



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Mejora De Procesos Mediante Metodología  
Lean Six Sigma (Yellow Belt) Aplicada A Una  
Línea De Manufactura De Amortiguadores  
Electromagnéticos**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Industrial**

**P R E S E N T A**

María Abigail Guerra Silva

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. Pablo Luis Mendoza Medina



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>THYSSENKRUPP BILSTEIN OF AMERICA</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO</b> .....	4
1.1 Justificación e importancia .....	4
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 Definición Lean Six Sigma .....	5
2.2 Teoría de Six Sigma .....	5
2.3 Definición de Six Sigma como una medida estadística .....	8
2.4 Historia de Six Sigma .....	10
2.5 Estructura Six Sigma .....	14
2.6 Principios de Six Sigma .....	15
2.7 Implementación de la metodología lean six sigma.....	15
2.7.1 El mapa de rutas de Six sigma.....	15
2.7.2 Estrategia de implementación .....	19
2.8 Pasos De La Metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC).....	20
2.9 Ventajas del DMAIC .....	22
2.10 Factores críticos para una implementación exitosa .....	22
2.11 Entrenamiento .....	26
2.11.1 Estrategia .....	26
2.11.2 Tipos de Entrenamiento .....	26
2.12 VENTAJAS DE SEIS SIGMA .....	28
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO</b> .....	29
<b>3.1 Definir</b> .....	29
3.1.1 Project charter .....	29
3.1.2 Process Mapping .....	30
3.1.3 Árbol de CTQ's .....	30

<b>3.2 Medir</b> .....	31
3.2.1 Recopilar y visualizar datos.....	32
3.2.2 Nivel sigma.....	33
3.2.3 Diagrama de Pareto.....	37
<b>3.3 Analizar</b> .....	38
3.3.1. Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto).....	38
3.3.2. Análisis del proceso .....	39
3.3.3 Diagrama de Hilos .....	47
<b>3.4 Mejorar</b> .....	49
3.4.1 Balanceo de Línea .....	50
3.4.2 Diagrama de Gantt .....	57
<b>3.5 Controlar</b> .....	61
3.5.1 Manuales .....	61
3.5.2 Capacitación.....	62
<b>3.6 Resultados</b> .....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....	66
<b>REFERENCIAS</b> .....	68

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí, con entera satisfacción de cada una de mis decisiones y amor de los que amo.*

*A mi mamá, Cristina Silva, porque debido a su amor y apoyo incondicional hoy puedo terminar mis estudios. Su ejemplo de fortaleza, perseverancia e inteligencia me llenan de orgullo y motivación para seguir adelante. Gracias por haber estado conmigo en mis momentos más difíciles, demostrándome que no hay amor más grande que el de una madre, por enseñarme a nunca rendirme y sobre todo por hacerme sentir que siempre estarías conmigo sin importar mis decisiones. Este logro más en mi camino es otro de los muchos que debo a ti.*

*A mi papá, Pedro Guerra, quién me dio la libertad desde muy joven de emprender mi propio camino basado en los principios y la buena educación que me brindaron desde pequeña. Gracias por dejarme volar y hacerme de mí una mujer fuerte e independiente con grandes aspiraciones.*

*A mi hermana Fernanda Guerra, que ha estado conmigo en cada etapa de mi vida, a quién amo desde que nació y me cambió por completo la vida, enseñándome que las risas compartidas saben mejor.*

*A toda mi familia en general, que han sido un pilar inquebrantable en mi vida.*

*A Estephania Quiñones, mi mejor amiga de la Universidad, quién me acompañó y me apoyó más de 9 semestres no sólo en la escuela, sino en la vida, con quién he pasado mis más grandes aventuras. No lo habría logrado sin ti.*

*A mí amada Universidad, por haberme enseñando tanto, por haberme brindado a personas tan maravillosas, una educación invaluable y momentos inolvidables.*

*A Formula SAE, por permitirme descubrirme a mí misma y que, de no haber formado parte de mi preparación, mi destino hubiera sido otro.*

*A mi tutor Pablo Mendoza, por su empatía y buena disposición desde el inicio para ayudarme a la realización de este trabajo.*

*A mis profesores y sinodales, por su paciencia y disposición.*

*Y por último a mí yo de 18 años ....SÍ SE PUDO.*

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis a cerca del desarrollo de la metodología Lean-Six Sigma se desarrolló en la compañía alemana Thyssenkrupp, en su subdivisión Bilstein Of America, dedicada a la manufactura de amortiguadores. Este proyecto de tesis se llevó a cabo gracias a la oportunidad que tuve de laborar 6 meses en la compañía mediante un convenio con la Facultad de Ingeniería, UNAM.

El área donde trabajé, Manufacturing Engineering (Ingeniería en Manufactura), específicamente en la subdivisión de Original Equipment (OE o Equipo Original), lo cual significa que la empresa produce piezas que pueden ser comercializadas por otro fabricante, en este caso, se producen grandes volúmenes de amortiguadores para clientes como Tesla, Daimler, FCA, Toyota, Ford, entre otros.

Durante mi estancia laboral dentro de la compañía, tuve la oportunidad de desarrollarme como Ingeniera Industrial, realizando actividades involucradas con Lean Manufacturing, Análisis de Procesos, Calidad, Costos y Mejora Continua.

La elaboración de este trabajo está enfocada en la línea de amortiguadores electromagnéticos dedicados a sus 2 principales clientes, lo cual llevaría a un incremento de la producción en más del 50%, para lo cual se utilizó la aplicación de la metodología Lean Six sigma en el área de manufactura 6 meses previo a producción en línea con el fin de lograr satisfacer la demanda del cliente.

Se detallará paso a paso como se siguió el esquema DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), referente a la metodología Lean Six Sigma, donde se define el problema, se mide el proceso, se analiza la causa raíz, se mejora el proceso y por último se controla el mismo.

Por último, se expondrán los resultados obtenidos donde se podrá constatar que el empleo correcto de la metodología Lean Six Sigma, así como los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería tienen un alto impacto en la Industria y pueden llegar a generar sumas importantes de dinero a la compañía.

## THYSSENKRUPP BILSTEIN OF AMERICA

BILSTEIN fue fundada en 1873 por August Bilstein, sin tener idea lo crucial que llegarían a ser un día estos productos para la seguridad y confort del piloto, puesto que empezó siendo una compañía de marcos metálicos para ventanas, hasta que en 1927 Hans Bilstein (hijo de August Bilstein) empezó a incursionar en el mundo automotriz con la producción de defensas para autos, en 1928 siguieron con gatos hidráulicos que fueron muy innovadores en su tiempo pero no fue hasta 1954 cuando se empezó con el desarrollo de amortiguadores que ofrecieran soluciones a las vibraciones comunes que se tenían con los amortiguadores convencionales, tratando de ofrecer a su vez productos más ligeros y fáciles de posicionar en los vehículos.

La introducción del primer amortiguador de presión a gas monotubo en un vehículo de producción estándar de Mercedes-Benz todavía hoy se considera una contribución importante al mundo automotriz, dada la seguridad y confort que ofrece al conductor.

La tecnología de presión de gas ahora se usa en todos los tipos de amortiguadores telescópicos desarrollados para su uso en automóviles potentes y de alta gama. Una de las últimas novedades tecnológicas de BILSTEIN es el desarrollo del módulo de resorte neumático que BILSTEIN suministra a la línea de producción de Mercedes Clase S.

Hasta el día de hoy, las demandas de sus clientes en la industria automotriz, combinadas con su compromiso con los deportes de motor, son lo que impulsa el desarrollo y la innovación en BILSTEIN. Todos los Mercedes AMG en el Deutsche Tourenwagen Masters (DTM) y más de la mitad de los equipos en la carrera de 24 horas en Nürburgring se acercan a la línea de salida con los productos BILSTEIN.

El nombre BILSTEIN ha estado, durante muchas décadas, estrechamente relacionado con la alta tecnología en el campo del diseño de la suspensión, el confort de conducción y la seguridad. Con el fin de posicionarse para el futuro crecimiento e innovación, BILSTEIN se convirtió en una división de ThyssenKrupp Technologies AG en 1988 y en una subsidiaria de propiedad absoluta en 2005. La asociación y cooperación dentro del grupo permiten a la compañía continuar inspirando con innovaciones en BILSTEIN. [1]

## CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1 Justificación e importancia

Dentro de la planta de manufactura ubicada en Hamilton Ohio, existen alrededor de 15 diferentes líneas de producción, de las cuales, *DT Sky*, que forma parte de la manufactura principal, es la línea más costosa dada la alta tecnología que maneja, donde se concentra el 80% de los ingresos de la compañía y cada pieza cuesta alrededor de 300 USD.

El volumen de producción semanal es de 4,000 piezas, de ahí surge la necesidad de realizar el proyecto que consiste en buscar la causa raíz del problema y darle una solución, puesto que se debe llegar a 8,000 piezas por semana, debido al incremento de volumen sobre la demanda del cliente. Esto significa un gran salto para la compañía, por lo que es de suma importancia hacer funcionar la línea en su máxima capacidad, dado que se ha comprobado que la capacidad del proceso puede alcanzar hasta 180 piezas por hora, pero actualmente sólo alcanza las 50 piezas por hora en promedio, lo cual nos lleva a la cantidad de 4,000 piezas semanales, producidas en 2 turnos de 8 horas trabajando de lunes a viernes.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo general

Este proyecto de tesis consiste en realizar un análisis para la compañía Thyssenkrupp Bilstein Of America, en una línea de manufactura de amortiguadores electromagnéticos compuesta por 10 estaciones donde se busca darle solución al problema de baja productividad y controlar la capacidad del proceso aplicando la metodología Lean Six Sigma, combinando así las herramientas estadísticas de la metodología Six Sigma para encontrar la causa raíz del problema, en este caso de baja productividad y variabilidad en el proceso de la etapa final de entrega de partes en dicha línea de manufactura y los principios de Lean Manufacturing para posteriormente darle solución.

#### 1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Aumentar la productividad en un 50%.
- ✓ Estandarizar las actividades que se llevan a cabo en el proceso.
- ✓ Mantener la capacidad del proceso dentro de los límites de control.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definición Lean Six Sigma

En primer lugar, se debe considerar que Lean Manufacturing y Six sigma son estrategias diferentes; mientras Lean Manufacturing tiene un enfoque orientado en la productividad, Six sigma tiene un enfoque orientado en la reducción de la variación.

Lean Six Sigma es entonces un nuevo concepto, que algunos especialistas definen como:

*"Lean Seis Sigma trata sobre un mejoramiento continuo, incesante; análisis tras análisis, medida tras medida y proyecto tras proyecto. Lean causa que los productos se muevan más rápido a través del proceso y Seis Sigma mejora la calidad".*

La aplicación de las metodologías Lean y Six sigma no excluye otros métodos de mejora, es función de los encargados de su implementación el complementarlas correctamente de acuerdo al enfoque adecuado, por ejemplo:

Metodología	Enfoque
Lean Manufacturing	Mejorar la productividad: Velocidad, calidad, costo y entrega. Eliminación de desperdicios.
Six sigma	Reducir y controlar la variación: Solucionar problemas complejos.
AMEF	Identificar características críticas y prevenir problemas.
8D's	Solucionar problemas

Imagen 1.1 Métodos de Mejora [2]

### 2.2 Teoría de Six Sigma

Six Sigma es una filosofía de calidad basada en la asignación de metas alcanzables a corto plazo enfocadas a objetivos a largo plazo. Utiliza las metas y los objetivos del cliente para manejar la mejora continua a todos los niveles en cualquier empresa. El objetivo a largo plazo es el de diseñar e implementar procesos más robustos en los que los defectos se miden a niveles solamente unos pocos por millón de oportunidades.

Six Sigma proporciona medidas que se aplican tanto a las actividades de producción como de servicios; los defectos por millón de oportunidades (DPMO). Es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento; pone primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores soluciones. Se enfoca a definir la satisfacción del cliente, midiendo y usando los equipos para reducir de manera continua los defectos por millón de oportunidades en cada

medición. El número es demasiado pequeño (3.4 DPMO) y puede percibirse como “la perfección virtual”.

Los esfuerzos Six Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo de ciclo
- Reducir los defectos. [3]

Es una metodología muy eficiente y completa, puesto que permite identificar los problemas y encontrar soluciones que conllevan mejoras en las áreas antes mencionadas que normalmente representan grandes ahorros de costos para los negocios, así como oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa excelente en productos y servicios.

El propósito de Six Sigma va mucho más allá de la estadística, es una filosofía de excelencia que toma en cuenta el enfoque del cliente, la mejora de procesos y su principal regla es usar la medida en lugar de las opiniones, lo cual no significa que se deba ignorar el entorno, sino que dentro de la metodología existe el proceso pertinente donde se considera la opinión de las personas involucradas como un primer acercamiento con el proceso o área de mejora.

Esta metodología puede ser definida de diferentes maneras:

1. Es una filosofía administrativa enfocada a eliminar errores, desperdicio y re-trabajos. [4]
2. Es un proceso altamente disciplinado que ayuda a enfocarse en el desarrollo y entrega de productos y servicios casi perfectos. [5]
3. Es un término estadístico que se refiere a generar 3.4 defectos por millón de bienes o servicios producidos. [6]
4. Método científico aplicado a la mejora de un proceso. [7]

Six Sigma es una metodología para mejorar procesos, con enfoque en cubrir e incluso superar las expectativas de los clientes, disminuyendo la variación de los procesos.

Hay tres características clave que diferencian Six Sigma de los antiguos programas de mejora de la calidad:

1. Six Sigma está enfocado en el cliente. Se convierte casi en una obsesión el mantener a la vista las necesidades de los clientes externos, impulsando el esfuerzo de mejora.
2. Los proyectos Six Sigma producen grandes retornos sobre la inversión.
3. Six Sigma cambia el modo que opera la dirección. Six Sigma es mucho más que proyectos de mejora. La alta dirección y los directivos por toda la empresa aprenden las herramientas y los conceptos de Six Sigma: nuevos enfoques sobre el modo de pensar, planificar y de ejecutar para

conseguir resultados. De muchas maneras, Six Sigma, trata de cómo poner en práctica la idea de trabajar de modo más inteligente, no más duro.

Six Sigma ha producido resultados impresionantes. Pero lograrlos requiere mucho trabajo en equipo. Significa tener sistemas que suministren a los clientes lo que éstos quieren cuando lo quieran. Significa darles a los empleados tiempo y formación para vencer los desafíos del trabajo con herramientas, algunas básicas, otras sofisticadas.

Las empresas que persiguen la mejora continua, basada en la filosofía Six Sigma logran no sólo reducir el nivel de defectos, sino también:

- Reducir costos a través de la eliminación de errores internos.
- Reducir el tiempo de proceso.
- Incrementar su productividad.
- Mejorar la calidad en el proceso de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos.
- Mejorar el nivel de resultados de los procesos de soporte.

Lograr un nivel de calidad alto, considerar la calidad como un imperativo para sobrevivir en el entorno competitivo actual y, por tanto, uno de los factores estratégicos para la gestión de una empresa, ya formaba parte de los objetivos del programa de TQM (Total Quality Management). La novedad de la iniciativa Six Sigma radica, en primer lugar, en la formación interna de empleados en todos los niveles de la organización en métodos estadísticos y, en segundo lugar, en desarrollar una organización interna que sepa enfocar esos recursos humanos, en proyectos que tengan una clara oportunidad de mejora y además un impacto en la cuenta de resultados de la empresa, es decir, que logre resultados tangibles a través de una metodología rigurosa.

El éxito del programa Six Sigma supone algo más que la formación estadística que es básicamente similar a la que se dan en muchas escuelas técnicas o facultades. Implica la difusión de los conocimientos en métodos estadísticos en todos los niveles de la empresa, en la formación a empleados, tanto técnicos como administrativos, para posteriormente lograr su aplicación en la práctica en proyectos seleccionados con criterios claros de modo que se logren mejoras sustanciales en el diseño y optimización de los productos y procesos, reduciendo su variabilidad y con ellos los costos de no calidad.

La iniciativa Six Sigma tiene, por tanto, dos facetas principales. Por un lado su organización y gestión, los procesos y fases para su implantación con éxito en una empresa, los recursos e infraestructura necesarios para abordar el programa con resultados satisfactorios, los criterios clave en la elección de proyectos; por otro lado el conocimiento y dominio en un colectivo de empleados de una amplia variedad de métodos estadísticos.

### 2.3 Definición de Six Sigma como una medida estadística

El programa Six Sigma intenta batir un enemigo de los procesos: la variabilidad, la cual se define como la variación en un producto y está presente en todo proceso real, de modo que no se puede predecir con exactitud el resultado de un proceso antes de que éste suceda. Eso no significa que la variabilidad no se pueda medir. Sí suele ser posible saber el valor medio aproximado de la medida de la cual se está estudiando la variabilidad.

La desviación típica de una variable aleatoria está dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \tilde{x})^2}{n - 1}}$$

[8]

Donde:

$x_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  Son los valores observados en la muestra

$\tilde{x} = \text{media}$  Es el valor medio de estas observaciones

$n$  = Representa el tamaño de la muestra

La letra griega minúscula sigma ( $\sigma$ ) se usa como símbolo de la desviación estándar. Sigma ( $\sigma$ ) es, por tanto, un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores, en un grupo de artículos o en un proceso respecto a su valor medio, de modo que, cuanto menor sea  $\sigma$  menor será el número de defectos. Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea  $\sigma$ , menor será el número de valores fuera de especificaciones y, por tanto, el número de defectos.

En cambio, en la iniciativa de calidad Six Sigma se mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de especificación, de modo que cuanto mayor sea el número de sigmas que caben dentro de los límites de especificación, menor será valor de sigma y por tanto menor el número de defectos. Es decir, en esta escala, un nivel 6 Sigma implica menos defectos que 5 Sigma.

La medida Six Sigma mira cuán bien se satisfacen los requerimientos de los clientes y se desarrolló para ayudar a:

- Enfocar las medidas en los clientes que pagan por los bienes y servicios. Muchos de los parámetros que tradicionalmente han usado las empresas, como son las horas laborales, los costos y el volumen de ventas, evalúan cosas que no están relacionadas con lo que realmente ocupa el cliente.
- Proveer un modo consistente de medir y comparar procesos distintos. Usando la escala de sigma, podemos evaluar y comparar dos actividades muy distintas pero críticas.

El primer paso para calcular el nivel sigma y sobre todo comprender su significado es entender qué esperan los clientes. En el lenguaje Six Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llaman CTQ's (por sus siglas en inglés *Critical to Quality* = Críticos para la calidad). De hecho, una de las claves de Six Sigma es comprender mejor y evaluar cuán bien opera un proceso con respecto a todos sus CTQ's, no sólo uno o dos.

Se usa la medida en Six Sigma para ver qué tan bien o mal opera un proceso y buscar una manera común de comunicar esa medida. La imagen de la tabla 1.2 resume los niveles de desempeño en sigma relacionándolos con el número de defectos por millón de oportunidades.

Nivel en sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3.4
5	244
4	6 210
3	66 807
2	308 537
1	690 000

Imagen 1.2 Niveles de desempeño en sigma [3]

Al nivel de calidad del 99.99966% de productos conformes, equivalente a un nivel de defectos de 3.4 defectos por millón de oportunidades se le denomina nivel de calidad Six Sigma. Este número tiene en cuenta que existen fuentes de variabilidad en los procesos, pero que éstas están controladas. Se considera un nivel de calidad excelente y, por tanto, un objetivo estratégico a alcanzar si una empresa pretende la satisfacción de sus clientes.

Al dar el nivel en  $\pm\sigma$  se indica cuántas  $\sigma$  caben dentro del intervalo de tolerancias y, por tanto, cuán pequeña es  $\sigma$  que nos mide la dispersión de nuestro producto respecto a los límites de tolerancias.

Con el nivel de calidad medido en sigmas se puede medir la calidad de productos y procesos y eso ayudará a centrar los esfuerzos y recursos de mejora. Ese indicador de nivel de calidad permitirá evaluar el progreso en la mejora de calidad del producto. Para lograr esto se necesita conocer primero que espera el cliente del producto, sus límites de control de especificaciones, definir los procesos claves, su rendimiento y el nivel de calidad en  $\sigma$  correspondiente.

