

# **UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



## **POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA**

**REESTRUCTURACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
EN UNA FÁBRICA AUTOMOTRIZ BASADO EN MEJORA  
CONTINUA**

### **T E S I S**

PRESENTADA POR

**RAÚL EDUARDO LÓPEZ BLANCAS**

Desarrollada para cumplir con uno de los  
requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestro en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS  
M.C. GUILLERMO CUAMEA CRUZ

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

ENERO 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

Hermosillo, Sonora a 13 de diciembre de 2017

## **RAUL EDUARDO LOPEZ BLANCAS**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REESTRUCTURACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA FÁBRICA AUTOMOTRIZ BASADO EN MEJORA CONTINUA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

M.C. Guillermo Cuamea Cruz  
Director de tesis y Presidente del jurado

Dr. Luis Felipe Romero Dessens  
Secretario del Jurado

Dr. Jaime Alfonso León Duarte  
Vocal del Jurado



Ciudad Juárez, Chihuahua, México, a 5 de octubre de 2017

## **RAUL EDUARDO LOPEZ BLANCAS**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REESTRUCTURACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA FÁBRICA AUTOMOTRIZ BASADO EN MEJORA CONTINUA** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE



DR. ROBERTO ROMERO LÓPEZ  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ  
Sinodal Externo y Vocal del Jurado

# RESUMEN

Hoy en día las organizaciones encaran cambios constantes guiados por una competencia altamente demandante, clientes más específicos y una economía inestable. Mantener operaciones a los costos más bajos, con la mayor disponibilidad y la habilidad de mantener cambios a lapsos de tiempo cortos son algunos de los pilares en el desarrollo de las organizaciones que buscan sobrevivir en un ambiente global.

En este documento se desarrolla un proyecto, el cual fue implementado en una fábrica automotriz, utilizando una combinación de herramientas que se utilizan en las metodologías seis sigma y manufactura esbelta con el objetivo de aumentar los tiempos promedios en el que su equipo de producción automático presenta una falla y disminuir el tiempo requerido para la reparación, modificando el sistema de mantenimiento ejecutado en la empresa.

# **ABSTRACT**

Nowadays many organizations have to face rapid modifications in their processes due to the highly demanding clients, global competition and an unstable economy. Their scope is to maintain their operations to the minimum cost and at its maximum capacity. In the following document, a project that takes place in an automotive assembly plant was developed using a combination of tools that can be find in the two main methodologies used worldwide for solve complex problems, Six Sigma and Lean Manufacturing. The purpose of the project is to increment the mean time between fails in the automatic equipment and reducing the mean time to repair it by modifying the maintenance operating system.

# **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por el soporte brindado a largo de este proyecto, por mi formación y desarrollo como persona.

A Carolina Lizárraga, su compañía e invaluable soporte me ayudaron a seguir en momentos de incertidumbre y lograron que continuara hasta alcanzar mi objetivo.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por las becas y los apoyos económicos otorgados para realizar mis estudios de posgrado.

Al departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora por los apoyos económicos que me brindaron a lo largo de la maestría.

A mi director de tesis, Guillermo Cuamea, por su disposición, dedicación y por compartirme sus conocimientos.

Al coordinador del programa Alonso Pérez, por guiarme a lo largo de todo el posgrado, por su gran dedicación y compromiso hacia mi desarrollo académico.

Así mismo a los Profesores y Doctores involucrados en el Posgrado de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Objetivo general .....	2
1.3 Objetivos específicos .....	2
1.4 Hipótesis .....	2
1.5 Alcances y delimitaciones .....	2
1.6 Justificación .....	3
2. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1 Seis Sigma .....	5
2.1.1 Implementaciones de Six Sigma en la Industria .....	8
2.2 Manufactura Esbelta .....	9
2.2.1 5's .....	12
2.3 Lean Six Sigma .....	13
3. METODOLOGÍA .....	16
3.1 Diagnóstico y recolección de datos .....	18
3.2 Selección de Variables .....	19
3.3 Definir .....	20
3.4 Medir .....	21



3.5 Analizar .....	22
3.6 Mejorar .....	22
3.7 Control .....	23
3.8 Resultados .....	23
4. IMPLEMENTACIÓN .....	24
4.1 Diagnóstico y recolección de datos.....	24
4.2 Selección de Variables.....	30
4.3 Definir.....	32
4.4 Medir .....	36
4.5 Analizar .....	40
4.6 Mejorar (Improve).....	43
4.7 Control .....	45
4.8 Comparación.....	47
5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	50
5.1 Conclusiones.....	50
5.2 Recomendaciones .....	51
5.3 Trabajos Futuros .....	52
6. REFERENCIAS .....	53
7. ANEXOS .....	56

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Diagrama de flujo de los departamentos de la fábrica. ....	3
Figura 3.1.- Representación visual de las secciones de la metodología. ....	16
Figura 3.2.- Estructura de herramienta DMAIC. ....	17
Figura 4.1. Organigrama reducido del personal de mantenimiento. ....	25
Figura 4.2. Distribución porcentual de tipos de equipo automático. ....	29
Figura 4.3. Diagrama para tiempo para el mantenimiento. ....	32
Figura 4.4 Diagrama de Ishikawa con variables ajustadas. ....	33
Figura 4.4 Diagrama cronológico de actividades. ....	35
Figura 4.5. Distribución porcentual de órdenes de mantenimiento. ....	36
Figura 4.6. Carga de trabajo de mantenimiento en línea corriendo. ....	39
Figura 4.7 Carga de trabajo de mantenimiento en línea parada. ....	39
Figura 4.8 Distribución actual de mantenimiento por técnico. ....	41
Figura 4.9. Jornada de ejecución de actividades de mantenimiento. ....	42
Figura 4.10 Distribución futura de órdenes de mantenimiento. ....	43
Figura 4.11 Distribución nueva de órdenes línea parada. ....	45
Figura 4.12. Nueva jornada de ejecución de actividades de técnico. ....	46
Figura 4.13. Carga de trabajo individual después de entrenamientos. ....	46
Figura 4.14. Histórico de tiempo promedio entre cada falla. ....	48
Figura 4.15. Histórico de tiempo promedio de reparación de las fallas. ....	48
Figura 4.16 Histórico de unidades producidas por hora. ....	49
Figura 5.1. Promedio de MTBF semanal. ....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Cantidad de personal de mantenimiento. ....	26
Tabla 4.2. Resultados de la Fase 1 de entrevista. ....	27
Tabla 4.3. Matriz para factores del plan de mantenimiento. ....	30
Tabla 4.4. Descripción del sistema actual de mantenimiento.....	34
Tabla 4.5. Tiempos promedio de ejecución de mantenimiento en minutos. ....	37
Tabla 4.6 Tiempo disponible para mantenimiento diario por técnico.....	38
Tabla 4.7. Matriz de causa y efecto para alternativas de mejora. ....	41
Tabla 4.8 Carga de trabajo promedio por semana. ....	44

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

El 80% de las estaciones de producción del departamento de carrocería realizan sus procesos usando equipo automático como los robots, motores eléctricos y pistolas de soldadura. La automatización de estos procesos ha contribuido a un incremento en la cantidad de unidades producidas en una hora, también ayuda a mejorar la calidad del producto al realizar tareas repetitivas en las cuales un operador tiene margen de error.

Para mantener estos beneficios que brinda la automatización de los procesos, es necesario que la maquinaria se encuentre trabajando correctamente. Para lograr esto, todo equipo automático requiere de un plan de mantenimiento que prolongue la vida útil del equipo. El plan de mantenimiento actual de una fábrica automotriz establece que esta maquinaria debe de ser inspeccionada semanalmente, con la finalidad de evitar paros no planificados en la línea de producción.

Anteriormente se contaba con una flotilla de 250 personas para realizar el mantenimiento del equipo automático a lo largo del departamento de carrocería. El ahorro de costos en la empresa ha hecho que la flotilla del personal dedicado a estos trabajos haya reducido a 173 personas distribuidas en 3 turnos, ocasionando que la capacidad del trabajo que puede ejecutar esta flotilla no sea suficiente para realizar completamente el plan de mantenimiento.

La falta de ejecución en el plan de mantenimiento actual ha causado que la línea de producción sea detenida con mayor frecuencia debido a fallas en el equipo automático del departamento. Y como consecuencia se genera una pérdida en el volumen de unidades producidas por la fábrica, incrementando los costos de producción por unidad producida al tener que recuperar ese volumen pagando tiempo extra al personal.

## **1.2 Objetivo general**

Desarrollar e implementar un nuevo plan de mantenimiento utilizando las herramientas de mejora continua para enfocar los recursos actuales en trabajos mejorados, que permita incrementar el tiempo promedio en el cual el equipo presenta una falla y reducir el tiempo de reparación.

## **1.3 Objetivos específicos**

Analizar el estado actual del sistema de mantenimiento para detectar áreas de oportunidad.

Realizar una investigación literaria de las herramientas de mejora continua utilizadas actualmente en entornos similares para seleccionar y aplicar las que mejor se adapten a la situación actual.

Incrementar el tiempo promedio en el que se presenta cada falla de equipo y reducir el tiempo promedio de reparación del equipo

Evaluar los resultados obtenidos con respecto a la tendencia histórica de la estructura de mantenimiento con el fin de determinar si la ejecución de la reestructuración presenta cambios positivos en la producción.

## **1.4 Hipótesis**

La reestructuración del sistema de mantenimiento incrementará el tiempo de disponibilidad de producción, incrementando el tiempo promedio en el que se presenta cada falla de equipo y reduciendo el tiempo promedio de reparación del mismo.

## **1.5 Alcances y delimitaciones**

El desarrollo de este proyecto se llevará a cabo dentro de una empresa del ámbito automotriz, específicamente una fábrica estampadora y ensambladora de automóviles en Hermosillo Sonora. Como se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 1.1 la empresa cuenta con distintos departamentos: Estampado, Carrocerías, Pintura,

Ensamble Final y Control de Calidad, los cuales trabajan con un fin en común: manufacturar vehículos basados en el más bajo costo y la más alta calidad, entregados de manera segura y sostenible.



*Figura 1.1- Diagrama de flujo de los departamentos de la fábrica.*

El departamento con el mayor índice de automatización en sus procesos es carrocería, en donde el 80% de las estaciones de trabajo son automatizadas, en otras palabras, no interviene directamente la mano de obra de una persona para poder realizar el trabajo. En estas estaciones la manipulación se realiza gracias a equipo diseñado para generar los trabajos repetitivos que en su mayoría son puntos de soldadura a la unidad y manipulación de material.

El departamento de Carrocería se encuentra segmentado en 4 zonas distintas, zona 1, zona 2, zona 3 y zona 4, cada zona tiene su respectivo personal y equipo automático asignado. El proyecto se desarrollará en la zona 2. Todas las modificaciones e implementaciones mencionadas en este documento hacen referencia a esta sección del departamento.

## **1.6 Justificación**

El incremento en la automatización de procesos ha hecho que el equipo a mantener se haya multiplicado considerablemente, mientras que la reducción de costos ha disminuido la cantidad de personal de mantenimiento a 173, distribuidas en 3 turnos laborales. Actualmente la estructura de trabajo de mantenimiento establece que todo el equipo debe ser revisado semanalmente, sin embargo, la cantidad de estaciones automáticas excede la capacidad del trabajo que puede realizar la flotilla de personal, por lo cual no se puede llevar a cabo una revisión completa del equipo.

La empresa necesita mantener sus equipos con la disponibilidad necesaria para poder fabricar las 8086 unidades requeridas por semana, y al no ejecutarse un mantenimiento a este equipo, se reduce el tiempo promedio en el que tienen una falla

en el funcionamiento y aumentan el tiempo promedio de reparación, así como el costo del mismo. Los paros de la línea de producción generados por problemas en el equipo automatizado pueden llegar a ocasionar pérdida en el volumen de producción de 160 unidades por semana, estas unidades deben ser fabricadas en un tiempo adicional al programado. Esto genera un aumento significativo en los costos de producción que se ven reflejados en pérdidas para la compañía, ya que se requiere invertir dinero adicional para recuperar el volumen pagando tiempo extra al personal.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

En el siguiente capítulo se desarrolla el marco de referencia donde se definen los temas que comprende el documento de tesis. Como lo son Seis Sigma, Manufactura Esbelta y Lean Six Sigma. Esto, con la finalidad de brindar al lector una visión amplia del contenido del proyecto que se explaya.

### **2.1 Seis Sigma**

Según Staff (2013), Seis Sigma es un proceso altamente disciplinado que ayuda a una compañía a concentrarse en el desarrollo y la entrega de productos y servicios casi perfectos. Es el término empleado para el estilo del manejo, con un propósito específico: obtener altos niveles de satisfacción del cliente, cuando es posible cuantificar la cantidad de defectos que se tienen en un proceso, entonces es posible encontrar la manera de eliminarlos y aproximarse lo más posible a obtener cero defectos. Seis Sigma establece una meta tan alta que fuerza a reexaminar la manera en la que se trabaja, y en consecuencia da un enfoque al negocio no un enfoque a los defectos.

Por otro lado, Hilton (2012) plantea que los atributos técnicos que poseen los expertos en Seis Sigma son identificados como los factores para el éxito en un proyecto, estos atributos son liderazgo, manejo de la información, comportamiento ante los cambios, cultura organizacional, estrategia, mejora en los equipos de trabajo, manejo de proyectos y evaluación de desempeño basado en criterio equitativo.

Seis Sigma es un método de gestión empleado por muchas organizaciones para mejorar la calidad de los productos y servicios, reducir los costos operativos, y alcanzar los objetivos de la empresa (Yang y Goh, 2014).

Seis Sigma enfocado a la gestión de proyectos ha sido reconocido como un método eficaz para mejorar el rendimiento de las empresas. Se trata de una aplicación disciplinada de herramientas de resolución de problemas para identificar y cuantificar la variación de las operaciones y sugerir métodos de mejora. Existen cinco elementos



que se encuentran en todos los proyectos Seis Sigma, la administración de recursos, la oportunidad de mejora, métricas de rendimiento del proceso, un DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), una metodología y la selección y priorización de actividades.

Por el otro lado el costo de los desarrollos de los proyectos que se llevan a cabo en las empresas manufactureras se ha disparado. Por lo tanto, es necesario entender las mejores prácticas que pueden conducir a la implementación exitosa de los proyectos Seis Sigma (Wang y Chen, 2014).

Seis Sigma es una filosofía para mejorar los resultados del negocio mediante la eliminación de los defectos a través de los conocimientos fundamentales de proceso. Con el pensamiento estadístico como su fundación ha gozado de gran popularidad en la industria por casi un cuarto de siglo. Esta metodología se encuentra la parte superior de la agenda de muchas organizaciones para reducir costos y mejorar la productividad, y este proceso de implementación deben garantizar que los beneficios obtenidos son mucho mayores que el capital invertido de manera óptima mediante la selección de los proyectos adecuados.

