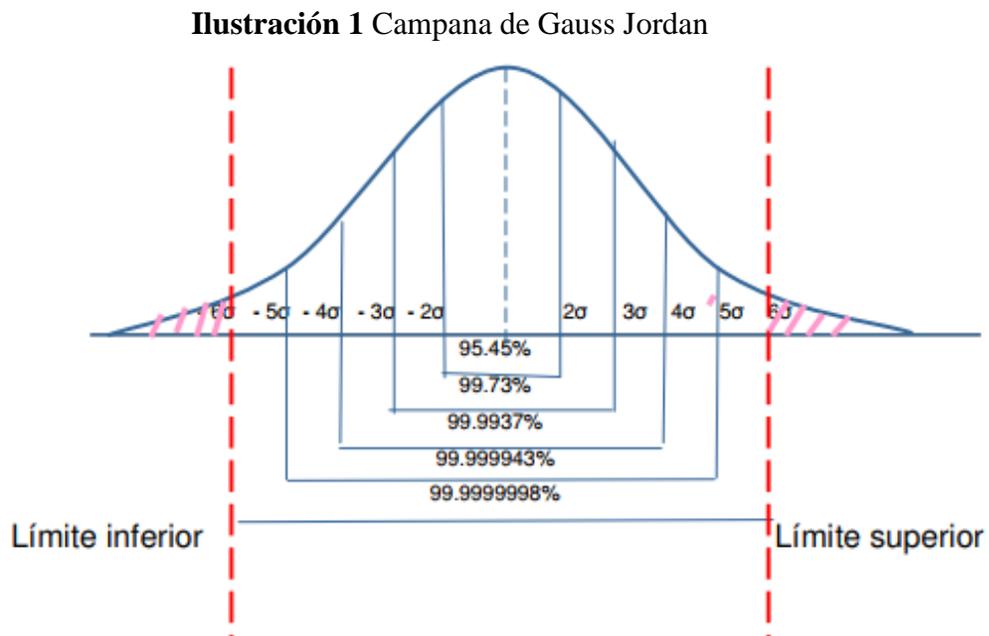
El enemigo de Six Sigma es la variabilidad, entendiéndose que son cambios inevitables que suceden en los procesos. Para ello esta metodología requiere de muchas herramientas estadísticas

con el objeto de eliminar la causa de la variabilidad de los procesos y alcanzar el mínimo posible de defectos, reduciendo así drásticamente los costes de la falta calidad y alcanzando la máxima satisfacción de nuestros clientes.(Institute, 2015)

### 1.1.2. Definición de Six Sigma

Estadísticamente hablando Six Sigma proviene de la letra griega sigma  $\sigma$  la cual es utilizada en estadística para representar la desviación estándar de un conjunto de datos.

Por lo general los procesos tienden a tener una distribución de forma normal, que originan una gráfica o curva simétrica, a esto se le llama campana de Gauss, donde el eje de simetría es el punto de coincidencia de las tres medidas de tendencia central: media, moda, y mediana (ver ilustración 1).



**Fuente:** Avila Calvillo, 2006:4

El área debajo de la curva representa el 100% o es igual a 1. El punto más alto de la campana es la media o la moda, ya que se sabe que el punto de coincidencia son las medidas de tendencia central, entonces la media es igual a la moda. Debido que la media y la mediana

también son la misma, el 50% de los valores se encuentran por arriba de la media y el 50% restante se localiza por debajo de la misma.

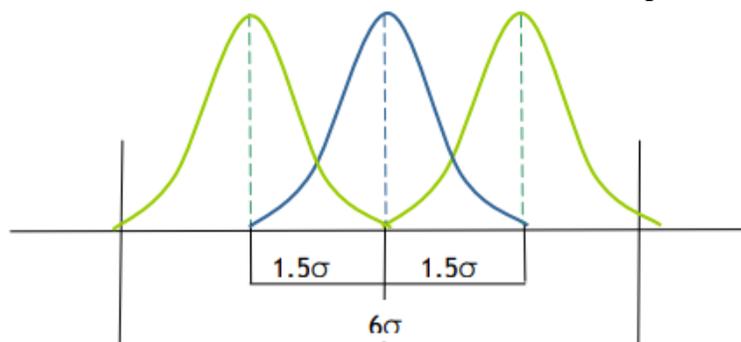
Al colocar los límites como se colocan en un gráfico de control, límite superior y límite inferior como se muestran en la ilustración 1, se puede observar que hay valores que quedan dentro de los límites de igual manera hay dos valores que quedan fuera de ellos, los valores que quedan fuera es la probabilidad de que exista un error en el proceso.

Si un proceso normal está bajo control estadístico, la característica de calidad es de 99.99% como se muestra en la ilustración 1, es decir los productos fabricados estarán comprendidos entre  $\mu - 3\sigma$  y  $\mu + 3\sigma$ . Sigma dependerá de las causas naturales del proceso entonces por lo tanto será intrínseca a él, es decir que es característica de las cosas propias a él y no dependerá de las circunstancias. Por lo tanto se puede decir que la capacidad de un proceso será igual a  $6\sigma$ .

Según Six Sigma Research, la mayoría de los procesos puede variar  $1.5\sigma$  de la media, debido a causas aleatorias, como puede ser la materia prima, los operarios entre otras. Sin embargo, a pesar de la variación es necesario mantener el proceso dentro de los parámetros de especificación para así cumplir con los requerimientos de satisfacción del cliente.(Eckes, 2004)

La ilustración 2 muestra la variación normal en la media de un proceso:

Ilustración 2 Variación normal de la media de un proceso.



**Fuente:** Avila Calvillo, 2006:4

Cuando una campana tiene variación en condiciones adecuadas tiene las siguientes características:

$$C_p = 2$$

$$\sigma \text{ capacidad} = 6$$

$$C_{p_k} = 1.5$$

$$\sigma \text{ nivel} = 2$$

$$D_{pm} = 2.4$$

En donde:

- **$\sigma$  nivel:** Indica el número de desviaciones estándar entre el centro de un proceso y la especificación más cercana. Según la variación de 1.5 de la media en los procesos, el  $\sigma$  nivel sería  $6 - 1.5 = 4.5$ .
- **C<sub>pk</sub>:** es un índice de capacidad. Se utiliza para comprobar la calidad de un proceso, admitiendo algunos límites en las especificaciones, y siempre conjuntamente con el C<sub>p</sub>. Este índice se define como:  $C_{pk} = \frac{\sigma \text{ nivel}}{3} = \frac{4.5}{3} = 1.5$
- **$\sigma$  Capacidad** = para este caso es  $6 \sigma$ ,
- **D<sub>pm</sub>:** Defectos por millón. En la ilustración 1 los defectos por millón están representados por el área que queda fuera de los límites.  $D_{pm} = 3.4$ .
- **CP:** que significa capacidad del proceso y se define así:

$$C_p = \frac{\sigma \text{ Capacidad}}{3} = \frac{6}{3} = 2$$

(Lean Solutions, 2012)

### **1.1.3 Beneficios de Six Sigma**

Cuando las empresas están comprometidas a llevar sus procesos a un nivel six sigma tiene beneficios como los siguientes:

- Toda la organización se llega a conocer mejor a sí misma, sus productos y sus procesos.
- Los defectos reducen significativamente lo que mejora la satisfacción del cliente.
- La organización se convierte más competitiva, por medio del crecimiento económico a través de los ahorros producidos y del crecimiento en las ventas, maximizando las utilidades de la empresa.
- Se estandarizan las técnicas u herramientas que todos utilizan.
- Se eliminan los procesos que no le agregan valor al cliente.
- Se tienen metas medibles.
- Se acelera la mejora continua.
- Reducción de los costos, materia prima, mantenimiento de la maquinaria.

## **1.2 Lean**

Lean es un enfoque para racionalizar los procesos de fabricación como los procesos de servicios, eliminando los residuos y de igual manera continuando ofreciendo valor a los clientes. También es conocido por los beneficios que lleva consigo, sin embargo, no es solo un conjunto de herramientas, Lean se origina en las raíces culturales que se manifiestan en el mundo empresarial, es decir es una cultura.

Una Cultura Lean (también conocida como Lean Management) es la base de la mejora del proceso Lean. Cuando la mejora Lean existe, la mejora es exponencialmente más probable que se mantenga y se crea un entorno para la mejora continua.

Lean se originó tanto en Henry Ford como en su famosa cadena de montaje y, más famoso, en Taiichi Ohno, quien codificó la filosofía y prácticas de Lean Management en el sistema de producción de Toyota.

Todo proceso Lean es:

- Más rápido
- Más eficiente y económico
- Entrega calidad satisfactoria

Después de eliminar los residuos, solo se seguirán pasos necesarios para que se logre la satisfacción del cliente con el producto o servicio ofrecido.(López, 2013)

### **1.3 Lean Six Sigma**

Lean six sigma es una combinación de dos poderosos métodos de mejora: Lean y six sigma, estos métodos se complementa entre sí, lean acelera el proceso de six sigma, ofreciendo mejores resultados de los que arrojarían individualmente.

Lean six sigma hace más fácil para las empresas y sus equipos de trabajo resolver los problemas de los procesos y aumentar la velocidad y de igual manera la efectividad de cualquier proceso dentro de una organización.

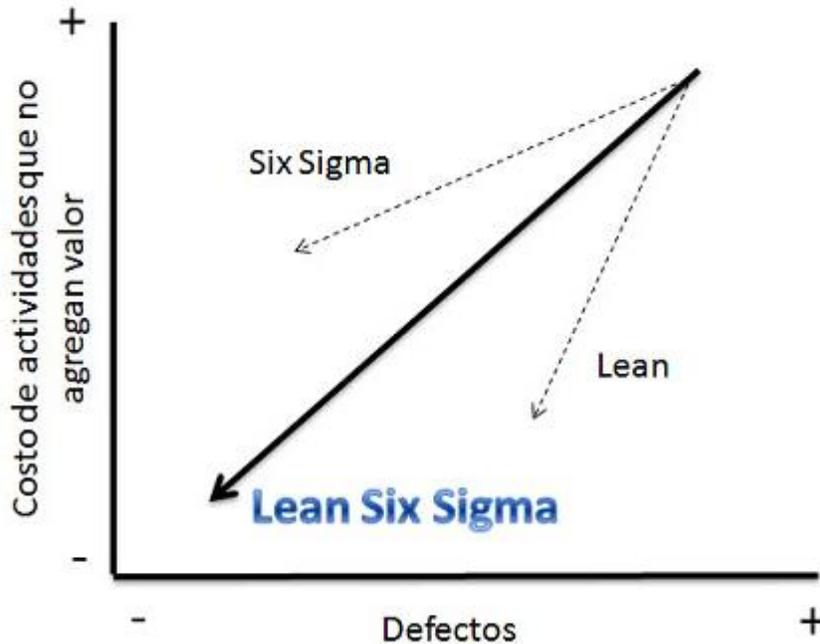
Con lean six sigma las empresas serán capaces de:

- Satisfacer las necesidades de más clientes
- Minimizar costos
- Aumentar utilidades
- Construir mejores equipos de trabajo

Lean Six Sigma es un concepto evolucionado de Six Sigma que se concentra en la mejora de procesos, pero enfocándose en las soluciones prácticas claras y rápidas de implementar, que surgen de un análisis de procesos y actividades que agregan valor.

La ilustración 3 muestra una gráfica de como en conjunto lean six sigma es más efectivo.

**Ilustración3** Lean Six Sigma



**Fuente:** Katf consultingit business oriented.

Six Sigma busca eliminar defectos y liberar servicios de alta calidad. Lean se fundamenta en maximizar la velocidad del proceso y separar actividades que agregan valor de las que no agregan.

Ambos representan una recolección de herramientas de calidad con un objetivo común y particular; mejorar la calidad de acuerdo a los requerimientos del cliente, eliminando el desperdicio. (López, 2013)

La siguiente ilustración muestra los pilares de six sigma:

**Ilustración 4 Lean Sigma**



**Fuente:** Katf consultingit business oriented.

### 1.3.1 Beneficios de usar Lean Six Sigma

- Lean six sigma aumenta los ingresos de la organización
- Disminuye los costos al disminuir los residuos
- Mejora la eficiencia y la eficacia de los procesos
- Ayuda al desarrollo de los empleados y el equipo de trabajo

### 1.3.2 Infraestructura de Lean Six Sigma

Una de las características que hace que six sigma sea una metodología tan robusta, es la infraestructura que tiene dentro de una organización. Esta infraestructura promueve esta metodología a todas las áreas involucradas en los proyectos de la empresa.

La siguiente tabla muestra la infraestructura de la metodología de lean six sigma:

Tabla 1. Miembros del equipo de Six Sigma

<b>Grupo</b>	<b>Características</b>	<b>Funciones</b>
<b>White Belt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entiende de estructura y las metas de Lean Six Sigma</li> <li>• Usa vocabulario básico de lean six sigma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporta problemas del proceso al Green y Black Belt</li> </ul>
<b>Yellow Belt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comúnmente este entrenamiento se imparte a personal directivo, el objetivo es crear una cultura de mejora continua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear cultura de mejora continua</li> </ul>
<b>Green Belt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento en las herramientas estadísticas.</li> <li>• Deducen la información obtenida.</li> <li>• Desarrollan proyectos que son adicionales a su trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son de gran ayuda para el nivel Black Belt</li> <li>• Desarrollan proyectos</li> </ul>
<b>Black Belt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta experiencia en las herramientas de gran dificultad</li> <li>• Capaces de convertir la información.</li> <li>• 100% dedicados a los proyectos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevan proyectos de alto impacto de la empresa</li> </ul>
<b>Master Black Belt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta experiencia en herramientas estadísticas</li> <li>• Son ejemplo para los cinturones más abajo.</li> <li>• Capaz de deducir información a partir de datos obtenidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encargan del entrenamiento de Green y Black Belt</li> <li>• Asesora a los diferentes niveles en el uso correcto de las herramientas estadísticas.</li> </ul>

<b>Champion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son gerentes de departamento que están encargados de identificar proyectos de mejora basado en lo que es crítico para el cliente y para el negocio</li> <li>• Es líder respetado, capaz y conocedor en los negocios, y fuerte proponente de Six Sigma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provee recursos para proyectos, establece un plan, desarrolla indicadores, etc.</li> <li>• Apoyan a los Green Belts en remover los obstáculos que pueden encontrar para la realización de los proyectos de mejora.</li> </ul>
-----------------	--	--

(Avila Calvillo, 2006)

### 1.3.3 Metodología de Lean Six Sigma

Six Sigma recalca la aplicación de herramientas estadísticas y métodos para realizar proyectos que tengan como resultado mejoras dramáticas, medibles y de alto impacto a la organización. Existen varios métodos para desarrollar proyectos seis sigma, aunque estos básicamente tienen las mismas tareas a desarrollar.

### 1.3.4 DMAIC

Este método está basado en el ciclo PDCA, que es el ciclo de Deming o una estrategia de mejora continua de la calidad, esta metodología está constituida por 4 etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y controlar. (Cícero Comunicación, 2015)

#### 1.3.4.1 Definir

Esta es una de las etapas más importantes, debido a que con una buena y clara definición el desarrollo del proyecto, este irá en buena dirección y se logrará alcanzar los objetivos y metas. En esta etapa se definen los requerimientos del cliente y se definen los procesos importantes afectados. A estos requerimientos les llamamos CTQs, que significa Critical to Quality, que los

clientes son los Críticos de la calidad. En este paso se define como es el cliente, sus especificaciones y las delimitaciones. También se determina el alcance que tendrá la investigación.

Para definir el proyecto se pueden seguir los siguientes pasos:

- Identificar las oportunidades de mejora
- Seleccionar el proyecto
- Definir las metas y objetivos
- Definir el equipo del trabajo
- Identificar los recursos necesarios
- Entender la necesidad del cliente
- Documentar
- Obtener la aprobación y revisar con el Champion.

#### **1.3.4.2 Medir**

En esta etapa es en donde se identifica el nivel actual en el que se desempeña el proceso, y establecer los parámetros necesarios desde el punto de vista de los clientes y la satisfacción de las necesidades. El propósito de esta fase es determinar las técnicas necesarias para la recolección de los datos. Una vez que se identifican las CTQ's , que son los parámetros críticos de calidad, estos deben de ser validados a través de mediciones y datos.

Es necesario hacer un diagrama de todo el proceso para determinar las variables necesarias para medir y los indicadores que deberán emplearse. Se recolectan datos de varias fuentes con el fin de determinar el tiempo de ciclo, tipos de defecto y con qué frecuencia ocurren los errores, retroalimentación etc.

Six Sigma considera que las mediciones son de gran importancia por las siguientes razones:

- La percepción y la intuición no siempre es el reflejo real de las cosas.
- Para conocer los procesos e identificar en donde se encuentran las áreas de oportunidad.
- Para determinar si el proceso es estable o predecible y la variación del mismo.
- Para conocer al cliente, saber la satisfacción o insatisfacción con el producto.
- Para documentar y comprobar la mejora.

### **1.3.4.3 Analizar**

El propósito de la fase de análisis permite que el equipo que desarrolla el proyecto pueda enfocarse en las áreas de oportunidad de mejora.

