



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LOS
PROCESOS DE PINTADO DE CARROCERÍAS CON
MEJORA CONTINUA**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA
DAVID GARCÍA VÁZQUEZ

DIRECTOR
Mtro. CARLOS ROBERTO IBÁÑEZ JUÁREZ



Oficio D-SA 1993/2019

C. DAVID GARCÍA VÁZQUEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
Presente.

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LOS PROCESOS DE PINTADO DE CARROCERÍAS CON MEJORA CONTINUA”.

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor al Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Tlaxcala 13 de agosto de 2019

M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director



M'FDLH/M'AJT/BARV
C.c.p. Interésado
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Bld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M. en I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Presente.


El que suscribe: Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez, Asesor del tema de tesis:

"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LOS PROCESOS DE PINTADO DE CARROCERÍAS CON MEJORA CONTINUA".

Presentada por el C. David García Vázquez, pasante del Colegio de Ingeniería Industrial, y en atención al oficio No. D- SA 1993/2019 con fecha de emisión 13 de agosto de 2019, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z. a. 30 de agosto de 2019


Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez
Asesor

M'CRIJ/BARV
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, por la oportunidad de nacer, crecer y vivir en el entorno que me puso, y por todas las bendiciones que me ha traído.

Quiero agradecer a mi madre, por enseñarme el valor de la vida, de la solidaridad y la compasión. A mi hermana, por enseñarme el valor del perdón y la gratitud. A mi hermano, por el valor del compañerismo y el sacrificio.

Pero sobretodo, quiero agradecer a mi padre, por ser ejemplo de constancia, esfuerzo, sacrificio, paciencia, y a no conformarse con menos de lo que espera y por lo que trabaja.

Gracias a mi familia, por apoyarme en cada decisión, por más loca o poco coherente que he tomado, por ser refugio de mis tristezas, y el inicio de todas mis alegrías.

Gracias a los amigos, profesores, que a lo largo de toda mi vida escolar he tenido la dicha de conocer y compartir distintas etapas de mi vida.

Gracias al maestro Carlos Ibáñez por estar al pendiente de este proceso desde su comienzo.

Gracias a mi Universidad, por permitirme expandir mis panoramas, por enriquecerme con tantas experiencias multiculturales y darme la oportunidad de ser alguien distinto a quien inició su etapa universitaria en 2013.

Gracias a la Universidad del Atlántico en Colombia, por abrirme las puertas de sus aulas para seguir llenándome de conocimientos en tan enriquecedora experiencia de un intercambio académico.

Gracias a Volkswagen de México, por brindarme mi primera experiencia laboral, y la confianza de aplicar los conocimientos adquiridos durante mi vida universitaria.

Gracias a Quinipet Camp, New York, por tan bella, multicultural experiencia, llena de amor y aventura.

A todos los que fueron parte de este proceso, de este sueño que hoy alcanza la realidad.

Gracias a ti.

Gracias a la vida, por tanto.

Índice general

Agradecimientos.....	1
Índice general.....	3
Índice de ilustraciones.....	5
Resumen.....	7
Abstract.....	9
Introducción.....	11
Problemática.....	12
Objetivos.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
Justificación.....	14
Alcances.....	16
Capítulo I.- Antecedentes históricos y marco teórico de Six Sigma.....	17
1.1 Lean Six Sigma.....	17
1.1.1 Definición de Lean Six Sigma.....	18
1.1.2 Antecedentes Lean Six Sigma.....	20
1.1.3 Enfoque Lean Six Sigma.....	22
1.1.4 Aplicaciones Lean Six Sigma.....	24
Capítulo II.- Industria Automotriz.....	25
2.1 Introducción a la Industria Automotriz.....	25
2.1.1 Volkswagen.....	26
2.1.2 Industria Automotriz en México.....	26
2.1.3 Volkswagen de México.....	28
2.1.4 Golf.....	29
Capítulo III.- Descripción de fases y herramientas de la metodología DMAIC.....	33
3.1 Introducción a la metodología DMAIC.....	33
3.2 Desarrollo de la metodología DMAIC.....	33
3.2.1 Descripción de las fases de DMAIC.....	33
3.2.2 Herramientas a utilizar.....	35