La estrategia competitiva de Six Sigma es, básicamente la siguiente:

*Implantar en todos los niveles de la empresa un modelo de gestión empresarial basado en la mejora de procesos, usando el conocimiento derivado del proceso estadístico de datos, con el fin de determinar las acciones oportunas para lograr una calidad que represente un índice final de defectos del producto de sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades. [3]*

La medida y la subsiguiente mejora de la calidad de los productos son absolutamente esenciales si se quiere lograr la excelencia en producción. Una empresa debe analizar primero cuál es su nivel de calidad medido en sigmas en cada una de sus secciones a partir del número de defectos por millón de sus productos o servicios. Si una empresa reduce sus defectos por millón aumentará su nivel de calidad medido en sigmas en esta escala de nivel de calidad. Si logra el nivel 6 Sigma significará que sus productos o servicios tienen sólo 3.4 defectos en cada millón de oportunidades.

La escala en sigmas proporciona un instrumento preciso para medir la calidad de las empresas a partir de la calidad de sus productos y permite un benchmarking, una comparación de los esfuerzos realizados en el ámbito interno y externo.

A partir de esa referencia el fundamento del enfoque estratégico 6 Sigma resulta muy simple que se puede resumir:

*Reducir el número de defectos del producto o servicio logrando un nivel mayor de sigmas ( $\sigma$ ), en búsqueda del nivel 6 sigma en el producto acabado, es decir, 3.4 defectos por millón y con ello reducir al mínimo los costos asociados a los problemas de calidad en la empresa.*

Si una empresa mejora el índice de calidad medido en sigmas significa que ha reducido sus defectos por millón y, por tanto, ha mejorado la calidad de sus productos. Al lograrlo notará que reducen los costos asociados a la baja calidad del producto (en muchos casos no cuantificados), sobre todo los costos de reproceso y de garantías. Eso se traducirá en una mejora de la cifra de resultados del negocio. Además, aumentará el número de clientes satisfechos con sus productos y eso es vital para aumentar la competitividad de la empresa.

#### 2.4 Historia de Six Sigma

A principios de los años 80's, las empresas aún medían su calidad en porcentajes, por lo general el número de defectos detectados en 100 piezas. Sin embargo, en muchas industrias el nivel de defectos había mejorado tanto como para permitir contabilizarlo ya no en porcentajes, sino en defectos por millón (DPMO) de piezas.

En 1985, el Dr. Mikel Harry, ingeniero y estadístico en la división de electrónica del gobierno de Motorola Inc., en Phoenix, Arizona (EU), publicó un artículo en el que describía la relación entre fiabilidad de un producto y el nivel de reparación que tenía ese producto durante su proceso de fabricación. Por eso, junto con otros ingenieros de Motorola, diseñó una iniciativa de mejora de calidad basada en eliminar las causas de los problemas antes de que fuese necesario identificar y reparar los defectos, mediante el uso de métodos estadísticos. Curiosamente, fue la división de Comunicaciones de Motorola, dirigida por G. Fisher, la que lanzó un programa de calidad total con el nombre de Six Sigma.

Motorola iba a aplicar esta metodología a procesos distintos de los de fabricación, en ámbitos administrativos y financieros. De modo que en 1987 el entonces presidente de Motorola, Bob

Galvin, se atrevió a anunciar el objetivo que se convertiría en el más famoso de los programas de calidad en la industria norteamericana:

*<<Lograr un nivel de calidad Six Sigma en nuestros productos y servicios equivalente a sólo 3.4 defectos por millón para el año 1992>>*

Para Motorola, la iniciativa Six Sigma representaba un objetivo sin precedentes porque representaba lograr en tan sólo cinco años reducir unas 10 000 veces la tasa de defectos existente entonces en la mayoría de los productos y servicios de la empresa, evaluada en unos 35 000 defectos por millón.

La iniciativa Six Sigma tenía un objetivo singular: la satisfacción total del cliente porque, citando las palabras de Galvin *<si uno cuida al cliente mejor que la competencia, el negocio se cuida él mismo>*.

¿Qué significaba para Motorola la satisfacción total del cliente? Significaba más que satisfacción con el producto: cumplir o incluso exceder con los requerimientos de los clientes, incluyendo la disponibilidad del producto a tiempo, el soporte técnico, la competencia de la red de ventas, la fiabilidad en la facturación, etc., es decir, la satisfacción del cliente en todas las interacciones que sostiene con la empresa.

Un *defecto* es un fallo en satisfacer al cliente, sea el cliente final o a un cliente interno, entendiendo como tal a cualquiera en la empresa que recibe el resultado de nuestra actividad diaria, sea un producto, un servicio o un documento.

En ese sentido, la calidad según la iniciativa Six Sigma vendría definida por una prestación de servicios o la entrega de productos a los clientes libre de defectos. El nivel de calidad se mediría contando los defectos por unidad en cualquiera de las actividades que constituyen los procesos de la empresa.

El objetivo sería reducir esos defectos hasta lograr 3.4 defectos por millón de unidades, lo que resultaría en clientes satisfechos además de reducir los costos de garantía y de reproceso internos, con un impacto positivo en la cuenta de resultados.

Es decir, al fijarse un nivel de calidad Six Sigma, Galvin decía que, hiciera lo que hiciera Motorola, fuera fabricar un circuito electrónico o facturar a un cliente, al medir la calidad de ese producto o servicio mediante la cuantificación del número de defectos por millón, tendría una tasa de defectos de sólo 3.4 defectos por millón.

Por supuesto que Motorola no logró el nivel Six Sigma en 1992 en todos sus productos o servicios. Algunos lo lograron, otros no, pero la compañía logró un nivel promedio de unos 150 DPMO, que, como se verá más adelante, es un nivel de unos 5.5. Sigma. Si no se hubiera fijado el objetivo de 6 Sigma probablemente no hubiera logrado ese nivel, ni hubiera reducido drásticamente los costos de no calidad de la empresa mejorando sus resultados financieros.

Por otra parte, según la experiencia de Motorola, una empresa promedio que opera en un nivel 4 Sigma gastaría más del 10% de sus ventas en reparaciones internas y externas, frente a un productor 6 Sigma que no llegaría al 1%. Es decir, hay una relación inversa entre los costos de no calidad y el nivel de calidad medido en sigmas. A menor nivel en sigmas mayores costos de no calidad medidos en porcentajes sobre la cifra de ventas.

El enfoque Six Sigma parte de la premisa de que las pérdidas de un producto son directamente proporcionales a la variabilidad de la característica de calidad del producto en cuestión. Por ello, en general, la mejora de la calidad pasa por reducir la variabilidad,  $\sigma$ .



De modo que la estrategia básica para la mejora de la calidad pasa por identificar las causas o factores que producen variabilidad y luego ajustarlos de modo que tengamos una variabilidad mínima.

El éxito de Motorola al usar desde entonces como una herramienta de mejora continua esa iniciativa de mejora de calidad que se denominó finalmente Six Sigma y que le permitió reducir sus costos de no calidad y en consecuencia mejorar su cuenta de resultados llevó en la década de los 90's, a varias empresas multinacionales a imitarlas e implementar esa metodología para fortuna, como se verá, del Dr. Mikel Harry.

Harry fue el encargado de establecer el Instituto de Investigaciones Six Sigma en la Universidad Motorola, Schaumburg, IL. (Estados Unidos), donde desarrolló una metodología de mejora continua de la calidad, combinando técnicas y métodos estadísticos ya conocidos, no originales, en un formato que podría haber sido adoptado por cualquier otro, pero que como nadie lo había hecho antes, Harry lo registró como propio: Six Sigma. En esa época hubo varios libros que aún hoy pueden comprarse en la Universidad Motorola.

En 1993, Harry junto con Schroeder dejaron Motorola, que entonces ya afirmaba operar a un nivel próximo al Six Sigma en la mayoría de sus procesos productivos, para incorporarse al grupo ABB (Asea Brown Boveri Ltd.) compañía que desde entonces usa la metodología Six Sigma para mejorar la calidad de sus productos y procesos.

Más tarde, Harry y Schroeder decidieron establecerse por su cuenta como consultores, fundando la Six Sigma Academy en Phoenix, Arizona, Estados Unidos., convirtiéndose de este modo en los fundadores de la iniciativa Six Sigma.

Fue un cliente suyo de Unisys Corp. quien le dio la idea de comparar su método con la disciplina de un cinturón negro (black belt) de karate. Harry acuñó entonces el nombre de black belt para los expertos en esta metodología.

Conseguir de Harry una licencia para entrenar a un grupo inicial de black Belts no es nada barato. En 1997, el periódico Globe & Mail de Toronto, Canadá, informó que la licencia parte

de un mínimo de un millón de dólares y un máximo que depende de la cifra de facturación de la empresa cliente pudiendo alcanzar fácilmente varios millones de dólares. Cada grupo de 25 black belts adicionales cuesta 150, 000 dólares adicionales. A sus 50 años, Harry tiene una salud financiera envidiable, cuya solidez se evidencia por su rancho de 8 hectáreas, el Rancho Sigma, 140 km al norte de Phoenix, donde se divierte como cowboy.

En realidad, Harry subcontrata la formación en Six Sigma a varias empresas de consultores, algunos procedentes de Motorola. Él ahora sólo imparte sus brillantes clases a los directivos principales de empresas multinacionales -sus potenciales clientes, ya que los costos de la licencia hacen prohibitivo el programa a las pequeñas y medianas empresas- pero uno puede aún verlo, mucho más joven, en videos que aún vende la Universidad de Motorola, que por cierto imparte aún su propio programa de formación: *el Motorola's Six Sigma Black Belt Program*. [9]

De modo que durante los años 90's varias corporaciones multinacionales han aplicado esta iniciativa de calidad de un modo riguroso y disciplinado con un éxito notable, reduciendo sus costos de calidad de un modo tan drástico que ha compensado los costos elevados de la formación inicial. Algunas de ellas han sido: Sony Corp., General Electric, Allied Signal, Bombardier Aerospace, Raytheon, Texas Instruments, Kodak, Polaroid, Lockheed Martin Corp., Honeywell, Whirlpool, Bayer, Johnson & Johnson, Rexam, Dow Chemical, Seagate Technology, Black & Decker, DuPont, Federal Express, Navistary y Siebe Appliance Controlls. En Europa, el Club Europeo Six Sigma incluye a ABB, Allied Signal, Ericsson, Philips, Siemens y Whirlpool.

Una de las empresas que más éxito ha tenido con Six Sigma, General Electric, definía su objetivo al adoptar este programa: <<Convertirse en una compañía con productos, servicios y transacciones virtualmente sin defectos>> [10], citando a Jack Welch, el entonces presidente y jefe ejecutivo, que adoptó Six Sigma en 1995, siguiendo los consejos de L. Bossidy, director de Allied Signal. En 1997, Jack Welch le decía a un periodista del Wall Street Journal:

<<Tienes que decirle a tu gente que la calidad es crítica para sobrevivir, tienes que pedirle a todo el mundo que se forme (en los métodos Six Sigma), que tienen sus incentivos económicos ligados a ellos, tienes que decirles "Debemos hacer esto">>

Jack Welch asoció hasta el 40% de los bonos de sus ejecutivos a la implementación del programa Six Sigma, no sólo en las áreas de producción y diseño, sino también en servicios financieros y administrativos. Hasta entonces los bonos de esos ejecutivos sólo dependían de los beneficios. Quizás fuese uno de los motivos por los que el programa se implantó con éxito en toda la empresa.

De modo que Sony Corp. y General Electric son dos ejemplos de empresas que tienen un compromiso a largo plazo con la calidad de sus productos -bienes y servicios- como el factor estratégico más relevante en su gestión e intentan lograr la satisfacción de sus clientes con este nuevo enfoque, una filosofía de gestión que pretende obtener una ventaja competitiva mediante la satisfacción plena de las necesidades y expectativas de los clientes.

## 2.5 Estructura Six Sigma

Six sigma es una herramienta poderosa, sin embargo, su impacto depende en gran medida de su estructura. Para la implementación de Six sigma existen diversos niveles de entrenamiento, dependiendo del rol que ocupe cada persona en el desarrollo de la metodología.

### MASTER BLACK BELT

El Master Black Belt es el formador de los Black Belts; para acceder a este nivel un profesional debe demostrar gran experiencia por medio de resultados en proyectos complejos. A esta distinción lo caracterizan el prestigio y el liderazgo.

### BLACK BELT

Es un experto en las herramientas de la filosofía Six sigma. Su función es liderar equipos de implementación de la metodología; ha estudiado y demostrado por medio de resultados su experiencia en proyectos de disminución de desperdicios y variación de procesos.

El Black Belt es usualmente un consultor interno, para acceder a este nivel un profesional debe recibir una capacitación de entre 120 y 150 horas.

### YELLOW BELT

Los Yellow Belt son empleados de cualquier nivel de la organización, que no lideran ni se dedican al 100% a las actividades de desarrollo de Six sigma, pero que conocen la metodología y que han estado involucrados en la aplicación de la implementación de proyectos Six sigma. Para acceder a este nivel un empleado debe recibir una capacitación de entre 48 y 72 horas acerca de la metodología.

Usualmente son elementos de apoyo y pueden liderar proyectos pequeños.

### PATROCINADORES

Son ejecutivos que conocen y lo más importante, creen en las bondades de las herramientas de Six sigma. Su rol es de vital importancia porque son los encargados de patrocinar los programas de capacitación y dar la relevancia necesaria al programa dentro de la compañía y desde los niveles más altos de dirección.

### CHAMPIONS

Son directivos de un nivel alto en la organización los cuales asignan recursos y medios para la capacitación e implementación de proyectos de los Black Belts. Como tal deben recibir formación respecto a la metodología. [2]

## 2.6 Principios de Six Sigma

De acuerdo con Pand y Holp (2002), los principios de Seis Sigma se encuentran soportados por las herramientas y métodos de éste. Los 6 principios de la metodología Seis Sigma son los siguientes:

1. **Enfoque genuino con el cliente:** A menudo las empresas que lanzan Seis Sigma se sorprenden de descubrir lo poco que comprenden de verdad a sus clientes. En este principio, el enfoque del cliente es la prioridad principal.
2. **Dirección basada en datos y hechos:** La disciplina Seis Sigma empieza por clarificar qué medidas son clave para medir cómo va el negocio y luego pasar a la toma de datos y el análisis de las variables clave. De esta manera, los problemas pueden ser definidos, analizados y resueltos de manera más efectiva y permanente.
3. **Los procesos están donde está la acción:** Sea que esté enfocado en diseñar productos y servicios, en medir el desempeño, en mejorar la eficiencia o la satisfacción del cliente, o incluso en hacer funcionar el negocio, Seis Sigma coloca al proceso como el vehículo clave del éxito.
4. **Dirección proactiva:** Ser proactivo significa actuar con antelación a los sucesos en lugar de en reacción a ellos. En el mundo real, sin embargo, una dirección proactiva significa adoptar hábitos que son a menudo, prácticas empresariales abandonadas como por ejemplo: definir metas ambiciosas y revisarlas frecuentemente, fijar prioridades claras, etc. El seis sigma contiene herramientas y prácticas que reemplazan los hábitos reactivos con un estilo de dirección dinámico, receptivo y proactivo.
5. **Colaboración sin barreras:** Las oportunidades disponibles mediante una mejor colaboración dentro de las empresas con los proveedores y clientes son enormes. Miles de millones de dólares se pierden cada día debido a la desconexión o a la competencia total entre grupos que deberían estar trabajando por una causa común: proveer valor al cliente.
6. **Busque la perfección; tolere el fallo:** Ninguna compañía se podrá acercar al nivel Seis Sigma sin lanzar nuevas ideas y sistemas, que siempre envuelven algún riesgo. [11]

La verdad es que, cualquier compañía que haga de Seis Sigma su meta, tendrá que mantener la presión para ser cada vez más perfecta, mientras que tendrá que estar dispuesta a aceptar y a manejar reveses ocasionales.

## 2.7 Implementación de la metodología lean six sigma

### 2.7.1 El mapa de rutas de Six sigma

De acuerdo con Pande, et .al. (2000), el mapa de rutas de Seis Sigma es ideal para el establecimiento del sistema de Seis Sigma y para el lanzamiento de mejoras dentro de la organización.

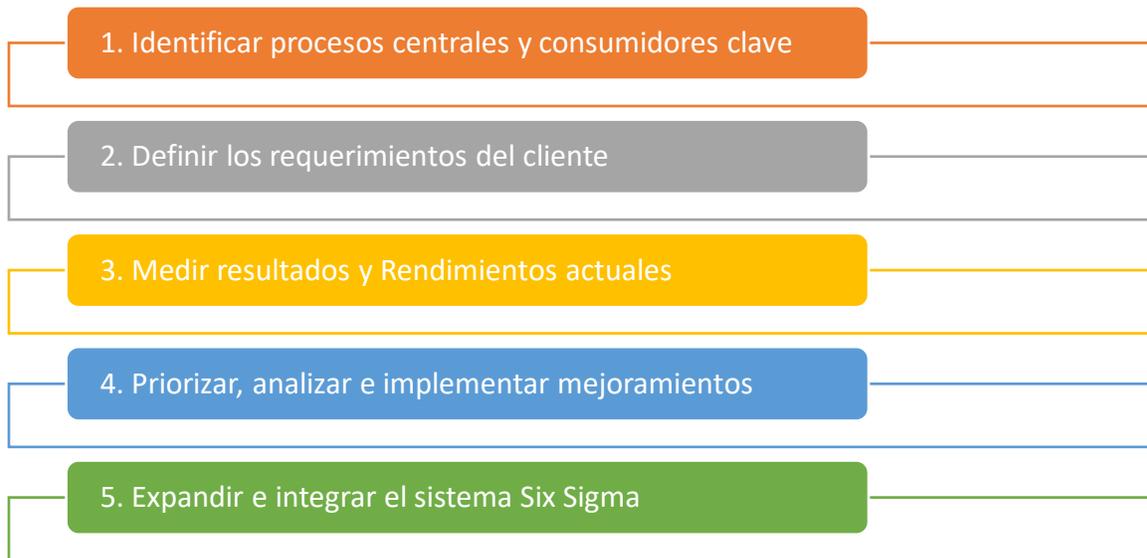


Imagen 1.3 Mapa de rutas Seis Sigma [12]

1. **Identificar procesos centrales y consumidores clave:** Así como los negocios se vuelven cada vez más dispersos y globales, las segmentaciones de consumidores se hacen más estrechas, y los productos y servicios más diversos. Es por eso que los productos y servicios deben ser aplicables tanto a la organización entera como a cualquier segmento de la misma. El conocimiento que se obtiene en este primer paso es importante como un prerrequisito para elaborar las actividades del paso 2. Es necesario tener un claro entendimiento acerca de la organización como un todo.
2. **Definir los requerimientos del cliente:** Uno de los descubrimientos más admitidos por los líderes y directores de los negocios es, que las organizaciones realmente no han entendido al 100% a sus consumidores.

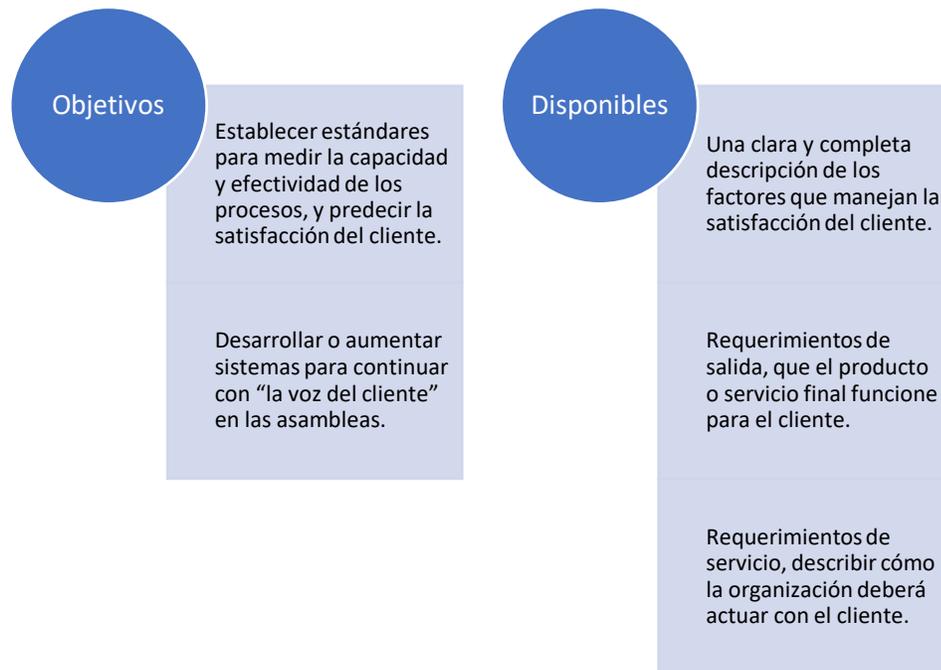


Imagen 1.4. Definición de los requerimientos del cliente [12]

Muchas compañías se enfrentaron a serios problemas en el pasado porque tenían la mentalidad de "nosotros sabemos qué es lo mejor para el cliente". La arrogancia o ignorancia pudieron ser tolerables hace 20 años, pero el ambiente competitivo de hoy en día es el de una predicción segura del problema.