Como resultado de la fase de medición, se obtienen datos del proceso, clientes, es decir de los parámetros establecidos en la etapa de medición.

En esta etapa, el equipo de six sigma evalúa los datos obtenidos de la fase anterior, desarrolla y comprueba, mediante técnicas estadísticas adecuadas para el procesamiento de los datos, y se plantean las hipótesis sobre la posible causa- efecto.

Ahora los datos obtenidos deben interpretarse para luego implementar una mejora.

Al terminar la fase del análisis obtendremos lo siguiente:

- El enfoque para analizar la información
- Las oportunidades de mejora
- Las causas que contribuyen a la oportunidad de mejora.
- El análisis del comportamiento del proceso.

#### **1.3.4.4 Mejorar**

En esta etapa después de haber obtenido el análisis de los datos recolectados en la fase de medición, se conoce mejor el proceso, y se pueden determinar las causas que producen errores en los procesos.

Mejorar nos permite diseñar las acciones que deberán realizarse para la mejora y después ponerlas a prueba. Durante esta fase es necesario seleccionar soluciones potenciales para cada problema que se planteó en la fase definición, con la finalidad de establecer la mejora que optimice la secuencia y la respuesta del proceso. Además se establece la relación costo-beneficio de cada solución. Una vez que se selecciona y válidas las soluciones, son puestas a prueba a través de las estrategias que desarrolla el equipo de proyectos. Las estrategias pueden depender del presupuesto que se asigna al proyecto.

El éxito de esta fase dependerá de que tan bien se hayan desarrollado las fases anteriores.

El propósito de la fase de mejora es:

- Generar estrategias para implementar una mejora
- Diseñar, hacer pruebas e implementaciones en el proceso
- Respaldar las mejoras.

Al terminar esta fase se obtendrá lo siguiente:

- Se habrán identificado las áreas de mejora.
- Se habrá implementado las estrategias de mejora del proceso. las estrategias de mejora del proceso.
- Se habrá preparado para la transición a la fase de control.

### **1.3.4.5 Controlar**

Para determinar que la fase de mejora genera los beneficios estimados a lo largo del tiempo en el proceso, es necesario controlar. En esta etapa el equipo diseña y documenta los registros del control de los procesos mejorados, de esta manera se garantiza que la mejora implementada será sustentable a lo largo del tiempo.

En esta etapa se analiza y evalúa el desempeño mejorado y su relación con el desempeño inicial. Además esta es la etapa donde se cuantifican las ganancias.

Al terminar la fase del control, el encargado del proceso comprenderá:

- Las medidas correctivas que se deben tomar si el proceso sale de control
- Las expectativas del cliente acerca del proceso/ servicio.
- Como monitorear las variables causa para asegurar las variables de efecto.

## **1.4 Herramientas de Calidad**

Las herramientas de la calidad son técnicas graficas que son útiles en la solución de problemas enfocados a la calidad de los productos.

Las Siete Herramientas Básicas, a pesar de su antigüedad, siguen siendo el conjunto de técnicas estadísticas de mayor uso en las estrategias de TQC.

Estas herramientas son:

- Diagrama de Ishikawa
- Diagrama de control o Run chart
- Hoja de verificación
- Diagrama de Pareto
- Histograma
- Diagrama de dispersión

- Muestreo estratificado

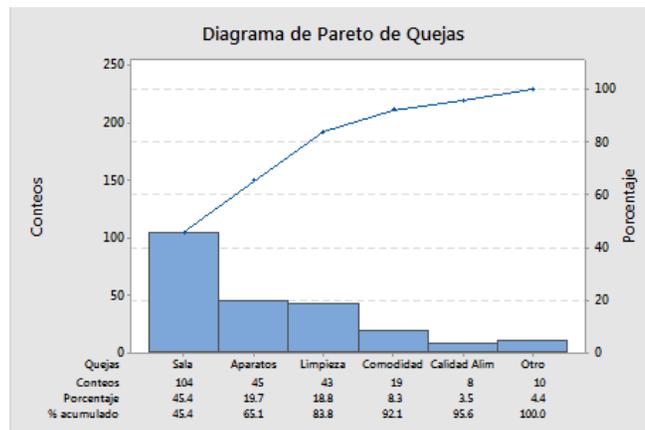
(Lemos, 2016)

### 1.4.1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es de gran utilidad para la identificación de los problemas más relevantes mediante la aplicación del principio de Pareto, la "regla 80/20". Es decir, el 20% de las personas controlan el 80% de la riqueza; o el 20% de la línea de producto puede generar el 80% de los desechos; o el 20% de los clientes puede generar el 80% de las quejas, etc.

La siguiente ilustración muestra cómo se elabora un diagrama de Pareto:

**Ilustración 5** Diagrama de Pareto



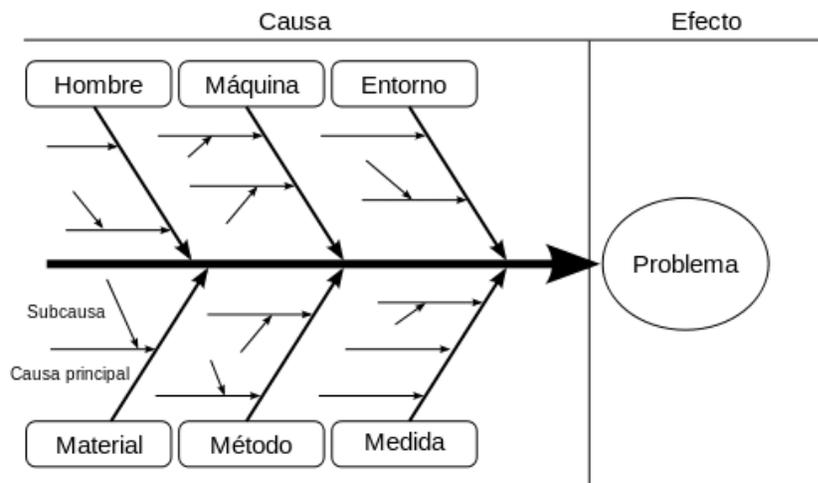
**Fuente:** (Lemos, 2016)

### 1.4.2. Diagrama de Ishikawa

Diagrama de Ishikawa, diagrama de espinas de pescado, o diagrama de causa y efecto, es el diagrama utilizado para la representación gráfica que permite visualizar las causas raíces que explican un determinado problema. Las espinas representan problemas o subproblema y la espina principal representa el problema principal.

La siguiente ilustración muestra el diagrama de Ishikawa.

**Ilustración 6** Diagrama de Ishikawa



**Fuente:** Gestión de operaciones, 2015.

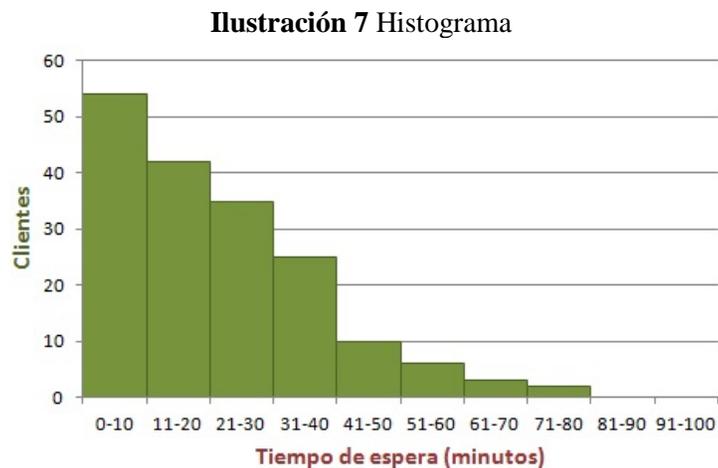
### 1.4.3. Histograma

Es una representación gráfica del comportamiento de una variable en diferentes parámetros, es un conjunto de datos agrupados mediante intervalos. Los datos provienen de variables cuantitativas continuas.

Un histograma es un conjunto de barras rectangulares agrupadas que su altura representa la frecuencia absoluta de cada uno de los intervalos.

Los intervalos abarcan todo el conjunto sin cortarse, la base de la gráfica representa la amplitud de cada intervalo.

La siguiente figura muestra un histograma:



**Fuente:** Gestión de operaciones, 2015.

#### **1.4.4 Diagrama de dispersión**

Este diagrama matemático que utiliza coordenadas permite analizar si existe relación entre dos variables, se emplea cuando la variable está bajo control del experimentador.

#### **1.4.5 Hoja de verificación**

Es un formato utilizado para la verificación o recolección de datos obtenidos mediante la observación de un proceso en específico.

La hoja de verificación es útil para:

- Cuantificar los datos del proceso
- Cuantificar los defectos
- Cuantificar defectos por causa
- Realizar seguimiento a las operaciones de los proceso

#### **1.4.6 Estratificación**

La estratificación es una técnica que se utiliza junto con otras herramientas de análisis de datos, cuando los datos de una variedad o categorías han sido agrupados significado o interpretación puede ser difícil de concluir.

“La herramienta de estratificación separa los datos para que los patrones de distribución de dos o más grupos se puedan distinguir.” (Aiteco)

El muestreo estratificado se utiliza en las siguientes situaciones:

- Antes de recopilar datos: en ocasiones se hace una recopilación de demasiados datos y resulta conveniente intentar clasificarlos antes de usar otro tipo de herramienta como diagramas de Pareto o Histogramas, se clasifican para facilitar el proceso de análisis de los datos.
- Cuando tenemos datos de varias fuentes o condiciones: turnos, días de la semana, proveedores o grupos de población.

- Cuando el análisis de datos requiere la separación de diferentes fuentes o condiciones: por ejemplo separar por diferentes equipos.

Existen tres tipos de muestreo estratificado:

1. Muestreo estratificado proporcionado o proporcional: en esta clasificación las muestras deberán de tener estratos que guarden la misma cantidad de observaciones en la población.
2. Muestreo estratificado uniforme: esta clasificación se refiere cuando se le asigna el mismo tamaño de muestra en todos los estratos ya definidos, sin importar el tamaño de la población.
3. Muestreo estratificado óptimo: “el tamaño de los estratos en la muestra no guarda proporcionalidad con la población. Se define el tamaño de los estratos proporcionalmente a la desviación estándar de las variables objeto de estudio. Es decir, se toman estratos de mayor tamaño en los estratos con mayor variabilidad interna para representar mejor en el total de la muestra los grupos poblacionales más difíciles de estudiar.” (Hernández, 2017)

La siguiente ilustración muestra un ejemplo de estratificación.



**Fuente:** Gestión de operaciones, 2015.

### 1.4.7 Diagrama de control

Los diagramas de control es una herramienta que se utiliza para determinar las variaciones de los procesos debido a causas especiales que lo afectan.

La construcción de estos gráficos se basa en estadística, estos gráficos definen límites de operación dentro de los cuales se espera que el proceso no sobrepase los mismos, y de ser así analizar las causas del desfasamiento del proceso.

La siguiente ilustración muestra un gráfico de control:

**Ilustración 9** Gráfico de control



**Fuente:** Gestión de operaciones, 2015.

## **1.5 Herramientas estadísticas**

Existen múltiples herramientas estadísticas para la medición, análisis e interpretación de los datos, a continuación se describirán teóricamente las herramientas que se utilizaron para este trabajo de investigación.

### **1.5.1 Estudio de correlación**

Un estudio de correlación es un método que determina si dos variables tienen correlación o no, esto significa que se analiza si la variabilidad de una variable tiene que ver con la otra, es decir la disminución o aumento de una se relaciona con el aumento y disminución de la otra.

“Es una técnica de análisis de información con base estadística y, por ende, matemática. Consiste en analizar la relación entre, al menos, dos variables” (Cersti)

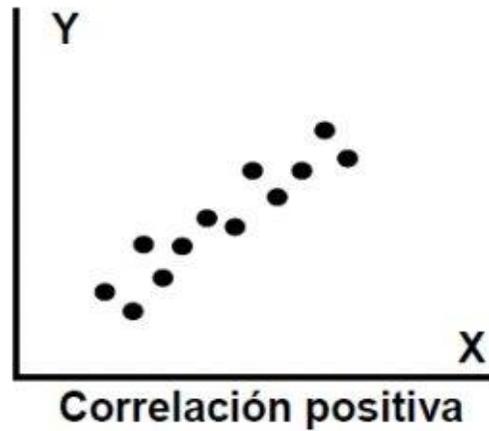
#### **1.5.1.1 Tipos de correlación**

Existen tres tipos de correlación, la correlación positiva, correlación negativa y sin correlación, a continuación se describirá cada uno de los tipos de correlación.

1. **Correlación positiva:** la correlación positiva se refiere cuando las variables son dependientes una de la otra, es decir, si una variable aumenta por ende aumentará la otra, y viceversa si una variable disminuye la otra también lo hará. Por ejemplo, conforme aumenta la edad de las personas el peso en las mismas aumentará, a menor edad menor disminuye el peso.

La siguiente ilustración muestra una gráfica con una correlación positiva.

**Ilustración 10** Correlación positiva

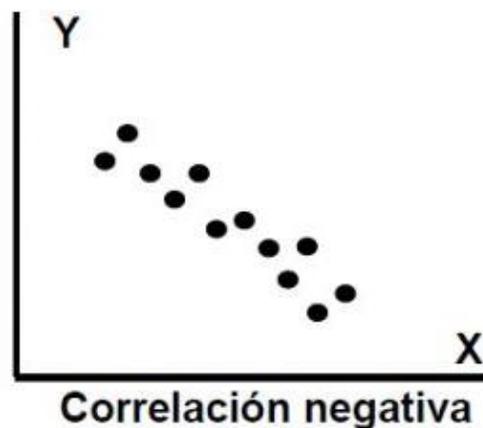


**Fuente:** Diferencias.EU

2. Correlación negativa: esta correlación es el contrario de la correlación positiva, si una variable aumenta la otra disminuye y viceversa. Por ejemplo, el nivel de la educación aumenta en el país por lo tanto el nivel de delincuencia tendrá una disminución.

La siguiente ilustración nos muestra una correlación negativa:

**Ilustración 11** Correlación negativa

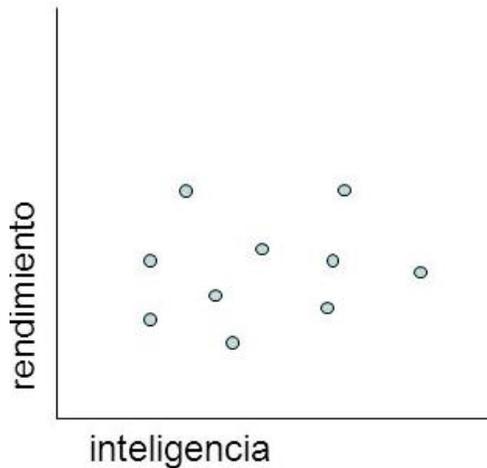


**Fuente:** Diferencias. EU

Sin correlación: las variables estudiadas no producen ningún tipo de efecto una en la otra es decir, si na variable disminuye la otra no aumenta ni disminuye, la variable contraria no sufre en absoluto ningún cambio al variar la otra. Por ejemplo si los universitarios estudian más, habrá más trabajo en el país, el trabajo no depende de si estudias o no en la universidad, eso dependerá de las fuentes de trabajo que existe en el mismo.

La siguiente ilustración muestra una gráfica donde no existe correlación entre los datos.

**Ilustración 12** Sin correlación



**Fuente:** Diferencias, EU.

Normalmente existe un coeficiente de correlación para saber si entre las variables existe una correlación negativa, positiva o si no existe correlación entre ellas. El coeficiente varía entre -1 y +1, si el coeficiente se acerca al -1 indica una fuerte relación entre la variables estudiadas, si el coeficiente se acerca a +1 la relación de las variables indica que existe poca relación entre las variables, y en cambio si el coeficiente se acerca al 0 nos indica que no existe correlación entre las variables.

Es muy importante mencionar que la correlación no implica causalidad, y que no existe manera de comprobar porque una variable afecta a la otra.(Cersti)

## 1.5.2 Estudio R&R

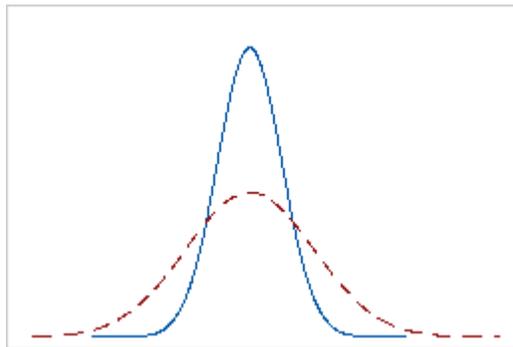
El estudio de repetibilidad y reproductibilidad son los dos componentes de precisión en un sistema de medición, utilizados en Minitab.

### 15.2.1 Repetibilidad

“La repetibilidad es la variación causada por el dispositivo de medición. Es la variación que se observa cuando el mismo operador mide la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

El operador 1 mide una parte con un sistema de medición A 20 veces y luego mide la misma parte con el sistema de medición B.