Capítulo IV.- Proceso de pintado de carrocerías	44
4.1 Descripción del proceso	44
4.1.1 Descripción de subprocesos	44
4.2 Situación actual en el proceso de pintado.....	50
4.2.1 Problemas en el proceso de pintado.....	50
4.2.2 Elección de problema a resolver.....	51
4.2.3 Análisis de la situación.....	51
4.2.4 Impacto económico.....	52
Capítulo V.- Desarrollo de la metodología DMAIC en el proceso	55
5.1 Desarrollo de las fases aplicadas al proceso	55
5.1.1 Definir	55
5.1.2 Medir.....	63
5.1.3 Analizar.....	70
5.1.4 Mejorar.....	72
5.1.5 Controlar	74
Capítulo VI.- Conclusiones	76
6.1 Resultados	76
6.1.1 Resultados económicos.....	79
6.2 Conclusiones	81
6.3 Recomendaciones	83
Bibliografía	84
Glosario de términos	85

Índice de ilustraciones

4P's (Socconini, 2016)	16
Lean Six Sigma Tool Kit	20
Estructura de Deming (Socconini, 2016)	21
Círculo de Deming o PDCA	21
Evolución de Lean Six Sigma	22
Enfoque Lean Six Sigma 1	22
Enfoque Lean Six Sigma 2	23
Enfoque Lean Six Sigma 3	23
Requerimientos Lean Six Sigma	24
Tabla 1.- Las automotrices más importantes en 2013 (Forbes Staff, 2013)	25
Producción anual de autos en México (Expansión México, 2016)	27
Producción anual de autos de VWM	29
Golf A1. Fuente: CarBase.com	30
Golf A2. Fuente: Motorpasión	30
Golf A3. Fuente: MotorGiga.com	30
Golf A4. Fuente: Autoevolution	30
Golf A5. Fuente: Autoevolution	31
Golf A6. Fuente: ForoCoches.com	31
Ficha Técnica Golf A7 GTI 2018 Fuente: El Universal	31
Golf A7. Fuente: tuningblog.eu	32
Evolución del Golf	32
Ejemplo de mapa de valor	36
Ejemplo de Project Charter	36
Ejemplo de SIPOC	37
Ejemplo de QFD	37
Ejemplo de Histograma	38
Ejemplo de Pareto	38
Ejemplo de carta P	39
Ejemplo de carta NP	39
Ejemplo de Diagrama de Ishikawa	41
Tabla GUT	42
Ejemplo de AMEF	42
Diagrama de flujo del proceso	46
Proceso de KTL	47
Zonas de afectación en la carrocería	52
Lijas extras	53
Inversión anual en lijas extras	53
Gasto anual en lijas extras	54
VSM de Pintura	57
Detalle de VSM de Pintura	58
Project Charter	59
Equipos con intervención de variables en el proceso	60

SIPOC	61
Casa de la calidad	62
Diagrama de Pareto	64
Diagrama de Ishikawa	65
5 Por qué	66
Datos Carta P	66
Carta P condición antes DMAIC	67
Carta NP condición antes DMAIC	68
Parámetros OEE	69
Niveles de cálculo de OEE	69
Método GUT	71
AMEF	72
Selección de soluciones	72
Acciones de mejora	73
Lecturas posteriores a las acciones	76
Carta P condición después de DMAIC	77
Carta NP condición después DMAIC	78
Estudio financiero de condición anterior	79
Estudio financiero de condición actual	80
Ahorro en lijas	80

Resumen

El presente trabajo de grado consiste en la presentación de una metodología que busca a través de la eliminación de los 8 tipos de desperdicio en la industria, mejorar la calidad en el proceso y así incrementar los volúmenes de producción y los niveles de eficiencia.

Dicho trabajo es aplicable en casi cualquier tipo de industria, sin embargo, en ésta caso, el estudio que se presenta está basado en una industria del ramo automotriz.

Éste proyecto de grado inicia con la presentación de la historia de Lean Six Sigma, remontados a inicios del siglo XXI, cuando dos metodologías (“Lean Manufacturing” de origen japonés por Toyota después de la segunda guerra mundial, y “Six Sigma” con Motorola Inc, la estadounidense de comunicaciones siendo su pionera en la década de los 80’s), fueron mezcladas para unir esfuerzos y compartir estrategias que logran remover los 8 tipos de muda o desperdicio en la industria.

De Lean Six Sigma, se desprende una metodología llamada “DMAIC”, acrónimo en inglés de: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Metodología a la cual haremos mención de su historia, antecedentes de aplicación en la industria.