Estas herramientas son aplicables en todas las disciplinas del sistema de gestión de calidad de una empresa para construir un marco para la mejora de procesos. La implementación exitosa de Seis Sigma se ve influenciada por la comprensión de las claves características, obstáculos y deficiencias. Uno de los desafíos clave de la aplicación de esta metodología en una organización es cómo mantener a las personas interesadas en la mejora de procesos mediante el uso de estos métodos. Muchas veces, la cultura organizacional influye también en su aplicación en una organización. Con demasiada frecuencia nos pasamos mucho tiempo en la parte técnica de resolución de problemas, olvidando el lado humano. Por lo tanto, para mantener a las personas interesadas, es esencial evaluar los proyectos completados por su eficacia (Ray *et al.*, 2013).

El propósito principal de Seis Sigma es la identificación de defectos y la eliminación de ellos a menos de 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). En él se definen, se miden, analizan, se mejoran y controlan los pocos procesos vitales que unen la mejora de la calidad directamente a los resultados finales de un producto o servicio. Hasta ahora, el enfoque ha sido por lo general asociado con las grandes empresas de excelencia operacional debido a su gestión de mano de obra y recursos financieros, debido a lo cual, hay una percepción de que esta metodología es aplicable sólo para las grandes empresas que poseen mejores recursos (Raghunath y Jayathirtha, 2014).

Con Seis Sigma se puede dirigir una empresa o departamento, ya que tiene como finalidad mejorar la calidad de un negocio que tiene como objetivo satisfacer las necesidades del cliente. Ya que con esta metodología el cliente es colocado en primer lugar mediante el uso de diferentes datos disponibles con el fin de lograr mejores resultados. Y es aplicable para:

- Mejorar la satisfacción del cliente (servicios de cliente / usuario y productos).
- Reducir el tiempo de ciclo necesario para realizar un producto o servicio.
- La reducción de errores durante la prestación de servicios o producto.

Con los puntos anteriormente mencionados, las empresas logran un ahorro significativo, retienen clientes satisfechos, ganan nuevos mercados y crean una buena reputación y garantizan la calidad de los servicios / productos. El beneficio de Seis Sigma es monetario y no monetario. En el dominio de la no-monetario, es importante hacer hincapié en que todos los empleados en diferentes niveles de la empresa entienden mejor a sus clientes, los procesos de forma clara y por consecuencia pueden mejorar la realización de productos / servicios, los procesos de aplicación de las normas y cumplir con las demandas de los clientes, lo que conduce a un trabajo más eficiente de los empleados y un mayor grado de satisfacción de los clientes con el trabajo realizado (Bossidy 2011).

Uno de los enfoques distintivos de Seis Sigma para procesar y mejora de la calidad es DMAIC. El modelo DMAIC se refiere a las cinco etapas interconectadas (es decir,

definir, medir, analizar, mejorar y controlar) que ayudan sistemáticamente a las organizaciones para resolver problemas y mejorar sus fases DMAIC procesos. Definen la manera siguiente:

- Definir: Esta etapa dentro del proceso DMAIC implica la definición de la función, el alcance del equipo del proyecto y los límites, requisitos y expectativas del cliente, así como los objetivos de los proyectos seleccionados.
- Medir: Esta etapa incluye la selección de los factores de medición para mejorar y proporcionar una estructura para evaluar el rendimiento actual, así como la evaluación, la comparación y el seguimiento de las mejoras posteriores y su capacidad.
- Analizar: Esta etapa se centra en determinar la causa raíz de los problemas (defectos), para entender por qué los defectos han tenido lugar, así como comparar y priorizar las oportunidades de mejora con anticipación.
- Mejorar: Este paso se centra en el uso de técnicas de experimentación y estadísticos para generar posibles mejoras para reducir la cantidad de problemas y / o defectos de calidad.
- Control: Por último, esta última etapa dentro del proceso DMAIC asegura que las mejoras se mantengan y que el rendimiento en curso se mantiene.

DMAIC asegura la ejecución correcta y eficaz del proyecto, proporcionando un método estructurado para resolver problemas de negocios (Kumar y Kaushish, 2015).

### **2.1.1 Implementaciones de Six Sigma en la Industria**

Los beneficios de las herramientas de Seis Sigma aplicadas a distintos sectores de la industria se ven reflejados en distintos trabajos desarrollados a partir de la creación de esta metodología.

Tal es el caso de (Miller *et al.*, 2013), quienes aplicaron estas herramientas en una fábrica dedicada a la manufactura de inmuebles con el fin de tener mejores resultados en producción y reducir los desperdicios generados en sus procesos, en donde concluyeron que, en cada uno de los proyectos que se desarrollaron utilizando esta

metodología se obtuvieron mejores resultados que los esperados. Los proyectos redujeron consumo de energía en la planta, estandarizaron los procesos resultando en mejor producción y menos desperdicios. Asimismo, aplicando esta metodología se pudo reducir la cantidad de millas recorridas por el sistema de transporte que provee el artículo terminado, ahorrando en costos de transportación y reduciendo las emisiones derivadas de este proceso.

Otro estudio realizado por (Butt, 2014), donde se desarrolló un DMAIC ya que una empresa dedicada a la unión de piezas metálicas y no metálicas por medio de soldadura no podía garantizar la calidad de sus procesos, elevando los costos de reparación de sus productos y reduciendo la confiabilidad de sus clientes en la empresa. Una reducción de 25% de producto re trabajado fue el resultado de la aplicación de las 5 fases de la herramienta DMAIC, aumentando la productividad de la empresa y derivado de ese proyecto, la metodología Seis Sigma es utilizada como la estrategia principal.

## **2.2 Manufactura Esbelta**

La Manufactura esbelta se define como un conjunto integrado de prácticas sociotécnicas destinadas a eliminar los residuos a lo largo de toda la cadena de valor dentro de las empresas. Por otro lado, también se puede ver desde el punto de vista práctico como un conjunto de gestión de prácticas, herramientas o técnicas para la gestión efectiva de recursos (Herzog y Tonchia, 2014).

La Manufactura Esbelta es una filosofía de fabricación que incorpora un conjunto de principios, herramientas y técnicas en los procesos empresariales para optimizar tiempo, recursos humanos, activos, y la productividad, al mismo tiempo que mejora el nivel de calidad de los productos y servicios a sus clientes. La aplicación de esta filosofía es uno de los conceptos más importantes que ayudan a las empresas a obtener una ventaja competitiva en el mercado mundial. El concepto de eliminación de residuos de la fabricación magra tiene un impacto significativo en diversas industrias. Numerosas herramientas y técnicas se han desarrollado para hacer frente a problemas

específicos con el fin de eliminar las actividades que no agregan valor y se convierten en desperdicio (Vienazindiene y Ciarniene, 2013).

La Manufactura Esbelta elimina los residuos de las empresas, en las formas de tiempo y productos. También las empresas que no son necesariamente de manufactura han recreado el uso de conceptos lean para adaptarse a sus organizaciones particulares, tales como, compañías de seguros médicos, incluso militares. En este sentido, la manufactura esbelta seguirá evolucionando debido a esto y al hecho de que es sinónimo de mejora continua. Dentro de los próximos cinco años lean crecerá rápidamente porque cada empresa, no importa qué producto entregue desean ahorrar dinero (Business et al. 2015).

La Manufactura Esbelta según Garvin (2015), ha sido adoptada por miles de organizaciones para reducir desperdicios, incrementar eficiencia y generar un ambiente para la mejora continua, muchos expertos en esta metodología concuerdan que obtener una implementación exitosa no es algo sencillo y requiere de planeamiento extensivo, análisis, entrenamiento, comunicación y tal vez lo más importante vigilancia en marcha para mantener los beneficios y ventajas del programa. La Manufactura Esbelta requiere de mucho compromiso desde el nivel de altos ejecutivos hasta el nivel de producción, ya sea que una organización sea global o regional, la estandarización de procesos es crucial para el análisis de causas raíces, la medición de los resultados y la reproducibilidad de los proyectos. El éxito de la Manufactura Esbelta no yace en las herramientas que la organización utiliza, más bien en la disciplina que se tiene para utilizar estas herramientas adoptadas.

Las empresas de fabricación se han enfrentado con cantidades crecientes de presión de los clientes y competidores en el último par de décadas. Los clientes tienen mayores expectativas de sus compras, y los fabricantes pueden satisfacer estas expectativas mediante el aumento de la calidad de un producto, reduciendo el tiempo de entrega y la minimización de los costos del producto o una combinación de los tres (Ramuné y Milita, 2013).

El desafío para las organizaciones que deseen implementar la manufactura esbelta es demostrar que el sistema de producción se correlaciona con las mejoras en el rendimiento operativo. La superación de este reto es crítica, debido a que el sistema de producción requiere una importante inversión en la mejora de procesos, y en la formación y desarrollo de personas capaces de apoyar esos procesos. Esta inversión cuesta dinero, y hay a menudo una necesidad dentro de una organización de demostrar que la aplicación de manufactura esbelta estimulará mejoras operativas. Por otra parte, una vez que la manufactura esbelta se ha adoptado, la organización tiene que demostrar que el enfoque de eficiencia en la fabricación continúa proporcionando beneficios: una mentalidad de mejora continua es parte integral del principio de eficiencia en la fabricación. Un enfoque práctico para superar este desafío es desarrollar e implementar una auditoría de eficiencia en la fabricación que se pueden medir y realizar el seguimiento del éxito de la manufactura esbelta para aumentar el rendimiento operativo. Un análisis de las deficiencias identifica las oportunidades de mejora que pueden conducir a un mejor desempeño operacional. Las puntuaciones de auditoría se pueden utilizar para correlacionar las características de manufactura esbelta con medidas de rendimiento operativo pertinente (Taggart y Kienhöfer, 2013).

Manufactura Esbelta es una de las filosofías más avanzadas de gestión que se centran en la satisfacción del cliente y en la creación de valores a través de la reducción de residuos. La eficacia y la eficiencia de la aplicación de la manufactura esbelta está demostrado por numerosos casos de éxito en todo el mundo, incluyendo Toyota, Nissan, GM, etc. En concreto, la aplicación de manufactura esbelta podría ayudar a las empresas a reducir el tiempo de operación en un 50% y el costo en un 80%, ahorrar espacio de producción en un 30% y mejorar la productividad en un 30% como mínimo, esta metodología se ha aplicado en muchos países de todo el mundo, incluyendo países asiáticos como Tailandia, China, Malasia y Vietnam, etc. en esos países la manufactura esbelta es aplicada en diversos campos que van desde la fabricación, venta al por menor con el servicio de atención médica y educación, etc. el método se

está convirtiéndose en una nueva tendencia de gestión en el siglo 21, la gestión de Lean se traduce en una gran variedad de herramientas y técnicas que incluyen 5S, Kaizen (mejora continua) , Mieruka (Gestión Visual), JIT, Heijunka, TQM (Gestión de la Calidad Total) y TPM (Mantenimiento productivo total) (Nguyen, 2015).

Los principios de manufactura esbelta no sólo se refieren a las operaciones técnicas de una empresa, sino también a su gente. La adopción de las compañías de la manufactura esbelta ha alejado a los principios Tayloristas que animaron a la separación de 'pensar del hacer' a través de la centralización de la toma de decisiones en la parte superior de la pirámide organizacional. Por el contrario, la manufactura esbelta argumenta a favor de la participación de los trabajadores de producción en la toma de decisiones a través de los círculos de calidad u otros tipos de grupos de resolución de problemas y para elevar sus habilidades a través de la formación (Gollan *et al.*, 2015).

### **2.2.1 5's**

5S es un sistema utilizado para reducir los residuos y optimizar la productividad mediante el mantenimiento de un lugar de trabajo ordenada y el uso de señales visuales para lograr resultados operativos más consistentes. Los pilares de 5S son:

- Separado (Seiri)
- Orden (Seiton)
- Limpieza (Seiso)
- Estandarizar (Seiketsu)
- Mantener (Shitsuke)

Su objetivo principal es el proporcionar un método para la organización, la limpieza, el desarrollo y el mantenimiento de un ambiente de trabajo productivo. En el trabajo diario de una industria, las rutinas y el orden mantenidas por la organización son esenciales para el buen flujo y eficiente de las actividades (Kumar y Kajal, 2015).

El Sistema de las 5S es una metodología para crear y mantener un ambiente de trabajo organizado, limpio, eficiente y seguro. El método 5S también tiene su lugar y su uso en las fábricas metalúrgicas, especialmente en la identificación de posiciones, rutas de transporte, señalización de seguridad en los edificios para la protección de los trabajadores y el marcado de la ubicación exacta de las herramientas individuales (Adis 2016).

## **2.3 Lean Six Sigma**

Jayaraman, Kee y Soh (2012), mencionan que la metodología Lean Six Sigma (LSS) se enfoca en la eliminación de desperdicios y variación en procesos, sigue la estructura DMAIC de Seis Sigma para alcanzar la satisfacción del cliente y mejorar los resultados financieros de las empresas. Existen muchas razones por las cuales las empresas aplican esta metodología combinada, mejorar la calidad del producto, hacer más eficientes los procesos de producción, aumentar el desempeño del negocio y la expansión de sus mercados a una competencia global.

Kubaik (2011) plantea que esta nueva metodología no es nueva, combina la manufactura esbelta con Seis Sigma que fueron integradas en 1986 por el grupo estadounidense “George group”. El término “Lean Six Sigma” apareció por primera vez en el año 2000 y la enseñanza de LSS se estableció hasta el 2003.

Como lo plantea Antony (2011), la implementación de ambas metodologías producirá resultados más duraderos. Ya que ambos procesos comparten las siguientes similitudes:

- Ambos se enfocan a procesos.
- En ambos el manejo de las herramientas es vital para el resultado de la aplicación.
- Se utilizan en organizaciones enfocadas a las necesidades del cliente.
- Son usadas por equipos de personas multidisciplinarias para atacar la causa raíz del problema.



Por otro lado, Snee (2010) opina que la diferencia más grande de estas dos metodologías es que Seis Sigma eliminará los defectos en los procesos, pero no responde a la pregunta de cómo optimizar el flujo. Y que la Manufactura Esbelta no aporta a procesos que tienen capacidades y estabilidades muy altas.

Uno de los métodos más comunes que últimamente se han utilizado es Lean Six Sigma, cuya aplicación aumenta la calidad del servicio, y la velocidad y la eficiencia del proceso. La metodología de Lean tiene sus raíces en el TPS (Toyota Production System), cuyas ideas originales fueron formuladas por Sakichi Toyoda en los años 1920 y 1930, y el primer ejecutado por Taiichi Ohno durante la década de 1940. Se puede definir como un enfoque sistemático con el fin de acortar el tiempo entre procesos y servicios a través de la identificación y eliminación de residuos o actividades que no aportan valor añadido en un sistema determinado (Stoiljković *et al.*, 2014).

Investigadores han observado que los proyectos son solo una pequeña parte de los cambios en los cuales cada individuo se involucra cada día, ya sea de manera organizacional o personal. Estudios revelan que los retos más importantes que se obtienen al momento de la implementación de un proyecto que implica algún cambio son las acciones que impactan a las personas porque son ellas mismas quienes pueden detener el cambio. Un proyecto es una actividad o un número de actividades relacionadas que van encaminadas conforme a un plan previamente organizado para cumplir con uno o varios objetivos establecidos en un periodo de tiempo (Androniceanu, et al., 2006).