**Ilustración 13** Repetibilidad



**Fuente:**(Minitab, 2017)

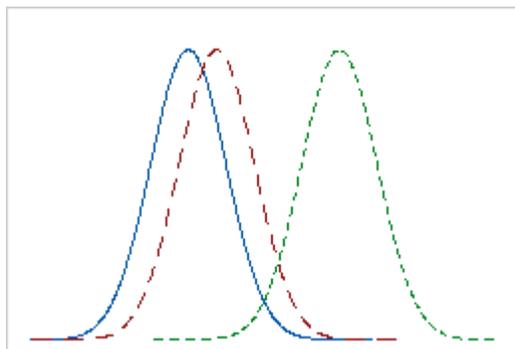
La línea continua representa las mediciones con el sistema de medición A. La línea de trazo interrumpido representa las mediciones con el sistema de medición B. El sistema de medición A presenta menos variación, lo que significa que es más repetible que el sistema de medición B.” (Minitab, 2017)

### 1.5.2.2 Reproducibilidad

“La reproducibilidad es la variación causada por el sistema de medición. Es la variación que se observa cuando diferentes operadores miden la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

Los operadores 1, 2 y 3 miden 20 veces la misma parte con el mismo sistema de medición.

**Ilustración 14** Reproducibilidad



**Fuente:** (Minitab, 2017)

Las tres líneas representan las mediciones de los operadores 1, 2 y 3. La variación en las mediciones promedio entre los operadores 1 y 2 es mucho menor que la variación entre los operadores 1 y 3. Por lo tanto, la reproducibilidad del sistema de medición es demasiado baja.” (Minitab, 2017)

### 1.5.3 Estudio de linealidad y Bias

“Un estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición determina si el sistema de medición está realizando las mediciones con exactitud. El estudio evalúa la linealidad, qué tan exactas son las mediciones en todo el rango esperado de mediciones y el sesgo qué tanto se parecen las mediciones a un valor de referencia.

El sesgo indica que tan cercanas están sus mediciones a los valores de referencia. Un sesgo positivo indica que el sistema de medición incurre en sobrestimación. Un sesgo negativo indica que el sistema de medición incurre en subestimación. El valor del porcentaje indica la magnitud del sesgo como un porcentaje de la variación del proceso, por lo general 6 sigmas.

Si el sistema de medición mide por debajo de los valores de referencia pequeños y por encima de los valores de referencia grandes, podría haber una pendiente estadísticamente significativa (el valor p de la pendiente muestra la significancia), lo que indica una alta linealidad. En esta situación, los valores de sesgo son positivos en un extremo y negativos en el otro, lo que hace que la interpretación del sesgo general resulte poco práctica.” (Minitab, 2017)

#### **1.5.4 Six Pack análisis**

“Six pack análisis es utilizado para examinar los supuestos de un análisis de capacidad normal y evaluar solo los principales índices de capacidad del proceso.

Usando este análisis, puede hacer lo siguiente:

- Determinar si el proceso es estable y está bajo control
- Determinar si los datos siguen una distribución normal
- Estimar la capacidad general ( $P_p$ ,  $P_{pk}$ ) y la capacidad potencial ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ )

Para realizar el análisis, debe especificar un límite de especificación inferior o superior (o ambos) para definir los requisitos de su proceso. El análisis evalúa la dispersión de los datos del proceso en relación con los límites de especificación. Cuando un proceso es capaz, la dispersión del proceso es menor que la dispersión de especificación. El análisis también puede indicar si el proceso está centrado y si se encuentra en el objetivo. Además, el análisis estima la proporción de productos que no cumplen con las especificaciones.”(Minitab, 2017)

### 1.5.5 Bloxplot

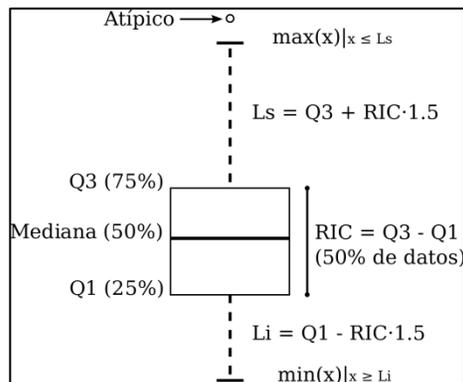
Diagrama de caja o diagrama de bigotes, es un gráfico que se basa en cuartiles y representa la distribución de un conjunto de datos. Representa información sobre los valores máximos y mínimos, y sobre la existencia de valores atípicos es decir, que son diferentes o están alejados de la media, así como la simetría de la distribución del conjunto de datos.

Es una forma práctica para mostrar grupos de datos numéricos, como:

- Valor mínimo y valor máximo
- Cuartil superior y cuartil inferior
- Valores de la mediana
- Valores atípicos y valores extremos

La siguiente ilustración muestra un ejemplo de un diagrama de cajas y los valores que lo representan.

**Ilustración 15** Bloxplot



**Fuente:** IBM Knowledge Center

### 1.5.6 One-Way Anova

“One-Way Anova es un análisis de varianza procedimiento donde se está sólo un factor en cuenta.

Es una técnica utilizada para comparar las medias de dos o más muestras (utilizando la distribución F). Esta técnica sólo se puede utilizar para datos numéricos. El Anova comprueba la hipótesis nula de que las muestras en dos o más grupos se han extraído de la misma población. Para ello, dos se hacen estimaciones de la varianza de la población. Estas estimaciones se basan en supuestos diferentes.

El ANOVA produce un estadístico F, la proporción de la varianza calculada entre los medios de la diferencia dentro de las muestras. Si el grupo de medios se han extraído de la misma población, la variación entre las medias del grupo debe ser menor que la varianza de las muestras, siguiendo el teorema del límite central. Una proporción más alta por lo tanto, implica que las muestras fueron tomadas de diferentes poblaciones.

Los grados de libertad para el numerador es  $I-1$ , donde  $I$  es el número de grupos (los medios), por ejemplo, niveles  $I$  de la aplicación de urea fertilizante en un cultivo. Los grados de libertad para el denominador es  $N - I$ , donde  $N$  es el total de todos los tamaños de las muestras. Por lo general, sin embargo, el análisis de varianza de una vía se utiliza para probar las diferencias entre al menos tres grupos, ya que el caso de dos grupos pueden ser cubiertos por un t-test. Cuando sólo hay dos medios para comparar, el t-test y la prueba de F-son equivalentes, la relación entre el ANOVA y t está dada por  $F = t^2$ .

Los resultados de un ANOVA de una vía se pueden considerar confiables, siempre y cuando los supuestos siguientes requisitos:

- La variable de respuesta debe ser distribuido normalmente (es decir, aproximadamente una distribución normal).
- Las muestras son independientes.

- Las variaciones de las poblaciones son iguales.
- Las respuestas de un determinado grupo son independientes e idénticamente distribuido variables aleatorias normales.” (Terms)

## **Capítulo 2 Eaton**

En este capítulo se describirá la información sobre la empresa que se implementará el método de Lean Six Sigma.

### **2.1. Información general de Eaton**

Eaton es una empresa dedicada a las soluciones en administración de energía eléctrica, hidráulica y mecánica, a continuación se profundizara más en el tema.

#### **2.1.1. Historia**

Eaton es una compañía que proporciona eficientes soluciones en administración de energía eléctrica, hidráulica y mecánica para nuestros clientes. La compañía es un líder mundial en tecnología de productos eléctricos, sistemas y servicios para la calidad de la energía, distribución y control, transmisión de energía, iluminación y productos de cableado; componentes hidráulicos, sistemas y servicios para equipos industriales y móviles; combustible aeroespacial, sistemas hidráulicos y neumáticos para uso comercial y militar, y sistemas de soportes de transmisión y trenes de potencia para camiones y automóviles para lograr un mayor rendimiento, ahorro de combustible y seguridad.

Una vez conocido como proveedor de componentes vehiculares, Eaton ha diversificado para incluir un enfoque industrial y comercial más amplio. Hoy, los negocios de Eaton comprenden cinco segmentos distintos: Sector Eléctrico, Hidráulico, Aeroespacial, Camiones y Automotriz.

En 2011, Eaton celebró su 100 aniversario y con una herencia de innovación y experiencia que ha situado a la compañía para dar respuesta a cualquier reto relacionado con la gestión de energía.

Este espíritu de innovación y emprendimiento conducido por un compromiso con la integridad y la ética fue objetivo primordial para Joseph cuando fundó la compañía. Desde ese momento,

Eaton se ha desarrollado como líder e innovador desde tecnologías para vehículos hasta empresa líder en gestión de la energía que también sirve a mercados hidráulico, aeroespacial y eléctrico.

Nuestras tecnologías y productos juegan un rol muy importante en la gestión de la energía en muchos aspectos relacionados con nuestra rutina diaria desde edificios energéticamente eficientes, ciudades e infraestructuras hasta aviones de nueva generación, coches, camiones y máquinas.

Hoy Eaton provee a mercados y clientes globales. Siguiendo con nuestro objetivo de ayudar a los clientes a utilizar la energía de forma más fiable, eficiente y segura, nuestra cultura y valores de "doingbusinessright" ("hacer bien los negocios"), continúa siendo nuestra guía hacia la construcción de un futuro más potente.

### **2.1.2. Misión**

Brindamos soluciones de administración de energías seguras, confiables, eficientes y sustentables a nuestros clientes globales

### **2.1.3 Visión**

Mejorar la calidad de vida y el medio ambiente a través del uso de servicios y tecnologías de gestión de energía.

### **2.1.4 Ética**

1. Acatamiento de las leyes
2. Integridad en el registro y publicación de nuestros estados financieros.
3. Respeto de los Derechos Humanos.
4. Suministro de Calidad.
5. Competimos de forma ética.
6. Respeto de la diversidad y práctica de la ecuanimidad en las relaciones de empleo.

7. Evitar conflicto de intereses.
8. Protección de activos e información.
9. Comportamiento integro.
10. Ventas a entidades estatales.
11. Contribución política.
12. Medio ambiente, salud y seguridad

### **2.1.5 Valores**

1. Orientación al cliente
2. Gente
3. Confianza
4. Respeto
5. Dignidad
6. Integridad

### **2.1.6 Filosofía**

1. Salud y seguridad
2. Excelencia
3. Inclusión
4. Comunicación
5. Compensación
6. Aprendizaje
7. Responsabilidad
8. Innovación
9. Compromiso
10. Ambiente y comunidades

### **2.1.7 Política de calidad**

Es la política de la empresa suministrar productos y prestar servicios que alcancen o sobrepasen las expectativas de los clientes y satisfagan a estos previendo sus necesidades y requisitos. Satisfacemos los requisitos estableciendo y revisando los objetivos y mejorando continuamente la eficacia del sistema de administración de la calidad.

### **2.1.8 Sostenibilidad**

“La sostenibilidad significa satisfacer las necesidades actuales de nuestra sociedad, de manera que las generaciones futuras puedan satisfacer sus propias necesidades. En Eaton, la sostenibilidad no es un programa autónomo o iniciativa. Es la forma en que hacemos negocios y es una parte cada vez mayor de nuestro éxito empresarial. Hemos estado viviendo durante años bajo la premisa de "Hacer bien los negocios", y es el centro de nuestra visión convertirnos en la compañía más admirada en nuestros mercados.

Eaton está desarrollando soluciones para los clientes que impulsan el crecimiento sostenible en todo el mundo, incluyendo el uso eficiente y la conservación de los recursos globales, el desarrollo de productos de eficiencia energética, la reducción de emisiones, la protección del medio ambiente, y el voluntariado de tiempo para ayudar a construir comunidades más fuertes.

En todo Eaton estamos construyendo una cultura de responsabilidad que incentiva a todos los empleados a hacer las preguntas que permitan desarrollar procesos y prácticas más sostenibles, y ayudar a nuestra empresa a contribuir a un futuro sostenible.” (Eaton)

### 2.1.9 Mercados Eaton

Los mercados Eaton abarcan desde la ingeniería forestal a la ganadería y el equipo de transporte en tierra, Eaton tiene productos y soluciones para mejorar el desempeño, emisiones y la economía del combustible en todos los mercados.

- Agricultura e ingeniería forestal: Desde la ingeniería forestal a la ganadería y el equipo de transporte en tierra, Eaton tiene productos y soluciones para mejorar el desempeño, emisiones y la economía del combustible.
- Aviación: Cuando se refiere a la aviación, la experiencia de Eaton es profunda y de amplio rango.
- Infraestructura de la comunidad: Eaton brinda sistemas y soluciones desde nuestras ofertas para clientes en la infraestructura de la comunidad y la ingeniería civil.
- Construcción: Las soluciones de Eaton forman parte de los proyectos de construcción de gran escala, donde la maquinaria de operación confiable es la clave para la eficiencia, seguridad y rentabilidad.
- Centro de datos: Eaton tiene un enfoque de dirección sobre las soluciones de calidad de energía para sistemas IT de empresas y negocios, desde armarios de redes hasta grandes centros de datos.
- Energía: Estamos comprometidos en ayudar a nuestros clientes con los programas e iniciativas de energía.
- Gobierno y militar: las soluciones de Eaton son confiables, seguras, innovadoras, eficientes y sostenibles para el ambiente y brinda servicios duraderos, robustos y de alto desempeño en sistemas de armamento en tierra, marina y aviación.

- Hospitales: Ya sea que opere una instalación única o una red de hospitales, Eaton le puede brindar los productos y servicios que necesita.
- Fabricación e industria: Eaton puede tratar los asuntos que lo preocupan; manteniendo las maquinas activas, optimizando sus procesos y haciendo que los trabajadores se sientan seguros.
- Residencial: Eaton brinda soluciones de productos y servicio para nuevas construcciones residenciales para hogares con una sola familia o multifamiliares así como mejoras y reemplazos para casas existentes.
- Vehículos: Eaton brinda sistemas y soluciones desde nuestro ofrecimiento para clientes en muchos mercados de vehículos.

(Eaton)

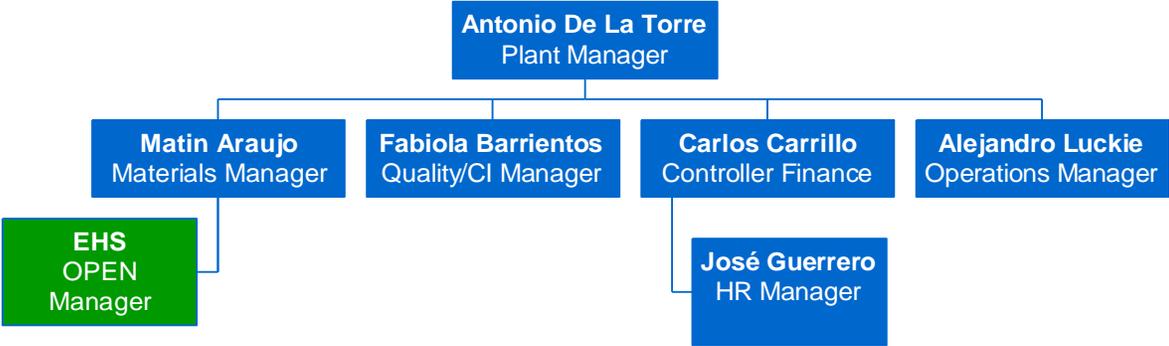
## **2.2. Estructura organizacional**

La estructura organizacional es una disposición intencional de roles, en la que a cada persona le corresponde un papel que se espera que cumpla con los que se plantean en él y desarrolle las actividades con el mayor rendimiento posible. La finalidad de la estructura es establecer papeles que los miembros han de desarrollar para trabajar juntos de forma óptima y que se alcancen los objetivos fijados de la organización.

**2.2.1. Organigrama gerencial**

En la siguiente ilustración se muestra un organigrama donde se describen los puestos gerenciales de la empresa.

**Ilustración 16** Organigrama Gerencial

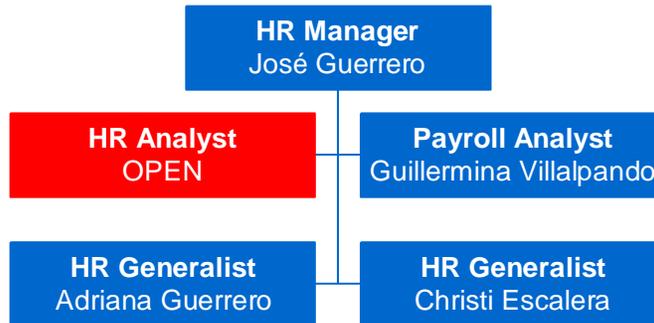


**Fuente:** Eaton, 2017

## 2.2.2. Recursos Humanos

En la siguiente ilustración se encuentra el organigrama donde se muestran los puestos del departamento de recursos humanos.