Posteriormente se irá introduciendo la importancia que tiene hoy en día la industria automotriz, un poco de su historia y su desarrollo actual en nuestro país, así como su importancia e impacto económico en la zona geográfica que la empresa se encuentra, así como en todo el territorio nacional de México. La historia de la empresa, su historia en México, y la historia del producto en la cual tendremos nuestro estudio específico.

Más adelante, se hará una presentación más a detalle de cada una de las fases de la metodología DMAIC, la descripción y justificación de cada una de las herramientas de control, que serán utilizadas en todas las fases que comprenden el desarrollo de éste proyecto de grado.

Iré describiendo el proceso productivo en el cual realizamos dicha investigación, mencionando antes, a groso modo, los procesos que le preceden, y los que le continúan. Siendo más específicos en el proceso productivo al cual nos enfocamos, describiendo cada fase que está involucrada en el proceso.

Haré una primera presentación de las principales fallas que se tienen dentro de nuestro proceso productivo, de la cual se realizará un primer análisis que dará como resultado, la falla en la cual la metodología DMAIC, será utilizada para el desarrollo de éste proyecto.

Luego entonces, la presentación de todas las herramientas aplicadas, los resultados que éstas irán obteniendo, de acuerdo al desarrollo del proyecto, se irán mostrando de acuerdo al orden de la fase a la que pertenecen.

De la misma manera, en que se hizo el desarrollo de las herramientas anteriormente, por fases, los resultados finales, se presentarán junto con la comparación de las condiciones que se tenían antes del uso de la metodología DMAIC.

Para concluir, en el último capítulo, haremos mención de las conclusiones a las que ésta investigación nos llevó, así como las recomendaciones y medidas finales, tomadas con el apoyo de Lean Six Sigma, durante toda la investigación.

Abstract

This Grade Project consists in a methodology that wants through eliminate the eight kind of wastes in the industry, Improve the Quality and to increase the production volume and efficiency levels.

This Project can be applied in almost every type of industry, however, in this case, this study is based into an automotive industry.

This Project starts introducing the “Lean Six Sigma” methodology, its history, its beginnings go back from the start of 21st century, when two methodologies, (Lean Manufacturing from Japan by Toyota after the second world war, and Six Sigma by Motorola Inc, a communication company from USA which started using it since the 80's) were mixed to share efforts and strategies that seek to eliminate the 8 kind of wastes in the industry.

There is a system that comes from the Lean Six Sigma called “DMAIC”, acronym of “Define”, “Measure”, “Analyze”, “Improve” and “Control”. I will mention its history and its applications backgrounds in the industry.

Later I will introduce you into the importance of the automotive industry nowadays, a few about of its history and today development in our country. In the same way, the importance and economic impact in the zone of the country where the Enterprise is, and in all the national territory of Mexico. The Enterprise history, its history in Mexico, and of course, the history of the specific product I did the study.

Ahead, I will introduce you, in a more detailed way each one of the phases of the DMAIC methodology, the description and justification of each one of the control tools, that will be used in every phase in the development of this Thesis Project.

I will be describing the productive process in which the research is done, but before, I will mention, roughly, the productive process there are before and the productive process there are after. And I will be more specific in the mean productive process, describing each phase there is involved into the process.

I will make a first presentation about the principal troubles we have into the mean productive process in which I will make a first analysis that will give us as a result our mean trouble, and this one will be in which the methodology DMAIC will be applied for the development of this Tesis Project.

In the same way, I previously made the presentation of the tools, for phases, the final results will be shown with the comparison of the conditions we had before using the DMAIC methodology

For finishing, in the last chapter, I will mention the conclusions, which this research took me, and also the recommendations and final rules taken by following the Lean

Six Sigma support, all research long.

Introducción

La industria automotriz, es una de las más importantes industrias de manera global en nuestra actualidad. Esto debido a que es una de las más rentables hoy en día, puesto que casi todo el mundo utiliza los automóviles para moverse en su vida cotidiana.

Además, la industria automotriz, está siempre a la vanguardia en innovación y desarrollo tecnológico. Siempre pendiente a las exigencias y necesidades de los clientes, puesto que éstas cambian y se hacen más grandes cada año.

Existen 15 empresas del ramo automotriz consideradas como las más importantes, entre las cuales como la principal se encuentra la alemana “Volkswagen Group” (Forbes Staff, 2013).