La correcta gestión procesos en cuanto a desperdicios y variabilidad se ha destinado a satisfacer las normas reglamentarias y de primera calidad. A medida que se intensifican las presiones competitivas, los fabricantes están poniendo en marcha programas de "Excelencia Operacional" (EO) a través de Lean Six Sigma para maximizar la calidad del producto, la seguridad y eficiencia y el rendimiento de la planta. Programas de EO abordan la variabilidad y los residuos que impiden las operaciones de fabricación en muchas compañías a partir de la realización de la "visión

global". Actualmente las preocupaciones han sido la reducción de las prácticas derrochadoras y la optimización del flujo de trabajo en la instalación, la eliminación de equipos innecesarios, y la implementación de los cambios. En algunos casos, los cambios pueden ser muy simples, tales como la eliminación de calibraciones de los instrumentos innecesario que aumenta los costos de mano de obra o incluso retrasar la producción, esto puede sumar millones de dólares en ahorros anuales (Ismail *et al.*, 2014).

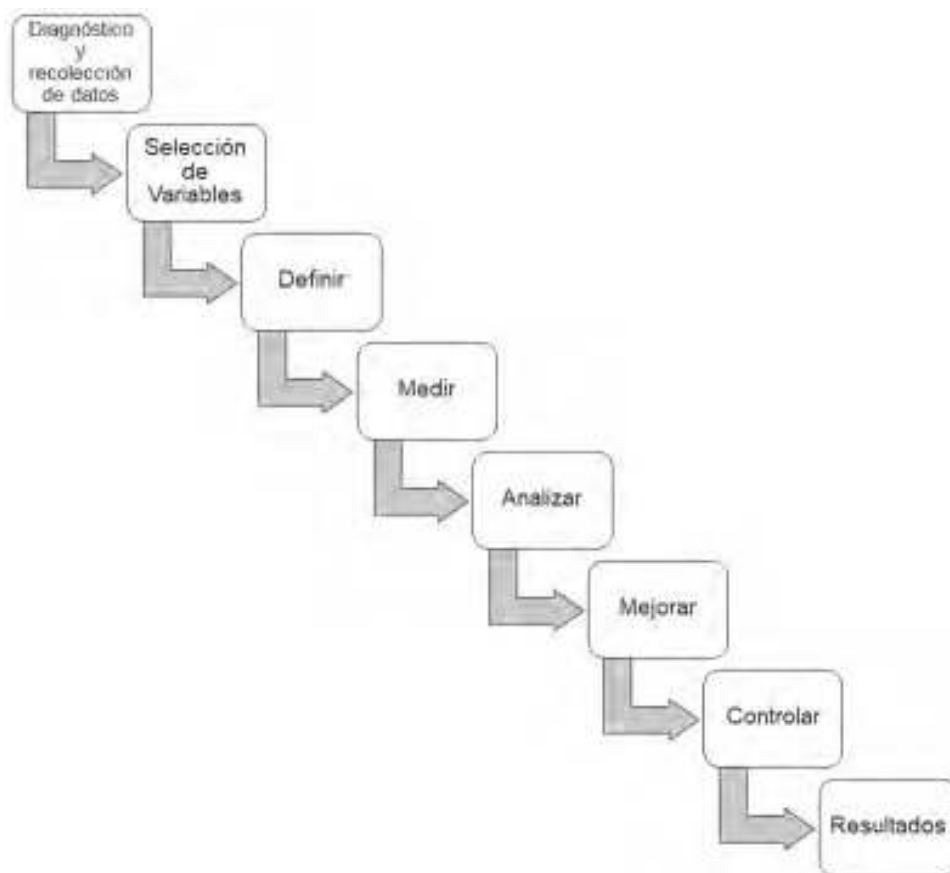
Un proyecto puede definirse por cualquier número de actividades y tareas que tengan en común cumplir con un objetivo de ciertas características; una fecha de inicio y una fecha de final, una definición explícita del proyecto, límites para cumplir con dicho proyecto y recursos necesarios (Popa, 2015).

Hoy en día las organizaciones encaran cambios constantes en ambientes externos guiados por una competencia altamente demandante, clientes más específicos y una economía inestable. Mantener operaciones a los costos más bajos, con la mayor disponibilidad y la habilidad de mantener cambios a lapsos de tiempo cortos son algunos de los pilares en el desarrollo de las organizaciones que buscan sobrevivir en un ambiente global. Por décadas el número de modelos de mejora continua ha crecido basado en el concepto de mejorar la calidad de los procesos, reduciendo desperdicio y simplificando las líneas de producción. Algunas organizaciones siguen los sistemas de TQM, Manufactura Esbelta o Seis Sigma. Pero muchas veces estos modelos no son capaces de resolver todos los problemas de las compañías. Para mejorar esta deficiencia, compañías han adoptado programas híbridos como lo es Lean Six Sigma. El usar estos modelos mejora el rendimiento de las operaciones reduciendo costos, agregando valor y ventaja competitiva a las compañías (Drohomeretski *et al.*, 2014).

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la secuencia de actividades, herramientas y técnicas que se utilizarán para alcanzar el objetivo del proyecto. El enfoque de este proyecto es de carácter descriptivo, ya que se requiere conocer de manera completa la situación actual del problema, así como el entorno en donde coexiste. También se utiliza el enfoque explicativo donde se dará a conocer los resultados de la investigación y su comparación con los del estado inicial.

Como se describe en la figura 3.1, la metodología se divide en 8 etapas: diagnóstico y recolección de datos, selección de variables y el desarrollo del DMAIC que consta de 5 etapas (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) y por último la etapa de resultados.



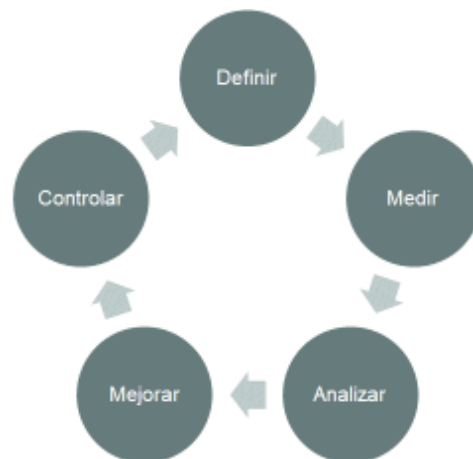
**Figura 3.1.-** Representación visual de las secciones de la metodología.

La primera etapa de la metodología está diseñada para tomar toda la información relevante para el proyecto, esto sirve para conocer el estado actual del sistema a estudiar y plantea un escenario general de las variables que interactúan para los resultados que se desean obtener.

En la segunda etapa llamada “Selección de variables” se utiliza la información recolectada de la sección “Diagnóstico y recolección de datos” para realizar una evaluación de las variables donde el resultado identificará cuales son los puntos del proceso donde se puede obtener mejores resultados cuando estos son manipulados.

Desde la tercera sección y hasta la séptima sección del proyecto se describen los pasos específicos de la metodología a utilizar, Lean Six Sigma. Como se describió en la sección de “marco teórico”, LSS se compone de un grupo de herramientas y métodos para la detección y eliminación de la variabilidad de un proceso o sistema.

La estructura principal del problema a atacar está basada en la herramienta DMAIC, esta estructura se representa en la figura 3.2. Rajenthirakumar et al. (2013) mencionan que el DMAIC es una metodología generalizada y enfocada a mejorar la calidad, incrementar la eficiencia y reducir costos. Según Sellers et al. (2013) se puede aplicar esta metodología en la educación y medicina, Lin C. et al. (2013) la han aplicado en gestión del conocimiento, Mantilla y Sánchez (2012) en procesos logísticos y Sahoo, Tiwari y Mileham (2008) en procesos de manufactura y calidad.



**Figura 3.2.- Estructura de herramienta DMAIC.**

En la figura 3.2 se representa gráficamente el proceso en el que se desarrolla un DMAIC, a pesar de que esta gráfica indica un procedimiento lineal, a lo largo del proyecto puede ser necesario volver a una etapa anterior del DMAIC para hacer ajustes al procedimiento dependiendo de los hallazgos realizados en etapas posteriores, este procedimiento es aceptable y ayuda a obtener resultados más robustos.

En la octava y última sección, se realizará una comparación de la situación inicial y los resultados obtenidos. Con el fin de cuantificar los cambios y los indicadores impactados por la ejecución de este proyecto. De esta manera poder realizar una conclusión con bases suficientes que indiquen que impacto tienen dichas herramientas en una estructura de mantenimiento industrial.

### **3.1 Diagnóstico y recolección de datos**

En esta sección se estudia la situación actual del entorno donde se realizará el proyecto, tomando información relevante que se requiera para conocer el sistema y analizar el problema a tratar y los que involucra dicho problema.

*Actividad 3.1.1* Utilizando el organigrama de la empresa, definir la cantidad de personal asignado al área de mantenimiento industrial, después separar la cantidad de personal que realiza labor directa al equipo también llamados técnicos preventivos (quienes realizan el mantenimiento al equipo) y los que realizan labor indirecta (personal quien no realiza mantenimiento directamente al equipo).

*Actividad 3.1.2* En base a una entrevista con el personal del equipo de mantenimiento del departamento, establecer cuestionamientos acerca del plan de mantenimiento actual. Esto con el fin de obtener posibles causas al problema a estudiar. En caso de que el entrevistador no cuente con la experiencia necesario en el tema a tratar, las preguntas establecidas en la entrevista pueden ser planteadas por la autoridad máxima del departamento de carrocerías, el gerente de mantenimiento. La cantidad de personas a entrevistar debe de ser al menos el 20% de la población total del área de mantenimiento.

*Actividad 3.1.3* Enlistar las posibles causas raíces al problema estudiado obtenidas de la entrevista realizada en la actividad 3.1.2.

*Actividad 3.1.4* Con ayuda del plan de mantenimiento actual, realizar una recolección de todos los órdenes de mantenimiento que se deben de realizar a la maquinaria. Con esta información realizar un gráfico donde se muestre en porcentaje los tipos de maquinaria que tengan más planes de mantenimiento asignado.

*Actividad 3.1.5* Seleccionar de los indicadores disponibles en la empresa que monitoreen el estado actual del equipo y la línea de producción, con el fin de establecer el estado actual que será utilizado para compararlo con nuestro resultado al finalizar el proyecto.

## **3.2 Selección de Variables**

Una vez estudiado el caso, se utiliza la información de la revisión literaria para realizar un comparativo, donde utilizamos las fortalezas de las herramientas utilizadas para la resolución de problemas.

*Actividad 3.2.1* Realizar una matriz de causa y efecto, considerando los distintos factores detectados en el diagnóstico del proyecto, con esta matriz se pretende correlacionar cada factor obtenido y los resultados que queremos obtener, en este caso una mejora en el MTBF (tiempo promedio entre falla) y el MTTR (tiempo promedio de reparación).

Para obtener un valor cuantificable cada factor será relacionado con una serie de variables que representan los resultados que se desean obtener, así como las limitaciones previamente establecidas por las autoridades del departamento de carrocería, que para efectos de este proyecto se trata del gerente de mantenimiento.

A cada variable se le asigna un número que representa la ponderación que tiene esa variable con el proyecto, este número puede variar del 1, que indica la menor ponderación y el número 10, el valor que indica la mayor ponderación.

Actividad 3.2.2 Establecer un equipo de trabajo que incluya como mínimo un integrante de cada uno de los distintos niveles del organigrama mostrado en la actividad 3.1.1. El equipo será el responsable de tomar las decisiones sobre los recursos que serán necesarios para el proyecto.

Actividad 3.2.3 Con ayuda del equipo de trabajo se evaluará la matriz de causa y efecto realizada en la actividad 3.2.1 y se seleccionaran hasta 2 factores como las variables que se estudiaran y modificaran en el transcurso de este proyecto.

### **3.3 Definir**

En la fase “Definir” se establece las expectativas y el alcance del proyecto, así como metas y las actividades que llevaran a cabo.

*Actividad 3.3.1* Comenzar describiendo la causa raíz principal del problema, esta causa raíz es seleccionada como la variable con mayor ponderación de la matriz de causa y efecto elaborada en el capítulo 3.2 propuesta solución.

*Actividad 3.3.2* Definir los límites del proyecto, es decir que áreas del esquema actual de mantenimiento se pueden modificar con los recursos disponibles de la compañía y cuales son fijos. Esta información es obtenida del grupo de trabajo del área de mantenimiento industria.

*Actividad 3.3.3* Agrupar en una tabla los elementos que conforman el plan actual, definiéndolos por una tabla de Entradas, Procesos y Salidas.

*Actividad 3.3.4* Definir a los resultados queremos de la actividad que se realiza, y enlistarlos ordenándolos por prioridad de resultado.

*Actividad 3.3.5* Realizar un diagrama cronológico que enliste los pasos del proyecto con fechas compromiso.

### 3.4 Medir

En esta fase del DMAIC se cuantifican los indicadores relevantes del sistema actual, con el fin de tener medibles cuantitativos y cualitativos que servirán para monitorear el cambio del sistema al aplicarle las acciones.

*Actividad 3.4.1* Dividir los planes de mantenimiento obtenidos de la actividad 3.1.4 en dos grupos; línea corriendo donde se requiere que el equipo se encuentre en uso para poder ejecutar la orden de mantenimiento, y línea parada donde es necesario que la maquinaria se encuentre detenida.

*Actividad 3.4.2* Definir un tiempo promedio de ejecución por mantenimiento en horas para cada plan de mantenimiento basado en los tiempos registrados en cada orden de mantenimiento individual. Para realizar el muestreo se utilizarán las ordenes de mantenimiento semanales, y se separarán dependiendo el tipo de maquinaria para posteriormente obtener el promedio de tiempo de ejecución. El tipo de maquinaria puede ser obtenido en la orden de mantenimiento.

El tiempo promedio de ejecución debe de tomar en consideración el tiempo que se requiere para realizar el mantenimiento, así como tareas adicionales como traslado, recolección de herramientas o material necesario.

*Actividad 3.4.3* Definir el tiempo de carga máximo que un técnico de mantenimiento puede soportar tomando en cuenta la cantidad de horas en una jornada laboral y las actividades que debe de cumplir adicionales al mantenimiento del equipo.

*Actividad 3.4.4* Realizar un gráfico de barras con una muestra de técnicos preventivos donde se muestre la cantidad de carga de trabajo de mantenimiento en línea corriendo en horas que cada técnico tiene actualmente y utilizar el tiempo de carga máximo obtenido en la actividad 3.4.3 para identificar si se tiene una sobre carga de trabajo.

*Actividad 3.4.5* Realizar un gráfico de barras con una muestra de técnicos preventivos donde se muestre la cantidad de carga de trabajo de mantenimiento en línea parada



en horas que cada técnico tiene actualmente y utilizar el tiempo de carga máximo obtenido en la actividad 3.4.3 para identificar si se tiene una sobre carga de trabajo.

### **3.5 Analizar**

El propósito de analizar es el de observar con más detalle a los medibles ya establecidos en el proceso, así como encontrar áreas de oportunidad para extraer la mayor información necesaria y establecer posibles causas raíces a la problemática establecida.

*Actividad 3.5.1* Reunir al grupo de trabajo para la realización de una lluvia de ideas que proporcione las posibles causas al problema estudiado. Definir un listado con un mínimo de 3 alternativas para el factor estudiado.

*Actividad 3.5.2* Elaborar una matriz de causa y efecto en donde se representen las variables que puedan ser atribuidas a la causa del problema.