**Ilustración 17** Organigrama Recursos Humanos

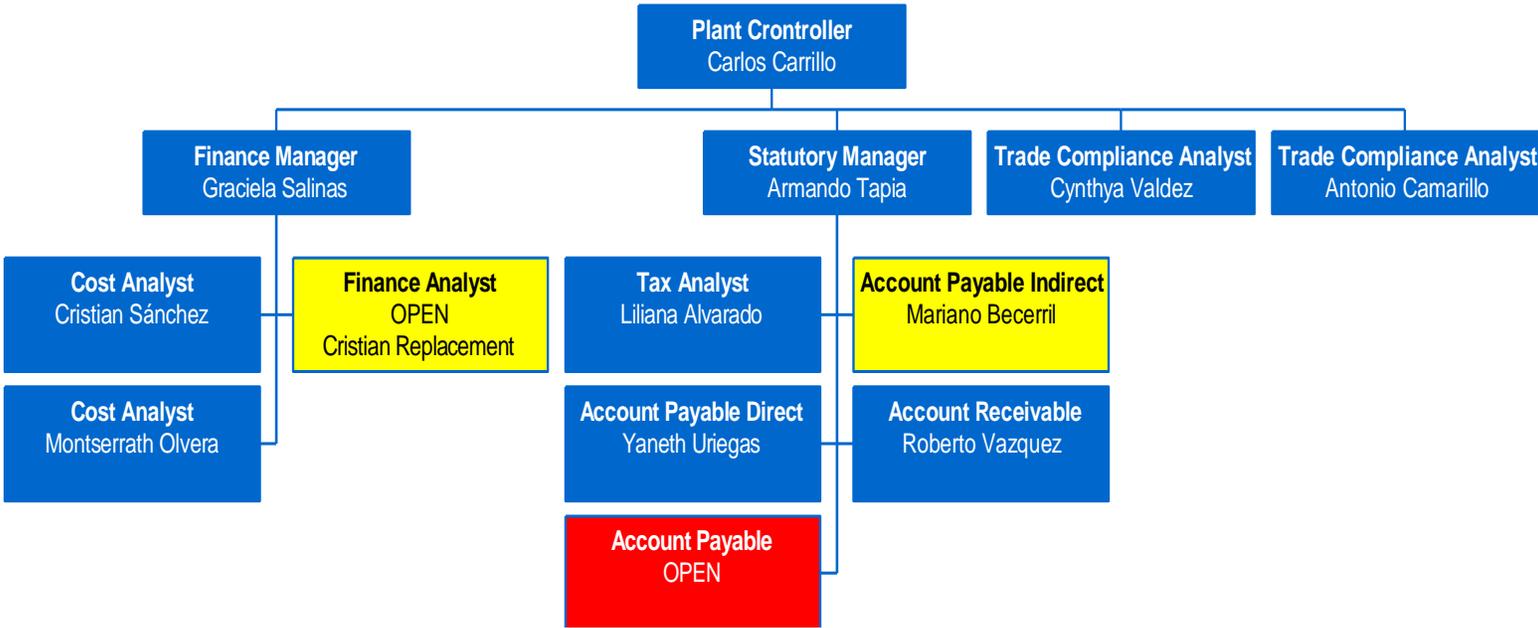


**Fuente:** Eaton, 2017

**2.2.3 Departamento de finanzas**

El siguiente la siguiente ilustración se muestra las jerarquías principales del departamento de finanzas.

**Ilustración 18** Organigrama Dpto de finanzas



**Fuente:** Eaton, 2017

## 2.2.4 Organigrama de proyectos

La siguiente ilustración muestra un diagrama donde describe los puestos que incorporan el equipo de proyectos de Eaton.

**Ilustración 19** Organigrama de proyectos

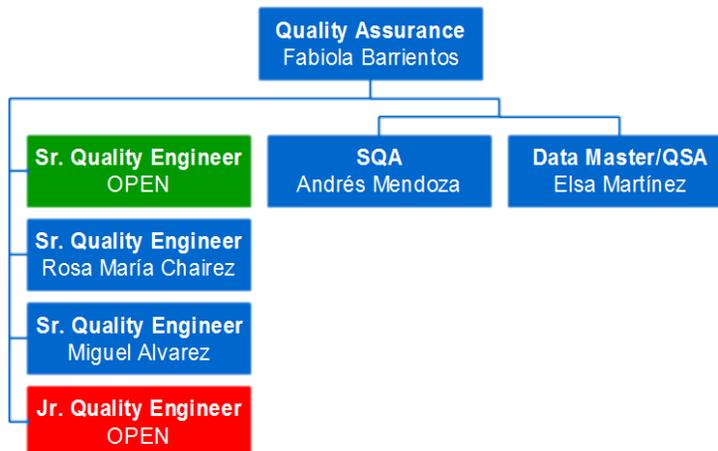


**Fuente:** Eaton, 2017

## 2.2.5 Calidad

Esta ilustración muestra un diagrama donde están los puestos que incorporan el equipo principal del área de calidad.

**Ilustración 20** Departamento de Calidad



**Fuente:** Eaton, 2017

**2.2.6 Departamento de Continuous Improvement**

Esta ilustración muestra el diagrama de la jerarquía del departamento de CI.

**Ilustración 21** Departamento de CI



**Fuente:** Eaton, 2017

**2.2.7 Departamento de Materiales**

La ilustración siguiente nos muestra las jerarquías tanto horizontales como verticales del departamento de materiales de Eaton.

**Ilustración 22** Departamento de Materiales

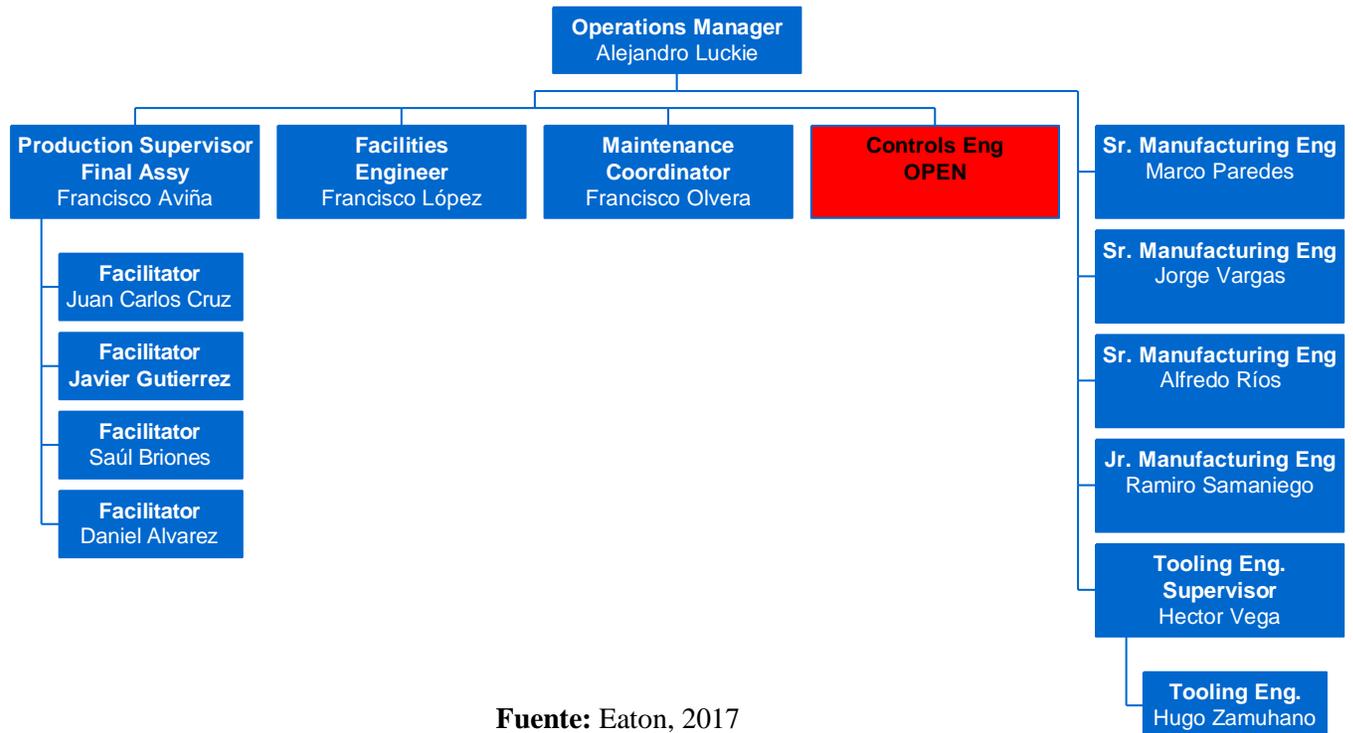


**Fuente:** Eaton, 2017

## 2.2.8 Departamento de operaciones

Esta ilustración muestra el organigrama que pertenece al departamento de operaciones en donde están los puestos ordenados por orden jerárquico.

**Ilustración 23** Departamento de Operaciones

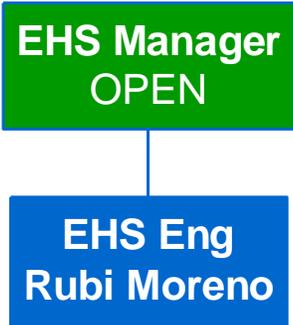


**Fuente:** Eaton, 2017

**2.2.9 EHS Departamento**

Esta ilustración muestra el diagrama donde se muestran solo dos puestos que existen en el departamento de EHS.

**Ilustración 24** Departamento de EHS



**Fuente:** Eaton, 2017

## Capítulo 3. Situación actual

Antes de proponer soluciones se debe analizar la situación en la que se encuentra la empresa.

En este capítulo se describe la situación actual en la que se encuentra la empresa, y se describen los procesos actuales así como las demandas, información sobre los proveedores y los clientes que tiene Eaton.

### 3.1. Almacenamiento

Actualmente en las líneas de conformado E-70 y conformado VW se utiliza el cindol como lubricante al momento de hacer el conformado del tubo.

La demanda promedio del cindol es de 120 litros x mes con un costo de \$ 82.40 pesos por litro. Anteriormente en los conformados de Autoliv se ocupaba como lubricante el Metsol para el mismo proceso, debido a que ya no existen negociaciones con Autoliv se quedaron almacenados 1,026 litros de metsol, el lubricante Metsol lleva almacenado aproximadamente 4 años.

En los siguientes recuadros se muestra lo ya mencionado.

**Ilustración 25** Costos de Lubricantes

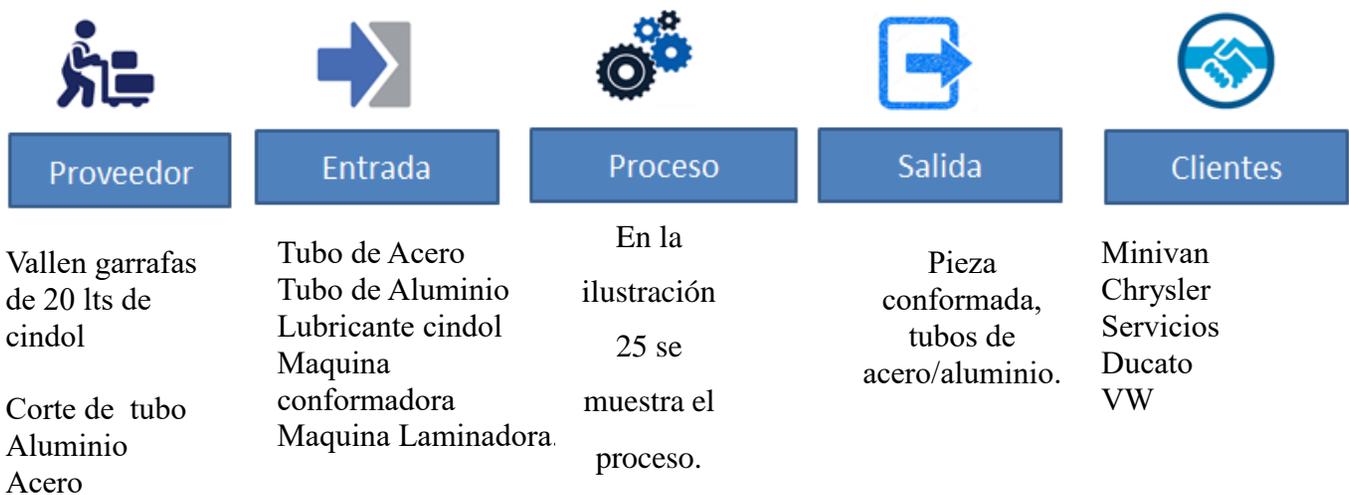
Metsol			
Existen en planta			
costo	cantidad Lts	costos almacenado	
\$ 450	1,026	\$ 461,700	

Cindol			
Precio	Consumo mensual	Costo	
82.4	120	\$ 9,888.00	mensual

**Fuente:** Eaton

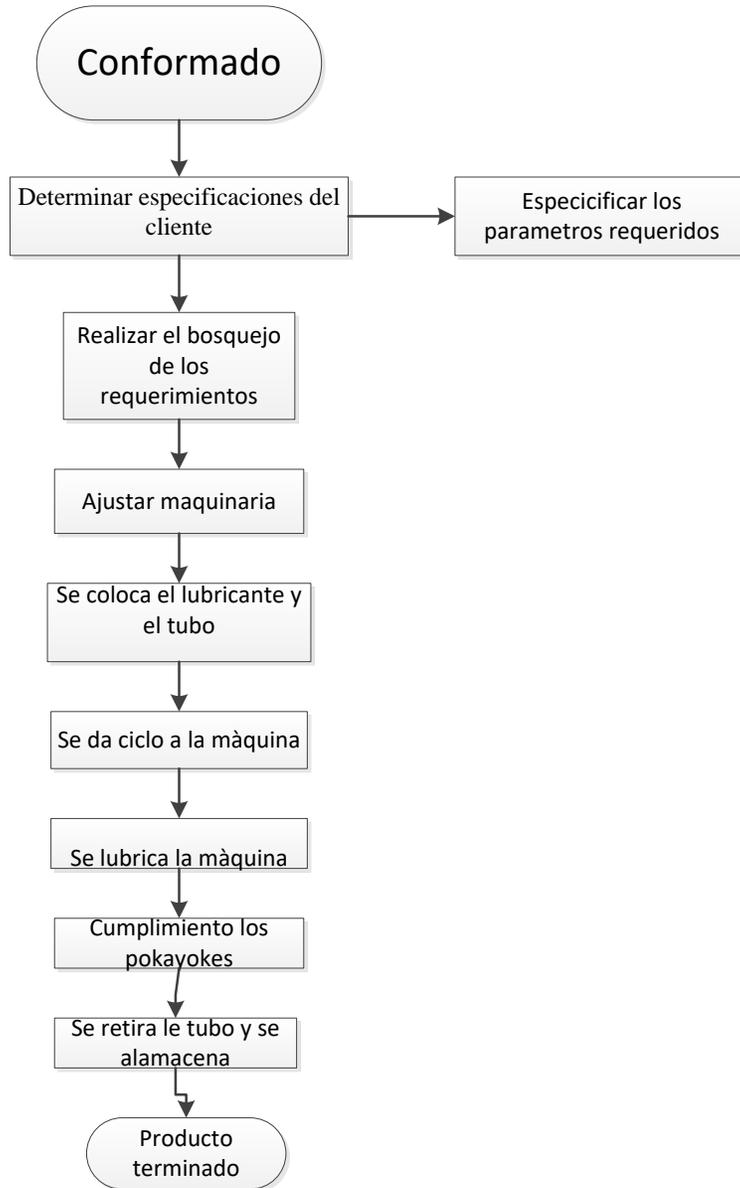
### 3.2 Proceso

El siguiente diagrama describe el proceso actual de cómo se conforman los tubos, desde que se proveen las garrapas de lubricante cindol a Eaton, así como las entradas que se manufacturan en los procesos, se describe el proceso que se lleva a cabo para la pieza de salida, que en este caso es el tubo conformado, y hasta los clientes a los que se distribuye los tubos que se conforman en los procesos.



**Fuente:** Eaton

**Ilustración 26 Proceso de conformado**



**Fuente:** Eaton

### **3.3 Necesidad de la mejora continua**

La mejora continua de la capacidad y resultados, debe ser el objetivo permanente de la organización.

Desde el año 2013 el lubricante Metsol se encuentra almacenado, ya que el contrato con Autoliv ha terminado, con este cliente se utilizaba dicho lubricante, debido a esto, Eaton se ve en la necesidad de la mejora en los conformados de los tubos, de igual manera utilizar los lubricantes que se quedaron en stock, ya que genera costos de almacenamiento.