Es por ello, que para Volkswagen Group, o alguna de las otras 14 automotrices incluidas en lista, o cualquiera que aspire a estar dentro de ésta lista, que deben tomar muy en cuenta la calidad en la superficie de sus autos (sin descuidar la calidad en interiores, motores, componentes, etc.), pues la superficie de sus autos, es lo primero que consumen los clientes, pues la vista es el primer sentido cautivado de los clientes, esto por la estética, la pintura y los detalles de pintura que adornan la carrocería.

Los sistemas de gestión de la calidad, son muy flexibles, lo cual quiere decir, que son aplicables en casi cualquier tipo de industria, y en casi cualquier tipo de proceso productivo.

Existe una metodología, resultado de la fusión de ideas de dos metodologías que ya han demostrado su eficiencia en algunas empresas a lo largo de décadas pasadas, y que desde hace poco más de una década y media, desde que comparten objetivos, ha demostrado su efectividad, esa metodología es Lean Six Sigma, que combina la disciplina de la cultura nipona, con la visión de hacer negocios de la cultura norteamericana, para lograr como resultado final, la mejora de calidad en los procesos y productos, así como una mejor utilidad financiera.

De la metodología Lean Six Sigma, se desprende un sistema llamado, “DMAIC”, acrónimo con siglas en inglés de “Define” “Measure”, “Analyze”, “Improve” y “Control” (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), cuyo propósito es la resolución de problemas, apoyada con herramientas de control estadístico, mapeo de procesos, y algunas otras herramientas utilizadas para proyectos de gestión de la calidad.

A lo largo y ancho de éste proyecto de grado, se irán presentando, el mapeo del proceso a estudiar, las herramientas de control necesarias para analizar la información recabada, y las acciones que serán propuestas para la mejora del proceso, y que estas puedan estandarizarse para lograr un control.

Problemática

En los procesos de pintado de carrocerías, existen problemas que afectan directamente a la calidad del producto, durante el proceso de producción, incluso ya como producto terminado.

Entre estas fallas que disminuyen la calidad, existen las “gotas de permeato”, que representan una de las fallas que provocan retrabajos en varias zonas de las carrocerías, y con distinto grado de dificultad de retrabajo, esto por su posición, volumen, etc.

Las gotas de permeato son, arrastre de residuos sólidos, con poco peso molecular, lo que le permite a este residuo entrompar por cualquier cavidad hueca que exista en la carrocería o en sus componentes, que después de pasar por un horno que hace que la primer capa de pintura se adhiera a la carrocería, provoca que, al elevarse la temperatura, en conjunto con el poco peso molecular de los sólidos que componen la fórmula, las partículas entren colisión al condensarse y provocan un escurrimiento sobre la superficie de las carrocerías.

En algunas ocasiones, la superficie afectada no daña la estética de la carrocería, en otras, cuando sí daña la estética, es cuando se demanda un retrabajo no programado en la zona de lijas que forma parte del proceso de producción.

Se entiende por superficie estética de la carrocería, a las zonas donde no se colocará una moldura que puedan cubrir esa parte de la superficie, cuando la superficie no es estética, se da a entender, que una moldura será colocada en esa parte.

Objetivos

Objetivo general

Proponer una metodología sistémica, que analice los problemas potenciales que generan baja calidad en el proceso de pintado de carrocerías.

Objetivos específicos

- Identificar áreas de oportunidad que generen impacto directo en la calidad de nuestro proceso.
- Identificar factores internos y externos que afectan al proceso.
- Definir un plan con diseño metodológico que sea capaz de resolver problemas en el proceso.
- Estandarizar planes de acción que puedan ser seguidos para distintas fallas en el proceso.
- Monitorear y estandarizar los planes de acción que sean tomados para corregir las fallas e incrementar la calidad.

Justificación

El presente proyecto pretende aplicar los conceptos y conocimientos adquiridos en la licenciatura de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

El diseño metodológico de la metodología DMAIC, parte de la cultura Lean Six Sigma, basada en el liderazgo y herramientas que permiten a las empresas el incremento de la calidad en sus producciones, logrando a su vez, reducir las variaciones, los desperdicios, etc.

Esta metodología cuenta con distintas herramientas compuestas de distintas fases que, de ser implementadas, monitoreadas y estandarizadas de manera adecuada, nos aseguran la mejora de un proceso productivo. Consta de cinco fases:

- **Define** (Definir).
- **Measure** (Medir).
- **Analyze** (Analizar).
- **Improve** (Mejorar).
- **Control** (Controlar).