3. **Medir resultados/ Rendimientos actuales.** Consiste en observar qué tan bien las organizaciones están entregando los requerimientos que actualmente los clientes quieren, y en cómo seguirán cumpliendo con ellos en el futuro. La organización debe enfocarse en la atención del cliente como un punto de partida para establecer un sistema de medición más efectivo tomando en cuenta estos puntos:

- *Crear una infraestructura de medición*, para poder seguir con cambios en los resultados (buenos o malos) y responder rápidamente a las señales de peligro y oportunidades.
- *Fijar prioridades y enfocarse en los recursos*, aún en el corto plazo, el conocimiento obtenido de las mediciones conduce a las organizaciones a tomar decisiones sobre cómo hacerle para tener mejoramientos potenciales altos. El impacto es alto en la investigación para el diseño de procesos, rediseño y mejoramiento de procesos.

- *Seleccionar la mejor estrategia de mejoramiento*, que permita medir la capacidad exacta de los procesos e indicar los rendimientos actuales.
- *Igualar responsabilidades y aptitudes*, una mejor comunicación por sí sola no resuelve los problemas, es necesario agregar ventajas al conocimiento obtenido de lo que los clientes quieren y de lo que la organización puede actualmente ofrecer.

4. **Priorizar, analizar e implementar mejoramientos.** La clave para alcanzar el éxito en el sistema de Seis Sigma es escoger cuidadosamente los mejoramientos y no “sobrecargar” a la organización con más actividades de las que puede mantener. En valor de los métodos de mejoramiento aplicados en este paso abarcan las mejores técnicas que conducen a los cero defectos, eficacia y capacidad en mejorar los procesos. Las técnicas y herramientas de Seis Sigma pueden ser aplicadas a problemas complejos de negocios o simplemente a las oportunidades que se presenten para poder mejorar los procesos.

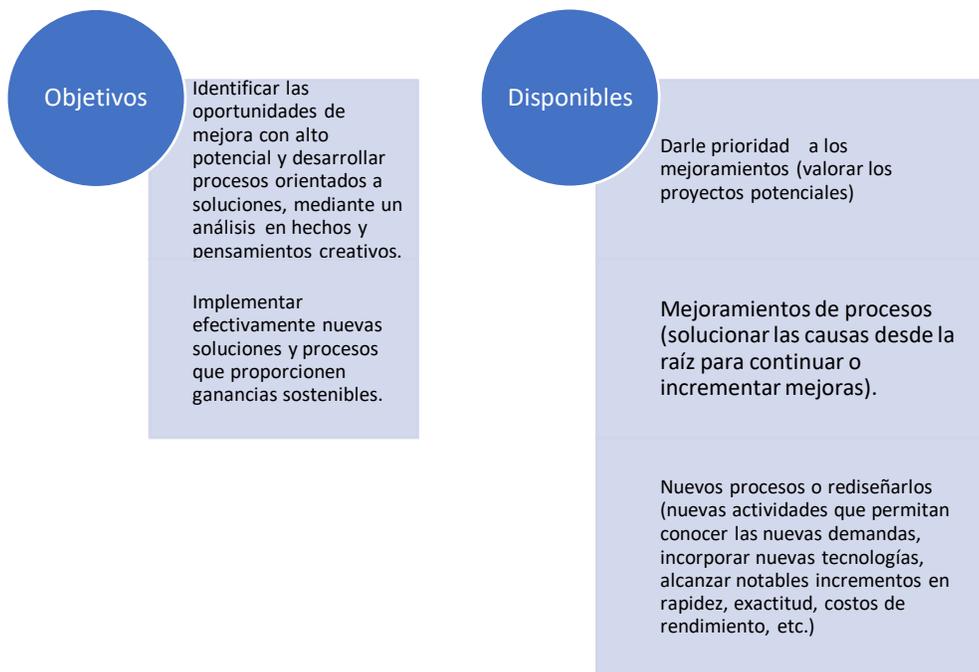


Imagen 1.5 Priorizar, analizar e implementar mejoras. [12]

5. **Expandir e integrar el Sistema Seis Sigma.** El verdadero alcance de Seis Sigma no llega a la organización a través de una señal de mejorar los procesos, esto puede lograrse sólo mediante un compromiso a largo plazo del conocimiento de los temas centrales y métodos de Seis Sigma.



Imagen 1.6 Expandir e integrar el Sistema Seis Sigma [12]

### 2.7.2 Estrategia de implementación

En la opinión de Pand y Holp (2002), si la organización decide implementar Seis Sigma, nadie puede decir con precisión de cómo será ese proceso. Esto se debe a que las organizaciones son diferentes y estas diferencias justifican los varios enfoques para implementar el proceso de cambio de Seis Sigma.

1. **La transformación del negocio:** Los empleados atentos y directivos pueden ver a menudo la necesidad de que una compañía rompa con viejos hábitos y se transforme. Para las empresas que tienen problemas con pérdida de dinero, de estar fallando a la hora de lanzar nuevos productos, sobre su personal, etc; este enfoque es el correcto. Este enfoque consiste en que la comunicación será amplia e intensiva y la alta dirección marca un nuevo ritmo a la organización intentando lograr resultados de los cambios, así como controlar su impacto.
2. **Mejora estratégica:** Una iniciativa de mejora estratégica puede limitarse a una o dos necesidades críticas de la empresa, con los equipos y la formación dirigidos a actuar sobre las principales oportunidades o debilidades. O bien puede ser una iniciativa Seis Sigma concentrada en unas unidades del negocio limitadas o áreas funcionales de la organización.

3. **Resolución de problemas:** Este enfoque se dirige a problemas persistentes y señalados y que a menudo han sido el enfoque de antiguos programas de mejora que resultaron un fracaso, usando para ello personal formado en el conjunto de herramientas de Seis Sigma. El enfoque de resolución de problemas es el mejor para las empresas que quieren engancharse a los beneficios de los métodos Seis Sigma sin crear grandes olas de cambio dentro de la organización. Si la empresa adopta este enfoque, existe una elevada probabilidad de que sólo unos pocos estarán de verdad involucrados en el esfuerzo, a menos, que se cambie de enfoque más tarde. El beneficio de este enfoque es centrarse en cuestiones significativas y en atacar las causas raíces, usando datos y un análisis efectivo más que la pura intuición. [12]

## 2.8 Pasos De La Metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC)

De acuerdo con Pande, et. al. (2000), el modelo DMAIC incluye los procesos de mejora continua y el de Diseño/Rediseño Este modelo incluye las siguientes fases:



Imagen 1.7 Pasos De La Metodología DIMAIC [12]

Thomson y Lewis (2002), explican las fases de la siguiente manera:

1. **Definir:** El equipo de proyecto es asignado para definir el problema. Ellos determinan qué resultados se medirán.

Se define el proyecto a realizar, generalmente en función a propósito, alcance y resultados; o en función a problema, procesos y objetivos. Así entonces, el propósito y los objetivos del Six sigma serán reducir la tasa de defectos a menos de 3,4 por millón, en función del tiempo estimado para cada organización.

Herramientas de apoyo: Diagramas matriciales, Diagramas Pareto, Mapas de procesos.

2. **Medir:** El equipo debe de identificar el límite de la especificación. Algunas veces el cliente decide estos límites.

Se obtienen datos y mediciones del proceso. Es usual que esta fase se soporte en mapas de valor y observación. Deben medirse y documentarse aspectos claves, datos relevantes, contemplar todas las variables y los parámetros que afectan los procesos.

Herramientas de apoyo: Diagramas de flujo, Mapas de proceso, Técnicas de muestreo, (Análisis del Modelo y Efecto de Fallas) AMEF, Quality Function Deployment (QFD), Modelo de Kano, (Eficiencia General de los Equipos/Overall Equipment Effectiveness) OEE, Nivel Sigma.

3. **Analizar:** En esta fase, el equipo se inspira en todas las posibles causas o motivadores de defectos. Una vez que estos son identificados, una segunda vuelta de colección de datos es llevada a cabo, enfocándose en las entradas (causas) y salidas (defectos). El equipo utiliza un análisis estadístico para determinar qué causas son importantes.

Tal como afirma el especialista Oskar Olofsson: *"Si las estadísticas no apoyan una relación causa y efecto, DMAIC de Six sigma no ofrece una solución."*

En este paso los datos recabados en la medición se convierten en información; en esta fase deben identificarse a partir de las variables y los parámetros, las causas claves de los problemas.

Herramientas de apoyo: Mapas de valor, Diagramas de flujo, Diagramas de recorrido, Análisis de mudas, Ishikawa, Gráficas de control, Cpk, AMEF.

4. **Mejorar:** Una vez que las principales causas son identificadas, el equipo trabaja para redefinir estas principales causas. Los cambios son entonces piloteados con una colección de datos adicional durante el piloto. Según las causas principales de los problemas, deben modificarse o rediseñarse los procesos. Es clave involucrar al personal que se relaciona directamente con los procesos, esto constituye un paso fundamental en la continuidad de las mejoras.

Herramientas de apoyo: 5's, Ingeniería de métodos, Balance de líneas,( Single-Minute Exchange of Die) SMED, (Mantenimiento Productivo Total) TPM, Kanban, Andon.

5. **Controlar:** Los datos pilotos son analizados para determinar si el nuevo proceso produce un significativo mejoramiento estadístico sobre el viejo proceso. Si el mejoramiento es importante, un plan de control es desarrollado para asegurarse que el problema no regrese.

Debe verificarse que se sostengan los resultados, esta fase es el principio de la mejora continua. Las mejoras en el proceso deben asegurarse de manera que se sostengan los niveles de desempeño, del mismo modo en que se adaptan mejoras incrementales a lo largo del tiempo.

Es vital implementar en esta fase sistemas de recolección de información de manera que permita contrastar constantemente los indicadores del proceso mejorado con los parámetros identificados en la fase "DEFINIR".

Herramientas de apoyo: Andon, (Procedimiento Operativo Estandarizado ) POE's, LUP's, Capacitación.

## 2.9 Ventajas del DMAIC

Según Pande, et. al. (2000), algunas de las razones por las que las organizaciones emplean este modelo son las siguientes:

- Fabrica un comienzo nuevo.
- Da un nuevo enfoque familiar con las herramientas.
- Crea un enfoque consistente.
- Ofrece ambos procesos: el de mejora continua y el de diseño/rediseño.
- Pone de prioridad al cliente y a la medición.

## 2.10 Factores críticos para una implementación exitosa

De acuerdo con Breyfogle III, et. al. (2001), Seis Sigma puede ser un gran éxito o fracaso, dependiendo de cómo sea implementado a través de la infraestructura de la compañía. Crear una infraestructura acertada es un proceso en curso que infunde un conocimiento en calidad en la manera en que todos los trabajadores realicen su trabajo diario. La infraestructura puede variar perceptiblemente, dependiendo de la cultura y de las metas estratégicas del negocio. Cada organización crea su propia infraestructura; sin embargo, existen varios factores para alcanzar el éxito.

### Factores dominantes para el éxito

- 
- Liderazgo Ejecutivo
  - Enfoque al cliente
  - Metas estratégicas
  - Selección del proyecto
  - Entrenamiento y ejecución Recursos
  - Selección del Black Belt
  - Métrico y regeneración
  - Cultura
  - Comunicación
  - Planeación
  - Resultados

Imagen 1.8 Factores Dominantes para el éxito [13]

Estos factores pueden variar de orden de una organización a otra y no siempre son utilizados todos.

#### Liderazgo Ejecutivo

Es la pieza fundamental de cualquier implementación exitosa de Seis Sigma. La mayoría de las compañías que logran resultados significativos tienen el compromiso y liderazgo de su administración ejecutiva. La gente en el nivel más alto de la organización debe conducir el Seis Sigma.

#### Enfoque al cliente

Centrarse en las necesidades de los clientes va de la mano con el crear una infraestructura adecuada para Seis Sigma. Los factores que son importantes para los clientes representan una entrada necesaria para el éxito verdadero del equipo y la mejora del proceso. Por lo tanto, la evaluación de la opinión del cliente con respecto a la calidad debe estar en la vanguardia de un proceso puesto en práctica y de la fundación de una infraestructura. Las quejas de los clientes deben ser vistas como una oportunidad para crecer e incrementar el mercado. Estas quejas deben de utilizarse como un proyector en las áreas que necesitan mejorar.

#### Metas estratégicas

Las necesidades de los principales clientes son recolectadas y analizadas y para transformarlas

en metas estratégicas de la organización se utilizan varios métodos, el más efectivo y común es el de La Casa de Calidad o Despliegue de la Función de Calidad (QFD), que es una herramienta útil para transformar las necesidades de los clientes en áreas estratégicas de la organización.

### Selección del proyecto

La selección adecuada de los proyectos es de gran importancia en el éxito de la implantación de la filosofía Seis Sigma en la empresa. Es importante que los proyectos elegidos sean factibles, es decir, que puedan alcanzar la fase de control en un tiempo breve y que la probabilidad de dar resultados económicos sea alta. Los proyectos deben tener un objetivo de mejora claramente medible. [13]

Según Pande et. al., (2000), los criterios que se deben de tener en cuenta para una acertada selección de un proyecto son los siguientes: los beneficios que obtendrá el negocio, la viabilidad y el impacto organizacional.

### Recursos

La metodología de Seis Sigma necesita ser combinada con la gente correcta para lograr resultados reales. Por ejemplo, la compañía General Electric (GE) ha tenido el desarrollo de las técnicas de Seis Sigma a través de personas llamadas Black Belts, quienes trabajan tiempo completo en ejecutar los proyectos. Sin embargo, estas personas aunque sean los líderes en los proyectos, ellos no pueden realizar todo el trabajo. Para que los equipos de proceso alcancen resultados significativos, las prioridades de los miembros del equipo necesitan estar alineadas con las metas estratégicas de los proyectos. La gerencia necesita crear un ambiente de apoyo y realinear los recursos a las prioridades cuando sea necesario. [13]

### Selección del Black Belt

Los Black Belts necesitan tener varias cualidades para ser efectivos. Necesitan un liderazgo fuerte y habilidades administrativas para un proyecto, también deben de tener el conocimiento de alternativas para seleccionar las herramientas adecuadas de Seis Sigma para una situación específica. Las personas seleccionadas para ser Black Belts necesitan tener la habilidad de dirigir el cambio, analizar efectivamente un problema y administrar exitosamente los proyectos. [13]

### Métrico y regeneración

La métrica que sigue la eficacia de la infraestructura de Seis Sigma puede conducir el comportamiento y crear un ambiente para tomar decisiones objetivas. Una infraestructura de éxito necesita ser pensada como un proceso en curso que pueda ser mejorado continuamente.

La métrica debe ser creada para proveer información importante en la variabilidad de eficiencia de este proceso. [13]

## Cultura

El implementar el Seis Sigma produce una oportunidad para cambiar la cultura actual de la organización. Moverse desde una cultura existente que sea escéptica de cambio de proceso a una cultura que abrace la mejora continua del proceso requiere una comprensión de las fuerzas para el cambio. Un análisis del campo de las fuerzas es una manera eficaz de ilustrar las fuerzas en una organización que conducen hacia la solución de Seis Sigma.

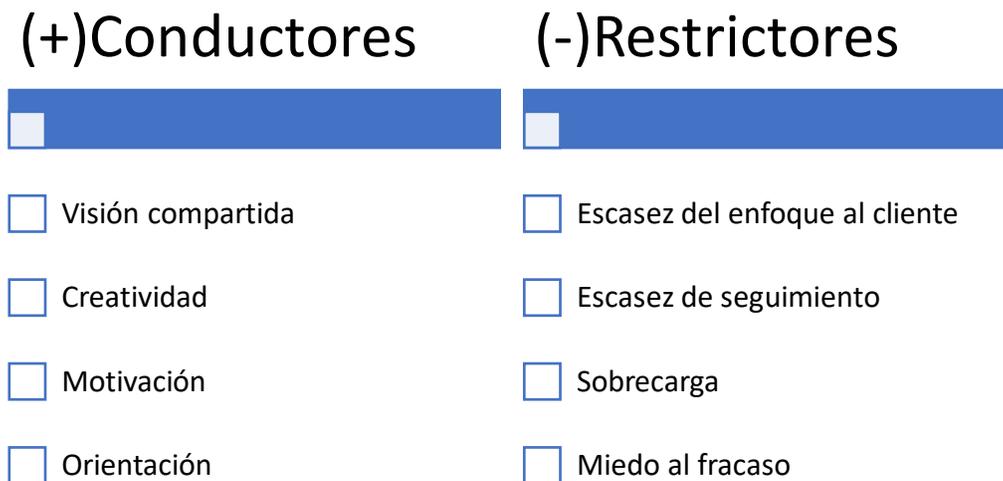


Imagen 1.9 Cultura que rodea el Seis Sigma [13]

## Comunicación

Frecuentemente, los líderes de las compañías implementan el Seis Sigma porque poseen una visión clara de lo que quieren alcanzar. Sin embargo, la mayoría de las veces no comunican claramente su visión a través de la organización. Para evitar esta situación, los ejecutivos necesitan hablar el mismo lenguaje de Seis Sigma. Los pasos más comunes para llevar una comunicación efectiva son:

- **Conciso:** Las palabras son cuidadosamente seleccionadas para comunicar las metas específicas de la estrategia de negocios de Seis Sigma.
- **Consistente:** La comunicación debe ser sincera y se debe repetir el mismo mensaje.
- **Completo:** Los planes de la comunicación debe alcanzar todos los niveles de la organización. Si es posible, se deben utilizar diferentes medios.

## 2.11 Entrenamiento

Una simple pero significativa diferencia entre educación y entrenamiento es que educación enseña el por qué y entrenamiento el cómo. Las compañías necesitan contratar a personas que ya conozcan el por qué para después impulsarlos hacia una nueva visión de cómo es Seis Sigma.

Una fase de educación y entrenamiento debe estar centrada alrededor de proyectos. El componente educación de este esfuerzo está enfocado en ejecutivos y administradores, mientras que la porción de entrenamiento está diseñada para el Black Belt. [13]

### 2.11.1 Estrategia

En el entrenamiento, el formato más efectivo para entender los conceptos de Seis Sigma es el siguiente:

- Introducir y discutir un nuevo tema utilizando un sistema de proyección de computadora en conjunto con un paquete de presentación.
- Presentar un ejemplo del problema en el mismo tema y explorar una y más soluciones del problema utilizando la aplicación de programas estadísticos y cuando sea necesario, exponer y analizar el dato.
- Responder a un caso de estudio usando otro conjunto de datos relacionados con el mismo tema.
- Presentar periódicamente un ejercicio de larga escala donde los equipos trabajen juntos en una aplicación genérica de los conceptos que han sido enseñados.
- Invitar periódicamente a discutir en clase el hecho de cómo varias herramientas y técnicas son aplicables a proyectos individuales.

Las herramientas y técnicas de Seis Sigma son aplicables a una gran variedad de situaciones, por lo tanto, el mismo curso puede ser usado para personas involucradas en la manufactura, desarrollo de procesos de producción, servicios y procesos transaccionales.

### 2.11.2 Tipos de Entrenamiento

Según Breyfogle III, et. al. (2001), el entrenamiento provee a los candidatos con el conocimiento y características para guiar y dirigir la implementación de la metodología Seis Sigma en una empresa. Los tipos de entrenamiento y sus responsabilidades para poner en

práctica la metodología de Seis Sigma son:

- Entrenamiento del Yellow Belt: Los Yellow Belt no necesariamente requieren de un entrenamiento de tiempo completo. Como parte de este entrenamiento, los proyectos deben ser completados con el apoyo de los Black Belts. Son personas con un nivel inferior de especialización en Seis Sigma que los Black Belts y Green Belts, generalmente realizan un enfoque más técnico y menos directivo. No es necesario que conozca muy profundamente la justificación teórica de las técnicas estadísticas y de calidad, pues siempre tendrá el apoyo de los expertos.
- Entrenamiento de un Campeón: Se debe dar énfasis a la selección y dirección de los proyectos de Seis Sigma y Black Belts, y al rol que juegan estos como eliminadores de obstáculos en la ejecución de los proyectos. A través de este entrenamiento, los directores de los proyectos de Seis Sigma obtendrán una mejor apreciación del trabajo que será conducido por el Black Belt. Mediante este procedimiento, el director puede ofrecer mejores consejos y convertirse en el experto para la selección de proyectos. Son líderes de la alta gerencia quienes sugieren y apoyan proyectos, ayudan a obtener recursos necesarios y eliminan los obstáculos que impiden el éxito del proyecto. Incluye participación en revisión y aseguran que se desarrolle la metodología Seis Sigma.
- Entrenamiento Ejecutivo: Se recomienda que los ejecutivos reciban uno o dos días de entrenamiento. Este entrenamiento no sólo describe las bases del Seis Sigma sino que enfatiza el establecimiento y dirección de la infraestructura. Se debe hacer énfasis en la importancia de aplicar sabiamente las técnicas en donde los diálogos son fomentados para resultados específicos y preguntas de implementación.
- Entrenamiento Maestro del Black Belt: Es realizado por expertos en Seis Sigma quienes se han convertido en maestros de tiempo completo y consejeros de la metodología. Estas personas necesitan tener una buena enseñanza, liderazgo y habilidades cuantitativas.