*Actividad 3.5.3* Representar gráficamente la estructura actual de la distribución y la asignación de órdenes de mantenimiento de los técnicos de mantenimiento preventivo. Esto con el fin de obtener a grandes rasgos la agrupación de los trabajos de mantenimiento.

*Actividad 3.5.4* Representar gráficamente los pasos, que un técnico preventivo ejecuta para realizar las órdenes de mantenimiento en una jornada laboral.

### **3.6 Mejorar**

Como resultado de la fase de “Analizar” se obtiene un fuerte entendimiento de los factores que aportan a la problemática estudiada en el proyecto, en esta fase se generan ideas o alternativas para mejorar el proceso, se diseña el modo de implementación y se valida su factibilidad en el proceso.

*Actividad 3.6.1* Representar gráficamente la distribución propuesta para el cambio en la estructura de los mantenimientos.

*Actividad 3.6.2* Utilizar los planes de trabajo de la actividad 3.1.4 y dividirlos por tipo de maquinaria, para conocer la carga de trabajo que requiere cada una de ellas.

*Actividad 3.6.3* Establecer límites a las modificaciones que se realicen en el sistema de distribución de órdenes de mantenimiento.

*Actividad 3.6.4* Redistribuir las órdenes entre la cantidad de técnicos de mantenimiento disponibles para realizar órdenes de mantenimiento. Asignando la menor cantidad de diversidad de equipo posible por técnico.

*Actividad 3.6.5* Asignar un técnico experto para cada tipo de maquinaria con el fin de que sea la persona asignada a realizar el entrenamiento a los técnicos con órdenes redistribuidas. Este técnico experto será elegido en base a experiencia sobre el equipo y esto será definido por el grupo de trabajo.

### **3.7 Control**

En esta fase se monitorea las implementaciones realizadas por medio de nuevas mediciones o procesos adicionales a los actuales con el objetivo de mantener los resultados obtenidos después de haber realizado la fase “Mejorar”.

*Actividad 3.7.1* Una vez ejecutado las acciones, se deben de establecer acciones de prevención, que permitan mantener los cambios realizados.

*Actividad 3.7.2* Establecer fechas para el grupo de trabajo donde se realicen reuniones periódicas a lo largo de la ejecución del plan para monitorear el proceso y en caso de presentarse alguna variable limitante definir las acciones para eliminarla.

### **3.8 Resultados**

Se realizará una comparación de los medibles que se obtuvieron en la situación inicial contra los valores obtenidos una vez implementado las acciones, y después de un periodo no mayor a 4 meses para la recolección de datos, esto con el fin de cuantificar el impacto de este proyecto en el plan de mantenimiento y sus resultados.

## 4. IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se describe la ejecución del proyecto utilizando las actividades descritas en el capítulo de metodología.

### 4.1 Diagnóstico y recolección de datos

*Actividad 4.1.1* En esta actividad se definen la cantidad de personal involucrado en la realización del mantenimiento industrial, tanto directamente como indirectamente. En la figura 4.1 se observa el organigrama de las posiciones que se pueden encontrar en el departamento de carrocerías.

El nivel superior del organigrama es ocupado por el gerente de mantenimiento, seguido por el coordinador de carrocerías, ingeniero de controles, ingeniero de automatización e ingeniero de mantenimiento, quienes a pesar de no tener una labor directa con la maquinaria, se encargan de la planeación del mantenimiento, la detección de áreas de oportunidad en el proceso, el entrenamiento al personal y la búsqueda de la optimización de los recursos del departamento para mantener el equipo con el mayor nivel de disponibilidad posible.

En el siguiente nivel del organigrama se encuentran los supervisores de procesos, cada zona del departamento cuenta con 3 asesores de proceso, esto se debe a que esta fábrica ensambladora trabaja las 24 horas del día, por lo cual se requiere de 3 diferentes turnos laborales de 8 horas cada turno. Los supervisores de proceso administran los recursos y el personal asignado para el mantenimiento de cada zona, elaboran la planificación de los mantenimientos y se encargan de que los estándares establecidos por la empresa se cumplan de forma correcta.

En el siguiente nivel del organigrama se encuentra el líder de mantenimiento y técnicos andones, quienes poseen un nivel de conocimiento de resolución de fallas mayor a la de los técnicos preventivos y su rol es la reparación de fallas en el equipo automático,

realizar integración de equipo nuevo y la ejecución de proyectos que aumenten la capacidad en la línea de producción. Después siguen los técnicos preventivos.



**Figura 4.1.** Organigrama reducido del personal de mantenimiento.

La tarea principal de un técnico preventivo es ejecutar las órdenes de mantenimiento asignadas de manera semanal y que son programadas en una base de datos que guarda información de todo el equipo automático dentro del departamento de carrocerías. Estas órdenes indican el tipo de equipo, su número de identificación, el nombre del mantenimiento que se debe de ejecutar, el número de identificación de la orden de mantenimiento, seguido por la descripción paso por paso del plan de mantenimiento a ejecutar. En el anexo 1 se muestra un ejemplo de una orden de mantenimiento que se realiza a una fresadora automática.

En el departamento de carrocerías se tiene un total de 173 personas de las cuales 29 personas trabajan de forma indirecta al equipo y 144 tienen interacción directa con el mantenimiento del equipo. En la tabla 4.1 se muestra la cantidad de personal por posición y su tipo de interacción con el equipo.

Posición de Trabajo	Interacción con el equipo	Cantidad de Personas
Gerente de Mantenimiento	Indirecta	1
Coordinador de Carrocerías	Indirecta	1
Ingeniero de Controles	Indirecta	1
Ingeniero de Automatización	Indirecta	1
Ingeniero de Mantenimiento	Indirecta	1
Supervisor de Proceso	Indirecta	12
Líder de Mantenimiento	Indirecta	12
Técnico Andón	Directa	72
Técnico Preventivo	Directa	72
Total de Personal en Carrocerías		173

**Tabla 4.1.** Cantidad de personal de mantenimiento.

*Actividad 4.1.2* Se realizó una entrevista al 27.7% de la población del personal de mantenimiento que tienen interacción directa con el equipo automático, es decir, su aportación a la compañía es inspeccionar distintos tipos de maquinaria en busca de anomalías para su reparación en tiempo oportuno y mantener la integridad del equipo. El porcentaje representa una cantidad de 40 técnicos que fueron entrevistados para la recopilación de información del sistema de mantenimiento actual.

En el anexo 2 se muestra la entrevista que fue realizada a la población de muestra como diagnóstico de la situación actual del plan de mantenimiento con el que se está ejecutando las órdenes al equipo automático.

La entrevista está formada por 2 fases. La primera fase cuenta con 10 preguntas en las cuales su pregunta está evaluada con la numeración del 1 al 10, donde 1 representa el menor nivel de conocimiento del técnico referente a la pregunta que se

le realizó, y 10 es el nivel de conocimiento esperado por el técnico. En cada pregunta se encuentra un texto donde describe la idea principal de la respuesta que se espera, este texto servirá como apoyo al entrevistador a tener una base para la evaluación que dará a cada respuesta.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados de la fase 1 de la entrevista realizada. Es una sumatoria de la puntuación que recibieron cada una de las preguntas hecha a los 40 participantes. Con este dato numérico se seleccionarán los puntos a tratar en la actividad 4.1.2.

Pregunta	Puntuación Total
¿Tienes disponibles todas tus ordenes de mantenimiento y entiendes claramente tus actividades?	194
¿Qué haces antes y después de realizar tus actividades de mantenimiento?	272
¿Realizas el total de tus ordenes de mantenimiento y entiendes la consecuencia de omitir alguna actividad de tus ordenes de mantenimiento?	122
Explica 3 órdenes de mantenimiento	166
¿Se requiere de algún tipo de facilidad, herramienta o ayuda para realizar tus ordenes de mantenimiento? ¿Por qué?	306
¿Es suficiente el tiempo para realizar tus planes de trabajo?	136
¿Cuentas con la herramienta necesaria para ejecutar tus planes de mantenimiento?	214
Si detectas alguna anomalía, daño o falla de componentes en el equipo, ¿qué procedimiento sigues?	244
¿Que debes de hacer al encontrar una condición insegura?	362
¿Conoces el plan de reacción al presentarse un paro de equipo?	336

**Tabla 4.2.** Resultados de la Fase 1 de entrevista.

En la segunda fase de la entrevista se seleccionarán de las 10 preguntas anteriores, se utilizan las 3 que hayan sido calificadas con la menor puntuación (en caso de tener más de 3 con el mismo nivel de evaluación, se seleccionarán 3 a criterio del entrevistador) y buscar una solución propuesta por el técnico y mejorar esa área de oportunidad.

En base los resultados obtenidos en la fase 1 de la entrevista se obtiene que las preguntas con la menor puntuación son:

1. ¿Realizas el total de tus ordenes de mantenimiento y entiendes la consecuencia de omitir alguna actividad de tus ordenes de mantenimiento?
2. ¿Es suficiente el tiempo para realizar tus planes de trabajo?
3. Explica 3 órdenes de mantenimiento.

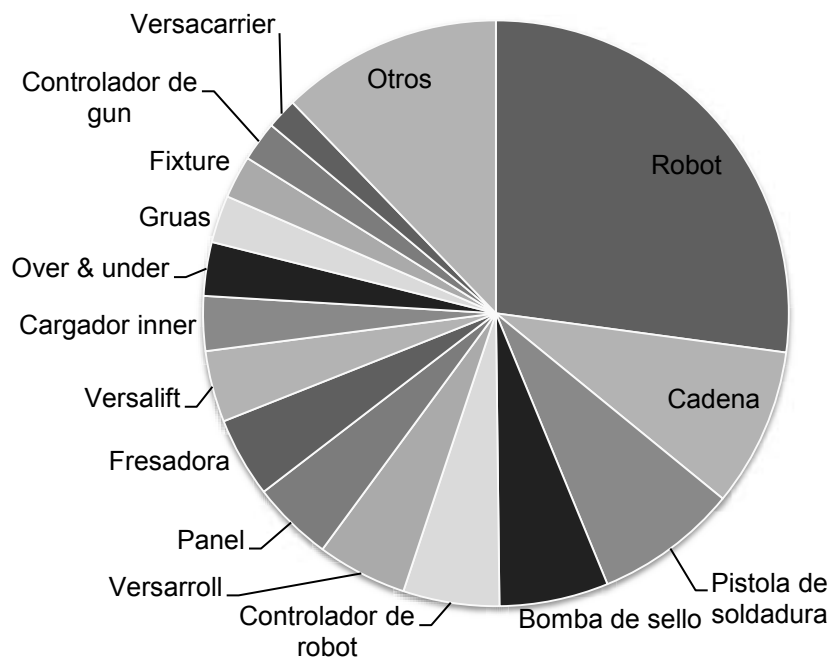
Utilizando estas 3 preguntas se alienta a la persona entrevistada a expresar las posibles causas que hayan ocasionado la baja puntuación. Esto con el fin de obtener distintos factores con los que se pueda trabajar en este proyecto. Al obtener los resultados se observa que en las respuestas del personal entrevistado existe una similitud. Agrupando esta información en 7 puntos relevantes, los cuales son mencionados en la siguiente actividad.

*Actividad 4.1.3* A continuación, se enlistan los grupos, a los cuales llamaremos factores, en los que coinciden en su mayoría el personal entrevistado:

1. Existe una falta de personal de mantenimiento.
2. El tiempo disponible para realizar los mantenimientos semanales es menor que la cantidad de tiempo que se le requiere invertir al equipo.
3. Los manuales existentes en mantenimiento son poco explícitos y difíciles de comprender.
4. Se tiene una escasez con el herramental para realizar las inspecciones del equipo automático.
5. Existe personal que requiere de entrenamiento para ejecutar el mantenimiento.

6. Cargas de trabajo no se encuentran balanceadas, existen técnicos con más ordenes que otros.
7. Existe un desperdicio de tiempos de ejecución.

*Actividad 4.1.4* Una vez recolectado todas las órdenes de mantenimiento que contiene el plan actual, se agruparon dependiendo del tipo de equipo al cual esa orden es asignada. Se formaron 16 grupos de maquinaria distinta, a continuación, se representa gráficamente en la figura 4.2 una distribución porcentual de los equipos automáticos en los cuales el personal debe de ejecutar el mantenimiento antes mencionado.



**Figura 4.2.** Distribución porcentual de tipos de equipo automático.

*Actividad 4.1.5* De los indicadores que utiliza el área de mantenimiento industrial se hizo una investigación para seleccionar únicamente los que representan un valor directo a la ejecución del plan de mantenimiento en el departamento de carrocerías. Estos indicadores son, MTBF que por sus siglas en inglés significa: tiempo promedio en el que el equipo se va a falla y MTTR que significa: tiempo promedio de reparación por falla y unidades producidas por horas.



## 4.2 Selección de Variables

*Actividad 4.2.1* La siguiente matriz de causa y efecto mostrada en la tabla 4.3 contiene los factores detectados de la fase de diagnóstico, cada factor es comparado con las variables de los resultados que queremos obtener. Se usan los grupos o factores obtenidos de la entrevista que se realizó en la actividad 4.1.3.

MATRIZ CAUSA-EFECTO DE IMPACTOS NEGATIVOS							Six Sigma	
FACTORES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL		ETAPA: Selección de Variables						
		10	10	8	6			Resultado
#	Factor	Tiempo promedio entre Falla	Tiempo promedio de reparación	Recursos disponibles para ajustes	Tiempo de modificación			
1	Falta de personal de mantenimiento	6	3	1	8			146
2	Falta de tiempo disponible para la ejecución de mantenimientos	8	2	6	9			202
3	Manuales poco explícitos	2	5	1	3			96
4	Escasez de herramental	5	7	6	6			204
5	Falta de entrenamiento	4	6	9	3			190
6	Cargas de trabajo no son balanceadas	5	3	9	5			182
7	Desperdicio de tiempos de ejecución de mantenimiento	8	2	7	8			204

**Tabla 4.3.** Matriz para factores del plan de mantenimiento.

En la columna izquierda se encuentran los factores que se obtuvieron de la actividad 4.1.3. De manera horizontal se encuentran 4 variables que serán tomadas en cuenta para realizar la correlación con cada factor. A cada variable se le asigna un número que representa la ponderación que tiene esa variable con el proyecto, este número puede variar del 1, que indica la menor ponderación y el número 10, el valor que indica la mayor ponderación.

Se asignó un número categorizando la severidad del impacto que cada factor tiene sobre la variable. Este número oscila desde el 1 hasta el 10, siendo 1 la categoría que

menos impactaría y 10 la que más impacto tiene. Cada valor es multiplicado por el valor de ponderación de cada variable.

La puntuación de cada variable es acumulada como sumatoria en la última columna de la tabla, de esta manera obtenemos una puntuación cuantificable de la correlación que tiene cada área de oportunidad detectada con los impactos que generan a los resultados que se desean obtener de un mantenimiento al equipo, que en este caso son el tiempo promedio en el que se tiene una falla y el tiempo promedio de resolución de la falla.

Actividad 4.2.2 Se utilizó el organigrama mostrado en la actividad 4.1.1, se crea el equipo de trabajo para la administración de recursos del proyecto, así como el conocimiento del plan actual de mantenimiento. De este modo se pueden modificar las variables en una manera controlada sin afectar la seguridad, calidad o el flujo del departamento.