Cada fase que estructura a ésta herramienta se compone a su vez de distintas herramientas de control estadístico que nos apoyan al mejor desarrollo y evolución del estudio, para obtener, como resultado final, una mejora en el proceso productivo.

La herramienta DMAIC, ha sido diseñada y es utilizada para ser aplicada en procesos que ya están en función, que presentan algunos problemas ocasionados por la variación de los procesos, o que bien tienen su origen en uno de los ocho tipos de desperdicio.

Al tener un sistema ya establecido en el proceso a abordar, se ha tomado la iniciativa de desarrollar una sistemática apoyada en la metodología antes mencionada, para ayudarnos a tomar decisiones que busquen una mejora en el proceso de manera rápida, económica, pero, sobre todo, eficiente.

Existen áreas de oportunidad en el proceso a evaluarse, que perjudican las fases del proceso, o incluso la calidad final de nuestro producto terminado. Y éstas áreas de oportunidad muchas veces no son definidas de manera concreta, no se hacen las mediciones correctas o suficientes que nos arrojen parámetros más reales, y por tanto no hay un correcto análisis de la situación, y por lo tanto no se toman medidas de mejora bien fundamentadas ni justificadas, lo cual tampoco permite un control, sobre esas áreas de oportunidad.

Por ello, el uso de la metodología DMAIC, en éste proyecto, buscará hacer uso de todas sus fases para: Definir de manera más concreta un problema o área de oportunidad, hacer las mediciones correctas que nos arrojen parámetros más reales y concretos, así como un mejor análisis derivado de esas mediciones con

muestreos, lo cual nos permitirá tomar medidas de mejora mejor sustentadas y justificadas, para lograr un control del problema.

Alcances

Este proyecto de grado tiene como objetivo final, la implementación de una metodología que ha traído resultados exitosos en todo tipo de industrias donde se ha aplicado correctamente (automotriz, electrónica).

Se pretende que las estrategias que serán descritas en los siguientes capítulos, así como su modelado e implementación, sean permanentemente utilizadas, esto con el principio de mejora continua (Kaizen). De esta manera, todos los ajustes que sean realizados desde su primer modelado, así como los primeros resultados, generarán antecedentes, para que, en determinado momento de ser necesarios, se puedan consultar las medidas preventivas y/o correctivas que fueron tomadas.

En pocas palabras, se espera que este proyecto de grado sea el parteaguas de una estrategia permanente de mejora continua para el proceso de pintado de carrocerías.

Cabe mencionar, que, para éste proyecto de grado, no se tomará en cuenta el impacto socio-económico, que tendrá, lo anterior puesto que existen limitantes como:

- No se tiene acceso al sueldo del personal operativo.
- Trato sindical.
- Variable económica con mayor incertidumbre.

Capítulo I.- Antecedentes históricos y marco teórico de Six Sigma

Lean Six Sigma, es la metodología en la cual se sustenta éste proyecto de grado, una metodología que ha demostrado su eficacia en empresas que buscan convertirse en empresas de talla mundial, gracias a lograr una mejora de calidad, y la eliminación de los ocho tipos de desperdicio.

Producto de la fusión de dos metodologías provenientes de distintas partes del mundo, con objetivos similares, pero que al complementarse una con otra encaminan a la empresa que la aplique, a convertirse en una empresa líder en la calidad tanto de sus procesos productivos, y administrativos.

Destinada a detectar las variantes de la producción, y cómo estas afectan a la calidad del producto. La reducción de la variación es uno de los principales objetivos de un programa de calidad, de esta manera, la medición de la variación es esencial para la reducción de la misma (Sahay, 2016).

Como toda metodología, tiene antecedentes que dieron origen a la materialización de la misma, el enfoque que busca cumplir con el propósito para el cual la metodología ha sido diseñada, un modelo que seguir para lograr esos propósitos que busca su enfoque, al igual que sus limitantes, puntos que irán siendo descritos en el contenido de éste primer capítulo.

1.1 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es una metodología que tiene sus inicios como concepto a comienzos de los años 2000, cuando Barbara Wheat, directora de Mejora continua global, Calidad y desarrollo de la cadena de suministros en “Tenneco Automotive”, en conjunto con otros colaboradores incluyeron el concepto, en el libro “The Path to integration of Lean Enterprise and Six Sigma”.