## 2.12 VENTAJAS DE SEIS SIGMA

Según De Feo y Bar-El (2002), la metodología de Seis Sigma proporciona importantes beneficios en cualquier organización. Entre los más importantes se encuentran:

- Optimizar el equipo.
- Pocos errores o rechazos.
- Mejora los ciclos de los tiempos, la calidad y los costos.
- Reduce los tiempos de respuesta para los clientes.
- Mejora la eficacia y eficiencia de los procesos.
- Incrementa las ganancias e ingresos mediante la reducción de costos.
- Ayuda a recuperar rápidamente el Capital de Trabajo.

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO

### 3.1 Definir

Una vez analizado todo lo anterior, comenzamos con el desarrollo del proyecto del cual estaba a cargo, la primera etapa de acuerdo a la metodología Lean Six Sigma consiste en *Definir*, donde se van a utilizar las siguientes herramientas:

1. Project Charter
2. Process Mapping
3. Árbol CTQ's

#### 3.1.1 Project charter

Datos

Empresa / Organización	Thyssenkrupp Bilstein Of America, Inc.
Proyecto	Tesla's Production Ramp Up
Fecha de preparación	20 septiembre 2018
Cliente	Tesla
Patrocinador principal	Anthony Gajewski
Gerente de proyecto	Abigail Guerra

Patrocinador / Patrocinadores

Nombre	Cargo	Departamento / División
Anthony Gajewski	Manager	OE Manufacturing
Steven Hollingsworth	Manager	Main Lines

Propósito y justificación del proyecto

El proyecto se llevará a cabo en la compañía Thyssenkrupp Bilstein Of America, Inc. En el área de manufactura principal de amortiguadores electromagnéticos *DT Sky*, el propósito es encontrar la causa raíz del porque la línea de producción *DT Sky* sólo alcanza el 50% en promedio de la productividad esperada y qué solución existe puesto que se incrementará la producción al doble en marzo 2019. Este proyecto está enfocado principalmente en diseñar el sistema para lograr 180 piezas por hora que es la capacidad máxima del proceso, esperando promediar al menos de 100 pph de manera estable.

Descripción del proyecto y entregables

El proyecto consiste en realizar un DMAIC, aplicando lean manufacturing, donde se conformará un equipo especializado con 12 personas involucradas en el proceso con tareas específicas, teniendo juntas semanales o más frecuentes de ser necesario donde se irán entregando avances tanto para entender bien qué está pasando como para medir el performance y darle una solución. Se utilizará una hoja de Smartsheet para darle seguimiento a las tareas y su cumplimiento, la cual será visible también para los sponsors.

### 3.1.2 Process Mapping

La siguiente representación gráfica del proceso es útil para todo el equipo, así como para personas externas y estandarización de este, mostrando así un mapeo de segundo nivel donde se muestran la secuencia de pasos a seguir y su trayectoria.

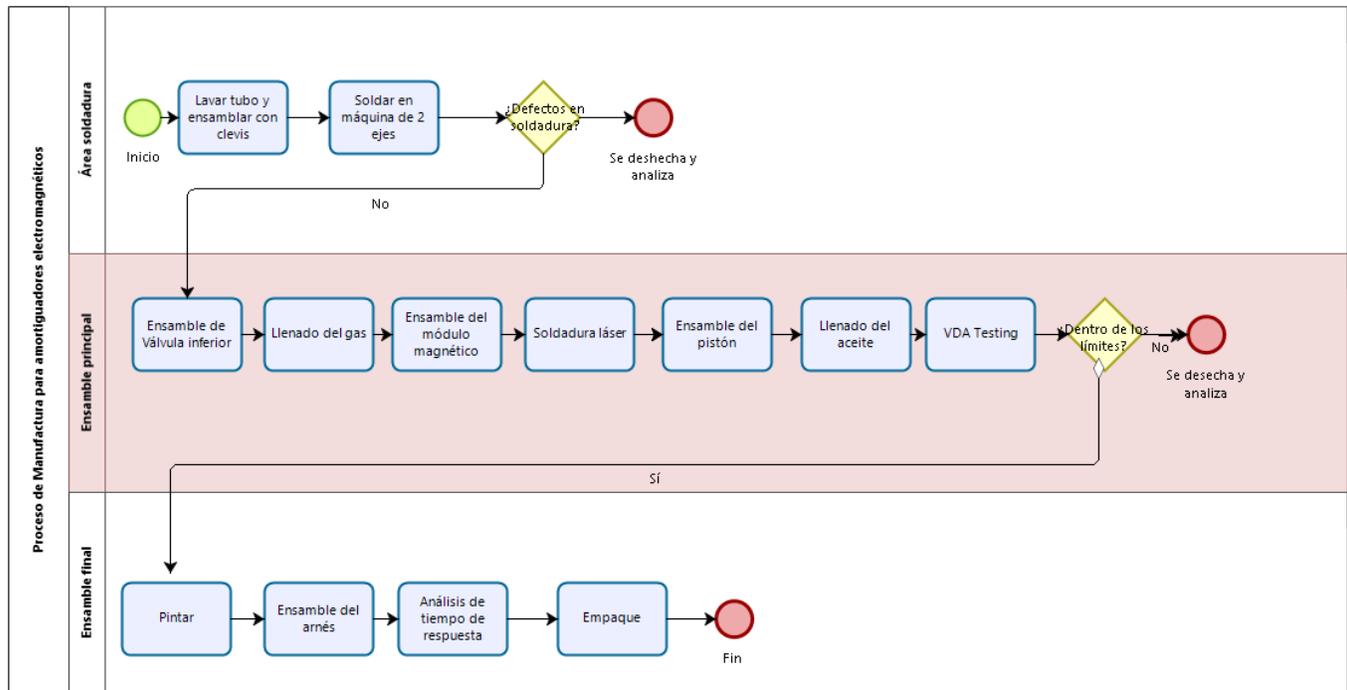


Imagen 1.10 Mapeo de procesos

Este proyecto solamente está enfocado solamente en el ensamble principal, que es dónde se encontró el problema.

### 3.1.3 Árbol de CTQ's

Es una herramienta para determinar los factores críticos para la calidad del cliente ( Critical To Quality o CTQ's por sus siglas en inglés). Para determinar estos, se tiene que conocer la voz del cliente interno o externo (Voice Of The Customer o VOC por sus siglas en inglés).

En este caso, el cliente directo es la línea de producción subsecuente dado que es a quien se debe entregar en tiempo y forma para así cumplir las expectativas del cliente directo.

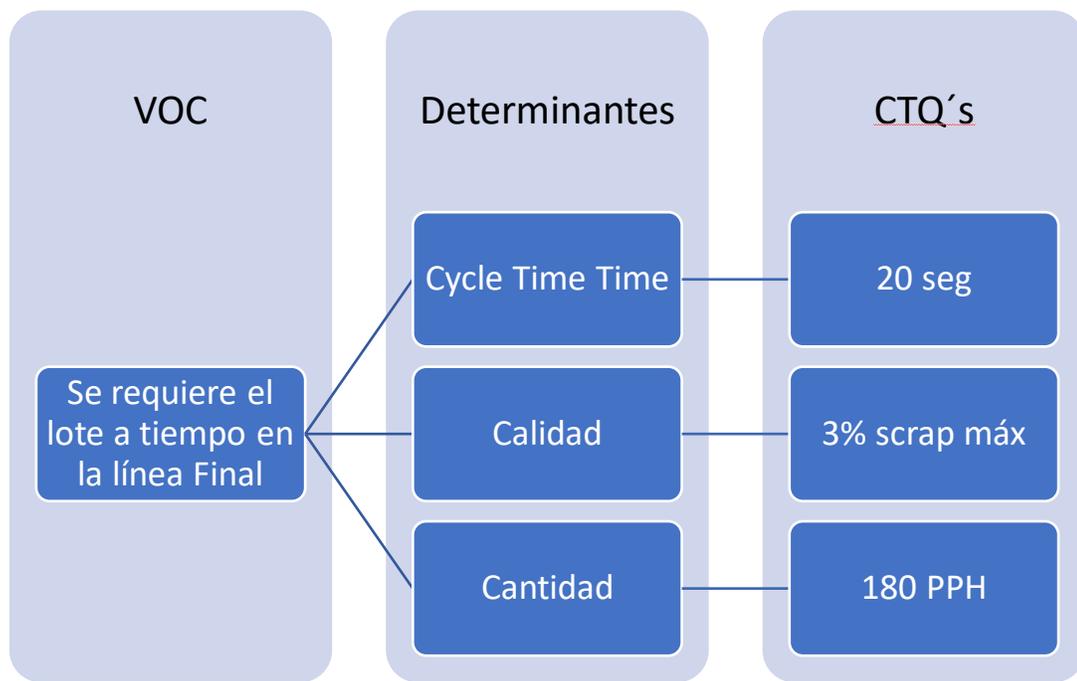


Imagen 1.11 Árbol de CTQ's

De acuerdo a lo establecido en el Project Charter, este proyecto está enfocado principalmente en utilizar como medida los CTQ's de cantidad ideal es decir 180 PPH como meta, en caso de tener una producción en su máxima capacidad, lo cual a su vez va ligado con cumplir un tiempo ciclo de 20 seg . Respecto al scrap, que son las piezas con falla generadas al final de la línea, que también es un factor importante, se encargará otro equipo en un proyecto distinto.

Al terminar la etapa de definir, identificamos los procesos que existen en el área, para así considerar cuales van a ser considerados específicamente en este proyecto. El Project Charter nos sirvió para tener una imagen general de lo que será este proyecto, posteriormente el mapear todo el proceso nos permite delimitar de donde viene y a donde va cada paso, así como conocer el proceso completo para la manufactura del amortiguador para así comprender la etapa en que se delimita el proyecto, que en este caso es la etapa principal. Por último, los CTQ's son pieza clave para definir las variables que serán críticas para medir el comportamiento de nuestro proceso, así como las especificaciones del cliente.

### 3.2 Medir

Una vez definidas las variables del problema y lo que se busca satisfacer, sigue la etapa de *Medir*, donde se empezará a obtener datos para una mejor comunicación de la información, lo cual nos sirve para:

- Diferenciar lo que *creemos* que está sucediendo de lo que en *realidad* está sucediendo
- Mirar los antecedentes históricos del problema en el tiempo

- Controlar un proceso (monitorear el desempeño de un proceso)
- Evitar “soluciones” que no resuelven el verdadero problema

Para esta etapa se van a seguir los siguientes pasos:

- Recopilar y visualizar datos
- Nivel sigma actual
- Diagrama de Pareto

### 3.2.1 Recopilar y visualizar datos

En este primer paso de la segunda etapa del DMAIC, se recopiló toda la información necesaria y las variables clave para entender el comportamiento de la producción, para esto se utilizaron 2 métodos distintos, el primero, que consistió en hacer investigación de campo con el equipo, también conocida como Gemba Walk, un término japonés que significa “lugar de trabajo, el lugar real donde ocurren las cosas”, y cuando decimos que vamos al Gemba indicamos la acción de ir a observar el proceso, entender la manera como se está desarrollando el trabajo, hacer preguntas y aprender cómo funciona para poder proponer soluciones en el futuro, utilizando medios como videograbadoras para recopilar datos posteriormente de ser necesario; y el segundo, que es obtener información directamente del sistema para tener un historial de piezas por hora de los distintos turnos y analizar posteriormente su comportamiento.



Imagen 1.12 Video de Recopilación y visualización de datos

Los datos obtenidos de la plataforma MES (*Manufacturing Execution System*) respecto a la producción de piezas por hora en la línea de manufactura DT Sky, fueron tomados en una muestra aleatoria de 300 datos (piezas por hora) de entre más de 2,000 datos del

comportamiento durante los últimos 2 meses, tomando en cuenta turnos y horarios diferentes:

1	Batch statu	Batch statu	Internal MES batch num	MES batch number	PPH	Unit	Manufacturing date	Shift
386	System.Drawin	Free	PRNVL6711D	PRNVL6711D	60.000	PC	6/30/2018 2:15:53 PM	1st
388	System.Drawin	Free	PRNVL6711F	PRNVL6711F	1.000	PC	6/30/2018 2:29:50 PM	1st
390	System.Drawin	Free	PRNVL6711H	PRNVL6711H	80.000	PC	6/30/2018 3:53:02 PM	1st
392	System.Drawin	Free	PRNVL6711J	PRNVL6711J	100.000	PC	6/30/2018 5:42:30 PM	1st
394	System.Drawin	Free	PRNVL6711L	PRNVL6711L	100.000	PC	6/30/2018 7:10:53 PM	1st
396	System.Drawin	Free	PRNVL6711N	PRNVL6711N	60.000	PC	6/30/2018 8:39:10 PM	1st
398	System.Drawin	Free	PRNVL6711P	PRNVL6711P	18.000	PC	6/30/2018 10:29:04 PM	1st
400	System.Drawin	Free	PRNVL68112	PRNVL68112	80.000	PC	7/1/2018 8:52:51 AM	1st
402	System.Drawin	Free	PRNVL68115	PRNVL68115	80.000	PC	7/1/2018 10:45:43 AM	1st
404	System.Drawin	Free	PRNVL68117	PRNVL68117	80.000	PC	7/1/2018 12:36:34 PM	1st
406	System.Drawin	Free	PRNVL68119	PRNVL68119	80.000	PC	7/1/2018 2:13:20 PM	1st
408	System.Drawin	Free	PRNVL6811B	PRNVL6811B	14.000	PC	7/1/2018 2:53:17 PM	1st
410	System.Drawin	Free	PRNVL6811E	PRNVL6811E	54.000	PC	7/1/2018 5:27:35 PM	1st
412	System.Drawin	Free	PRNVL6811G	PRNVL6811G	21.000	PC	7/2/2018 11:47:27 AM	1st
414	System.Drawin	Free	PRNVL69113	PRNVL69113	33.000	PC	7/2/2018 12:54:44 PM	1st
416	System.Drawin	Free	PRNVL69115	PRNVL69115	54.000	PC	7/2/2018 2:04:24 PM	1st
418	System.Drawin	Free	PRNVL69117	PRNVL69117	26.000	PC	7/2/2018 3:06:02 PM	2nd
420	System.Drawin	Free	PRNVL6911A	PRNVL6911A	54.000	PC	7/2/2018 5:22:53 PM	2nd
422	System.Drawin	Free	PRNVL6911C	PRNVL6911C	54.000	PC	7/2/2018 5:57:23 PM	2nd
424	System.Drawin	Free	PRNVL6911E	PRNVL6911E	43.000	PC	7/2/2018 6:59:25 PM	2nd

Imagen 1.13 Recopilación de datos de la plataforma MES

De la información anterior obtenida de los sensores internos de la última estación, tomamos los valores de PPH para determinar el nivel sigma en el que se encontraba el proceso en esta etapa.

### 3.2.2 Nivel sigma

Para medir estadísticamente como se comportó el proceso, se utilizó el nivel sigma como indicador de variación el cual corresponde a cuantas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso.

Primeramente, se clasificaron los datos como discretos de acuerdo a la siguiente condición:

	Continuous	Discrete		
	aka quantitative data	aka qualitative/categorical/attribute data		
Measurement	Units (example)	Ordinal (example)	Nominal (example)	Binary (example)
Time of day	Hours, minutes, seconds	1, 2, 3, etc.	N/A	a.m./p.m.
Date	Month, date, year	Jan., Feb., Mar., etc.	N/A	Before/after
Cycle time	Hours, minutes, seconds, month, date, year	10, 20, 30, etc.	N/A	Before/after
Speed	Miles per hour/centimeters per second	10, 20, 30, etc.	N/A	Fast/slow
Brightness	Lumens	Light, medium, dark	N/A	On/off
Temperature	Degrees C or F	10, 20, 30, etc.	N/A	Hot/cold
<Count data>	Number of things (hospital beds)	10, 20, 30, etc.	N/A	Large/small hospital
Test scores	Percent, number correct	F, D, C, B, A	N/A	Pass/Fail
Defects	N/A	Number of cracks	N/A	Good/bad
Defects	N/A	N/A	Cracked, burned, missing	Good/bad
Color	N/A	N/A	Red, blue, green, yellow	N/A
Location	N/A	N/A	Site A, site B, site C	Domestic/international
Groups	N/A	N/A	HR, legal, IT, engineering	Exempt/nonexempt
Anything	Percent	10, 20, 30, etc.	N/A	Above/below

Imagen 1.14 Clasificación de datos continuos y discretos [8]

Con ayuda de minitab se realizó el histograma del proceso que nos mostró una desviación estándar de 21.65 y a simple vista una curva muy abierta, lo cual representa un proceso muy variable:

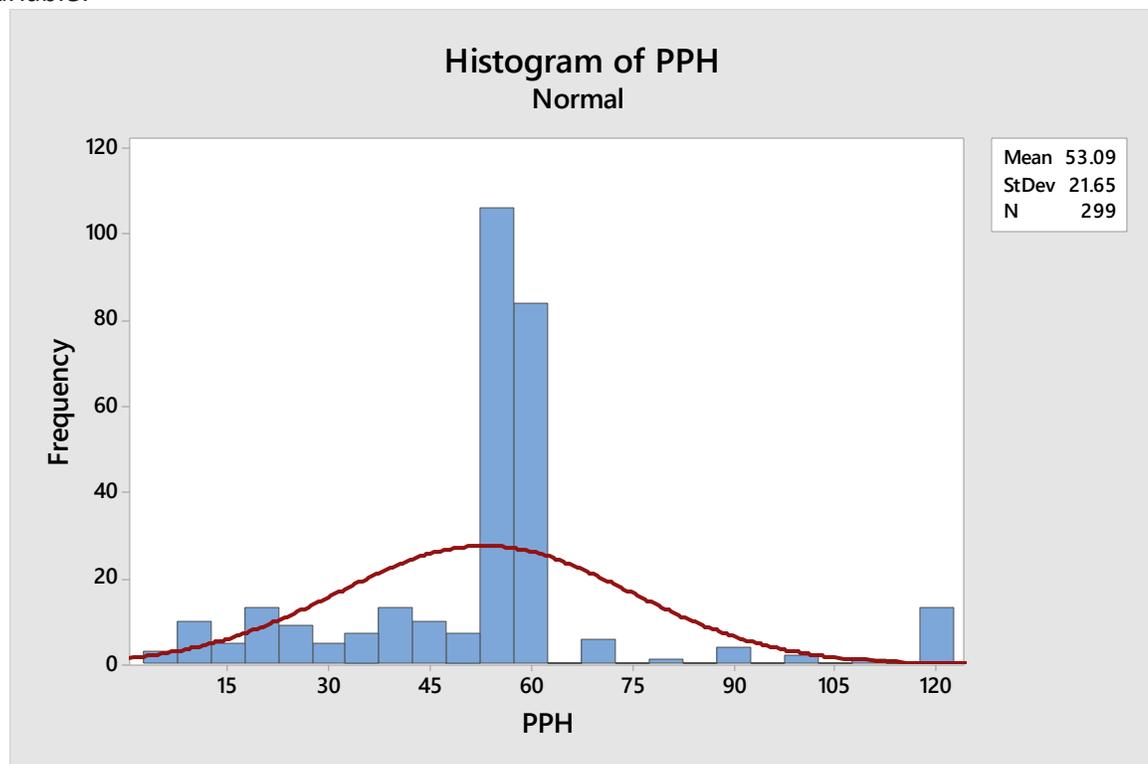


Imagen 1.15 Histograma de PPH hecho en Minitab

Posteriormente se realizó la gráfica de tendencia (series de tiempo) para entender el comportamiento del proceso:

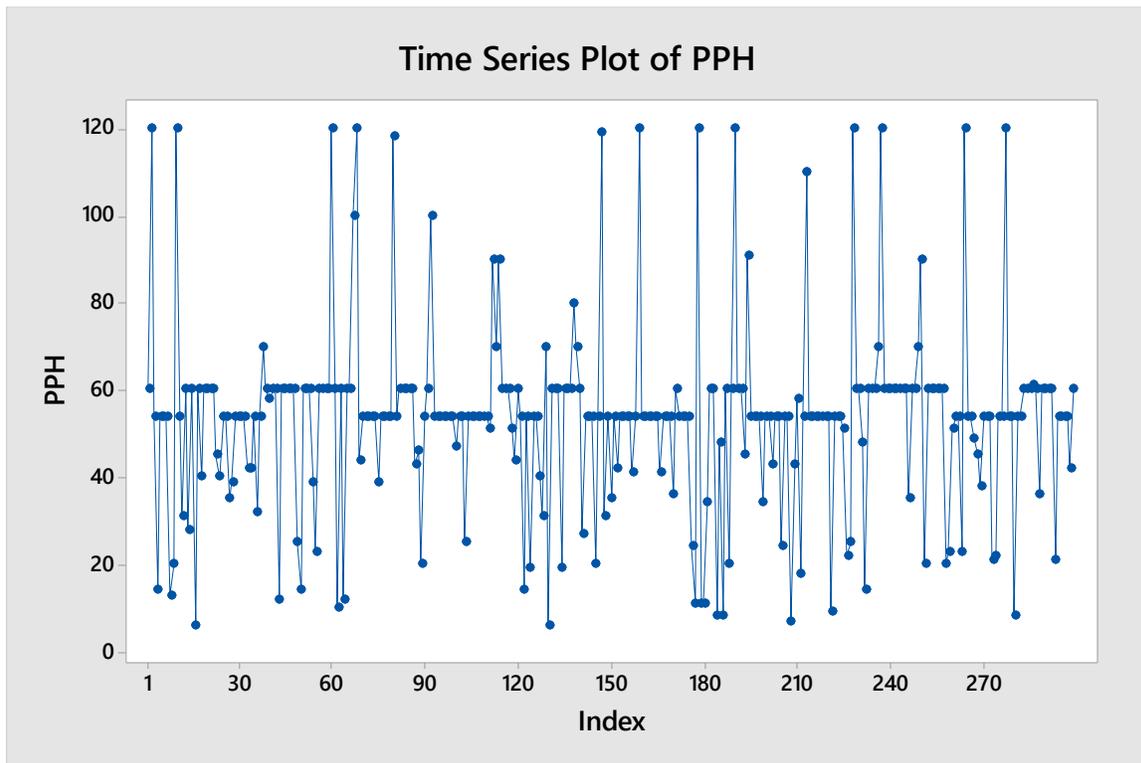


Imagen 1.16 Series de tiempo de PPH

Aunado a lo anterior, se obtuvieron también los gráficos de control para identificar los límites naturales del proceso:

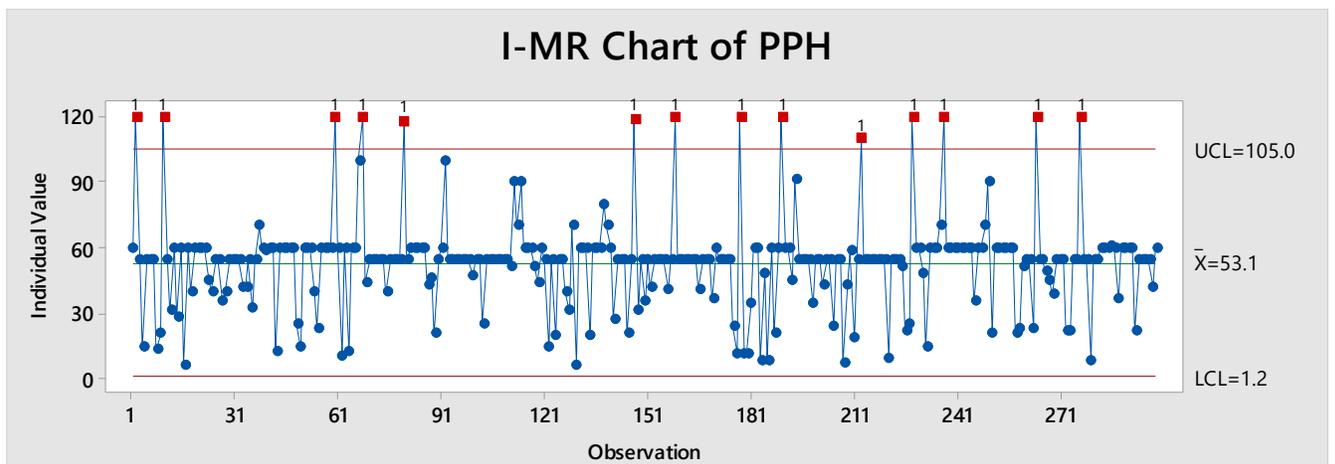


Imagen 1.17 Gráfico de Control

La gráfica de control anterior nos muestra que los límites de control actuales están muy alejados de los límites de especificación, pero lo más importante es que el proceso no es estable.

Por último, se utilizó la medida de desempeño de Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), la cual asume la posibilidad de múltiples defectos por unidad:

$$DPMO = \frac{\text{Número de defectos encontrados en una muestra}}{\text{Número total de oportunidades de defectos en una muestra}} \times 1,000,000$$

Aplicado a nuestra muestra:

$$DPMO = \frac{284}{300} \times 1,000,000 = 946,666.667$$

Utilizando la tabla "Abridged "6-sigma" Conversion Table Note: Yield refers to percent of output that is Good" que nos sirve para determinar el nivel sigma e interpolando los valores, se obtuvo un nivel sigma negativo en el proceso, de -0.3  $\sigma$ , lo cual nos dice que el proceso no es capaz y solo se puede esperar que se cumpla la producción de más de 100 piezas por hora el 4% de las oportunidades.

Yield	Sigma	Defects per 1,000,000	Defects per 100,000	Defects per 10,000	Defects per 1,000	Defects per 100
99.99966%	6.0	3.4	0.34	0.034	0.0034	0.00034
99.9995%	5.9	5	0.5	0.05	0.005	0.0005
99.9992%	5.8	8	0.8	0.08	0.008	0.0008
99.9990%	5.7	10	1	0.1	0.01	0.001
99.9980%	5.6	20	2	0.2	0.02	0.002
99.9970%	5.5	30	3	0.3	0.03	0.003
99.9960%	5.4	40	4	0.4	0.04	0.004
99.9930%	5.3	70	7	0.7	0.07	0.007
99.9900%	5.2	100	10	1.0	0.1	0.01
99.9850%	5.1	150	15	1.5	0.15	0.015
99.9770%	5.0	230	23	2.3	0.23	0.023
99.9670%	4.9	330	33	3.3	0.33	0.033
99.9520%	4.8	480	48	4.8	0.48	0.048
99.9320%	4.7	680	68	6.8	0.68	0.068
99.9040%	4.6	960	96	9.6	0.96	0.096
99.8650%	4.5	1,350	135	13.5	1.35	0.135
99.8140%	4.4	1,860	186	18.6	1.86	0.186
99.7450%	4.3	2,560	256	25.6	2.56	0.256
99.6540%	4.2	3,460	346	34.6	3.46	0.346
99.5340%	4.1	4,660	466	46.6	4.66	0.466
99.3790%	4.0	6,210	621	62.1	6.21	0.621
99.1810%	3.9	8,190	819	81.9	8.19	0.819
98.930%	3.8	10,700	1,070	107	10.7	1.07
98.610%	3.7	13,900	1,390	139	13.9	1.39
98.220%	3.6	17,800	1,780	178	17.8	1.78
97.730%	3.5	22,700	2,270	227	22.7	2.27
97.130%	3.4	28,700	2,870	287	28.7	2.87
96.410%	3.3	35,900	3,590	359	35.9	3.59
95.540%	3.2	44,600	4,460	446	44.6	4.46
94.520%	3.1	54,800	5,480	548	54.8	5.48
93.320%	3.0	66,800	6,680	668	66.8	6.68
91.920%	2.9	80,800	8,080	808	80.8	8.08
90.320%	2.8	96,800	9,680	968	96.8	9.68
88.50%	2.7	115,000	11,500	1,150	115	11.5
86.50%	2.6	135,000	13,500	1,350	135	13.5
84.20%	2.5	158,000	15,800	1,580	158	15.8
81.60%	2.4	184,000	18,400	1,840	184	18.4
78.80%	2.3	212,000	21,200	2,120	212	21.2
75.80%	2.2	242,000	24,200	2,420	242	24.2
72.60%	2.1	274,000	27,400	2,740	274	27.4
69.20%	2.0	308,000	30,800	3,080	308	30.8
65.60%	1.9	344,000	34,400	3,440	344	34.4
61.80%	1.8	382,000	38,200	3,820	382	38.2
58.00%	1.7	420,000	42,000	4,200	420	42
54.00%	1.6	460,000	46,000	4,600	460	46
50%	1.5	500,000	50,000	5,000	500	50
46%	1.4	540,000	54,000	5,400	540	54
43%	1.3	570,000	57,000	5,700	570	57
39%	1.2	610,000	61,000	6,100	610	61
35%	1.1	650,000	65,000	6,500	650	65
31%	1.0	690,000	69,000	6,900	690	69
28%	0.9	720,000	72,000	7,200	720	72
25%	0.8	750,000	75,000	7,500	750	75
22%	0.7	780,000	78,000	7,800	780	78
19%	0.6	810,000	81,000	8,100	810	81
15%	0.5	840,000	84,000	8,400	840	84
14%	0.4	860,000	86,000	8,600	860	86
12%	0.3	880,000	88,000	8,800	880	88
10%	0.2	900,000	90,000	9,000	900	90
8%	0.1	920,000	92,000	9,200	920	92

Imagen 1.18 Tabla de Conversión Seis Sigma [14]

La recopilación de datos y medidas estadísticas anteriores llevaron a realizar un Diagrama de Pareto para buscar las principales causas que ocasionan la variación del proceso.

### 3.2.3 Diagrama de Pareto

La siguiente herramienta que es el diagrama de Pareto, nos muestra cuales son las principales causas que ocasionan la gran variación en la cantidad de producción de acuerdo al sistema de sensores internos con que cuenta la plataforma MES, donde la causa principal es la falta del ensamble principal del amortiguador en la máquina:

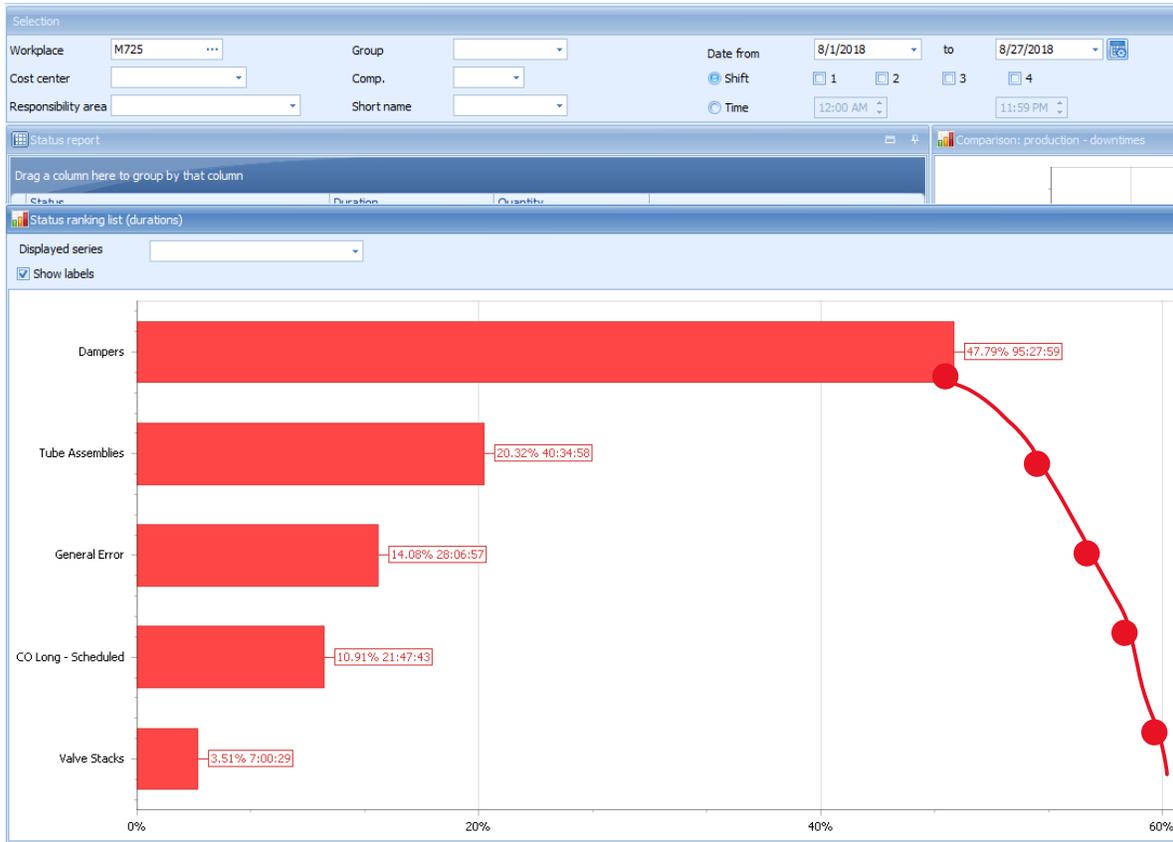


Imagen 1.19 Diagrama de Pareto

La primera causa es que los dampers no están en posición para ser probados en la última estación. Esto lleva a la pregunta ¿Por qué no están los amortiguadores cuándo y dónde deben estar para terminar la producción? Así que hay que medir todas las actividades involucradas en el mismo para entender, así como toda la línea integral y no sólo la parte final puesto que el problema puede provenir de las celdas.

En esta fase de medición, conocimos los tiempos actuales del proceso y como se comportan, así como algunas posibles causas que nos pueden llevar a encontrar una solución a la variación del proceso y la evaluación con respeto al cliente mediante la capacidad de proceso y nivel sigma. En la fase siguiente analizaremos estos datos para identificar cuales son las posibles mejoras que nos permitirán eliminar la causa raíz del problema y aumentar la producción en la fecha deseada.

### 3.3 Analizar

Esta es la etapa clave para identificar las causas de los errores que deben ser corregidos para llegar al objetivo, utilizando 3 herramientas para conseguirlo:

- Análisis de causa-efecto
- Análisis del proceso
- Diagrama de hilos

#### 3.3.1. Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto)

Esta etapa comenzó con el diagrama de Causa-Efecto que fue de gran utilidad para tener una visión más amplia de todas las posibles causas que están afectando a que no pueda cumplirse el objetivo de tener una buena producción, donde se consideró el efecto de mayor incidencia en el Diagrama de Pareto analizado en la fase anterior.

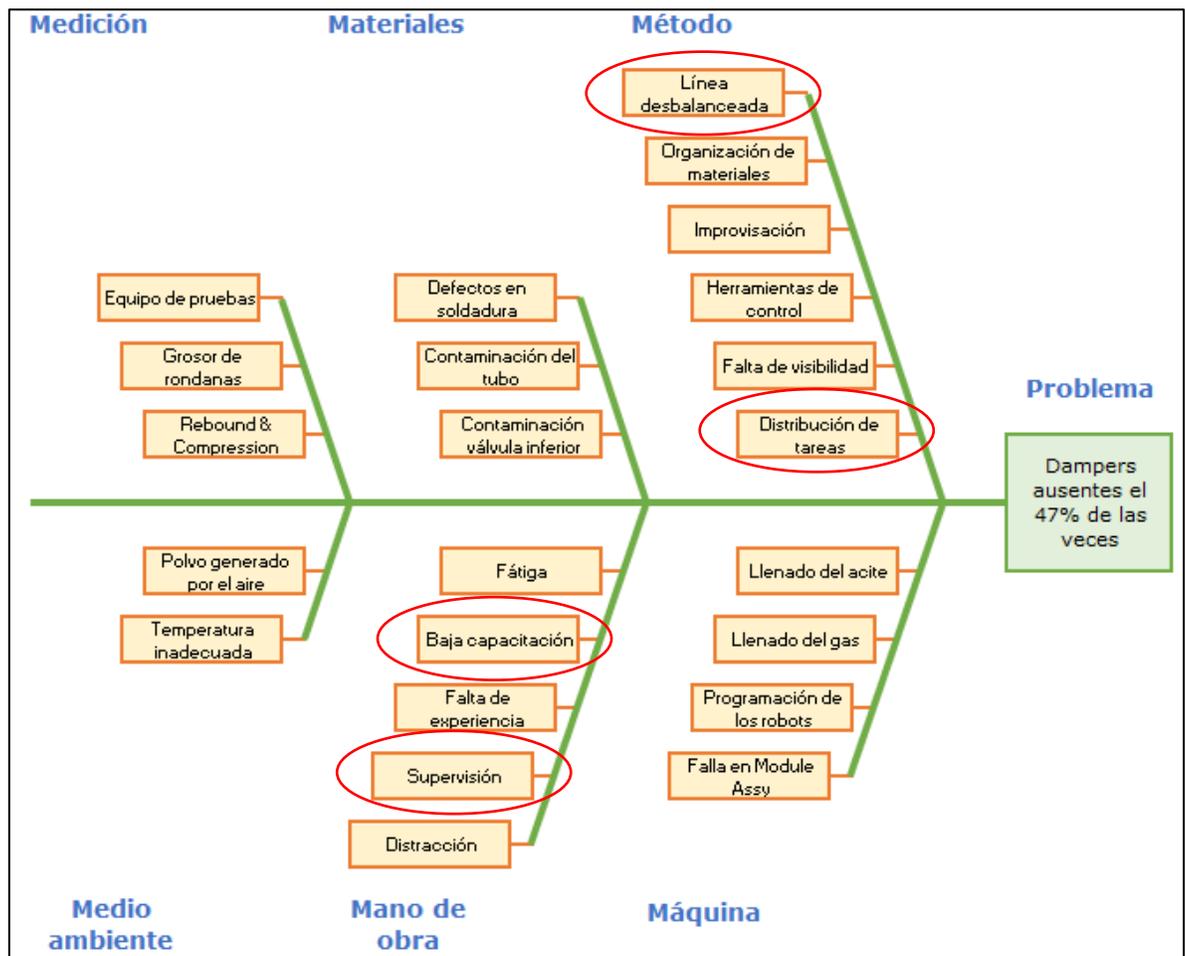


Imagen 1.20 Diagrama Causa-Efecto para analizar el problema de la baja productividad

Se tomó la decisión con el equipo enfocarse principalmente en el Balanceo de línea, que a su vez va ligado con la supervisión, baja capacitación y distribución de tareas, ya que esta podría ser la causa principal que está ocasionando cuellos de botella y la razón de por que no están en su lugar los dampers cuando y donde deben estar, dado que es un producción

en línea y cada una de las 9 estaciones previas a la estación final se alimentan una de la otra, puesto que si una se retrasa, eventualmente todo el sistema se detiene, así como la parte organizacional de la línea por su parte podría no estar haciendo su trabajo, puesto que la capacidad de la máquina por sí sola sí cumple las especificaciones, lo cual puede indicar que se debe a un problema derivado de método y mano de obra.

### 3.3.2. Análisis del proceso

Partiendo del punto anterior donde la causa raíz potencial del problema es el balanceo de línea, se comenzó por analizar todos los ciclos de tiempo de que conforman la línea de manufactura principal con el método ya antes mencionado, el cual nos sirve para calcular también las piezas que podrían producirse en el intervalo de una hora en caso de que todo funcionara perfectamente (*Gross Rate*).

Estación	Capacidad Máxima (PPH)	Operadores (personas)
1.0_Final Crimp	180	1
1.2_VDA #1/#2	222	1
1.3_Oil Fill_30/40	180	1
1.4_Stiwa (Input & Output)	189	1
1.5.1_Piston Rod Sub Assy (Mercedes)	240	1
F1.5.1_Crimp & Rebound_M300	277	1
1.5_Piston Rod Main Assy	212	1
2.0_Gas Fill	189	0
2.1_Bottom Valve Assy (AVG)	180	2
2.2_Separation Package	212	1
2.3_Module Assy	189	1
F2_1.6.1_Gas Reservoir CTS M300	200	1
F1.6_GLAMAtronic CD Weld_M300	180	1
<b>Total</b>		<b>13</b>

Imagen 1.21 Capacidad por estación (PPH)

La tabla anterior demuestra que todos los procesos que forman parte de la línea de manufactura son perfectamente capaces de alcanzar la meta que son 180 PPH o en su defecto, promediar las 100 PPH que se tienen como objetivo mínimo en este proyecto, sin embargo, solamente promedian 50 PPH.