### **3.4 Identificación del área de mejora**

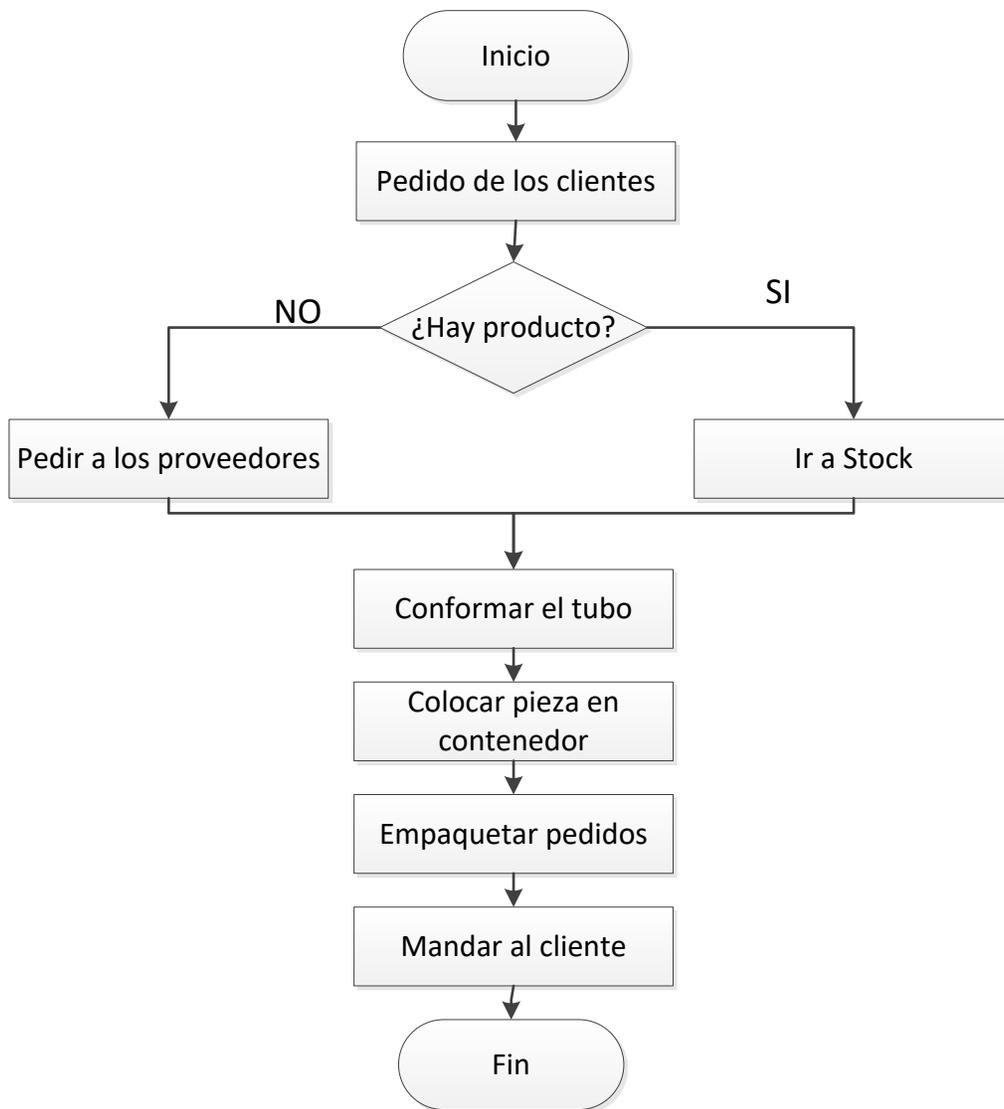
No se puede mejorar aquello que no se conoce, es por ello que se hace uso de diversas herramientas para conocer los procesos de Eaton y de igual manera analizarlos, estas herramientas ayudarán a ver el proceso desde varias perspectivas. Una vez ya se conozcan con exactitud los procesos de conformado de los tubos deben priorizarse para luego medirlos, analizarlos y posteriormente mejorarlos.

### **3.5 Diagrama de flujo**

Los diagramas de flujo son una herramienta para visualizar gráficamente un proceso. Son útiles para conocer el proceso y de igual manera visualizar las áreas de mejora que podemos encontrar a lo largo del mismo.

En la siguiente ilustración del diagrama de flujo se muestra el proceso del área de conformado de los tubos, desde que se recibe el producto por parte de los proveedores, hasta que llega a los clientes como producto final.

**Ilustración 27** Diagrama de flujo



**Fuente** Diferencias. EU



### 4.1.2 Actividades

En el siguiente cronograma de actividades se define cuanto tiempo tomara hacer cada fase de la investigación para la implementación de la metodología de Six Sigma.

Etapas SS	Octubre					Noviembre				Diciembre	
	Semana 1 2-7	Semana 2 9-14	Semana 3 16-21	Semana 4 23-28	Semana 5 30-4	Semana 6 6-11	Semana 7 13-18	Semana 8 20-25	Semana 9 27-2	Semana 10 4-9	Semana 11 11-16
Definir											
Medir											
Analizar											
Mejorar											
Controlar											

Fuente: Eaton

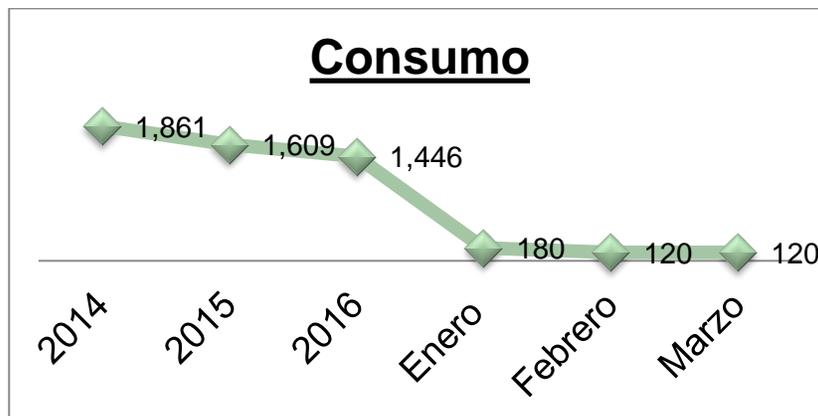
## 4.2. Medir

La medición es una de las fases con gran importancia en la metodología de DMAIC, ya que debemos de saber que la percepción y la intuición no siempre es el reflejo real de las cosas. Se deben entender los procesos para conocerlos y poder identificar donde están las áreas de oportunidad; así mismo determinar si el proceso es estable o predecible y la variación del mismo, De igual manera es importante para poder documentar y comprobar la mejora.

### 4.2.1 Demanda

Es importante conocer la demanda de nuestro producto en periodos pasados, ya que de esta manera podremos predecir si el estudio tiene factibilidad.

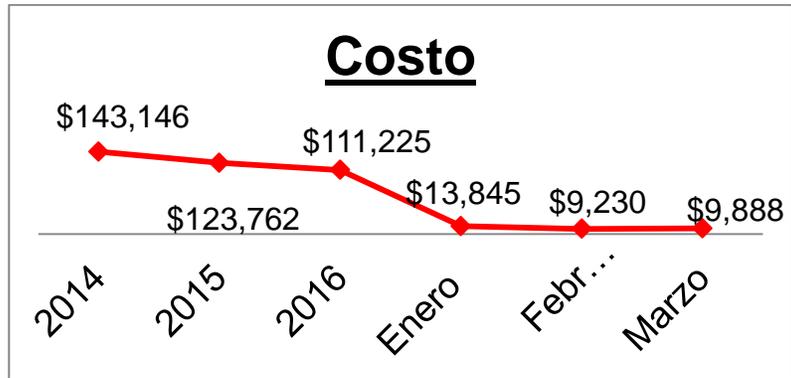
La siguiente gráfica muestra la demanda del consumo del cindol desde el año 2014 hasta el 2016, y la demanda que ha tenido en el transcurso de los meses del año 2017.



Fuente: Eaton

Así como existe la demanda del consumo, se sabe que esta demanda lleva consigo un costo, el costo por litro de cindol es de \$82.40.

Esta gráfica muestra los costos del año 2014 hasta el 2016 y los 3 primeros meses del año 2017.



Fuente: Eaton

#### 4.2.2 Estudio de correlación

La correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (X y Y) existe correlación entre ellas si al disminuir los valores de X que en este caso es el consumo del lubricante lo hacen también los de Y que es la demanda de producción y viceversa.

Para encontrar la relación que se tienen con el consumo del lubricante y la demanda de producción se realizó un estudio de correlación entre dichas variables.

Para considerar que dos variables tienen relación el resultado tiene que ser 85% o mayor al mismo, al hacer el estudio de correlación del consumo del cindol y la demanda de los tubos se llegó al resultado que dicha relación es menor al 85% (14%), lo cual indica que no hay una relación directa en estas dos variables. Por lo tanto no nos podemos basar en la producción para calcular el consumo del lubricante cindol.

### **4.2.3 Estudio de R&R**

Un estudio R&R del sistema de medición nos ayuda a investigar, la repetibilidad, es decir, que tanto de la variabilidad en el sistema de medición se causa por el dispositivo de dicha medición.

También nos ayuda a investigar la reproducibilidad, qué tanto de la variabilidad en el sistema de medición es causada por las diferencias entre los operadores, de igual manera si la variabilidad del sistema de medición es pequeña en comparación con la variabilidad del proceso.

Se realiza un R&R para validar el sistema de medición.

Tomando en cuenta que tenemos 551 categorías lo que indica que nuestras muestras son ideales para representar la especificación y confirmar que la variación está en las piezas y no en el operador ni en el método.

### **4.2.4 Estudio de Linealidad y Bias**

Un estudio de linealidad y bias del sistema de medición determina si el sistema de medición está realizando las mediciones con exactitud. El estudio evalúa la linealidad, es decir, que tan exactas son las mediciones en el rango esperado y el sesgo, que es que tanto se parecen las mediciones al valor de referencia.

Para determinar qué tan apegados están los datos a los valores de referencia, se realizó el estudio de linealidad y bias para calificar nuestro instrumento de medición, el cual nos da un porcentaje aceptable (linealidad 0 %, bias 0%), nos indica que nuestro instrumento es hábil para realizar las mediciones que requerimos.

Para realizar esta prueba se utilizaron block patrón calibrados, los que se muestran en la siguiente ilustración, abarcando todo el intervalo de trabajo, el intervalo fue dividido en 5 partes se realizaron las 12 intentos para cada uno de los rangos.

**Ilustración 28** Block calibrados



**Fuente:** Eaton

### **4.3. Analizar**

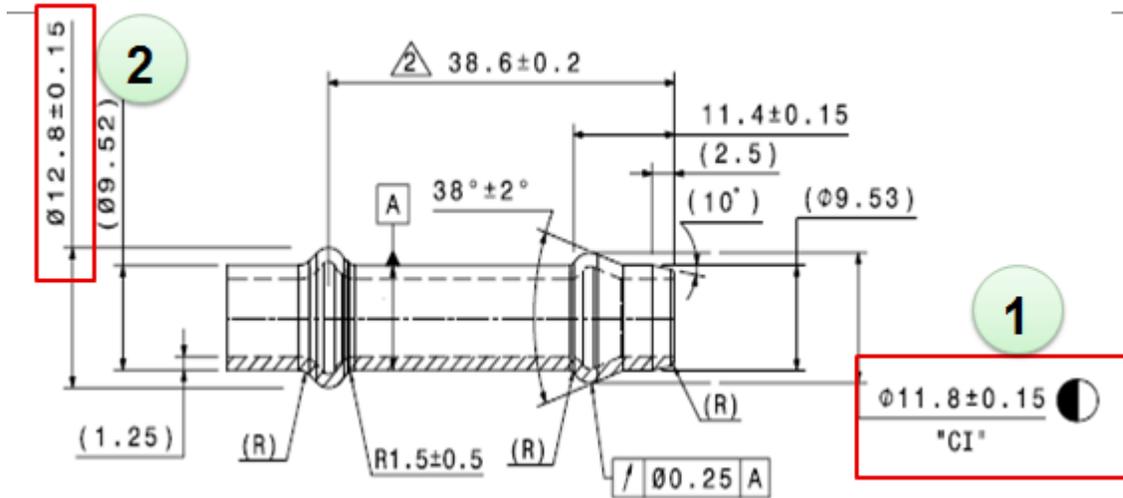
Esta etapa del DMAIC, es importante para llegar a las conclusiones de la investigación, en el análisis se examina detalladamente las características del tubo, separando o considerando por separado sus partes, para conocer sus características o cualidades, o su estado, y extraer conclusiones, si el metsol afecta o no las propiedades de los tubos.

#### **4.3.1 Tubo de aluminio**

Para evaluar y analizar las propiedades químicas del metsol afectan las características del producto, se realizó una corrida con cada uno de los diferentes materiales en primer caso con el tubo de aluminio, liberando todas las características y realizando estudios con las características críticas (T TESTs boxplot, sixpack análisis), para corroborar estadísticamente si el cambio del compuesto influye en el producto.

En la siguiente ilustración se muestra los requerimientos que se exigen en el tubo, para que se considere un producto terminado adecuado a las exigencias de los clientes.

### Ilustración 29 Requerimientos del tubo de aluminio



Fuente: Eaton

Para realizar el estudio se dividió en dos partes los requerimientos del tubo como se muestra en la ilustración 23, los rectángulos rojos, muestran los requerimientos que no se deben alterar al conformar el tubo con el lubricante metsol.

En la parte número 1, se utilizó la herramienta de diagrama de cajas para comparar nuestras muestras estadísticas, también la herramienta de hipótesis test para evaluar si estadísticamente hay alguna diferencia significativa en nuestras muestras, el resultado fue negativo en cada una de ellas.

Las muestras fueron seleccionadas de la siguiente manera: en una corrida especial se tomaron 30 datos de toda la corrida para que la muestra sea representativa y se tomó una muestra también del proceso de valores registrados en un mes para descartar la variación de turno a turno, operador a operador, ajuste.

Los requerimientos que se exigen en el tubo 1JF12097-06 son los siguientes: **11.8 +/- 0.15**

Se realizó un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el nuevo compuesto los valores obtenidos fueron los siguientes:

- P value: 0.675, esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 1.95. Con este valor validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 1.87. este valor nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

En la parte 2 del tubo de Aluminio 1JF12097-06 los requerimientos son los siguientes: 12.8 +/- 0.15.

En el análisis realizado no muestra diferencia significativa entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se mantiene estable.

Se realizó un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el lubricante metsol los valores obtenidos fueron los siguientes:

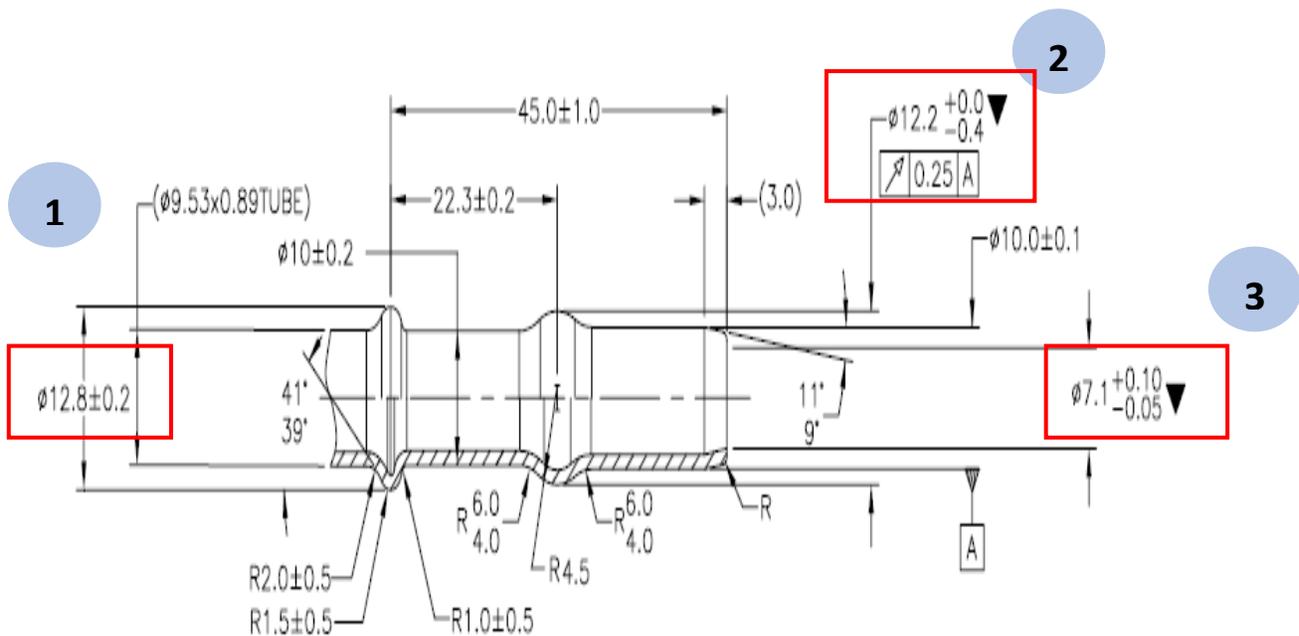
- P value: 0.193. esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.58. con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 2.58. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

### 4.3.2 Tubo de Acero

Al igual que el tubo de aluminio, el acero también tenía que ser sometido a diferentes pruebas para evaluar las propiedades del tubo al conformarse con el nuevo lubricante, y concluir si el acero sufrirá cambios físicos así como químicos, para ello el tubo se dividió en tres partes esenciales para el estudio.

En la siguiente ilustración se muestra la división del tubo de acero para su evaluación.

**Ilustración 30** División del tubo de acero



**Fuente:** Eaton

Para el tubo de acero JF12096-06 los requerimientos primordiales son los siguientes  $\phi 3/8'' \times 0.035''$

La división número 1, se sometió a una prueba de Bloxplot para una comparación del proceso actual, con el nuevo proceso de conformado, y verificar si el proceso se mantiene estable o existe variación en el mismo. De igual manera un One-Way Anova, para la verificación de las diferencias o variaciones del proceso.

Ambas pruebas de variación del proceso realizados en la primer división de los tubos concluye que no muestra diferencia significativa entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se mantiene estable y de igual manera que en la división 1 no existe afectación al usar el lubricante metsol.

Un requerimiento básico en los tubos de acero son los siguientes:  $12.8 \pm 0.2$  el cual no ha sido modificado.