Antes, poco después de la segunda guerra mundial, Toyota, una automotriz de Japón comenzó a desarrollar “Lean Manufacturing”, cuando Shingeo Shingo, buscaba reducir el tiempo, desde que el cliente hacía su pedido, hasta que la empresa hacía y recibía el cobro, todo esto siendo posible con la reducción de tiempo mediante la eliminación de todos los desperdicios que no agregaran valor (Socconini, 2016).

Años después, Bill Smith, científico e ingeniero elaboró las formulas estadísticas que dieron inicio a la cultura Six Sigma (III, 2003).

1.1.1 Definición de Lean Six Sigma

Para entender mejor el concepto de Lean Six Sigma, es necesario describir, por separado los dos conceptos que dan origen a Lean Six Sigma como una metodología sola, es decir, a Lean Manufacturing y a Six Sigma.

1.1.1.1 Lean Manufacturing

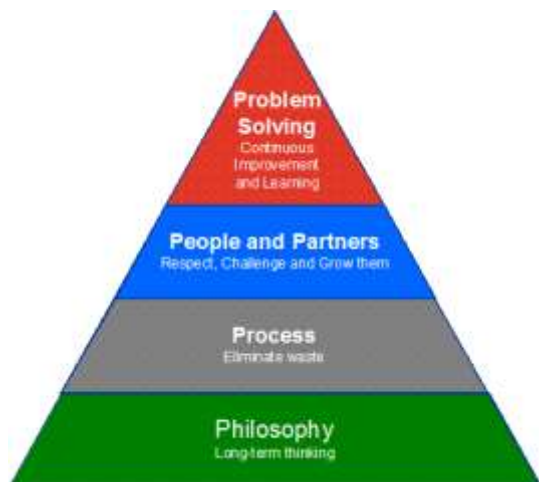
Con comienzos en Japón, con Toyota, después de la segunda guerra mundial, filosofía de administración de las operaciones de una compañía.

Lean Manufacturing o Toyota Production System (TPS) busca hacer más con menos; menos esfuerzo, menos equipo, menos espacio, menos estrés de las personas, menos recursos y menos tiempo. Todo esto para cercarse cada vez más a lo que el cliente pide en cuestión de; calidad, costo y entrega.

El corazón de Lean Manufacturing es un equipo motivado, con perfiles flexibles y resolviendo continuamente problemas.

Es por ello, que Lean tiene la pirámide de las 4 p's, (Socconini, 2016), con 4 principios de los cuales se desprenden ciertos subprincipios que ayudan al desarrollo metodológico de cada uno.

Las 4P's de Lean Manufacturing:



4 P's (Socconini, 2016)

- Philosophy (Filosofía)
 - La filosofía a largo plazo.
- Process (Proceso)
 - Crear flujo continuo.
 - Usar sistemas pull.
 - Nivelar la carga.
 - Calidad a la primera.
 - Estandarizar procesos.
 - Control visual.
 - Solo tecnología confiable.
- People and Partners (Desarrollo a nuestra gente y proveedores).
 - Desarrollo de líderes.
 - Desarrollar la filosofía en el personal.
 - Respeto a los proveedores.
- Problem Solving (Resolución de problemas)
 - Ir al lugar de los hechos.
 - Tomar decisiones.
 - Mejora continua.

1.1.1.2 Six Sigma

Con inicios en Estados Unidos de Norte América a finales de los 70's y comienzos de los 80's cuando Mikel Harry, quien fuera director de calidad de Motorola, que comenzó a estudiar las causas de las variaciones que provocaban la baja calidad de los productos.

Six Sigma es un sistema de dirección para lograr el liderazgo en los negocios. Así mismo, es el parámetro de medición para definir la capacidad de cualquier proceso, así como la meta para casi lograr la perfección.

1.1.1.3 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es el resultado de la unión de estrategias de Lean Manufacturing y de Six Sigma, que buscan acercarse lo más posible a lo que el cliente pide, en cuestión de calidad, tiempo de entrega, mejores precios, etc.