La siguiente es la representación gráfica para hacer la celda y su flujo visiblemente más fácil de entender, la cual incluye el trabajo operativo y tiempos de cada estación:

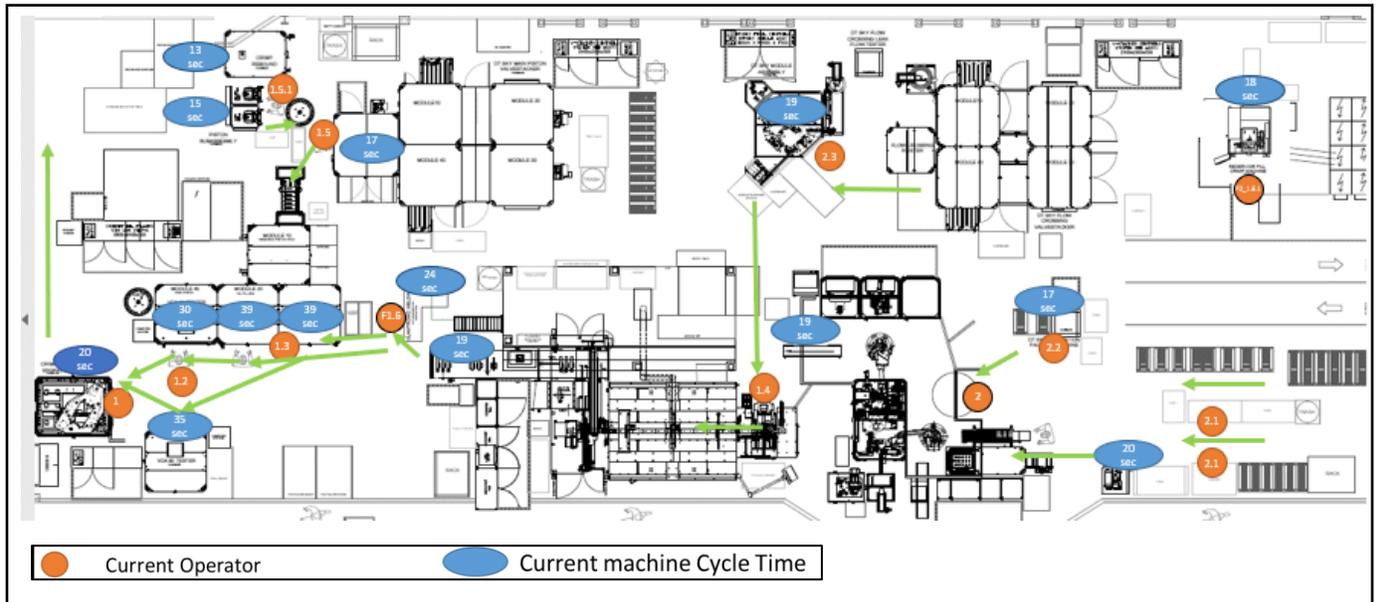


Imagen 1.22 Layout con proceso operativo original

Con esta misma información, se realizó la representación gráfica que muestra como estaba balanceada la línea originalmente donde indica la capacidad operativa de cada estación, incluyendo que tan apegado estaba cada proceso a la meta que son 180 pph idealmente:

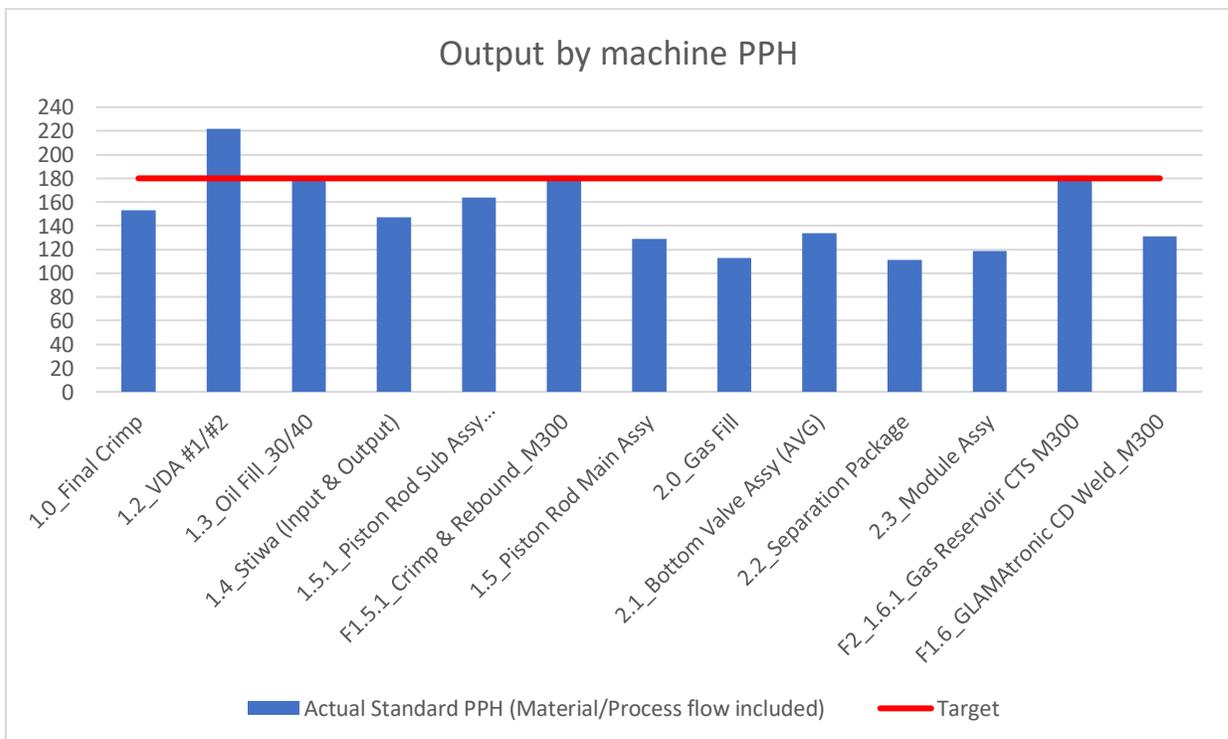


Imagen 1.23 Balanceo de línea original



Date	09/10/2018										
Study performed by	Abi Guerra										
Work Center	M725_1.2										
Operation	VDA #1,#2										
Approved on											
<b>16.3</b>	AVG part-to-part cycle time (sec)										
<b>221.5</b>	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
<b>2.0</b>	Applied seconds lost (ammortized)										
<b>(24.3)</b>	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
<b>197</b>	Net Rate (PPH, for official SAP routing)										
Record acyclic events here:											
<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>				
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minute	
00:01:30	60	X	1	Finished good parts & New car/Label	18.2	-8.2%	1.5	20.0000	00:30:00	16	
00:01:30	180	X	1	if needed Scrap 3%	6.1	-2.7%	0.5	6.6667	00:10:00	49	

Imagen 1.26 VDA's Testing Station

A Date	09/10/2018										
B Study performed by	Abi Guerra										
C Work Center	M725_1.3										
D Operation	Oil Fill										
E Approved on											
F <b>19.0</b>	AVG part-to-part cycle time (sec)										
G <b>189.5</b>	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
H <b>1.0</b>	Applied seconds lost (ammortized)										
I <b>(9.4)</b>	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
J <b>180</b>	Net Rate (PPH, for official SAP routing)										
Record acyclic events here:											
<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>				
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minute	
00:01:30	230	X	1	Sleeves	3.7	-2.0%	0.39130435	5.2174	00:07:50	73	
00:01:30	150	X	1	Move Car	5.7	-3.0%	0.6	8.0000	00:12:00	48	

Imagen 1.27 Oil Fill Station

Date	09/10/2018										
Study performed by	Abi Guerra										
Work Center	M725										
Operation	Stiwa (IN&OUT)										
Approved on											
<b>19.0</b>	AVG part-to-part cycle time (sec)										
<b>189.5</b>	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
<b>4.0</b>	Applied seconds lost (ammortized)										
<b>(41.6)</b>	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
<b>147</b>	Net Rate (PPH, for official SAP routing)										
Record acyclic events here:											
<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>				
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minute	
00:01:00	15	X	1	Conveyor to car to oil fill	33.0	-17.4%	4	80.0000	01:20:00	5	
00:01:00	330	X	1	STW_M2_Flange & label-WS	1.5	-0.8%	0.18181818	3.6364	00:03:38	105	
00:00:13	15	X	1	STW_P1_Open New Kan Ban Module	7.1	-3.8%	0.86666667	80.0000	00:17:20	5	

Imagen 1.28 Stiwa in & out

Date	09/10/2018																			
Study performed by	Abi Guerra																			
Work Center	M725_1.5																			
Operation	Main Piston Valve Stacker																			
Approved on																				
	17.0	AVG part-to-part cycle time (sec)																		
	211.8	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)																		1688
	10.7	Applied seconds lost (amortized)																		
	(81.9)	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation																		
	129	Net Rate (PPH, for official SAP routing)																		
Record acyclic events here:																				
K	L	M	N	O	P	Q	R													
G	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (amortized)	Times per Sh	Time Per Shift	Every (x) minute										
00:04:00	240	X	1	Module 10_L1_Pistons	7.6	-3.6%	1	7.0333	00:28:08	68										
00:03:00	250	X	1	Module 10_L2_Washers	5.5	-2.6%	0.72	6.7520	00:20:15	71										
00:03:00	250	X	1	Module 10_L3_Washers	5.5	-2.6%	0.72	6.7520	00:20:15	71										
00:09:00	250	X	1	Module 20_Plug board	16.5	-7.8%	2.16	6.7520	01:00:46	71										
00:09:00	250	X	1	Module 30_Plug board	16.5	-7.8%	2.16	6.7520	01:00:46	71										
00:03:00	250	X	1	Module 40_L1_Washers	5.5	-2.6%	0.72	6.7520	00:20:15	71										
00:03:00	250	X	1	Module 40_L2_Washers	5.5	-2.6%	0.72	6.7520	00:20:15	71										
00:00:45	500	X	1	M1_Nuts	0.7	-0.3%	0.09	3.3760	00:02:32	142										
00:00:45	600	X	1	M2_Puffer	0.6	-0.3%	0.075	2.8133	00:02:07	170										
00:00:45	200	X	1	M3_Seal Pack	1.7	-0.8%	0.225	8.4400	00:06:20	57										
00:00:45	500	X	1	M4_Brake washers	0.7	-0.3%	0.09	3.3760	00:02:32	142										
00:00:45	500	X	1	M5_Brake Washers	0.7	-0.3%	0.09	3.3760	00:02:32	142										
00:00:35	18	X	1	Check Nut Runner	14.9	-7.0%	1.94444444	93.7778	00:54:42	5										

Imagen 1.29 Main Piston Valve Stacker Station

Date	09/10/2018																			
Study performed by	Abi Guerra																			
Work Center	M275																			
Operation	Piston SubAssy																			
Approved on																				
	15.0	AVG part-to-part cycle time (sec)																		
	240.0	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)																		
	6.8	Applied seconds lost (amortized)																		
	(75.1)	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation																		
	164	Net Rate (PPH, for official SAP routing)																		
Record acyclic events here:																				
K	L	M	N	O	P	Q	R													
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (amortized)	Times per Sh	Time Per Shift	Every (x) minute										
00:00:45	252	X	1	M1_Upper seats	2.0	-0.8%	0.17857143	4.7619	00:03:34	63										
00:01:30	225	X	1	M2_Rods	4.4	-1.8%	0.4	5.3333	00:08:00	56										
00:00:45	200	X	1	M3_Lower seats	2.5	-1.0%	0.225	6.0000	00:04:30	50										
00:01:30	100	X	1	M4_Springs	9.9	-4.1%	0.9	12.0000	00:18:00	25										
00:00:05	15	X	1	Open bag	3.7	-1.5%	0.33333333	80.0000	00:06:40	4										

Imagen 1.30 Piston Sub Assembly Station

Date	09/10/2018																			
Study performed by	Abi Guerra																			
Work Center	M275																			
Operation	Bottom Valve Assy																			
Approved on																				
	20.0	AVG part-to-part cycle time (sec)																		
	180.0	Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)																		
	6.3	Applied seconds lost (amortized)																		
	(43.1)	Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation																		
	136	Net Rate (PPH, for official SAP routing)																		
Record acyclic events here:																				
K	L	M	N	O	P	Q	R													
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (amortized)	Times per Sh	Time Per Shift	Every (x) minute										
00:00:30	40	X	1	Bottom valve material swap	5.1	-2.9%	0.75	36.0000	00:18:00	13										
00:03:00	40	X	1	Bottom valve & eyering assy	30.8	-17.1%	4.5	36.0000	01:48:00	13										
00:00:15	600	X	1	Rivet's container refill	0.2	-0.1%	0.025	2.4000	00:00:36	200										
00:01:00	60	X	1	Finished good Swap	6.8	-3.8%	1	24.0000	00:24:00	20										
00:01:00	5000	X	1	Rivet material swap & scann	0.1	0.0%	0.012	0.2880	00:00:17	1667										

Imagen 1.31 Bottom Valve Assembly Station



Date	01/10/2018									
Study performed by	Abigail Guerra									
Work Center	M725									
Operation	Gas Reservoir (CTS)									
Approved on										
18.0 AVG part-to-part cycle time (sec)										
200.0 Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
1.8 Applied seconds lost (ammortized)										
(17.8) Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
<b>182 Net Rate (PPH, for official SAP routing)</b>										
20										
Record acyclic events here:										
K	L	M	N	O	P	Q	R			
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minutes
00:00:30	300	X	1	M1_Dividing Pistons	1.0	-0.5%	0.10	5.3333	00:02:40	90
00:00:30	150	X	1	M2_Gas Reservoir Cap	2.0	-1.0%	0.20	10.6667	00:05:20	45
00:01:00	992	X	1	M3_Gas Tubes	0.6	-0.3%	0.06	1.6129	00:01:37	297.6
00:00:02	15	X	1	M1.1_Gas Reservoir Layer	1.3	-0.7%	0.13	106.6667	00:03:33	4.5
00:00:20	30	X	1	M4_Finished Goods to Glamtronic	6.7	-3.4%	0.67	53.3333	00:17:47	9
00:02:00	200.0	X	1	Q1_Quality check	6.1	-3.0%	0.60	8.0000	00:16:00	60

Imagen 1.34 Gas Reservoir Station

Date	01/10/2018									
Study performed by	Abigail Guerra									
Work Center	M725									
Operation	Glamtronic									
Approved on										
20.0 AVG part-to-part cycle time (sec)										
180.0 Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
3.4 Applied seconds lost (ammortized)										
(25.9) Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
<b>154 Net Rate (PPH, for official SAP routing)</b>										
Record acyclic events here:										
K	L	M	N	O	P	Q	R			
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minutes
00:00:15	30	X	1	M1_Gas Reservoir finished goods	3.9	-2.1%	0.5	48.0000	00:12:00	10
00:01:00	48	X	1	M2_Tubes (from STIVA)	9.6	-5.4%	1.25	30.0000	00:30:00	16
00:00:20	96	X	1	M3_Flanges* label	1.6	-0.9%	0.20833333	15.0000	00:05:00	32
00:01:07	48	X	1	M4_Finished goods for Oil Fill	10.8	-6.0%	1.39583333	30.0000	00:33:30	16

Imagen 1.35 Glamtronic (CD Welder) Station

Date	01/10/2018									
Study performed by	Abigail Guerra									
Work Center	M725									
Operation	Crimp & Rebound									
Approved on										
13.0 AVG part-to-part cycle time (sec)										
276.9 Gross Rate (Pieces Per Hour, raw)										
6.8 Applied seconds lost (ammortized)										
(94.7) Sum of applied deductions (PPH), affected by column N designation										
<b>182 Net Rate (PPH, for official SAP routing)</b>										
Record acyclic events here:										
K	L	M	N	O	P	Q	R			
Duration(H:MM:SS)	Every (x) cycles	I = Internal X = External	0 = NOT deducted 1 = deducted	Action	Rate loss (PPH)	Efficiency Impact	Seconds lost (ammortized)	Times per Shift	Time Per Shift	Every (x) minutes
00:04:00	240	X	1	M1_Pistons	14.0	-5.1%	1	9.2308	00:36:55	52
00:03:00	250	X	1	M2_Cio clips	10.1	-3.6%	0.72	8.8615	00:26:35	54.1666667
00:03:00	250	X	1	M3_Rebound stop	10.1	-3.6%	0.72	8.8615	00:26:35	54.1666667
00:09:00	250	X	1	P1_Pistons Refill Container	30.3	-10.9%	2.16	8.8615	01:19:45	54.1666667
00:09:00	250	X	1	M4_Finished good swapp	30.3	-10.9%	2.16	8.8615	01:19:45	54.1666667

Imagen 1.36 Crimp & Rebound Station

Con esta herramienta de análisis se detallaron las actividades que están fuera del ciclo, aquellas que no son parte del proceso en cada pieza, pero son necesarias cada cierto tiempo dependiendo la cantidad del lote:

Las variables de esta herramienta de análisis en los eventos acíclicos son las siguientes:

- a) Duration: Duración de la actividad en HH:MM:SS
- b) Every (x) cycles: La frecuencia con que suceden estas actividades (delimitados de acuerdo al proceso de inicio a fin de la parte)
- c) Internal/External: La representación de la "I" nos dice si son cosas que impactan directamente en la maquinaria o son parte indispensable del TPM (Mantenimiento Productivo Total), las cuales no se pueden modificar. En el caso de la "E" nos indica que son acciones externas llevadas a cabo para suplir el material necesario para hacer la línea funcionar, es decir el sistema de manipulación de materiales.
- d) Deducted/Not deducted: Este indicador nos muestra si la actividad resta parte del tiempo disponible, clasificadas para uso práctico en Excel como "1=sí", "0=no".
- e) Action: La acción que se está considerando como acíclica para analizar sus afectaciones
- f) AVG part-to-part cycle time (sec): Promedio en segundos del ciclo de tiempo ya antes determinado mediante la visualización, muestreo y análisis del proceso.
- g) Gross Rate (Pieces Per Hour, raw): La cantidad de producción ideal que podría esperarse en una hora, con una productividad del 100% de acuerdo al ciclo de tiempo mencionado en el punto anterior.

$$Gross\ Rate = \frac{AVG\ Cycle\ Time}{3600\ (seconds)}$$

- h) Seconds lost amortized: Es una fórmula para saber los segundos que se "pierden" del tiempo disponible

$$Seconds\ lost\ amortized = \frac{Duration * 24(days) * 3600(seconds)}{Every\ (x)Cycles}$$

- i) Applied seconds lost (amortized): Suma de los *seconds lost amortized* mencionados en el inciso anterior que cumplan con la característica de ser clasificadas como "1-deducted" en el inciso d), es decir, la aplicación de la suma de los segundos que están afectando la disponibilidad de tiempo de la producción.
- j) Rate loss (PPH): Tasa de pérdida de piezas por hora dados los segundos invertidos por cada acción acíclica

*Rate loss (PPH)*

$$= \frac{Seconds\ lost\ amortized}{(Applied\ seconds\ lost\ amortized + AVG\ Cycle\ Time) * Gross\ Rate(PPH)}$$

- k) Efficiency impact: Mide el porcentaje de eficiencia en que está siendo afectado el máximo total calculado de la producción respecto a el impacto de la actividad (Se multiplica por -1 al final para ver el impacto negativo que este produce).

$$Efficiency\ Impact = \frac{Rate\ Loss\ (PPH)}{Gross\ Rate(PPH)} * (-1)$$

- l) Sum of applied deductions (PPH), affected by column “*Deducted/Not deducted*” designation: Es la suma de los segundos calculados en la tasa de pérdida (Rate loss), que cumplen con la característica de ser clasificados como “*1-deducted*” en el inciso d), los cuales nos sirven para saber cuantas piezas *menos* se producen debido a los segundos invertidos en las acciones acíclicas.
- m) Net Rate (PPH, for official SAP routing): Es el número final esperado de piezas por hora ya con las afecciones que las actividades acíclicas calculadas, este número es de suma importancia puesto que se va directo a SAP (por sus siglas en alemán *Systeme Anwendungen und Produkte* que significa en español 'sistemas, aplicaciones y productos).