El equipo de trabajo de este proyecto será conformado por el gerente de mantenimiento, el ingeniero de mantenimiento, un supervisor de proceso, un líder de mantenimiento, un técnico andón y un técnico preventivo.

Actividad 4.2.3 Se convocó a la primera reunión del equipo de trabajo en donde la matriz de causa y efecto que se presenta en la actividad 4.2.1, fue mostrada al equipo para su evaluación. Se llegó al acuerdo de seleccionar los 3 factores con la mayor puntuación de la matriz. Los cuales fueron:

1. Desperdicio de tiempo de ejecución de mantenimiento.
2. Escasez de herramental
3. Falta de tiempo disponible para la ejecución de mantenimientos.

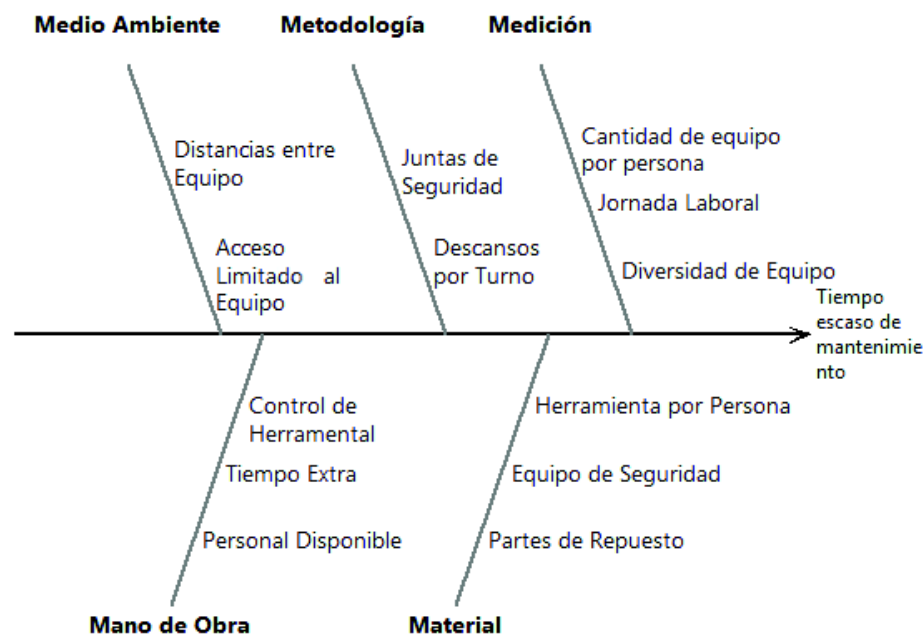
Los factores de “Desperdicio de tiempo de ejecución de mantenimiento” y “Falta de tiempo disponible para la ejecución de mantenimientos” se unificaron formando una variable crítica del sistema actual de mantenimiento, denominándola “Tiempo necesario para el mantenimiento”

En consenso se seleccionó el factor de “tiempo necesario para el mantenimiento” como la variable que tiene un mayor impacto en el sistema actual de mantenimiento y, en consecuencia, será la segunda variable que será estudiada para implementar mejoras que impacten a los tiempos de MTBF y MTTR.

### 4.3 Definir

*Actividad 4.3.1* El factor seleccionado como crítico en el capítulo de análisis del problema será la problemática para resolver en el desarrollo del proyecto, que en consecuencia mejorarán los resultados de los indicadores de MTBF y MTTR.

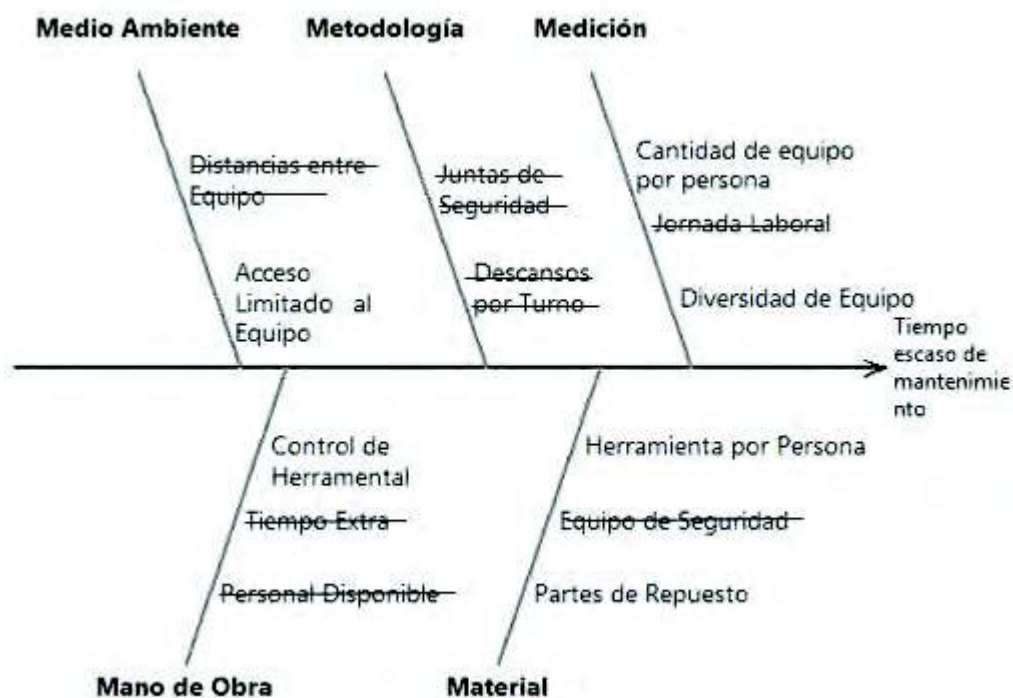
Se desarrolla un diagrama de espina de pescado (también conocido como diagrama de Ishikawa) para el factor principal del proyecto, este diagrama es ampliamente utilizado en la metodología de manufactura esbelta como auxiliar en la identificación de distintas causas a un problema, en la figura 4.3 se representa los distintos factores que aportan al problema “Tiempo para el mantenimiento”.



**Figura 4.3.** Diagrama para tiempo para el mantenimiento.

*Actividad 4.3.2* Una vez definidos los factores que se analizarán se decidió reunir el equipo de trabajo para establecer las limitantes de cada uno de los de estos factores, que sentarán las bases que indicarán que modificaciones son permisibles en el sistema actual.

En la figura 4.4 se muestra el diagrama de Ishikawa para el factor de “tiempo escaso de mantenimiento” eliminando las variables que se definieron por el grupo de trabajo como variables que no pueden ser alteradas.



**Figura 4.4** Diagrama de Ishikawa con variables ajustadas.

*Actividad 4.3.3* En la tabla 4.4 se describe el sistema de mantenimiento actual, definiendo entradas, procesos, salidas e indicadores. En la primera fila encontramos que la entrada es “Tiempo necesario para el mantenimiento” se tienen dos indicadores. El indicador de entrada hace referencia a la carga de trabajo que se asigna en promedio a cada uno de los técnicos encargados del mantenimiento, la carga se mide en horas hombre y esta no debe mayor a 8 horas por semana, ya que es el tiempo

disponible cada semana para este mantenimiento. El indicador de salida “porcentaje de ejecución” hace referencia a la cantidad de horas de mantenimiento realizadas contra la cantidad de horas de trabajo asignadas al técnico de mantenimiento. Al tener un bajo porcentaje de ejecución indica que la cantidad de trabajo de mantenimiento requerido no fue completado y esto repercute directamente a las fallas que presenta el equipo automático.

<b>Entrada</b>	<b>Indicador</b>	<b>Proceso</b>	<b>Indicador</b>	<b>Salida</b>
Tiempo necesario para el mantenimiento	Cantidad de horas de mantenimiento	Ejecución del mantenimiento	Porcentaje de ejecución	Tiempo promedio entre fallas

**Tabla 4.4.** Descripción del sistema actual de mantenimiento

*Actividad 4.3.4* Con ayuda de los diagramas de ishikawa mostrados en la actividad 4.3.2 y la tabla del sistema actual de mantenimiento de la actividad 4.3.3, se enlistan los puntos más relevantes seleccionados por el grupo de trabajo.

1. Cantidad de Horas de mantenimiento asignadas por persona.
2. Diversidad del equipo automático por persona.
3. Herramienta requerida por persona.
4. Partes de repuesto por equipo automático.
5. Control de Herramental

Tomando como referencia estas 5 variables, se desarrollará la medición de la situación actual y posteriormente, el análisis que permita al grupo de trabajo establecer la acción de mejora para el sistema. Realizar pruebas de implementación y medir los resultados obtenidos con dichos cambios.

*Actividad 4.3.4* En la figura 4.4 se muestra el diagrama cronológico de las actividades realizadas a lo largo del proyecto. Este diagrama se utiliza como auxiliar en el seguimiento de las actividades que se muestran con sus respectivas fechas para monitorear el cumplimiento de dichas actividades.

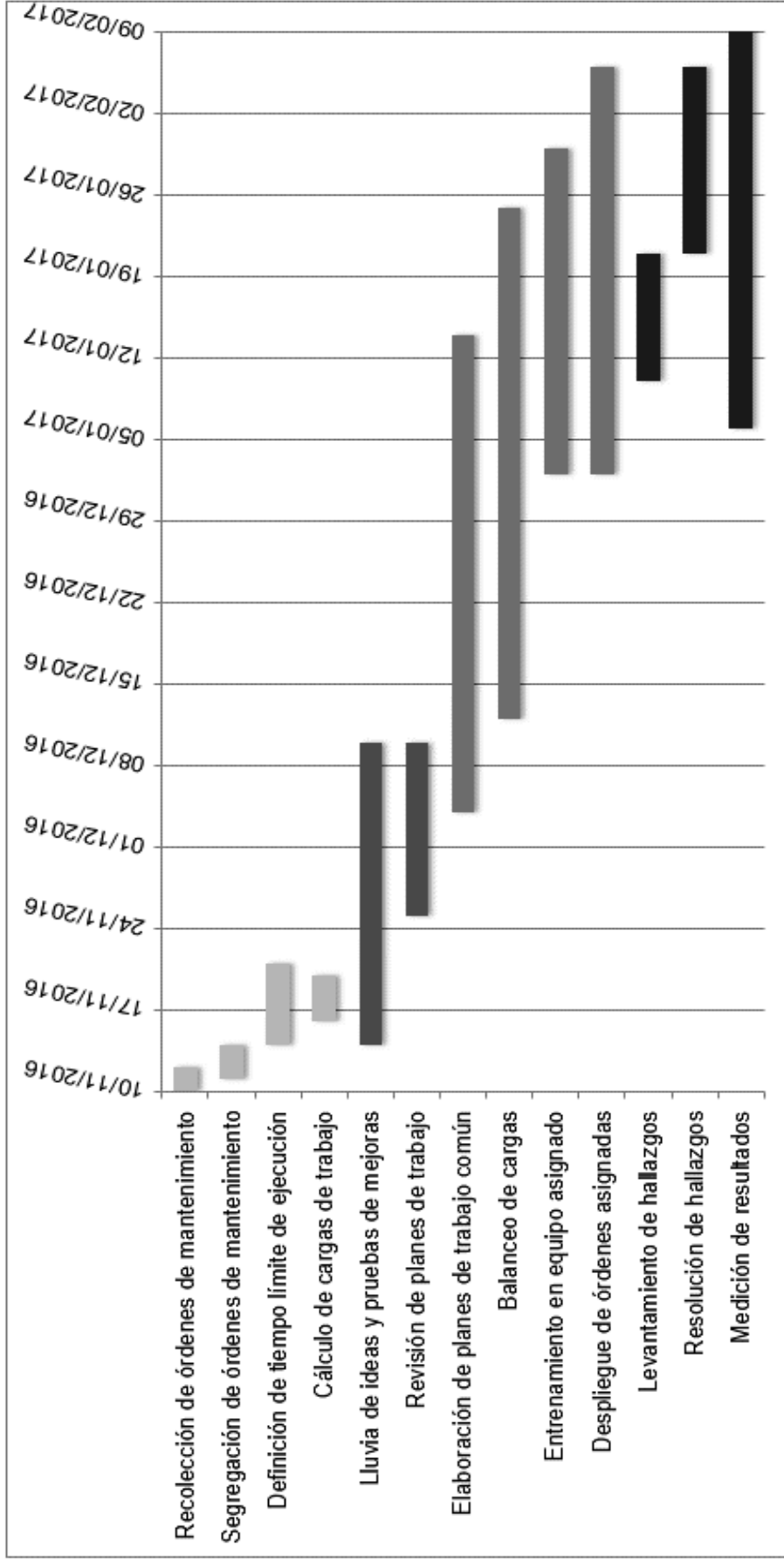
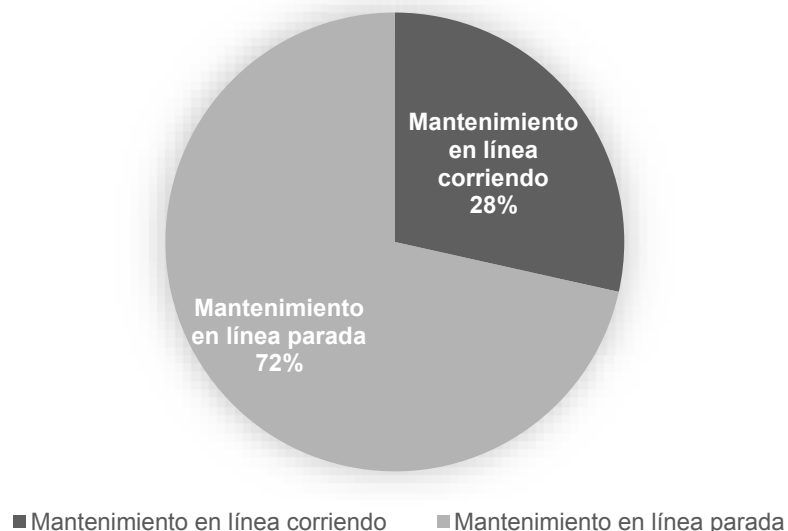


Figura 4.4 Diagrama cronológico de actividades.

## 4.4 Medir

*Actividad 4.4.1* Obteniendo los planes de mantenimiento de la actividad 3.1.4 se utilizan nuevamente, esta vez para segregarlos en 2 categorías distintas, mantenimiento en línea corriendo y mantenimiento en línea parada. Las tareas en línea corriendo hacen referencia a el trabajo que puede realizarse al equipo aun cuando se encuentre energizado y trabajando. Mientras que, las de línea parada únicamente pueden ser ejecutadas cuando la maquinaria se encuentra en reposo y des-energizado, ya que de lo contrario puede atentar contra la integridad física de la persona que realice estas actividades.

Una vez categorizadas las órdenes de mantenimiento en estas dos categorías, se elabora una gráfica que muestra la distribución porcentual en cada una de las órdenes de mantenimiento, esta gráfica es mostrada en la figura 4.5.