Otro de los estudios realizados para evaluar las características del tubo de acero fue un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el lubricante metsol, los valores que se obtuvieron de dicha prueba fueron los siguientes:

- P value: 0.620 esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 1.82 con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 1.72 Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

No existe hasta ahora algún punto que se encuentre fuera del proceso.

La siguiente ilustración muestra el análisis de sixpack realizado para obtener los resultados pasados.

En la división número 2 del tubo de acero 1JF12096-06, los requerimientos son  $12.2 + 0.0/- 0.4$ .

En esta parte de igual manera que en la 1 se llevó a cabo un análisis Bloxplot para la verificación de la variabilidad del proceso, y un One-Way Anova para encontrar las diferencias de procesos.

Al terminar los análisis mencionados se concluye que no se muestra diferencia significativa entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se sigue manteniendo estable lo cual muestra que sigue sin existir afectación al usar el lubricante metsol.

En la parte 3 del tubo los requerimientos exigidos en el conformado son:  $7.1+0.10/-0.05$ .

En esta parte del análisis los no se muestran diferencias significativas entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se mantiene estable, lo cual dice que no hay afectación al usar el lubricante metsol.

El segundo análisis que se realizó fue un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el nuevo compuesto los valores obtenidos fueron:

- P value: 0.201 esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.13 con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 2.52. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

## 4.2 Mejorar

Esta es la penúltima fase del método DMA en la fase de mejorar, se optimiza el proceso con la información obtenida en el análisis y se valida su mejora.

Para el tubo de acero 1JF12096-06 con los requerimientos  $12.8 \pm 0.2$  en la parte 1 se realiza corrida de validación para corroborar los datos contra Cpk y ppk

P value: 0.717. Esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.

CPK: 1.92. Con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.

PPK: 1.77. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

Para el tubo de acero 1JF12096-06 con los requerimientos  $7.1+0.10/- 0.05$  en la parte 3 se realiza corrida de validación para corroborar los datos contra Cpk y ppk

- P value: 0.441 esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.04 con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 1.95 Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

## 4.3 Controlar

En la última fase de mejora, se hace el seguimiento del proceso para comprobar que ha mejorado y se analizan, también, nuevas oportunidades de mejora.

Para el control la pérdida de la producción debido al fallo de los equipos, es decir, para mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas se realizó un TPM.

Los TPM suponen que:

- Cero averías
- Cero tiempos muertos
- Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos
- Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos a estos de los equipos

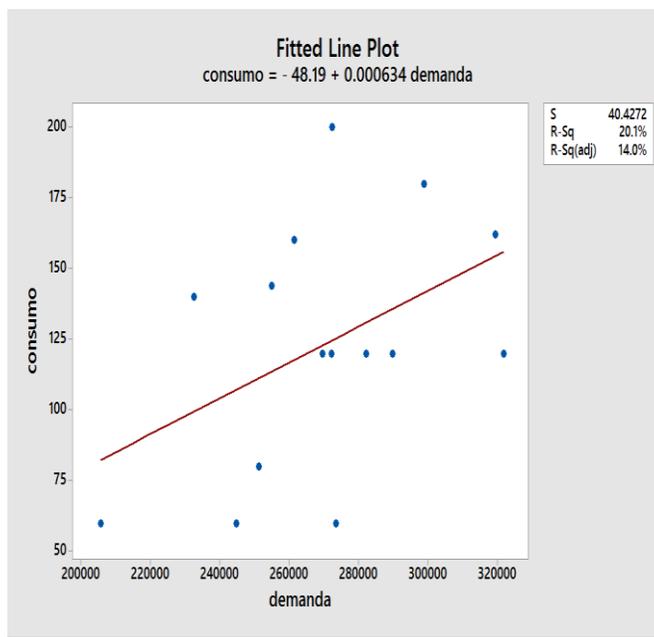
## Capítulo 5. Resultados

### 5.1. Estudio de correlación

Se realizó un estudio de correlación para comprobar la relación que se tiene con la demanda de producción y el consumo del lubricante. El resultado es menor al 85% (14%), lo cual indica que no hay una relación directa en estas dos variables. Por lo tanto no nos podemos basar en la producción para calcular el consumo del lubricante.

En la siguiente ilustración se muestra la gráfica de correlación de la producción y el consumo del lubricante.

**Ilustración 31** Estudio de correlación



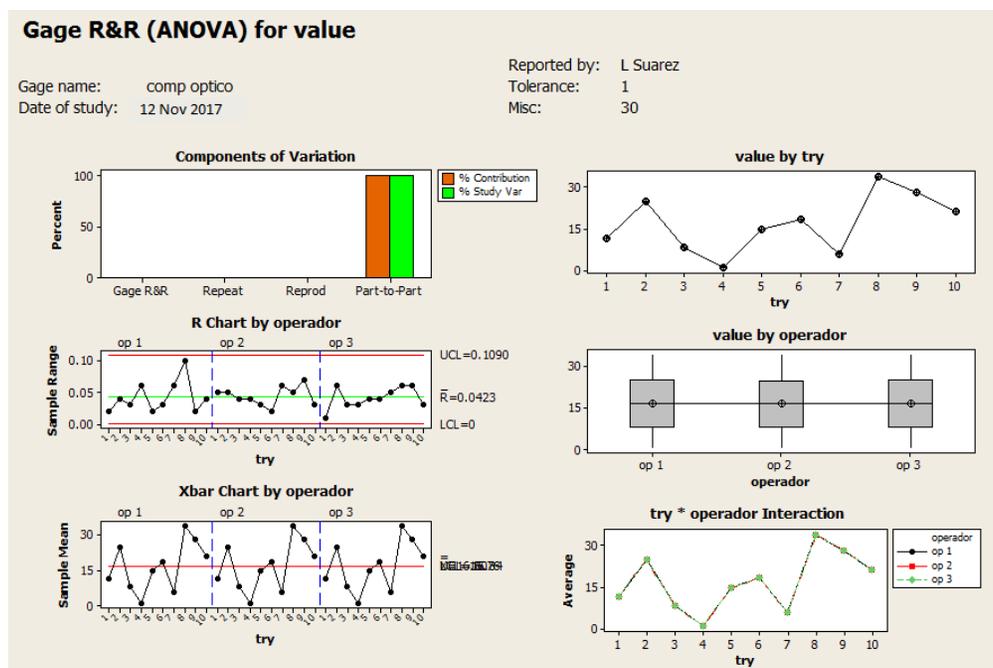
Fuente: Eaton

## 5.2. Estudio de R&R

Para validar el sistema de medición en el que nos basaremos para realizar todo nuestro estudio se realiza un R&R dando un resultado aceptable del 100%.

La siguiente ilustración muestra gráficas del estudio R&R elaboradas en minitab.

Ilustración 32 Estudio R&R



Fuente: Eaton

La interpretación de la ilustración se encuentra descrita en el capítulo 5.

### Ilustración 33 WAY ANOVA

#### Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
try	9	8903.48	989.276	1571132	0.000
operador	2	0.01	0.003	5	0.007
Repeatability	78	0.05	0.001		
Total	89	8903.54			

#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.001	0.00
Repeatability	0.001	0.00
Reproducibility	0.000	0.00
operador	0.000	0.00
Part-To-Part	109.919	100.00
Total Variation	109.920	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0268	0.1609	0.26
Repeatability	0.0251	0.1506	0.24
Reproducibility	0.0095	0.0567	0.09
operador	0.0095	0.0567	0.09
Part-To-Part	10.4842	62.9055	100.00
Total Variation	10.4843	62.9057	100.00

Number of Distinct Categories = 551

Fuente: Eaton

Tomando en cuenta que tenemos 551 categorías lo que indica que nuestras muestras son ideales para representar la especificación y confirmar que la variación está en las piezas y no en el operador ni en el método.

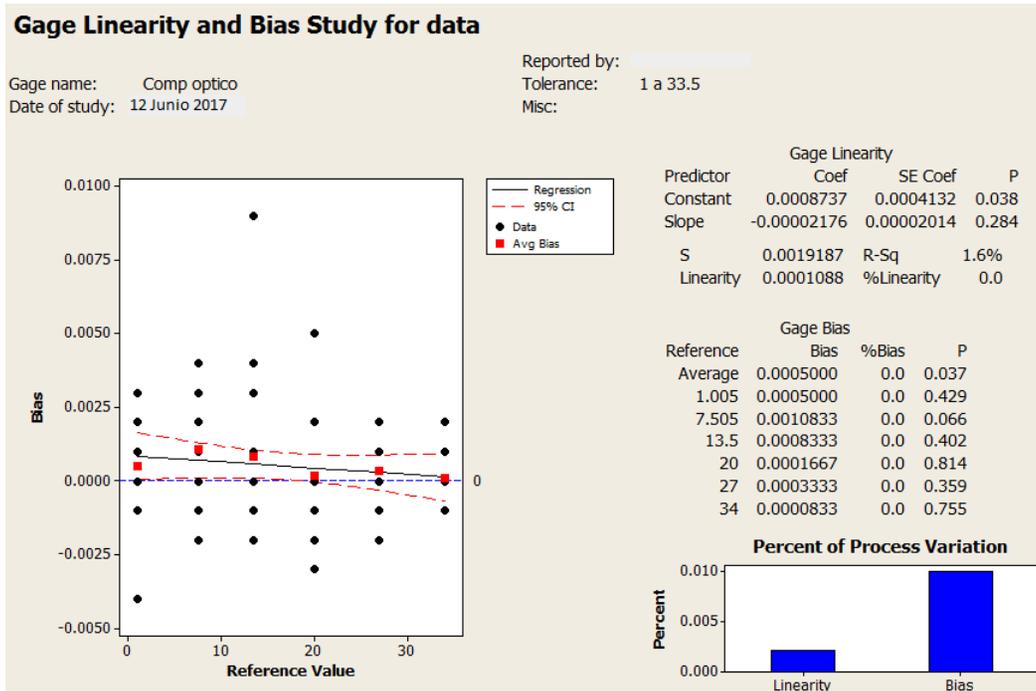
### 5.3. Estudio de linealidad y Bias

Se realiza el estudio de linealidad y bias para calificar nuestro instrumento de medición, el cual nos da un % aceptables (linealidad 0 %, bias 0%), nos indica que nuestro instrumento es hábil para realizar las mediciones que requerimos.

Para realizar esta prueba se utilizaron block patrón calibrados abarcando todo el intervalo de trabajo, el intervalo fue dividido en 5 partes se realizaron las 12 intentos para cada uno de los rangos.

La siguiente ilustración muestra el estudio de linealidad y Bias realizado.

**Ilustración 34** Estudio de Linealidad y Bias



Fuente: Eaton

La interpretación de la ilustración se encuentra descrita en el capítulo 5.

### 5.3.1 Tubo de aluminio

Utilizamos la herramienta de diagrama de cajas para comparar nuestras muestras estadísticas, también la herramienta de hipótesis test para evaluar si estadísticamente hay alguna diferencia significativa en nuestras muestras, el resultado fue negativo en cada una de ellas.

Ilustración 36 Bloxplot Aluminio

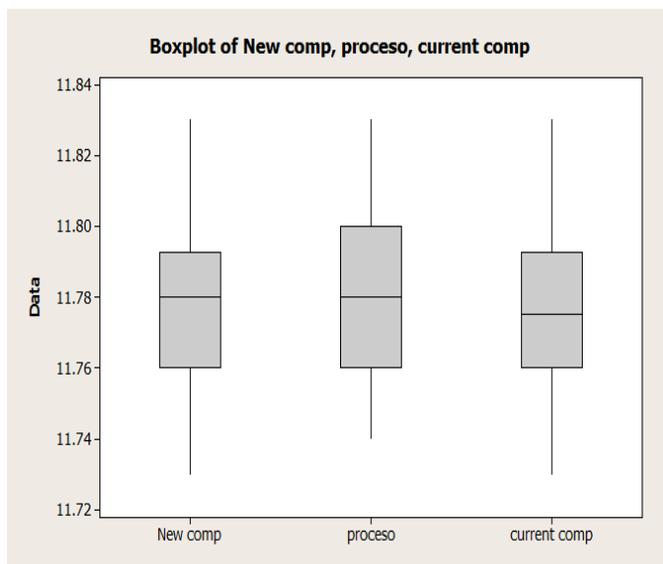
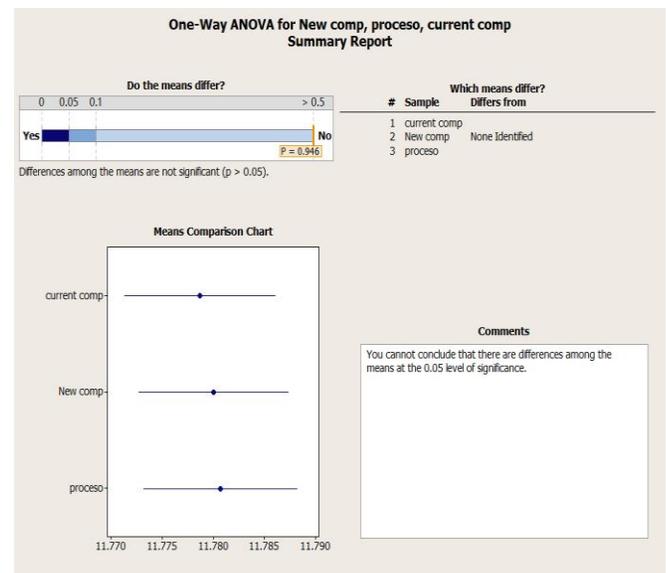


Ilustración 35 One-Way Anova Aluminio



Fuente: Eaton

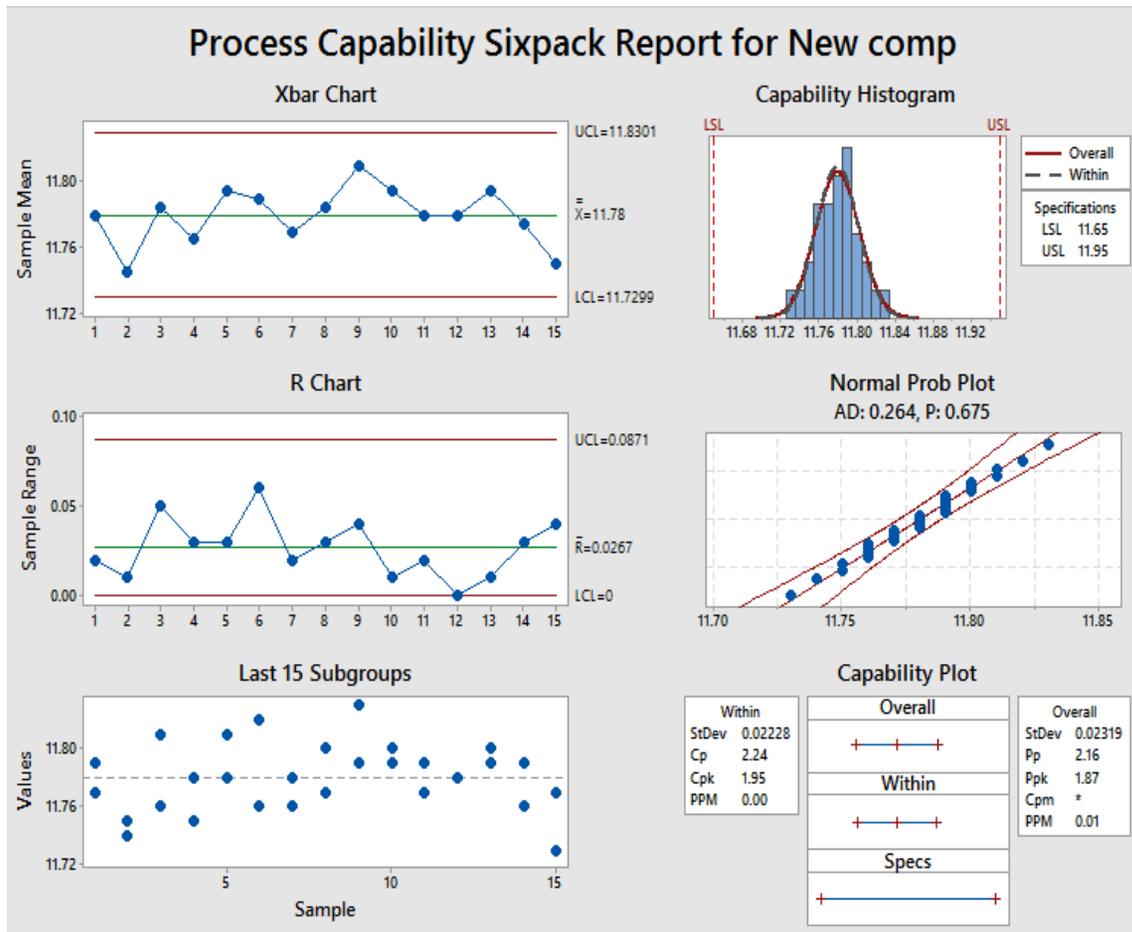
Se realiza un sixpack análisis en la parte uno del tubo para validar la habilidad del proceso utilizando el nuevo compuesto los valores obtenidos fueron.

P value: **0.675**. Esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.

CPK: **1.95**. Con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.

PPK: **1.87**. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

**Ilustración 37** Sixpack aluminio



**Fuente:** Eaton

Ningún punto fuera de control en nuestro análisis.