El sistema SAP es un sistema ERP (*Enterprise Resource Planning* o planificación de los recursos empresariales) como otros que existen en el mercado como, por ejemplo, el sistema ERP de Microsoft llamado Microsoft Dynamics, y el sistema ERP de Oracle, llamado JD Edwards. [15]

Todos los sistemas ERP son sistemas integrales compuestos por diferentes módulos para la administración de los recursos de cada área de la empresa como las áreas de administración y finanzas, compras, ventas, producción, recursos humanos, mantenimiento y más dependiendo del tamaño de la empresa.

Se utilizan también las siguientes medidas finales para un práctico entendimiento al equipo de estas actividades en la producción que se obtienen en función de la capacidad de producción por turno dependiendo de la estación basadas en los indicadores calculados anteriormente.

- a) Times per shift: Frecuencia con que se repite esta actividad en un turno.
- b) Time per shift: La suma en minutos de cada actividad para saber cuanto se está invirtiendo en ella.
- c) Every (x) minutes: Frecuencia con la que se tiene que realizar esta actividad.

Todo este análisis se realiza en cada una de las estaciones que componen la celda de trabajo DT Sky, donde se llevó a cabo este proyecto. Esto se logró mediante un análisis minucioso donde se encontraron 82 actividades acíclicas totales que deben ser ejecutadas en una misma línea de producción donde todo debe fluir correctamente hasta llegar al área final que es donde se entrega el amortiguador semi terminado a la línea final de manufactura de la compañía.

### 3.3.3 Diagrama de Hilos

Con la información recopilada en el punto anterior, se realizó un diagrama de hilos, un plano o modelo a escala en que se sigue y mide con un hilo el trayecto de los trabajadores, de los materiales o del equipo durante una sucesión determinada de hechos. [16]

Para el caso de este proyecto, se midió el trayecto en tiempo de los operadores en cada estación, puesto que este tiempo que les tomaba realizar actividades externas, es decir, que no forman parte de operar la máquina propiamente sino de los materiales y movimientos que alimentan al mismo. Para esto, primero se registraron los siguientes datos:

Proceso/Estación	Tiempo de movimientos externos [min]
1.0_Final Crimp	<b>30</b>
1.2_VDA #1/#2	<b>40</b>
1.3_Oil Fill_30/40	<b>15</b>
1.4_Stiwa (Input & Output)	<b>100</b>
1.5.1_Piston Rod Sub Assy	<b>136</b>
F1.5.1_Crimp & Rebound_M300	<b>210</b>
1.5_Piston Rod Main Assy	<b>280</b>
2.0_Gas Fill	<b>169</b>
2.1_Bottom Valve Assy (AVG)	<b>90</b>
2.2_Separation Package	<b>81</b>
2.3_Module Assy	<b>295</b>
F2_1.6.1_Gas Reservoir CTS M300	<b>46</b>
F1.6_GLAMATronic CD Weld_M300	<b>47</b>

Los cuales fueron representados posteriormente en el diagrama de hilos:

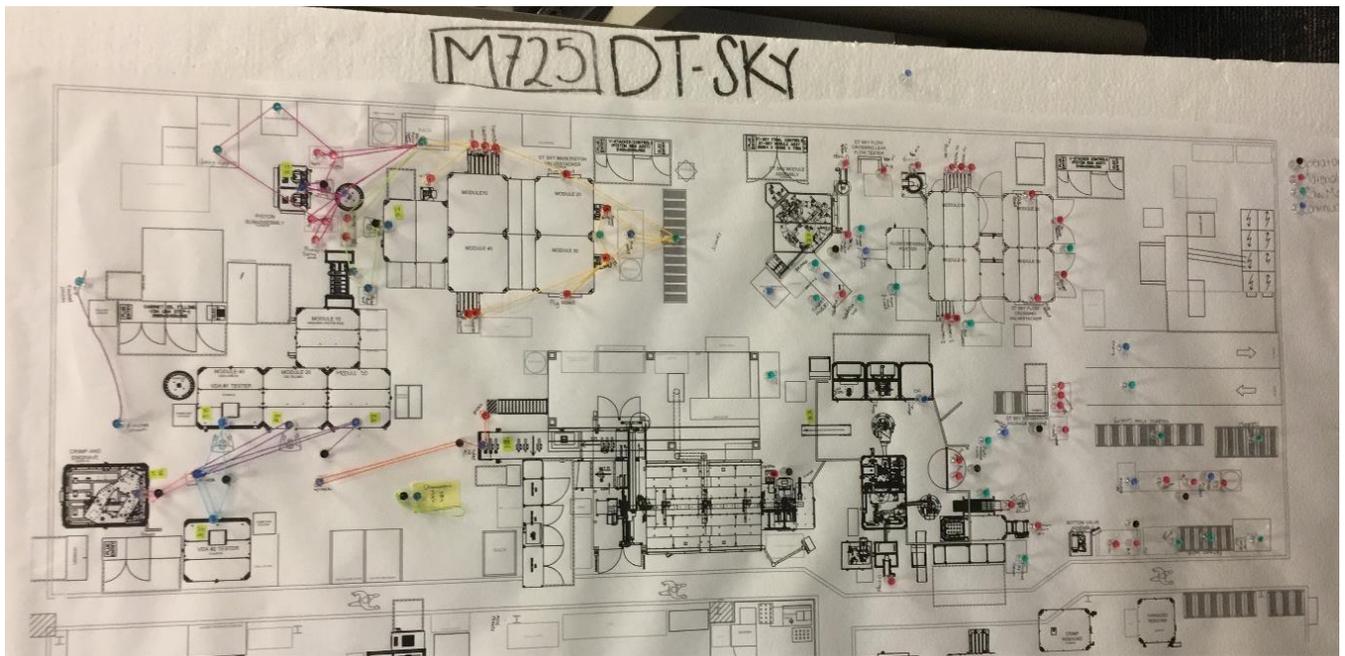


Imagen 1.37 Diagrama de Hilos

Mediante todo el análisis anterior, se lograron aislar las causas de los errores que deben ser corregidos. Además, la fase de Análisis proporcionará una visión sobre cómo eliminar el espacio entre el nivel actual de rendimiento y el nivel previsto. Esto abarcó el reconocimiento de por qué las deficiencias son producidas, mediante la determinación de las variables cruciales que son aptas para generar la variación del proceso, lo cual en este caso se manifestó mediante el comportamiento de las actividades en la línea, sus tiempos y movimientos.

### 3.4 Mejorar

El presente informe comprende los análisis realizados en la fase mejorar de la metodología Lean Six Sigma. Hasta este punto el proyecto ya tiene bases para decidir qué puede darle solución a la baja producción, se han analizado a fondo muchos factores clave que nos permiten tener una visión más amplia de lo que sucede en la línea y así generar y seleccionar soluciones.

Después del previo análisis, se pudo concluir con el equipo que conforma el proyecto que la solución es balancear la línea mediante equilibrar el trabajo de todos los operadores que conforman las estaciones de la línea de modo que se disminuya el tiempo de los movimientos externos que están afectando su trabajo principal que es operar la máquina.















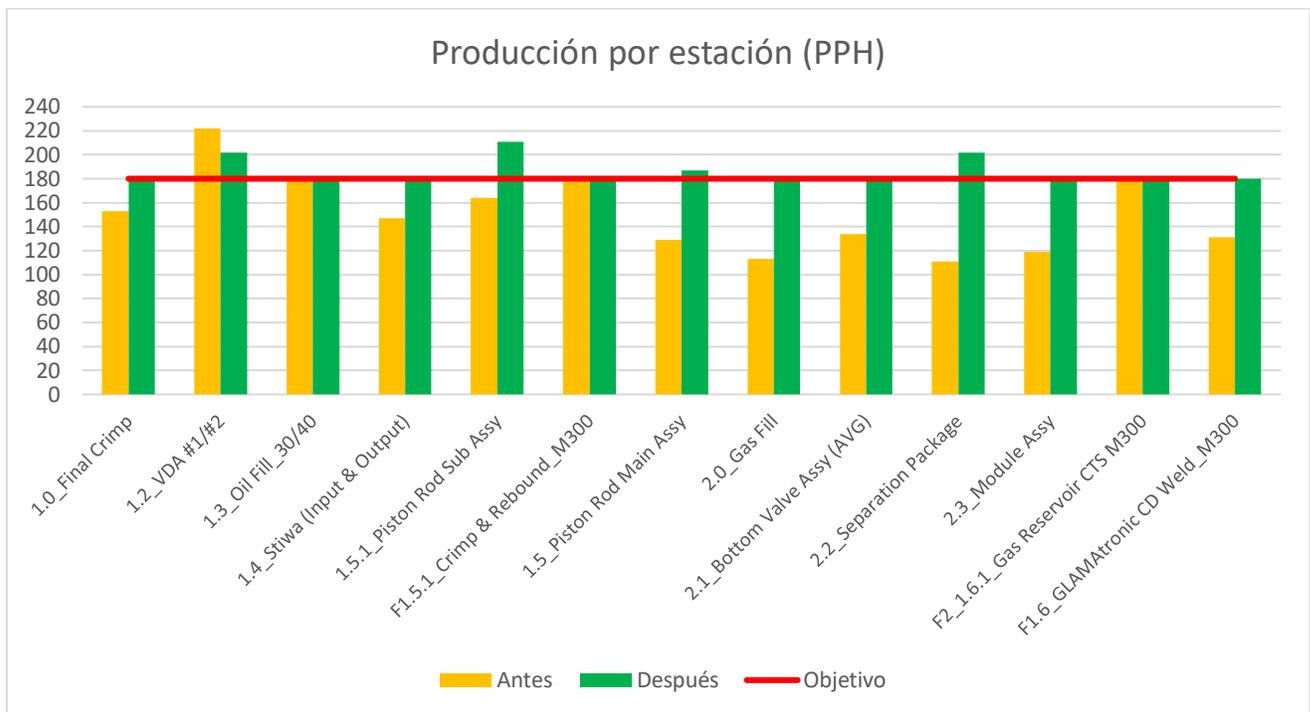


Imagen 1.51 Balanceo de línea final

### 3.4.2 Diagrama de Gantt

Una vez que se determinaron las actividades a remover del operador de cada máquina, se organizaron las labores restantes por área para ser asignadas de acuerdo a la disponibilidad de tiempo y frecuencia del nuevo operador (*waterspider*). Con este análisis, se dedujo que se necesitan 3 personas extras en la línea.

Las actividades removidas de la estación Piston Rod Sub Main Assembly fueron organizadas mediante una herramienta llamada Diagrama de Gantt, empleada para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado de tiempo, con el objetivo final de la planificación y la implementación correcta de cada etapa. Para llevar a cabo esto, fue necesario:

1. Conocer todas y cada una de las actividades que intervienen en las fases del proyecto y cómo se relacionan entre sí resulta fundamental.
2. Reunir la información necesaria acerca de todos los pasos o procesos necesarios que forman parte del desarrollo del plan y los recursos que se requieren en cada momento. Ésta será la información que empleará el director del proyecto como punto de partida para construir el diagrama de Gantt.
3. Determinar los plazos que llevará cada actividad. Asignaremos un tiempo de realización a cada tarea o fase del proyecto. La longitud de las barras horizontales en el diagrama de Gantt es la que representa la duración de cada etapa.

4. Programar las tareas a realizar para ajustar bien los plazos, escalonar los procesos y eliminar tiempos muertos. Para cada etapa, debemos fijar una fecha de ejecución. Así, el diagrama de Gantt será de gran ayuda para cumplir con el plazo límite de entrega final del proyecto.
5. Colocar todas las barras de las tareas a realizar en el gráfico. El diagrama de Gantt ensambla todas las piezas con un objetivo temporal fijado.
6. Evaluar y asignar las relaciones de dependencia entre las diferentes etapas o tareas del proyecto. Observando el diagrama de Gantt debe quedar claro en un golpe de vista el orden en qué deben desarrollarse las actividades, cuáles de ellas quedan subordinadas a otras y cuáles son independientes.
7. Implementar el diagrama de Gantt en una aplicación de software o en papel. Es una opción muy práctica realizarlo con la ayuda de un software porque algunos poseen características avanzadas que ayudan a una visualización mejor del diagrama de Gantt y a una toma de decisiones mejor orientada. Como el diagrama de Gantt es un tipo de gráfico de barras para la gestión de proyectos, también se puede diseñar en papel. De hecho, muchos directores de proyectos lo han hecho así durante largo tiempo. Sin embargo, el uso de herramientas de software especializadas presenta numerosas ventajas y, sobre todo, resulta mucho más flexible y ágil cuando es necesario realizar adaptaciones. [17]

Poniendo esto en práctica, se re-organizaron los datos previamente obtenidos:

Tarea	Línea del tiempo	Duración (s eg)			
Module 10_L1_Pistons	2	4	Module 10_L1_Pistons	74	4
Module 10_L2_Washers	6	3	Module 10_L2_Washers	80	3
Module 10_L3_Washers	9	3	Module 10_L3_Washers	83	3
Module 20_Plug board	12	9	Module 20_Plug board	92	9
Module 30_Plug board	21	9	Module 30_Plug board	101	9
Module 40_L1_Washers	30	3	Module 40_L1_Washers	104	3
Module 40_L2_Washers	33	3	Module 40_L2_Washers	107	3
M1_Nuts	36	1	1.5.1_PreAssy	110	36
M4_Brake washers	37	1	Module 10_L1_Pistons	146	4
M5_Brake washers	38	1	Module 10_L2_Washers	154	3
1.5.1_PreAssy	39	35	Module 10_L3_Washers	157	3

Imagen 1.52 Datos para Diagrama de Gantt

Y posteriormente se realizó el Diagrama de Gantt:

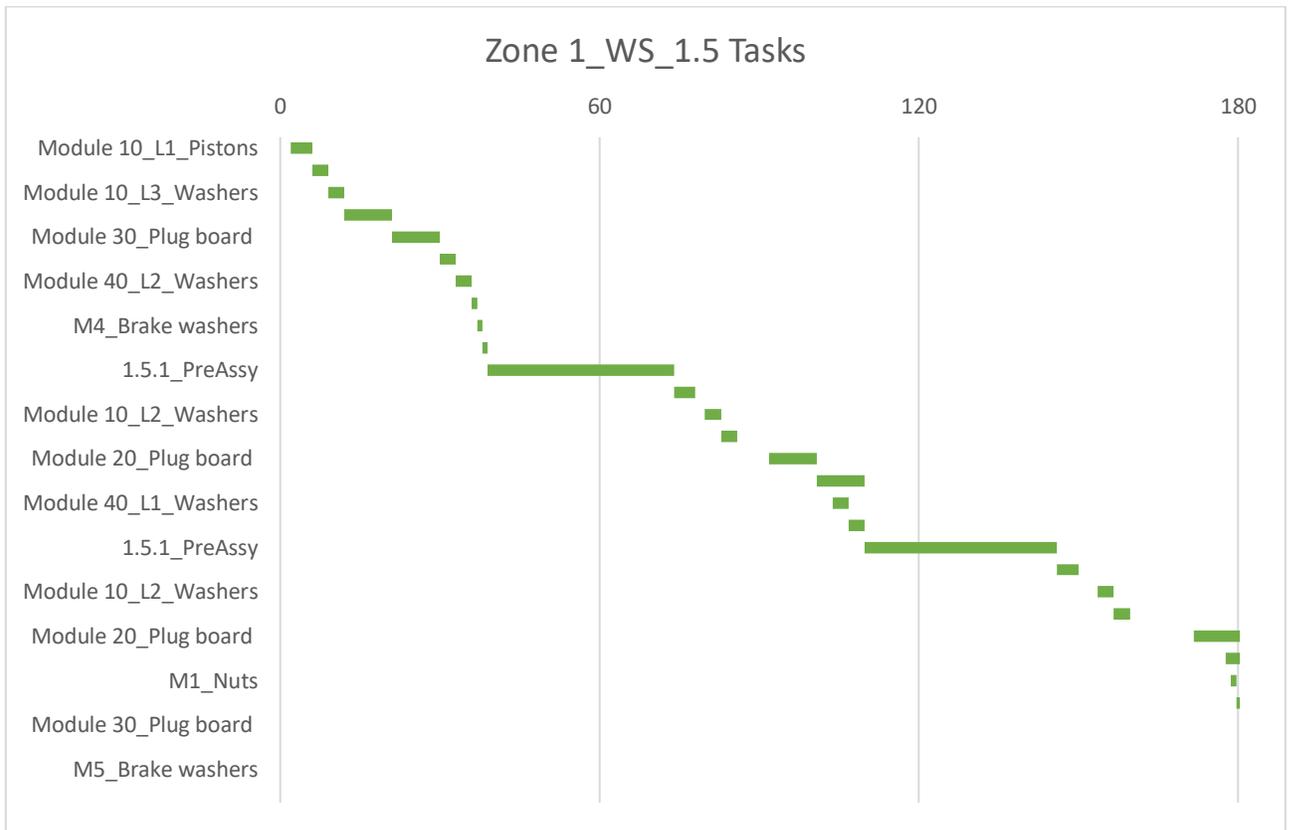


Imagen 1.53 Diagrama Gantt para operador auxiliar en Piston Rod Main Assembly

Para el siguiente operador auxiliar (*waterspider*), se intercalaron las tareas restantes de 2 estaciones, Bottom Valve Assembly & Separation Package, puesto que la movilidad, disponibilidad de tiempo y frecuencia de actividades lo permite:

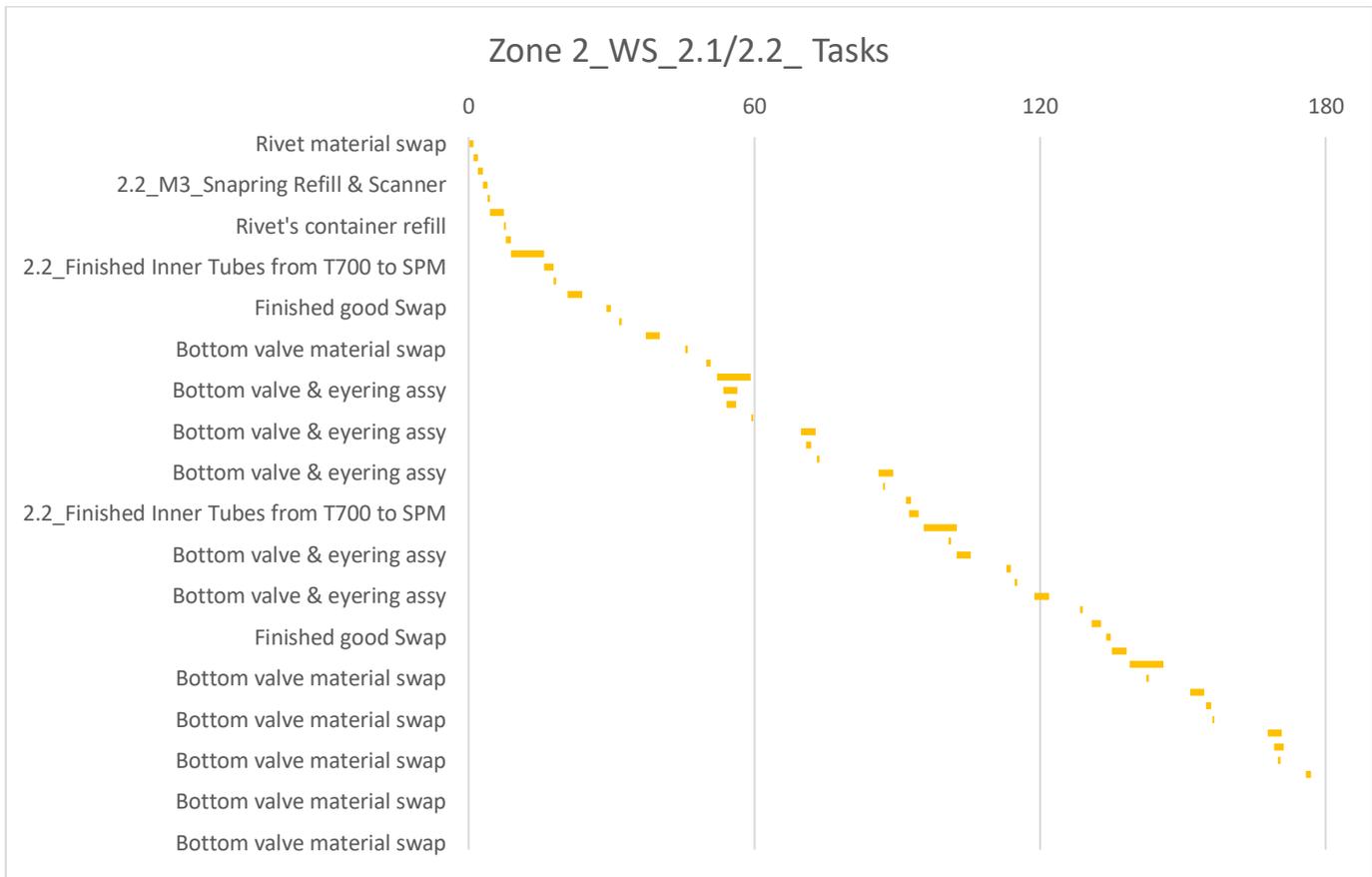


Imagen 1.54 Diagrama de Gantt para operador auxiliar compartido entre Bottom Valve Assembly & Separation Package