**Figura 4.5.** Distribución porcentual de órdenes de mantenimiento.

*Actividad 4.4.2.* Utilizando las órdenes de mantenimiento se realiza un muestreo del tiempo que se requiere para la ejecución de cada una de las órdenes de mantenimiento que salen de manera semanal (tal y como se describe en la actividad 3.4.2). En la muestra se tomó en consideración los 15 tipos de equipo automático que se muestran

en la actividad 4.1.3, omitiendo la categoría de “otros” ya que dicha categoría engloba varios grupos de equipo. En la tabla 4.5 se muestran los tiempos promedio en minutos de ejecución de mantenimiento para cada tipo de equipo distinto.

Tipo de Equipo Automático	Tiempo de Ejecución de Orden
Robot	42
Cadena	25
Pistola de Soldadura	15
Bomba de Sello	50
Controlador de Robot	20
Versaroll	45
Panel	15
Fresadora	24
Versalift	40
Cargador	20
Over & Under	36
Grúas	20
Fixture	30
Controlador de Pistola	25
Versacarrier	35
Promedio de tiempo de ejecución	29.46

**Tabla 4.5.** *Tiempos promedio de ejecución de mantenimiento en minutos.*

Como resultado del muestreo se obtiene un promedio de 29.46 minutos de tiempo de ejecución por mantenimiento, para fines prácticos se utilizará el valor de 30 minutos por orden de mantenimiento. Ya que 0.54 minutos no son significativos en jornadas de trabajo de 8 horas.

**Actividad 4.4.3** Con el fin de obtener un punto de referencia de la cantidad de horas máximas de carga de trabajo que cada técnico, se reunió el grupo de trabajo y se definieron las actividades adicionales a la ejecución de planes de mantenimiento que cada técnico tiene que realizar durante un turno de trabajo.



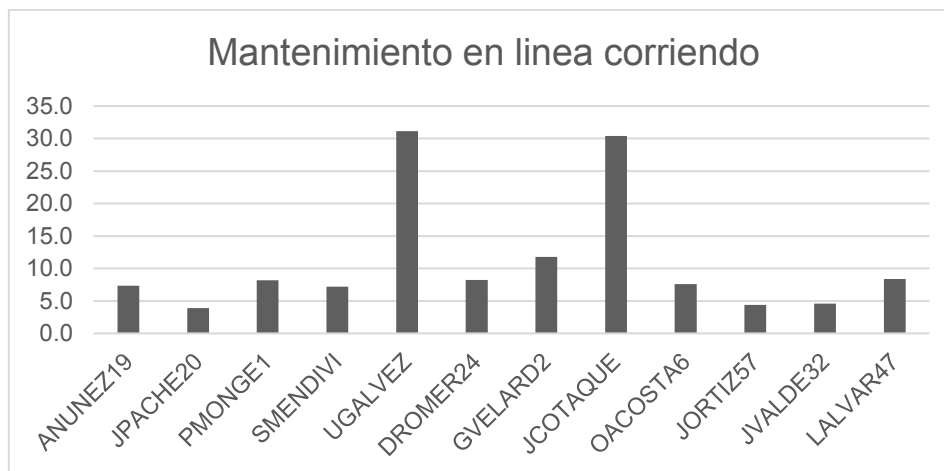
En la tabla 4.6 se muestra la cantidad en horas que dura una jornada de trabajo cada día, a esa cantidad se le resta el tiempo que requieren cada una de las tareas definidas por el grupo de trabajo y que realiza cada técnico (ya sea andón o preventivo) en su jornada que no son tareas relacionadas con la ejecución de órdenes de mantenimiento.

Descripción de la tarea	Duración (Horas)
Jornada de Trabajo	8.5
Junta de Seguridad	-0.3
Pausa de comida	-0.5
Descansos	-0.2
Tiempo disponible para mantenimiento	7.5

**Tabla 4.6** Tiempo disponible para mantenimiento diario por técnico.

Se obtiene como resultado una cantidad de 7.5 horas disponibles diarias para las actividades que implican la ejecución de órdenes de mantenimiento.

*Actividad 4.4.4* Se seleccionaron 12 técnicos responsables de la ejecución de mantenimiento al equipo, a cada técnico se le realizó un conteo de la cantidad de órdenes de mantenimiento que tiene asignadas por semana. Tomando en cuenta el valor de tiempo promedio de ejecución de órdenes, se determina la cantidad carga de trabajo para órdenes en línea corriendo durante una semana. En la figura 4.6 se ve el gráfico de carga de trabajo. En el eje horizontal de la figura se muestran el código de identificación de cada técnico, mientras que en el eje vertical es la cantidad de carga de trabajo en horas.



**Figura 4.6.** Carga de trabajo de mantenimiento en línea corriendo

**Actividad 4.4.5** Tomando la misma muestra se realiza nuevamente el conteo de carga de trabajo hecho en la actividad 3.4.4, esta vez para las órdenes que requieren del equipo en modo de reposo. Es decir, las órdenes de mantenimiento en línea parada, en la figura 4.7 se muestra esta distribución. Se observa una dispersión de datos considerable, existen técnicos que tienen una carga de trabajo menor a las 4 horas que es un número por debajo al tiempo disponible. Por el otro lado existen cargas de trabajo que sobrepasan el doble del tiempo disponible para realizar el mantenimiento, lo cual indica que hay órdenes que no es posible realizar y afectar directamente el tiempo de vida útil de la maquinaria.



**Figura 4.7** Carga de trabajo de mantenimiento en línea parada.

## 4.5 Analizar

Actividad 4.5.1 Se convocó a una reunión del grupo de trabajo con la finalidad de examinar los resultados obtenidos en la fase anterior. Con esta información se llevó a cabo una lluvia de ideas en la cual se presentaron distintas alternativas para corregir los hallazgos encontrados.

Las alternativas que fueron obtenidas fueron las siguientes:

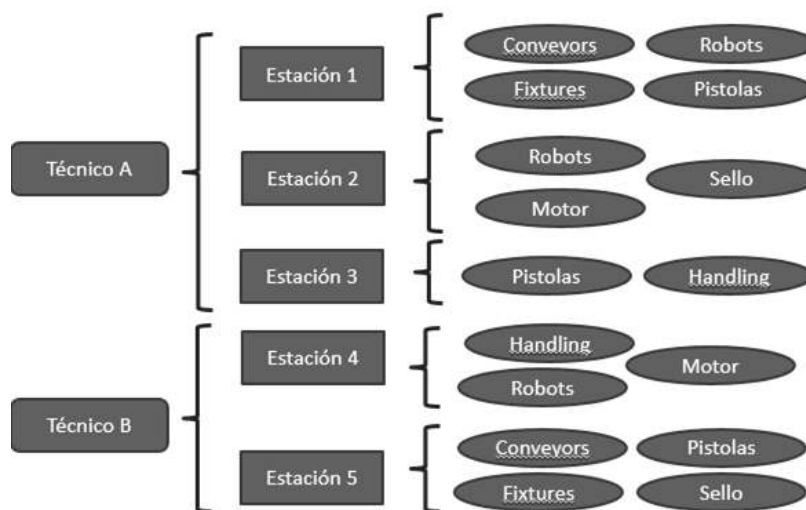
- Recortar la cantidad de órdenes de mantenimiento.
- Aumentar la jornada laboral por medio de tiempo extra.
- Reordenar la distribución del equipo de órdenes de mantenimiento.

Actividad 4.5.2 Usando las alternativas obtenidas en la actividad 4.5.1 se realiza una matriz de causa y efecto en donde se relacionan estas alternativas y los factores que contribuyen al problema obtenidos en el diagrama de Ishikawa de la actividad 4.3.2. Esta matriz se puede observar en la tabla 4.7. Con la matriz se obtiene un valor cuantificable que indique cuál de estas alternativas tiene la correlación más directa con los factores que se desea cambiar. El resultado de esta matriz indica que la alternativa con la que se obtendrá un mayor impacto es “Reordenar la distribución del equipo de órdenes de mantenimiento”. Es por esto que se opta por el cambio en la distribución de las órdenes de mantenimiento asignada a estaciones de trabajo por una distribución por tipo de maquinaria.

MATRIZ CAUSA-EFECTO						Six Sigma	
MATRIZ CAUSA-EFECTO		10	10	8	10	6	Resultado
		Cantidd de Equipo por persona	Diversidad de Equipo	Partes de Equipo	Destreza del personal	Acceso al Equipo limitado	
#	Variables						
1	Recortar la cantidad de órdenes de mantenimiento	9	4	2	4	1	192
2	Aumentar la jornada laboral con tiempo extra	2	4	2	4	1	122
3	Reordenar la distribución del equipo de órdenes de mantenimiento.	8	10	4	6	1	278

**Tabla 4.7.** Matriz de causa y efecto para alternativas de mejora.

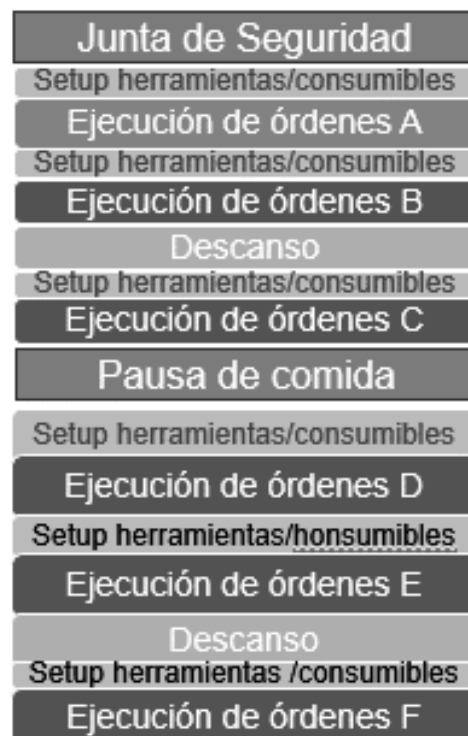
Actividad 4.5.3 En la figura 4.8 se muestra la distribución que se tiene actualmente de órdenes de mantenimiento para los técnicos preventivos. En esta figura se observa que cada técnico tiene asignadas estaciones de trabajo en las cuales existen distintos tipos de equipo automático, incrementando la diversidad del equipo al cual se le requiere ejecutar un mantenimiento por la misma persona. Técnico A y técnico B representan el personal denominado “técnico preventivo” en el organigrama de la actividad 4.1.1.



**Figura 4.8** Distribución actual de mantenimiento por técnico.

Actividad 4.5.4 En la figura 4.9 se muestra las actividades que un técnico de mantenimiento con órdenes ejecuta en su jornada. Al tener sus actividades asignadas en una misma estación se debe de estar cambiando constantemente cambiando sus herramientas ya que se tiene una gran diversidad del equipo para una persona.

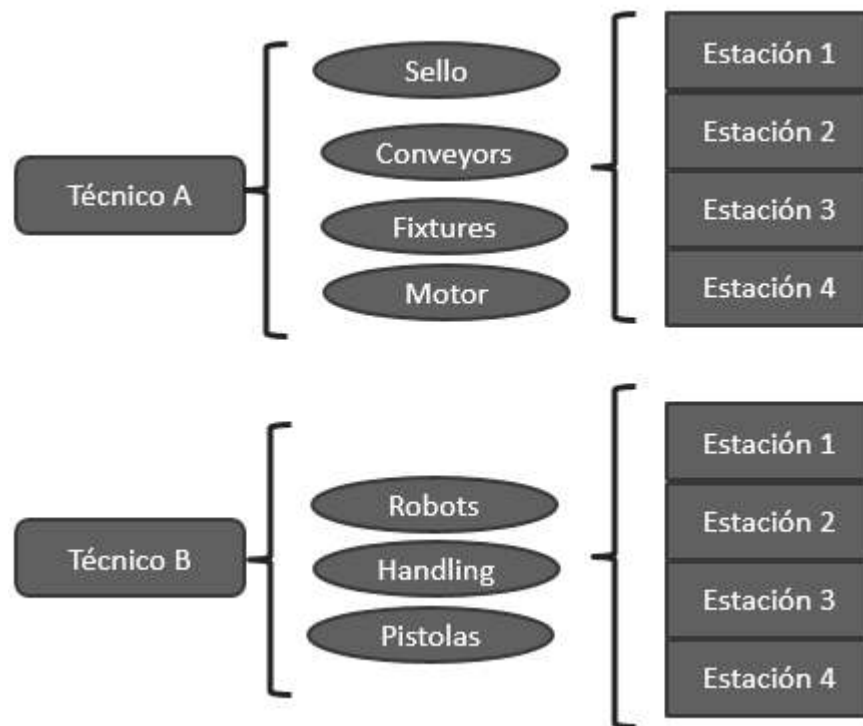
Esto se traduce en desperdicio de recursos para la compañía, tanto de mano de obra por tener menos tiempo disponible atendiendo a la maquinaria, así como en recursos monetarios ya que la falta de mantenimiento aumenta las posibilidades de daños al equipo, incrementando los costos de reparación. Estos desperdicios pueden ser reducido con una modificación en la estructura de la organización en la que se realizan los mantenimientos



**Figura 4.9.** Jornada de ejecución de actividades de mantenimiento.

## 4.6 Mejorar (Improve)

*Actividad 3.6.1* En la figura 4.10 se demuestra gráficamente la distribución que se obtendrá a partir de la modificación de la distribución de las órdenes de mantenimiento enfocándose en tipos de maquinaria en vez de distribución por estaciones de trabajo.



**Figura 4.10** Distribución futura de órdenes de mantenimiento.

*Actividad 3.6.2* Utilizando los planes de la actividad 3.1.4 se realiza un conteo de la cantidad de horas necesarias para cada tipo de maquinaria. Las órdenes que fueron incluidas en este conteo son únicamente las órdenes de mantenimiento que se deben de realizar cuando la línea se encuentra detenida. Esto debido a que solamente un día en la semana es posible realizar este tipo de órdenes ya que el resto de la semana la línea se encuentra trabajando continuamente.

En la tabla 4.8 se muestra la distribución de cargas de trabajo en promedio semanal que se debe de distribuir en los técnicos de mantenimiento por cada uno de los tipos distintos de familia.