De igual manera que en la parte uno se realiza un Bloxplot en la parte dos del tubo de aluminio como se muestra en las gráficas de las siguientes ilustraciones.

Ilustración 38 Bloxplot Aluminio

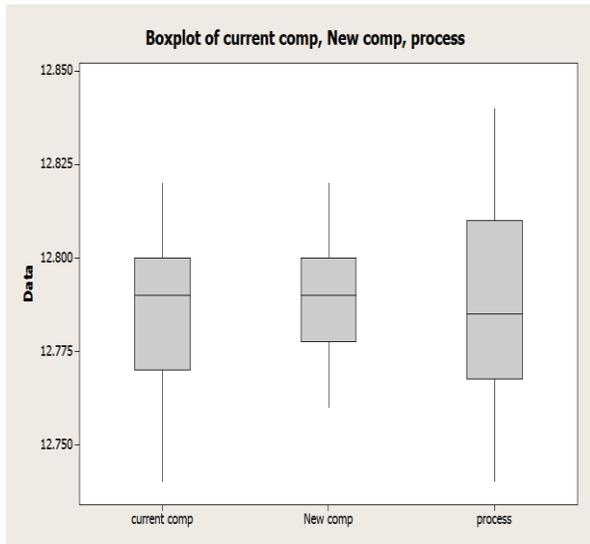
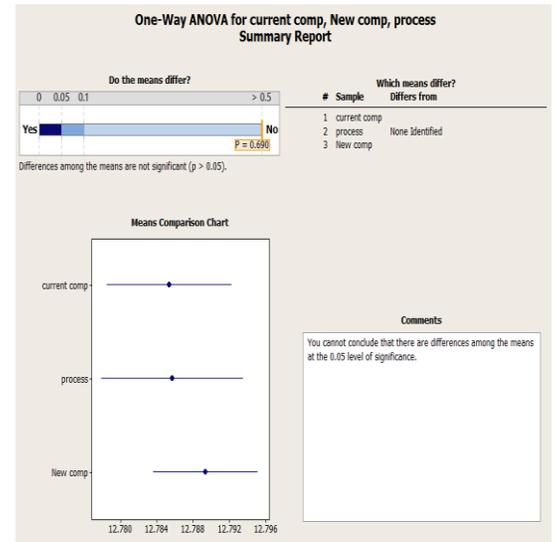


Ilustración 39 OneWay Anova Aluminio



**Fuente:** Eaton

El estudio Bloxplot no muestra diferencia significativa entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se mantiene estable.

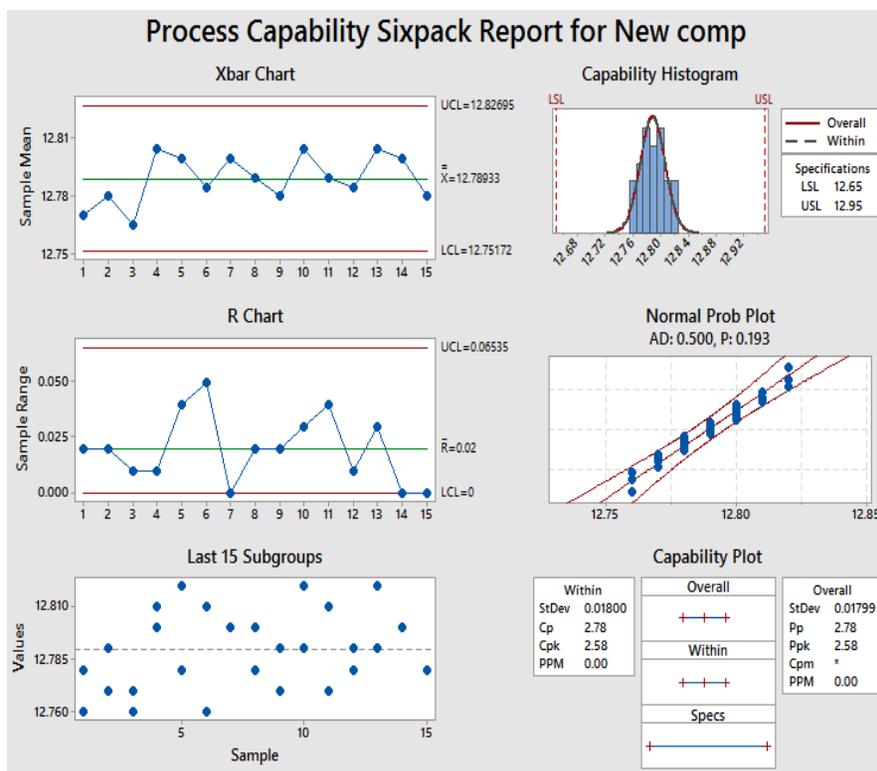
Es decir no existe afectación al usar el lubricante metsol.

Se realiza un sixpack análisis en la parte dos para validar la habilidad del proceso utilizando el lubricante metsol los valores obtenidos fueron:

- P value: 0.193. esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.58. con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 2.58. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

No existe ningún punto fuera de control en nuestro análisis como se muestra en la grafica siguiente.

### Ilustración 40 Sixpack Aluminio



Fuente: Eaton

### 5.3.2 Tubo de Acero

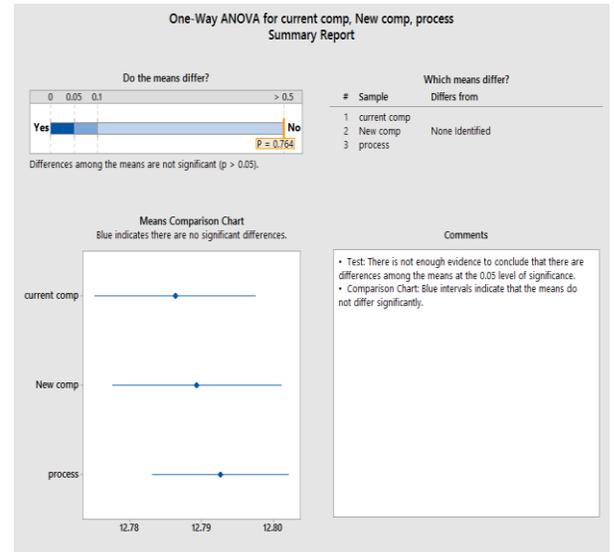
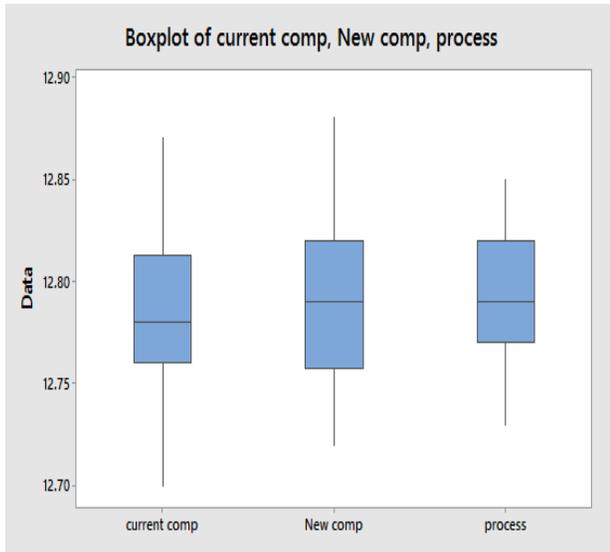
En el estudio de boxplot el resultado es que no muestra diferencia significativa entre las medidas de los grupos, lo cual significa que el proceso se mantiene estable.

No cual no hay afectación al usar el lubricante metsol.

En las gráficas de la siguiente ilustración se muestra la prueba de boxplot y el One- Way Anova realizado en Minitab.

Ilustración 41 Prueba Bloxplot

Ilustración 42 Prueba One- Way Anova

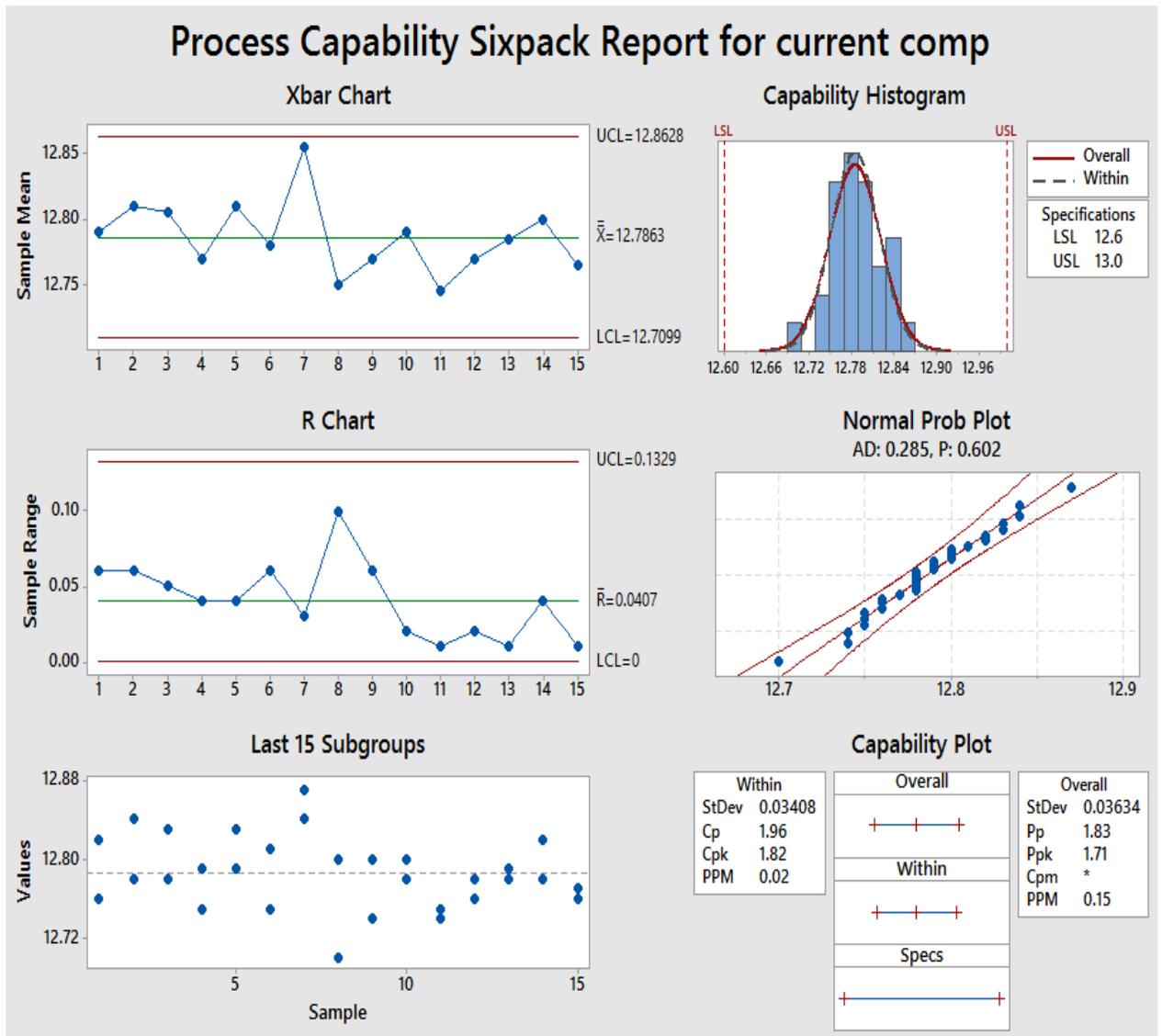


Fuente: Eaton

En la parte uno del tubo se realizó un análisis sixpack para validar la habilidad del proceso utilizando el lubricante metsol los valores obtenidos fueron.

En la siguiente ilustración se muestra la gráfica del análisis Sixpack en donde están plasmados los resultados siguientes

**Ilustración 43** Six pack Acero



**Fuente:** Eaton

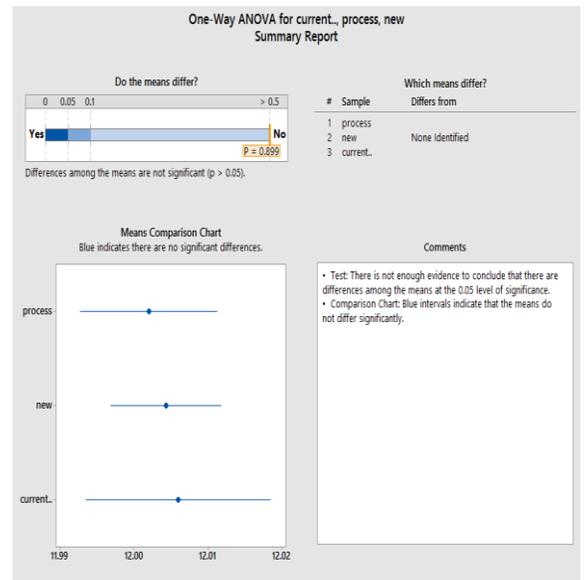
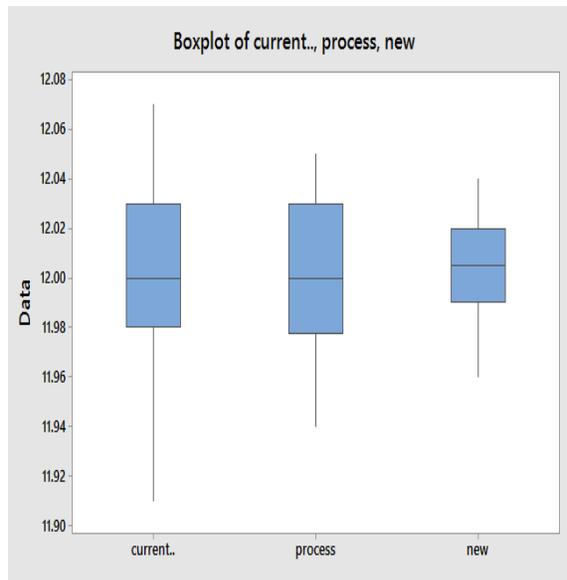
- P value: 0.620 esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 1.82 con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 1.72 Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

No existe ningún punto fuera de control en nuestro análisis

En la parte dos del tubo de acero se realiza un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el nuevo compuesto los valores obtenidos fueron.

En la siguiente ilustración se muestran las gráficas de Bloxplot y One- Way Anova.

Ilustración44 Bloxplot Ilustración45 One- Way Anova



Fuente: Eaton

P value: 0.094. Esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.

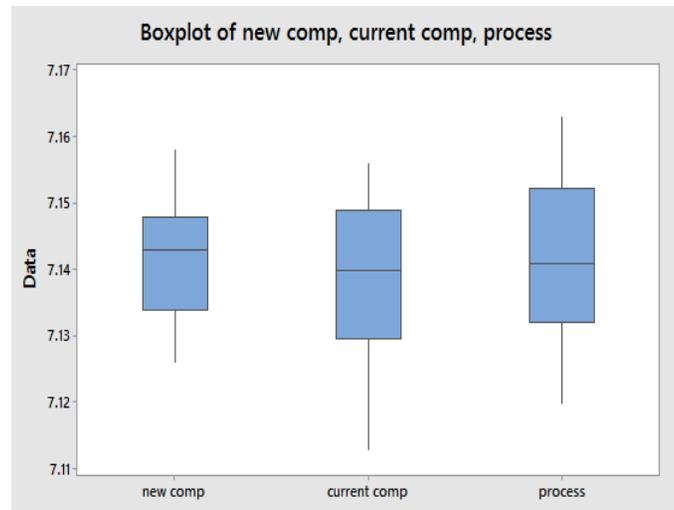
CPK: 1.76. Con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.

PPK: 1.67. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

No existe ningún punto fuera de control en nuestro análisis

En la parte tres del tubo se realiza un sixpack análisis para validar la habilidad del proceso utilizando el nuevo compuesto los valores obtenidos fueron los siguientes.

### Ilustración 46 Bloxplot

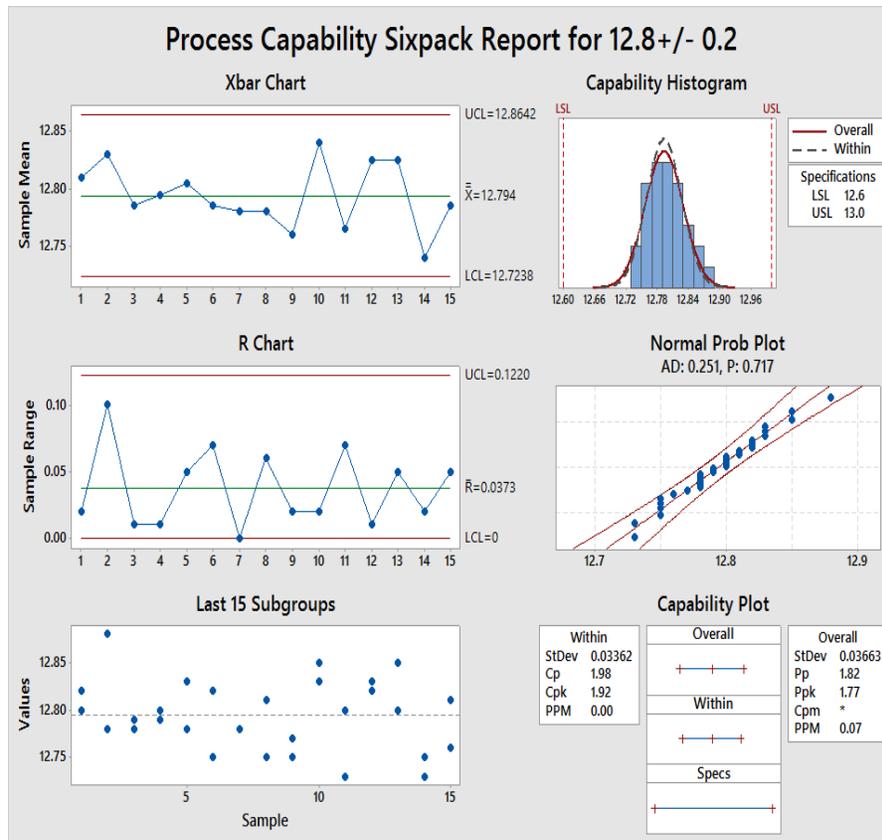


Fuente: Eaton

- P value: 0.201. Esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.13. Con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica critica mayor a uno 1.66.
- PPK: 2.52. Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.