Por último, la tercera persona estará encargada de las labores restantes de la estación Module Assembly:

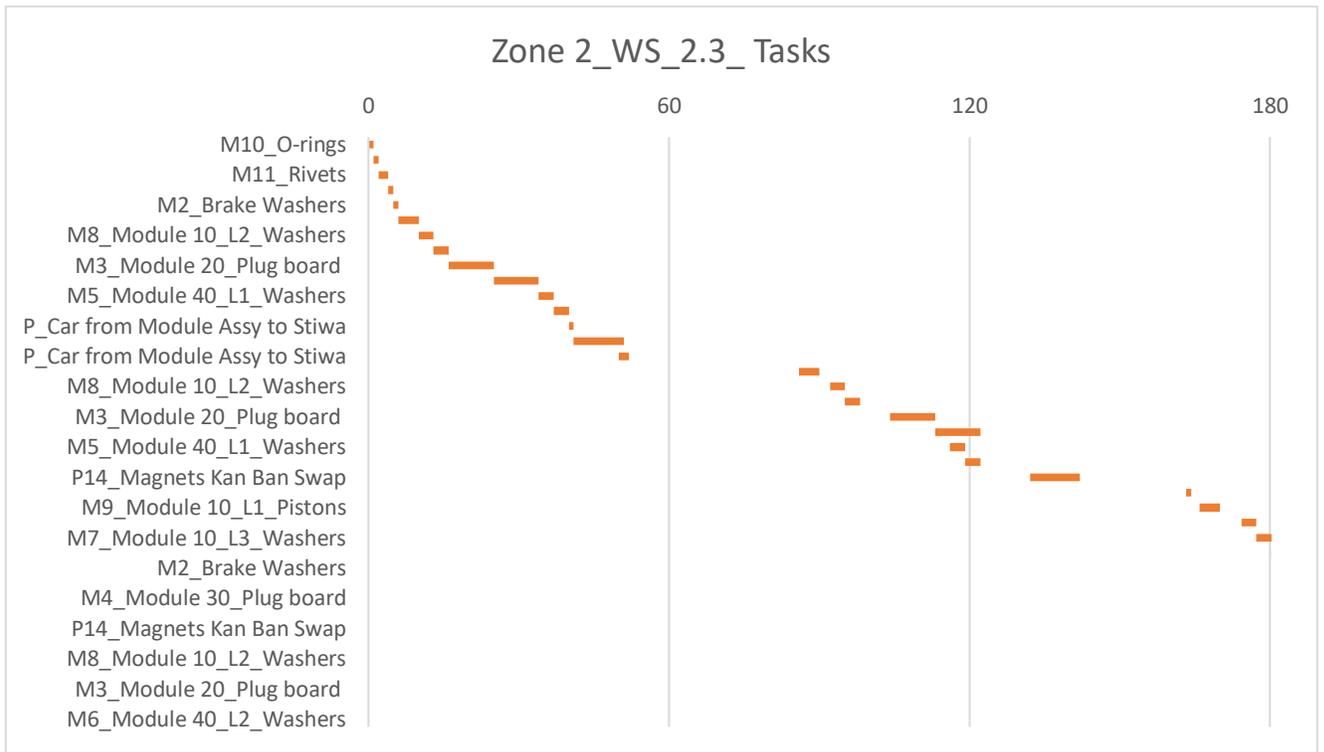


Imagen 1.55 Diagrama de Gantt para operador auxiliar en Module Assembly

Esta última etapa de la fase de mejora se centró en la implantación de las soluciones para mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determinó el rango operacional de los parámetros o variables de funcionamiento en que debía funcionar el proceso, en su régimen habitual, para asegurar los objetivos de mejora, que en este caso fue la reorganización de las tareas del personal operativo.

### 3.5 Controlar

En Las cuatro etapas anteriores se establecieron todos los puntos necesarios que determinarán el éxito de la fase de control. El objetivo de esta etapa fue implementar las estrategias correctas de gestión de cambios plantadas anteriormente, estableciendo establecer herramientas que garanticen que las variables claves se mantienen dentro de las variaciones aceptadas en el largo plazo.

#### 3.5.1 Manuales

Para esta última fase se realizaron manuales por área que indicaban las actividades específicas de cada operador, paso a paso, con el formato apropiado de la compañía:

	<b>DT Sky Bottom Valve Riveter Setup Instruction</b>	
MSI-00015-A	Manufacturing Setup Instruction	Page 1 of 6

<b>Author:</b> Abigail Guerra	<b>Owner:</b> Anthony Gajewski	<b>Release:</b> 13.12.2018	Signature of owner
<b>PLP:</b> N/A)		<b>Machine-ID:</b> 10-0418-00	
<b>1. Purpose:</b>	Proper Setup of the DTSky Bottom Valve Riveter and Hand Build Process		
<b>2. Scope:</b>	Site:	PHAM	
	Owning Department:	OPS	
	Production Area:	M725	
	Customer:	Daimler, Tesla	
<b>3. Responsibility:</b>	DTSky Bottom Valve Operators		

<b>4. Requirements</b>		<b>Symbols</b>
<b>a) Safety &amp; Environment</b>	This procedure occurs on the shop floor and thus typical PPE requirements apply.	
<b>b) Tools &amp; Software</b>	Released print, scoop measurement chart, labeled pick bins, bottom valve hand building, measurement scoops and calipers.	
<b>c) Test run / first piece checks</b>	Once you have the correct pick bins on your build table, remove 3 washers from every bin and verify them with calipers. Verify the reading on the caliper is correct versus the released print of the bottom valve. Inspect three rivets against the released print to verify the rivet is correct.	
<b>d) Documentation of setup parameters</b>	N/A	
<b>e) Other</b>	N/A	

\* if no requirements necessary, please mark with n/a

Imagen 1.56 Ejemplo de Manual operativo del nuevo proceso para la estación Bottom Valve

### 3.5.2 Capacitación

Se realizaron también capacitaciones a todo el personal operativo de la línea y supervisores mediante manuales donde se muestra gráficamente la distribución de tareas para de esta manera, lograr su estandarización:

### 1.3) Oil Filling operator

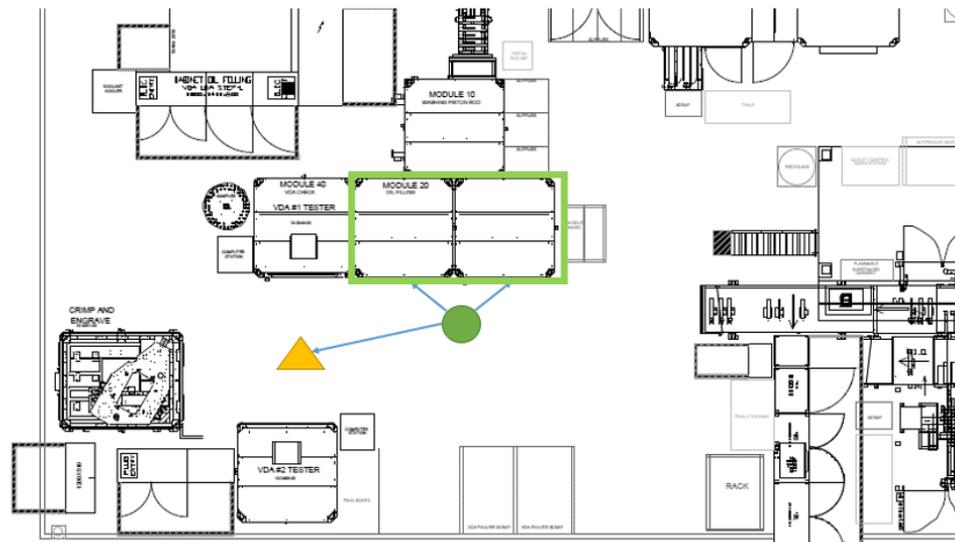


Imagen 1.56 Ejemplo de instrucciones gráficas de movimientos en la estación Oil Fill

Así concluyó la etapa de Controlar, última de la metodología Lean Six Sigma, donde se probó la nueva estructura y funcionamiento de esta para asegurarse de que funcionara y se pudieran lograr 180 piezas por hora, si bien no todo el turno debido a fatiga, necesidades básicas de los operadores, factor humano y factores externos, al menos se logrará un mínimo de 100 pieza por hora.

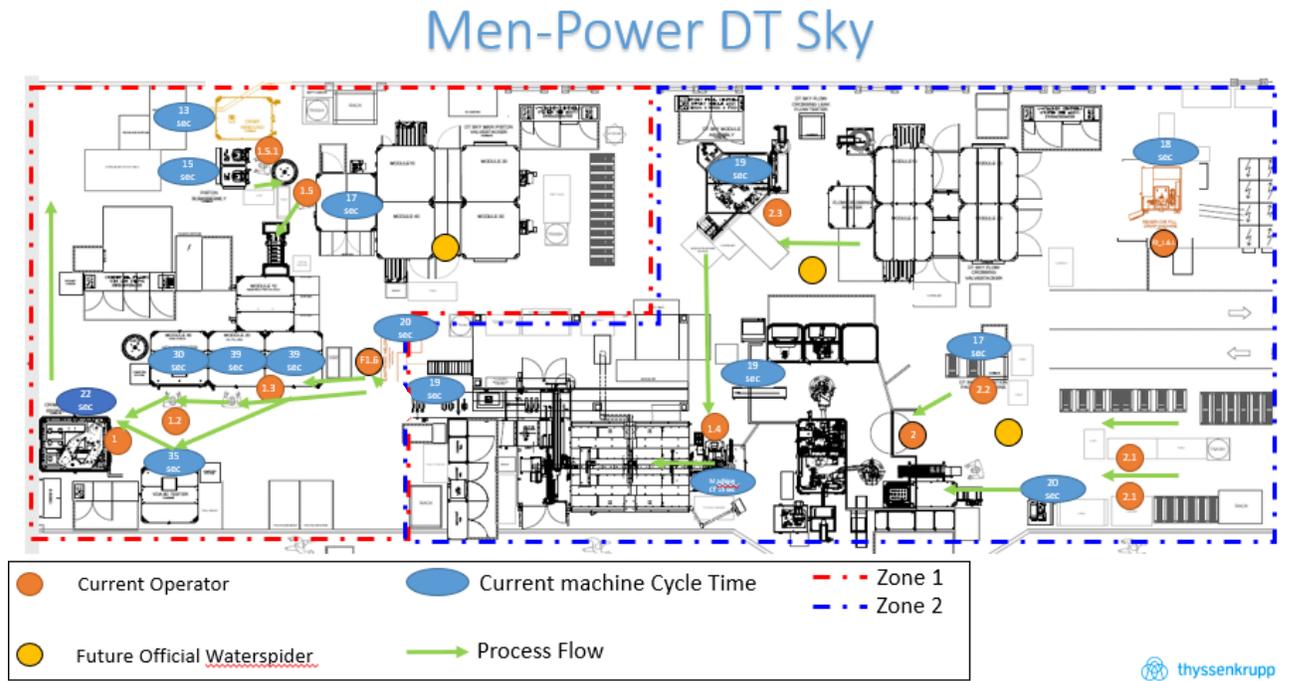
### 3.6 Resultados

Al finalizar el proyecto, se obtuvieron excelentes resultados. Se logró determinar el problema y darle solución mediante el balanceo de línea que implicó el aumento de personal y la reorganización de tareas que permitió una mejor distribución y estandarización de tareas como lo muestra la siguiente tabla:

Proceso/Estación	Tiempo del ciclo [seg]	Capacidad Máxima (PPH)	Antes		Después	
			PPH	Operadores	PPH	Operadores
1.0_Final Crimp	20	180	153	1	180	1
1.2_VDA #1/#2	16.25	222	222	1	202	1
1.3_Oil Fill_30/40	20	180	180	2	180	1
1.4_Stiwa (Input & Output)	19	189	147		180	2
1.5.1_Piston Rod Sub Assy	15	240	164	1	211	1
F1.5.1_Crimp & Rebound_M300	13	277	182	1	182	
1.5_Piston Rod Main Assy	17	212	129	1	187	2
2.0_Gas Fill	19	189	113	0	180	1
2.1_Bottom Valve Assy (AVG)	20	180	134	2	180	3
2.2_Separation Package	17	212	111	1	202	1
2.3_Module Assy	19	189	119	1	182	1
F2_1.6.1_Gas Reservoir CTS M300	18	200	182	1	182	1
F1.6_GLAMAtronic CD Weld_M300	20	180	131	1	180	1
Total (operadores)			13		16	

Imagen 1.57 Tabla de resultados

El layout final quedó de la siguiente manera, incluyendo a los nuevos operadores:



Y la reducción en tiempo que se analizó en el diagrama de hilos se muestra en la siguiente tabla:

Proceso/Estación	Tiempo de movimientos externos [min]	
	ANTES	DESPUÉS
1.0_Final Crimp	30	0
1.2_VDA #1/#2	40	40
1.3_Oil Fill_30/40	15	15
1.4_Stiwa (Input & Output)	100	17
1.5.1_Piston Rod Sub Assy	136	40
F1.5.1_Crimp & Rebound_M300	210	210
1.5_Piston Rod Main Assy	280	62

2.0_Gas Fill	169	20
2.1_Bottom Valve Assy (AVG)	90	0
2.2_Separation Package	81	22
2.3_Module Assy	295	18
F2_1.6.1_Gas Reservoir CTS M300	46	46
F1.6_GLAMAtronic CD Weld_M300	47	5
<b>Total [min]</b>	<b>1539</b>	<b>495</b>

Esto prueba una **reducción del 67.86%** de las pérdidas en tiempo con actividades que interrumpen al operador de su trabajo principal que consiste en correr la máquina.

Todas estas mejoras se traducen en dinero, ya que, pese a que se agregaron 3 personas extras a la línea, lo cual implica al redor de 6,000 USD de inversión en sus salarios, pero a su vez, esto aunado a la organización y control de las nuevas tareas, trae un beneficio enorme en producción. Gracias a estos ajustes, se tendrán ahorros a largo plazo de más de 1,440,000 USD/Mensuales.

## CONCLUSIONES

A lo largo del proyecto desarrollado en la empresa Thyssenkrupp Bilstein Of America, me di cuenta de que absolutamente todo lo que aprendí en la Facultad de Ingeniería ha sido necesario y gracias al conocimiento teórico que adquirí en análisis de datos, procesos y manufactura.

El crecimiento intelectual y la visión objetiva que me inculcó la Universidad me ha ayudado a ser parte de toma de decisiones importantes, siendo capaz de sustentar cada una de ellas con bases de Ingeniería.

El estudiar la carrera de Ingeniería Industrial y estar aplicando mis conocimientos en campo ha sido la pauta que me llevó a descubrir cuál es el área donde quiero desarrollarme y que sin duda no pude haber elegido mejor carrera profesional.

Al estar trabajando como Ingeniera Industrial en el área de manufactura y para poder desarrollar proyectos mediante la metodología Lean Six Sigma, las materias de la carrera que preceden al conocimiento para poder realizar una buena labor en el área de trabajo son:

- Calidad
- Planeación y Control de la Producción
- Diseño de Sistemas Productivos
- Estadística Aplicada
- Sistemas de Planeación

Sin embargo, materias como Tecnología de Materiales y Procesos de Manufactura me permitieron tener una comprensión más amplia en la toma de decisiones de la mejora de los procesos, especialmente en el sector donde laboré, puesto que pertenece a la industria automotriz y sin duda para poder realizar cualquier cambio en un proceso, es importante considerar las implicaciones en las especificaciones técnicas que esto podría tener.

Además de las materias curriculares, la Facultad ofrece una cartera amplia de sociedades estudiantiles dónde mediante la práctica se obtiene experiencia en diversos campos de la ingeniería. Formula SAE es una de éstas, con su escudería UNAM Motorsports. Al haber formado parte de este grupo estudiantil, logré tener un conocimiento amplio sobre las aplicaciones de la Ingeniería en el ámbito automotriz e incluso un panorama más amplio sobre el funcionamiento general de una empresa.

En este equipo participé en el área de *Management*, participando en la competencia internacional Formula SAE/ Formula Student donde tuve oportunidad de enriquecer mi desarrollo personal y profesional. Esta experiencia me dio una visión cultural más amplia y un sentido de competitividad sano, en pro de la productividad y la buena representación de nuestra Universidad y país, sin imaginarme que, esto me abriría las puertas para ejercer mi profesión en una empresa multinacional en el extranjero, demostrando que nuestra preparación en México no le pide absolutamente nada a la de cualquier otro país sino todo lo contrario.

Considero que el participar en sociedades universitarias es vital para el buen desarrollo del Ingeniero egresado de la Facultad en el ámbito laboral, y creo que como parte de la motivación que debería dar la Facultad de Ingeniería para lograr esto es dándole un valor curricular.

Sin duda me parece que el seguir fomentando alianzas con empresas para realizar programas de intercambio laboral es una práctica que debe seguirse fomentando y buscar su crecimiento, dado que, es una oportunidad tanto para el alumno de desarrollarse profesionalmente como para la facultad de poner en alto el excelente nivel de enseñanza y sobre todo generar futuras oportunidades de empleo a los alumnos.

Una buena iniciativa a mí parecer, sería que se siguiera haciendo hincapié en el alumnado para que se trabaje en equipo, se hagan presentaciones en inglés, se desarrollen proyectos que involucren diferentes áreas y se entreguen trabajos escritos de manera formal. Estas habilidades son indispensables para el ámbito laboral de un Ingeniero.

Por siempre estaré agradecida a la Facultad de Ingeniería por haberme brindado la posibilidad de cursar una carrera con profesores de alto nivel, participar en una Sociedad Estudiantil y obtener las herramientas necesarias para poder integrarme adecuadamente al mundo laboral.

## REFERENCIAS

- [1] Bilstein Of America Inc., «BILSTEIN,» [En línea]. Available: <https://www.bilstein.com/us/en/about-us/history/>.
- [2] B. S. López, «Ingeniería Industrial Online,» [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/six-sigma/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [3] I. L. Mejía Bernal, «Modelo de dirección para la aplicación de six sigma,» Tesis, Ciudad de México, 2011.
- [4] I. a. S. Sigma, «www.itilportal.com,» Marzo 2004. [En línea].
- [5] N. R. Pande Peter, Las claves de Seis Sigma, McGraw-Hill, 2000.
- [6] Motors, General, «What is Six Sigma, the roadmap to customer impact,» 2003.
- [7] ISIXSIGMA, «Six Sigma: a new approach to Quality Management,» 2004.
- [8] R. d. I. V. S. Humberto Gutierrez Pulido, Control estadístico de calidad y seis sigma, Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2009.
- [9] Motorola, Inc., «Motorola University,» 2001. [En línea]. Available: <http://www.intrarts.com/Motorola/sigma.shtml>. [Último acceso: 2019].
- [10] I. J. A. V. Bonilla, «Una estrategia empresarial que está revolucionando al mundo,» *Six Sigma*, p. 4.
- [11] P. y. H. L. Pand, ¿Qué es Seis Sigma?, Madrid: McGraw-Hill, 2002.
- [12] P. S. Pande, The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Others Top Companies Are Honing Their Performance, McGraw-Hill, 2000, p. 67.
- [13] B. III, Managing Six Sigma, Wiley Interscience, 2001.
- [14] H. G. Pulido, Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, Guadalajara : McGraw Hill, 2013.
- [15] SAP, «SAP,» [En línea]. Available: <https://www.sap.com/index.html>. [Último acceso: 03 abril 2019].
- [16] L. C. P. Acero, Ingeniería de Métodos Tiempos y Movimientos, Ecoe Ediciones , 2009.
- [17] K. A. Handl, «Aplicación práctica del Diagrama de Gantt en la administración de un,» Universidad Nacional de Tucumán, 2014.