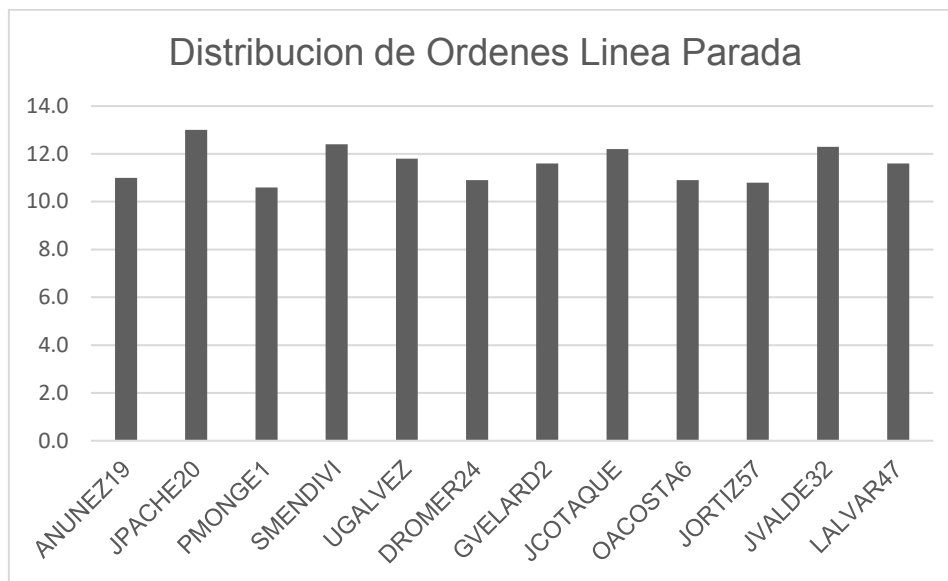
Tipo de Equipo	Horas de Mantenimiento por semana
Bomba de sello	6.1
Cadena	20.9
Cargador interior	12.7
Controlador de pistola	1.0
Controlador de robot	0.9
Fixture	14.1
Fresadora	17.7
Grúas	4.6
Pistola de Soldadura	21.2
Over & Under	10.4
Panel	0.3
Robot	25.8
VersacARRIER	0.2
Versalift	6.1
Versaroll	8.4
Otros	35.0

**Tabla 4.8** Carga de trabajo promedio por semana.

*Actividad 3.6.3* Antes de realizar las modificaciones de órdenes de mantenimiento, con ayuda del equipo de trabajo se elaboraron un listado de reglas o restricciones que se deben de seguir para la distribución de órdenes. Las reglas son las siguientes:

1. Las órdenes de mantenimiento clasificadas de seguridad no pueden ser modificadas.
2. Se debe de asignar la menor cantidad de diversidad de equipo automático por técnico.
3. Las cargas de trabajo deben de ser similares en todos los técnicos.

*Actividad 3.6.4* Se distribuyen las cargas de trabajo entre la cantidad de técnicos disponibles para órdenes de mantenimiento. Las cargas en horas promedio por semana pueden ser observadas en la siguiente figura 4.11.



**Figura 4.11** Distribución nueva de órdenes línea parada.

*Actividad 3.6.5* A cada tipo de equipo automático distinto se le asignó un técnico experto, el cual su función es la de inspeccionar y entrenar la ejecución de las órdenes de mantenimiento al resto de los técnicos que tuvieran que realizar estas órdenes. Este técnico experto fue seleccionado por el grupo de trabajo basándose en la experiencia que tuviera con esta maquinaria.

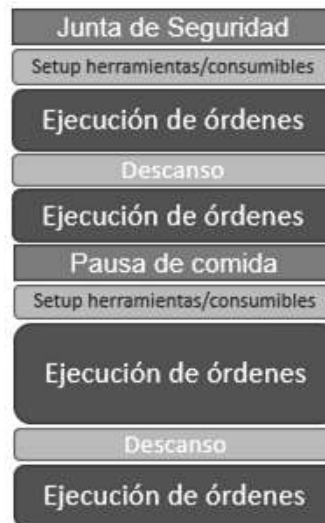
## 4.7 Control

*Actividad 3.7.1* Una vez realizados los cambios se estuvo monitoreando con ayuda del grupo de trabajo y los expertos en cada tipo de equipo, con el fin de encontrar áreas de oportunidad en las nuevas asignaciones de mantenimientos. El área de oportunidad de este cambio se enfocó más en los entrenamientos del personal con órdenes de mantenimiento que anteriormente no realizaban, por lo cual se les dio mayor atención a estos técnicos con el fin de no afectar la disponibilidad del equipo debido a un mal mantenimiento.

Una vez terminados los entrenamientos se tomó nuevamente la misma muestra de 12 técnicos con órdenes de mantenimiento preventivo y se realiza la observación de las actividades que realiza, así como su secuencia. En la figura 4.12 se demuestra

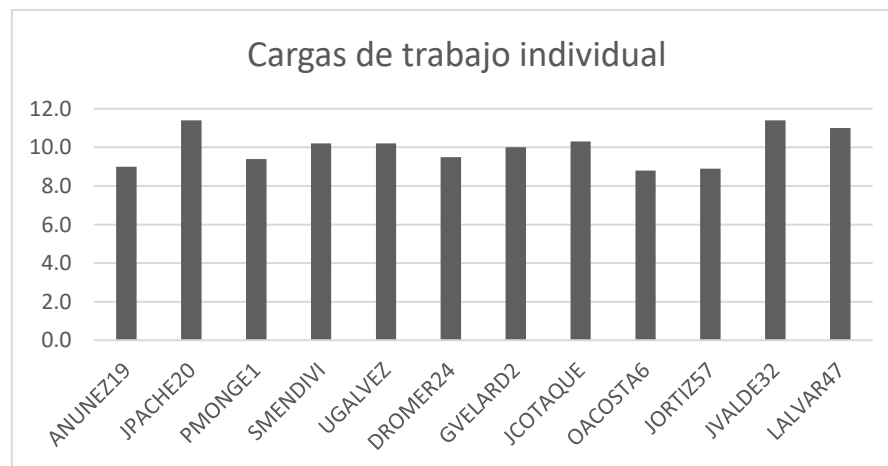


gráficamente la nueva secuencia de un técnico. Al reducir la cantidad de tipos de maquinaria que debe inspeccionar, se reduce los tiempos de preparación del herramental necesario.



**Figura 4.12.** Nueva jornada de ejecución de actividades de técnico.

Se mide la nueva carga de trabajo con la nueva distribución de actividades de la muestra y la gráfica de los datos se puede observar en la figura 4.13. Donde se observa una reducción en tiempo en cada uno del personal, aproximándose a la carga de trabajo ideal de 7.5 horas.



**Figura 4.13.** Carga de trabajo individual después de entrenamientos.

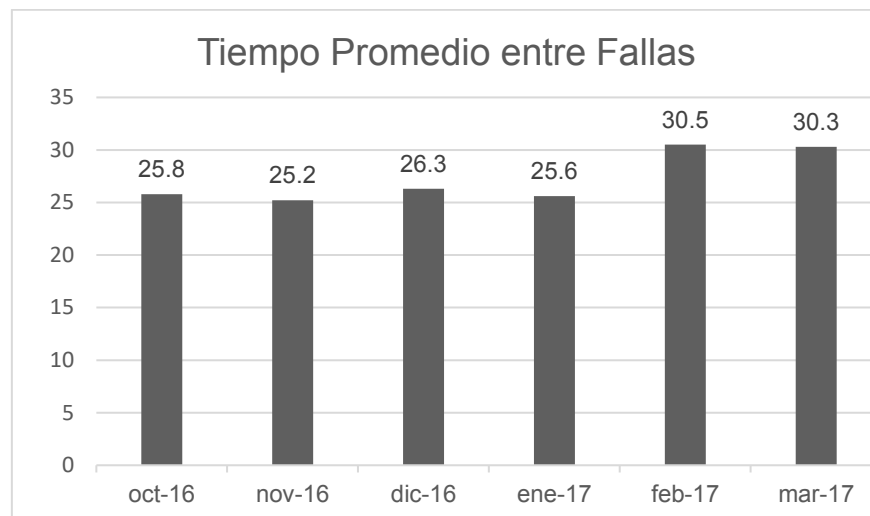
Se obtiene una reducción promedio de 1.58 horas por jornada laboral por técnico en la muestra. Con esto se reduce la cantidad de tiempo extra requerido para terminar por completo los mantenimientos semanales.

*Actividad 3.7.2* Se establecen reuniones semanales con el grupo de trabajo, con el fin de revisar secuencialmente las órdenes de mantenimiento por equipo automático. Se busca encontrar áreas de oportunidad para reducir la cantidad de tiempo necesario en cada mantenimiento, y aumentar la habilidad de los técnicos en realizar sus órdenes de mantenimiento a base de entrenamientos en sus equipos. Con estas reuniones se pretende evitar que con el paso del tiempo las órdenes vayan quedando obsoletas debido a que el equipo requiera de otro tipo de mantenimiento ocasionado por el desgaste de la maquinaria.

## **4.8 Comparación**

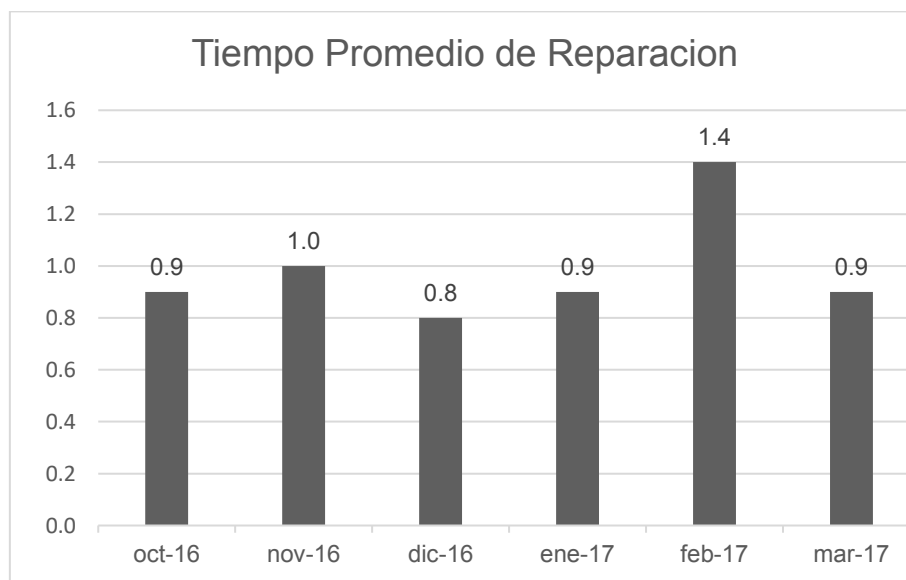
En este capítulo se pretende realizar una muestra del estado inicial de los indicadores de MTBF y MTTR de la línea de producción en esta área. Esto será un auxiliar para determinar los impactos obtenidos gracias a el proyecto desarrollado, y obtener un valor que describa las dimensiones de los impactos mencionados.

En la figura 4.14 se muestra el histórico del MTBF de la Zona 2, las implementaciones del proyecto fueron ejecutadas en diciembre del año 2016. En esta figura se puede mostrar que antes de la implementación se tenía un tiempo promedio entre fallas de alrededor 25.6 minutos. Después del cambio el tiempo promedio aumento y supero los 30 minutos. Con una tendencia pronunciada hacia al aumento del tiempo. Esto refleja una mejora comparando el MTBF mensual posterior al proyecto, ya que existe un mayor lapso entre el cual una falla en el equipo es presentada, aumentando el tiempo que se tiene disponible la maquinaria para trabajar.



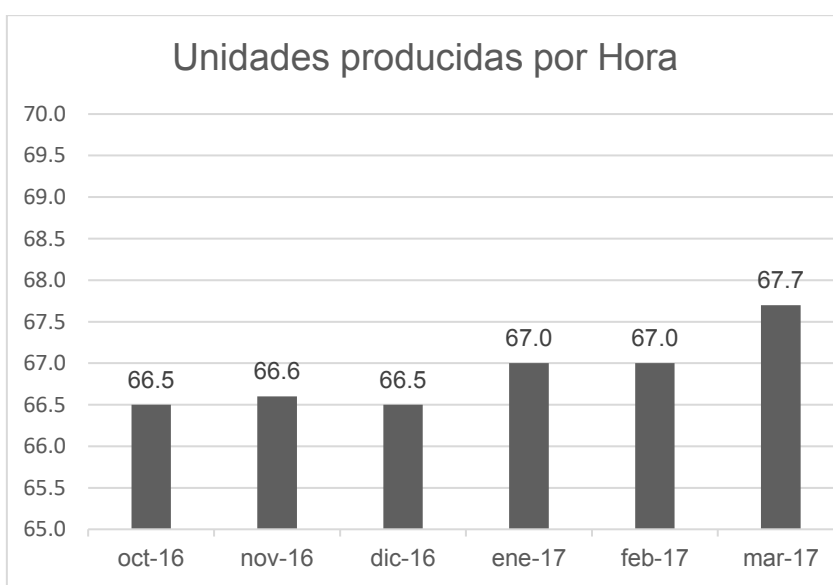
**Figura 4.14.** Histórico de tiempo promedio entre cada falla.

Mientras que en la figura 4.15 se observa un incremento en el tiempo de resolución de las fallas. Antes de la aplicación del proyecto una falla era solucionada aproximadamente en 0.9 minutos, mientras que después del ajuste este tiempo se incrementó considerablemente en el mes de febrero superando el minuto y llegando a 1.4 minutos en el tiempo de resolución de fallas. En el mes de marzo se puede observar que la media se restableció a los niveles iniciales.



**Figura 4.15.** Histórico de tiempo promedio de reparación de las fallas.

Las acciones del proyecto aplicado dieron como resultado un cambio en la producción del departamento de carrocerías. En la figura 4.16 se observa una mejora en la cantidad de unidades producidas por año a partir de la fecha de ejecución del proyecto, es decir a partir de diciembre del 2016 se aumentó la productividad del departamento de carrocerías. El aumento fue de un promedio de 66.6 unidades producidas por hora en el mes de noviembre del año 2016, hasta llegar a un 67.7 unidades por hora en el mes de marzo.



**Figura 4.16** Histórico de unidades producidas por hora.

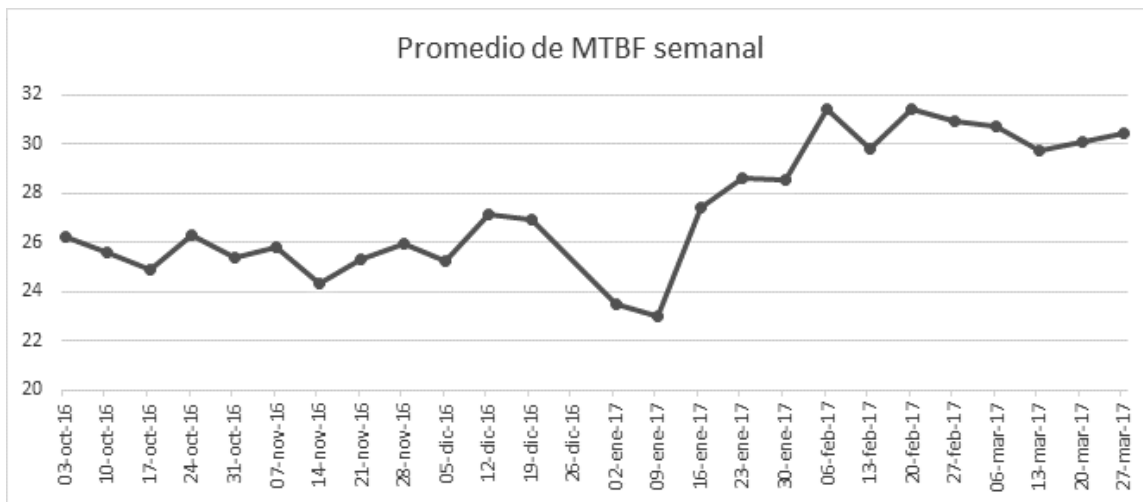
La aplicación del proyecto incremento la producción en 26.1 unidades diarias. Reduciendo la pérdida de volumen ocasionada por una deficiencia en el sistema de mantenimiento que se utilizaba con anterioridad. La nueva estructura de mantenimiento ayuda a mantener el equipo corriendo durante mayor tiempo sin presentarse una falla y mantiene los tiempos de reparación del equipo automático cuando se presenta una falla.