### Ilustración 48 Six pack para el tubo de acero



Fuente: Eaton Minitab

Para el tubo de acero 1JF12096-06 con los requerimientos  $7.1+0.10/-0.05$  en la parte 3 se realiza corrida de validación para corroborar los datos contra Cpk y ppk

- P value: 0.441 esto nos asegura que el proceso tiene normalidad.
- CPK: 2.04 con esto validamos la habilidad del proceso para esta característica crítica mayor a uno 1.66.
- PPK: 1.95 Este nos garantiza que nuestro proceso seguirá siendo hábil a lo largo del tiempo.

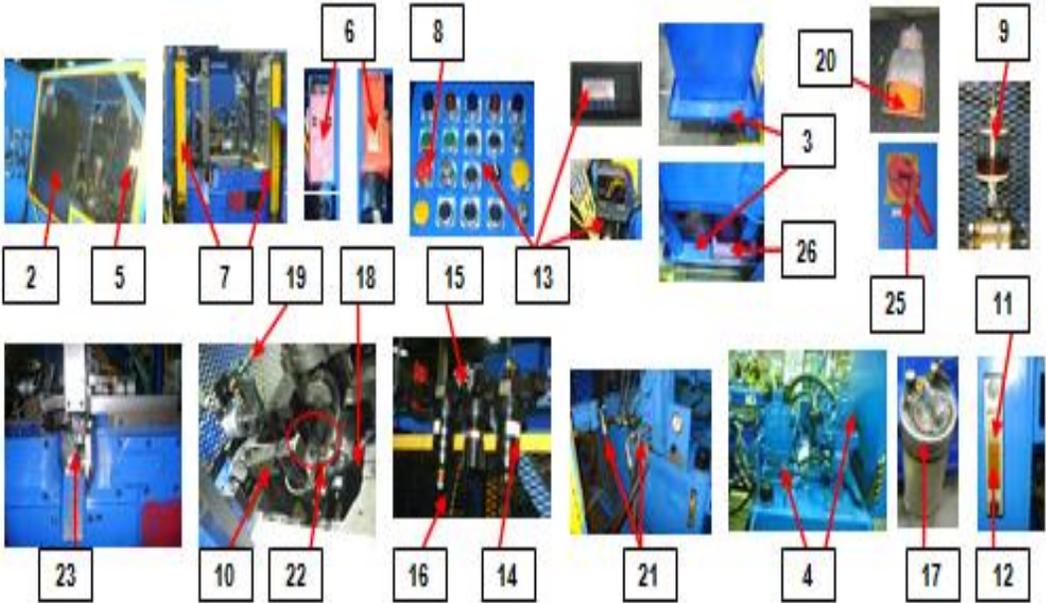
No existe ningún punto fuera de control en nuestro análisis.

### **5.3.3 Mantenimiento productivo total (TPM)**

Para el control se agrega en el TPM el uso del metsol de las siguientes maquinas.

- PR-113
- 84-006
- 83-014
- 84-007
- 83-018
- 83-017
- 83-012
- 83-015

En la siguiente ilustración se muestra la tabla de TMP en donde se agregó el uso del Metsol.

 Powering Business Worldwide		<b>MANTENIMIENTO</b> <b>INSTRUCCIONES</b>	<b>TPM</b>	Nivel de Revisión: 06	Fecha:
				Máquina y No. <b>CONFORMADORA 83-012</b>	
					
<b>Estándar 5S's</b>			Cada Turno	Todos los lunes	Lunes/inicio de mes
1	Realizar las 5S's en la máquina(Seguridad, Revisar, Colocar, Limpiar, Estandarizar, Mantener)				
1A	Limpieza de la mordaza(al inicio del turno y después del tiempo de la comida)				
2	Realizar limpieza en la pantallas de acrílico.				
3	Realizar limpieza de toda la charola libre de aceite y de trapos				
4	Realizar limpieza de todo el bloque de válvulas libre de polvo y grasa				
<b>NOTA: las actividades de lubricantes e inspeccion se realizan al inicio de cada turno.</b>					
<b>Estándar de lubricación e inspección</b>			Cada Turno	Todos los lunes	Lunes/inicio de mes
5	Inspeccionar que las guardas fijas estan sujetas/ aseguradas a la máquina (con todos los tornillos), las guardas móviles están colocadas impidiendo el acceso a las partes en movimiento y que ambas están libres de daños(no bordes afilados, rotas, fracturadas.)			X	
6	Abrir guarda con infarlook e inspeccionar que se detengan todos los movimientos de la máquina, y se restablezca manualmente antes de iniciar algún movimiento.			X	
7	Inspeccionar que la scortinas de luz se encuentren en modo "activo " (foco verde). Interrumpir áreasde detección de las cortinas con un objeto, e inspeccionar que se detengan todos los movimientos de la máquina, y se restablezca manualmente antes de iniciar algún movimiento.			X	
8	Activas el paro de emergencia, e inspeccionar que se detengan todos los movimientos de la máquina, y se restablezcan manualmente antes de iniciar algún movimiento.			X	

### Ilustración 49 TPM

9	Revisar el nivel de aceite de las guías 3/4 (rellenar con vectra 1)	X		
10	Revisar guías, soportes, cuerdas, sensor y tornillería del mecanismo de la paleta.	X		
11	Revisar el nivel del aceite hidráulico mínimo 3/4 (rellenar con aceite AWG 46)	X		
12	Revisar la temperatura del aceite max. 64°C	X		
13	Revisar las luces indicadoras, los botones y el display que están en buen estado.	X		
14	Revisar el nivel de aceite de la unidad de mantenimiento 3/4 (de ser necesario rellenar con aceite l80 15)	X		
15	Revisar presión de aire (min. 80 psl-0.Mps- 68ar y max. 120 psi- 0.8 Mps- 65 ar)	X		
16	Drenar el agua del purgador.		X	
17	Revisar que tenga aceite el contenedor de corte (rellenar con aceite CINDOL 4625 o en su defecto con CINDOL)	X		
18	Verificar que no existan objetos extraños en las guías (rebabas o residuos metálicos)	X		
19	Revisar que los sensores se encuentren en buen estado	X		
20	Revisar el funcionamiento de los pedales.	X		
21	Revisar que no existan fugas de aire y aceite en mangueras y conexiones.	X		
22	Revisar los tornillos del herramental	X		
23	Limpieza y verificación del herramental que se encuentra en buenas condiciones.	X		
<b>NOTA: las actividades de lubricantes e inspección se realizan al inicio de cada turno.</b>				
<b>ACTIVIDADES DE FINAL DE TURNO Y/O CUANDO LA MÁQUINA NO ESTE EN USO</b>				

**Fuente:** Eaton

### 5.3.3 Análisis económico

En la planta de Eaton Querétaro existen 1026 litros de metsol en stock, con un costo de \$450 por litro, es decir hay un total de \$461 700 almacenados.

En cambio el Cindol tiene un costo de \$82.4 por litro y normalmente el consumo mensual de lubricante es de 120 litros por mes, que nos genera un costo de \$9888.00 mensuales.

Después de analizar cada proceso y concluir que el lubricante metsol no afecta ninguna propiedad del conformado de los tubos, se hizo un análisis del costo que la empresa Eaton podría ahorrar con la utilización de material en stock.

Considerando que el consumo mensual es de 120 litros de Cindol y en stock existen 1026 litros, los litros almacenados de lubricante cubrirán la necesidad de Cindol durante 8.55 meses, y tomando en cuenta que el precio de dicho lubricante es de \$82.4, se concluye que hay un ahorro de \$84 542.40 con la utilización del lubricante Metsol.

<b>Cindol</b>			
Precio	Consumo mensual	Costo	
82.4	120	\$ 9,888.00	mensual
Metsol	1,026	8.55	meses
	Ahorro	\$84,542.40	

## Conclusiones

1. Se cumple la hipótesis, el lubricante Metsol puede reemplazar al lubricante Cindol sin afectar los estándares de calidad y las características del producto final.
2. Six Sigma es una metodología utilizada para alcanzar la mejora continua en los procesos, disminuyendo costos ocultos o costos por mala calidad.
3. Gracias a la metodología Six Sigma, se obtiene un mejor conocimiento de los procesos dentro de toda organización, se incrementa la satisfacción del cliente, se puede incrementar la competitividad de las empresas, se estandarizan técnicas y herramientas para los procesos, se recuperan inversiones, y se consigue la mejora continua, entre otros.
4. El proceso de implementación de la metodología de Six Sigma comienza con la necesidad de una mejora continua dentro de una organización.
5. El lubricante Cindol no afecta las propiedades de los tubos de acero y aluminio en el proceso de conformado.
6. Existe un ahorro de \$84, 542 al utilizar el Cindol que se encuentra en stock.

## Referencias

- Aiteco. (s.f.). *Aiteco consultores*. Obtenido de Aiteco consultores:  
<https://www.aiteco.com/estratificacion/>
- Avila Calvillo, A. D. (MAayo de 2006). Tesis. *MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE SIX SIGMA EN BASE A UNA INDUSTRIA DE ACERO*. Guatemala: Universidad de San Carlos .
- Castro Rodríguez, A. (Febrero de 2010). Tesis . *Diagnostico del área de ventas de una industria farmacéutica basado en la metodología six sigma*. México, México: Universidad Autónoma de México.
- Cersti. (s.f.). *Cert de Seguridad e industria*. Obtenido de Cert de Seguridad e industria:  
<https://www.cersti.es/sobre-cersti/que-es-cersti>
- Cícero Comunicación. (2015). *Cícero Comunicación*. Obtenido de Cícero Comunicación:  
<https://www.cicerocomunicacion.es/en-que-consiste-la-metodologia-dmaic/>
- Eaton. (s.f.). *Eaton Poweriling Business Worldwide*. Obtenido de  
<http://www.eaton.mx/EatonMX/NuestraCompania/Sostenibilidad/index.htm>
- Eckes, G. (2004). *El six sigma para todos* . Bogota: Grupo Editorial Norma.
- Gestiopolis. (s.f.). *Gestiopolis*. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/seis-sigma-preguntas-y-respuestas/>
- Hernández, G. (2017). *Calidad y ADR*. Obtenido de  
<https://aprendiendocalidadyadr.com/estratificacion/>
- Institute, K. (Julio de 2015). *Kaizen Institute*. Obtenido de Kaizen Institute:  
<https://mx.kaizen.com/blog/post/2015/07/16/six-sigma-antecedentes.html>
- Lean Solutions. (2012). *Lean Solution*. Obtenido de Lean Solutions:  
<http://www.leansolutions.co/conceptos/que-es-six-sigma/>
- Lemos, P. L. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad*. España: FC Editorial.
- Lobo Mesquita, L. (Noviembre de 2012). Mejoras en los procesos productivos de una fábrica de calzados con el uso de las herramientas de la calidad de la. *Tesis de nivel licenciatura*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de San Martin.
- López, B. S. (2013). *Ingenieriaindustrialonline.com*. Obtenido de  
[Ingenieriaindustrialonline.com](http://Ingenieriaindustrialonline.com):

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/>

Minitab. (2017). *Minitab Inc. All rights Reserved*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/>

Portillo Echegoyen, R. A. (Noviembre de 2004). Documento de Tesis. *PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA SIX SIGMA A LAS EMPRESAS CERTIFICADAS CON LA NORMA ISO 9000 Y ORIENTADAS AL PROCESAMIENTO DE PLASTICOS*. Soyapango, El salvador: Universidad don Bosco.

Racines, S. A. (Mayo de 2013). *APLICACIÓN DE LAS 7 HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD A TRAVÉS DEL CICLO DE MEJORA*. Cuenca, Ecuador.

Terms, M. (s.f.). *Manufacturing Terms*. Obtenido de <https://www.manufacturingterms.com/Spanish/One-Way-ANOVA.html>

Vacas, F. (2009). Tesis. *Plan de mejora en el proceso de preparacion de conservas de una industria alimenticia aplicando la metodologia six sigma*. Universidad de las Américas.

Vazquez Cervantes, J. I. (2005). Tesis. *FILOSOFIA SIX SIGMA UNA METODOLOGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PRODUCTOS Y SERVICIOS EN EL SECTOR PRODUCTIVO*. México: Instituto Politecnico Naciona.

calzados con el uso de las herramientas de la calidad de la. *Tesis de nivel licenciatura*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de San Martin.

Minitab. (2017). *Minitab Inc. All rights Reserved*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/>

Portillo Echegoyen, R. A. (Noviembre de 2004). Documento de Tesis. *PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA SIX SIGMA A LAS EMPRESAS CERTIFICADAS CON LA NORMA ISO 9000 Y ORIENTADAS AL PROCESAMIENTO DE PLASTICOS*. Soyapango, El salvador: Universidad don Bosco.

Racines, S. A. (Mayo de 2013). *APLICACIÓN DE LAS 7 HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD A TRAVÉS DEL CICLO DE MEJORA*. Cuenca, Ecuador.

Terms, M. (s.f.). *Manufacturing Terms*. Obtenido de <https://www.manufacturingterms.com/Spanish/One-Way-ANOVA.html>

Vacas, F. (2009). Tesis. *Plan de mejora en el proceso de preparacion de conservas de una industria alimenticia aplicando la metodologia six sigma*. Universidad de las Américas.

Vazquez Cervantes, J. I. (2005). Tesis. *FILOSOFIA SIX SIGMA UNA METODOLOGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PRODUCTOS Y SERVICIOS EN EL SECTOR PRODUCTIVO*. México: Instituto Politecnico Naciona.

## Índice de figuras

<b>Ilustración 1</b> Campana de Gauss Jordan .....	2
Ilustración 2 Variación normal de la media de un proceso .....	3
Ilustración 3 Lean Six Sigma .....	7
<b>Ilustración 4</b> Lean Sigma .....	8
Ilustración 5 Diagrama de Pareto .....	15
Ilustración 6 Diagrama de Ishikawa .....	16
Ilustración 7 Histograma .....	17
<b>Ilustración 8</b> Estratificación .....	19
Ilustración 9 Gráfico de control .....	20
Ilustración 10 Correlación positiva .....	22
Ilustración 11 Correlación negativa .....	22
Ilustración 12 Sin correlación .....	23
Ilustración 13 Repetibilidad .....	24
Ilustración 14 Reproducibilidad .....	25
Ilustración 15 Bloxplot .....	27
Ilustración 16 Organigrama Gerencial .....	36
Ilustración 17 Organigrama Recursos Humanos .....	37
Ilustración 18 Organigrama Dpto de finanzas .....	38
Ilustración 19 Organigrama de proyectos .....	39
Ilustración 20 Departamento de Calidad .....	39
Ilustración 21 Departamento de CI .....	40
Ilustración 22 Departamento de Materiales .....	41
Ilustración 23 Departamento de Operaciones .....	42
Ilustración 24 Departamento de EHS .....	43
Ilustración 25 Costos de Lubricantes .....	44
<b>Ilustración 26 Proceso de conformado</b> .....	46
Ilustración 27 Diagrama de flujo .....	48
Ilustración 28 Block calibrados .....	54
Ilustración 29 Requerimientos del tubo de aluminio .....	55

Ilustración 30 División del tubo de acero.....	57
Ilustración 31 Estudio de correlación´ .....	62
Ilustración 32 Estudio R&R .....	63
Ilustración 33 WAY ANOVA.....	64
Ilustración 34 Estudio de Linealidad y Bias.....	65
Ilustración 35 One-Way Anova Aluminio .....	66
Ilustración 36 Bloxplot Aluminio .....	66
Ilustración 37 Sixpack aluminio.....	67
Ilustración 38 Bloxplot Aluminio .....	68
Ilustración 39OneWay Anova Aluminio.....	68
Ilustración 40 Sixpack Aluminio.....	69
Ilustración 41 Prueba Bloxplot Ilustración 42 Prueba One- Way Anova.....	70
Ilustración 43 Six pack Acero .....	71
Ilustración44 Bloxplot Ilustración45 One- Way Anova.....	73
Ilustración 46 Bloxplot.....	74
Ilustración 47 Six pack Acero .....	75
Ilustración 48 Six pack para el tubo de acero.....	76
<b>Ilustración 49 TPM .....</b>	<b>79</b>