## 5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A continuación, se describen las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros relacionados con el trabajo desarrollado.

### 5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos por la aplicación de este proyecto coinciden parcialmente con la hipótesis planteada al inicio del documento. La reestructuración del plan de mantenimiento incrementa el tiempo promedio en cual se presenta una falla en el equipo automático, en la figura 5.1 se observa el promedio semanal de MTBF desde la implementación del equipo.



**Figura 5.1.** Promedio de MTBF semanal.

Por otro lado, el tiempo promedio de reparación de cada falla no muestra una diferencia significativa, ya que los datos posteriores a la aplicación del proyecto son similares a los obtenidos después de la implementación. Con esto se concluye que la planificación del mantenimiento preventivo y la ejecución de las ordenes no impactan directamente con el indicador de MTTR. Para obtener los factores que impacten directamente a este

indicador se debe de realizar un estudio con herramientas que reduzcan los tiempos en procesos y no los desperdicios.

El resultado de ambos indicadores (MTBF y MTTR) incrementa la disponibilidad del equipo automático y en consecuencia aumenta el rendimiento de la línea de producción.

Se lograron estos resultados gracia a la aplicación de herramientas de mejora continua como:

- DMAIC
- Diagramas Ishikawa
- Matriz de causa y efecto
- Tormenta de ideas
- Clasificación de las 5s

Estas herramientas fueron esenciales para la detección de los factores que ocasionaban un déficit en el sistema de mantenimiento actual. Ya que al utilizarlas se logró simplificar el sistema de mantenimiento, y con esto se pudo identificar con mayor facilidad los desperdicios y encontrar una solución para reducirlos.

Se concluye también que un aspecto indispensable para mejorar los resultados de una estructura de mantenimiento es la unificación de procesos. Al incrementar la diversidad del equipo automático, también se incrementan los costos de reparación, herramientas necesarias para el mantenimiento y partes de repuesto, así como el entrenamiento necesario para el personal de mantenimiento y tiempo que se requiere para obtener un nivel de experiencia suficiente para una resolución de problemas en un tiempo corto.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda utilizar este documento como auxiliar en investigaciones realizadas en fábricas automotrices y en la industria manufacturera en general, al momento de establecer un sistema de mantenimiento y tomar en cuenta los resultados obtenidos.

Utilizar las herramientas de mejora continua para reducir los desperdicios y la variación en los sistemas de mantenimiento que se utilizan actualmente, detectando áreas de oportunidad y posibles fabricas ocultas que estén evitando aprovechar completamente los recursos disponibles, ya sea mano de obra, material, entrenamientos o herramientas de trabajo.

Realizar una investigación de sistemas similares donde se pueda replicar este proyecto, y documentarlo con el fin de realizar una comparación y establecer si los resultados coinciden con los de este documento.

### **5.3 Trabajos Futuros**

Gracias a la aplicación y los resultados obtenidos por este proyecto se creó la alianza con la empresa automotriz donde se aplicó el proyecto, para replicar este proyecto en el resto de la planta de Hermosillo. Los resultados favorables se intentarán conseguir en las otras áreas de la fábrica y utilizará este documento como guía para desarrollarlo de la misma forma. En caso de tener variaciones en la secuencia de los pasos seguidos se realizarán nuevas versiones de este documento para complementar el proyecto inicial.

Existe la posibilidad de trabajar con el indicador de MTTR y encontrar áreas de oportunidad en el sistema de reparación de equipo que permita reducir el tiempo promedio en el que el equipo queda restaurado. Así como los costos de reparación en cada uno de los equipos con los que cuenta la empresa.

Por último, se detecta oportunidad de trabajar con la cantidad de órdenes de mantenimiento, para poder reducirlas a una cantidad que sea más adaptable a las cargas de trabajo con el personal disponible en el departamento de carrocería.

## 6. REFERENCIAS

Adis, T. (2009) 'Sustainable Cost Reduction By Lean Management In Metallurgical Processes', *Metalurgija*, 55(4), pp. 846–848.

Bossidy, L. (2011) 'SIX SIGMA CONCEPT', *Faculty of Engineering*, 4(1), pp. 103–109.

Butt, I. (2014) 'Reduction in Repair rate of Welding Processes by Determination & Controlling of Critical KPIVs', *International Journal of Production Management and Engineering*, 2(1), pp. 23–36.

Cox, C. (2015) 'Lean Manufacturing: An Analysis of Process Improvement Techniques', *Franklin Business & Law Journal*, 1(2), pp. 1–9.

Gollan, P. *et al.* (2015) 'Lean manufacturing as a high-performance work system : the case of Cochlear', *International Journal of Production Research*, 52(2), pp. 6434–6447.

Herzog, N. and Tonchia, S. (2014) 'An instrument for measuring the degree of lean implementation in manufacturing', *Journal of Mechanical Engineering*, 60(12), pp. 797–803.

Ismail, A. *et al.* (2014) 'Application of Lean Six Sigma Tools for Cycle Time Reduction in Manufacturing: Case Study in Biopharmaceutical Industry', *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(2), pp. 1449–1463.

Kumar, D. and Kaushish, D. (2015) 'Scrap Reduction in a Piston Manufacturing Industry: An Analysis Using Six Sigma and DMAIC Methodology', *Journal of Operations Management*, 14(2), pp. 7–25.

Kumar, P. and Kajal, S. (2015) 'Implementation of Lean Manufacturing in a Small-Scale Industry', *Journal of Operations Management*, 14(2), pp. 25–34.

Miller, G. *et al.* (2013) 'A case study of lean and sustainable manufacturing', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), pp. 11–32.

Nguyen, D. (2015) 'A New Application Model of Lean Management in Small and



- Medium Sized Enterprises', *International Journal of Simulation Model*, 14(2), pp. 289–298.
- Raghunath, A. and Jayathirtha, R. (2014) 'Six sigma implementation by Indian manufacturing smes - An empirical study', *Academy of Strategic Management Journal*, 13(1), pp. 35–56.
- Rajenthirakumar, D. *et al.* (2013) 'Measuring the Impact of Lean Tools in a Machinery Manufacturing Company', *International Journal of Engineering*, 11(3), pp. 149–155.
- Ramuné, C. and Milita, V. (2013) 'Lean manufacturing implementation: the main challenges and barriers', *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 35(1), pp. 41–48.
- Ray, S. *et al.* (2013) 'Measuring six sigma project effectiveness using fuzzy approach', *Quality and Reliability Engineering International*, 29(3), pp. 417–430.
- Stoiljković, V. *et al.* (2014) 'Improving the Efficiency of the Center for Medical Biochemistry Clinical Center Nis by Applying Lean Six Sigma Methodology', *Journal of Medical Biochemistry*, 33(3), pp. 299–307.
- Taggart, P. and Kienhöfer, F. (2013) 'The effectiveness of lean manufacturing audits in measuring operational performance improvements', *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(8), pp. 140–154.
- Thun, J. *et al.* (2010) 'Empowering Kanban through TPS-principles – an empirical analysis of the Toyota Production System', *International Journal of Production Research*, 48(23), pp. 7089–7106.
- Vienazindiene, M. and Ciarniene, R. (2013) 'Lean Manufacturing Implementation and Progress Measurement.', *Economics & Management*, 18(2), pp. 366–373.
- Wang, F. K. and Chen, K. S. (2014) 'Evaluating management consultants for six sigma projects', *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(3), pp. 2371–2379.
- Yang, J. and Goh, T. N. (2014) 'Some Considerations on Six Sigma Implementation in

an East Asian Environment', *Curent Issues of Business and Law*, 9(1), pp. 177–194.

Jayaraman, J. *et al.* (2012) 'The perceptions and perspectives of Lean Six Sigma (LSS) practitioners: An empirical study in Malaysia'. *The TQM Journal*. Vol. 24, No. 5, pp. 433 – 446.

Kubiak, T. M. (2011). 'Six Sigma in the 21st century'. *ASQ Six Sigma Forum Magazine*. Vol. 11 No 1, pp. 7.

Snee, R.D. (2010), "Lean Six Sigma – getting better all the time", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1 No. 1, pp. 9-29.

Sellers, M, *et al.* (2013), 'Development and participant assessment of a practical quality improvement educational initiative for surgical residents', *Journal of the American College of Surgeons*, vol. 216, no. 6, pp. 1207-13.

Lin, C, Frank, *et al.* (2013), 'Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology', *RCM Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 3, pp. 95-103.

Mantilla, C. & Sánchez, G. (2012). 'Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma', *ESTGER Estudios Gerenciales*, vol. 28, no. 124, pp. 23-43.

Sahoo, A, Tiwari, M & Mileham, A 2008, 'Six Sigma based approach to optimize radial forging operation variables', *Journal of Materials Processing Technology Journal of Materials Processing Technology*, vol. 202, no. 1-3, pp. 125-36.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1.

#### **ACTIVO: 157158, B27-6X90TD2, Robot 6X-90-2 Tip Dresser (Stillwater)**

**PT: 173960: 3TD00001 Tip Dresser fresadora de electrodo (Stillwater) MP LP SEMANAL**

Tip Dresser fresadora de electrodo (Stillwater) MP LP SEMANAL 3TD00001

PREVENIR DETERIORO DE EQUIPO APLICANDO LOS PASOS DE FTFM:

\* ELIMINACION DE FUENTES DE CONTAMINACION Y LIMPIEZA

\* PROCEDIMIENTOS DE LUBRICACION, SEGURIDAD Y LIMPIEZA

1. Ajustar y checar marcas de los 2 tornillos del motor de la fresadora, y checar los 8 tornillos allen de 4 mm que sujeta el cuerpo del motor de la fresadora.

2. Verificar que la base que sujeta a la fresadora está bien fijada al piso o a una plataforma según sea el caso, mover estructura y checar marcas de tornillería. NOTA: Es muy importante que el único movimiento que tenga la fresadora sea el de Amortiguación. Si no es así avisar a mantenimiento.

3. Si el equipo cuenta con atrapa rebabas, hay que limpiarlo, quitar los 3 tornillos allen de 4 mm, que sujetan las tapas del atrapa rebabas; limpiar las tapaderas y los cortadores con franela.

4. Revisar la condición de las navajas de las fresadoras; que no estén quebradas o dañadas. NOTA: Checar el FACE Y NO FACE de la navaja con la base de la Navaja.

5. Revise las funciones del ecualizador. Checar que los resortes absorban el impacto de la pistola y trabajen en forma correcta, estos deben de correr libremente y no presentar señales de desgaste.

6. Revisar que el cable no tenga defectos y que este bien ajustada la conexión del sensor. Y checar estado mangueras y conectores.

7. Checar el filtro de aire (color rojo, si el indicador está en verde esta OK. Si esta en rojo elaborar Orden correctiva). (Ojo en caso de que la mirilla este de color amarillo indica que tiene tapón para reparar fuga en mirilla dañada como acción interina.)

8. Revisar que las mangueras de suministro de aire, así como la conexión rápida a la fresadora, no este dañada ni tenga fuga de aire

9.-Revisar que la conexión rápida que va a la fresadora TENGA PUESTO EL CINCHO, este asegura que el conector no se salga.

NOTA: Hacer limpieza general con franela a fresadora y una vez terminada la actividad depositar franela en bolsas verdes.

Anexo 2.

Entrevista a Tecnico de Mantenimiento de Carrocerias	
Evaluacion y Reporte de Anormalidades en el sistema de mantenimiento actual	Fecha: _____
Nombre del Técnico:	Supervisor de Proceso:
Nomina:	Zona:
Lider de Mantenimiento:	Andon o Preventivo :
<p><b>Proceso:</b> Esta entrevista consta de 2 fases.</p> <p>Fase 1.- Realizar preguntas al Tecnico y reafirmar su conocimiento de la operación. Para poder cuantificar de manera abstracta el nivel de conocimiento que tiene de la labor que realiza.</p> <p>Fase 2.- Consta de una seccion abierta donde el tecnico puede expresar sus ideas de areas de oportunidad o areas de mejora del sistema actual de mantenimiento.</p>	<p style="text-align: center;">Fase 1</p> <p>Se realizaran 10 preguntas anteriormente elaboradas al tecnico de mantenimiento. Cada respuesta sera calificada con un numero entre 1 y 10, donde 1 indica un nivel de conocimiento pobre, y 10 indica un nivel de conocimiento deseado. En cada pregunta se establece una respuesta como apoyo al entrevistador de la respuesta que seria la ideal.</p>
<b>Preguntas</b>	<b>Nivel de Conocimiento deseado</b>
1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
¿Tienes disponibles todas tus ordenes de mantenimiento y entiendes claramente tus actividades ?	Daba de saber donde estan localizados sus planes de trabajo ( carpeta ) y contar con ellos cada vez que se realiza una actividad de mantenimiento.
2	
¿Qué haces antes y despues de realizar tus actividades de mantenimiento ?	Entiende que debe dejar ordenada y limpia su area antes y despues de cualquier actividad. Debe de explicar los riesgo de incendio al dejar materiales en su equipo y condiciones de riesgo que se generan para sus compañeros de trabajo.
3	
¿Realizas el total de tus ordenes de mantenimiento y entiendes la consecuencia de omitir alguna actividad de tus ordenes de mantenimiento?	Reforzar implicaciones que tiene el no realizar alguna actividad de mantenimiento, que pueden provocar paros de linea , generacion de defectos de calidad y condiciones de riesgo . Comentar que es una omision al proceso.
4	
Explica 3 ordenes mantenimiento que realizas.	Compara su explicación con los planes de trabajo de la carpeta, debe ser capaz de explicar paso a paso cada una de sus actividades tal como lo indican sus planes de trabajo impresos en su carpeta.
5	
¿Se requiere de algún tipo de facilidad , herramientas o ayuda para realizar tus ordenes de mantenimiento ?	Compara su respuesta con las ordenes de mantenimiento de su carpeta, donde describe la secuencia para la ejecucion y las herramientas necesarias.
6	
¿Es suficiente el tiempo para realizar tus planes de trabajo ?	Tiene conocimiento de la cantidad de ordenes de mantenimiento que tiene que realizar por semana y el tiempo aproximado que le toma en realizarlos.
7	
¿Cuentas con la herramienta necesaria para ejecutar tus planes de mantenimiento?	Daba de contar con la herramienta que se describe en la carpeta de planes de trabajo.
8	
Si detectas alguna anomalía , daño o falla de componentes en el equipo , ¿qué procedimiento sigues?	Debe de conocer el proceso de reporte de anomalías, solicitar soporte de su Lider de Mantenimiento o Asesor de Proceso para que la anomalía sea evaluada.
8	
¿Qué debes de hacer al encontrar una condición insegura?	La respuesta es reportar la condicion insegura a su Lider de Mantenimiento y supervisor de proceso para generar el reporte y solicitar los recursos necesarios para eliminarla.
10	
¿Conoces el plan de reacción al presentarse un paro de equipo ?	Tecnico debe avisar a Lider de Mantenimiento y si en 10 min no se restablece la falla deberan aplicar el proceso de Bypass.
Fase 2	En esta seccion se utilizan las preguntas anteriores para que tecnico pueda expresar sus ideas de necesidad o idea de como mejorar el proceso de mantenimiento.
<b>Sugerencias del tecnico para resolver problemas o ideas de mejora continua</b>	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	