Lean Six Sigma, toma de Lean Manufacturing, su velocidad:

- Procesos flexibles
- Trabajo en equipo
- Procesos estables
- Flujo continuo

Y de Six Sigma hace propia su manera buscar y generar calidad:

- Solución de problemas
- Procesos sin variación
- Rediseño e innovación

Para entre ambos lograr:

- Menores costos
- Menor tiempo de entrega
- Mejor calidad
- Mayor satisfacción personal

Lean Six Sigma Tool Kit	
<p>»Estrategias</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hoshin Kanri <p>»Estructura y mediciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en equipo con Kaizen • Cadena de valor • Administración de talento • Lean Accounting <p>»Básicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 s • Andon • Value Stream Map <p>»Minimizar tiempo de ciclo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabajo celular • Preparaciones rápidas <p>»Costo de inventario y planeación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kanban <p>»Maximizar efectividad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento Productivo Total (TPM) <p>»Mejorar calidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pokayoke • Trabajo estándar <p>»Solución de problemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tres disciplinas 	<p>»Definir</p> <ul style="list-style-type: none"> • Administración de proyectos • Gantt <p>»Medir</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos • Histogramas nivel sigma • SIPOC • Gauge R&R <p>»Analizar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del proceso • Pruebas de hipótesis • Intervalos de confianza • Causa-Efecto • AMEF • Mutivart, Boxplot • Anova <p>»Mejorar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de experimentos (DOE) • Análisis de regresión <p>»Controlar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control estadístico del proceso (SPC) • Plan de control

Lean Six Sigma Tool Kit

1.1.2 Antecedentes Lean Six Sigma

Ya se ha descrito un poco de las dos metodologías que dieron origen a Lean Six Sigma (LSS), éstas unieron sus fuerzas como resultado de lograr conforma una herramienta que mejorara la calidad, y los ingresos de las empresas.

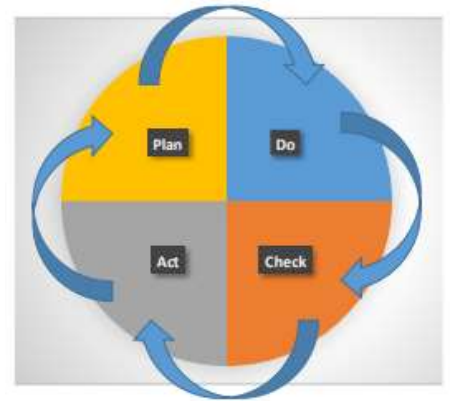
Lo anterior nos quiere decir que desde antes de LSS, se buscaba cumplir con esos objetivos, con algunas otras metodologías y herramientas, que a la postre, dieron origen a LSS.

Una de estas, fue diseñada por Edward Deming. Sistemática que consta de 4 pasos:

- Plan (Planear)
- Do (Hacer)
- Checar (Estudiar)
- Act (Actuar)

Que fue diseñada para implantar un sistema de mejora continua en los procesos.

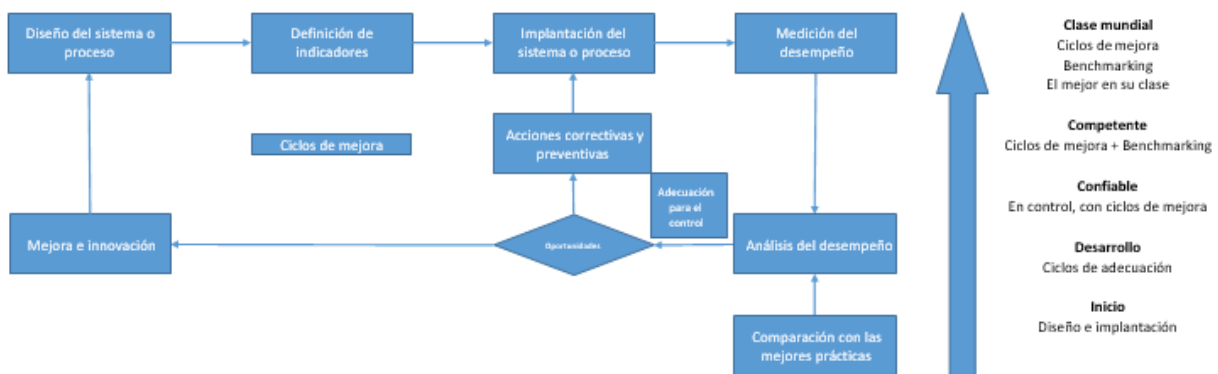
A su metodología se le conoce como el círculo de Deming, ya que al ser una sistemática que busca la mejora continua, ésta trata de siempre continuar.



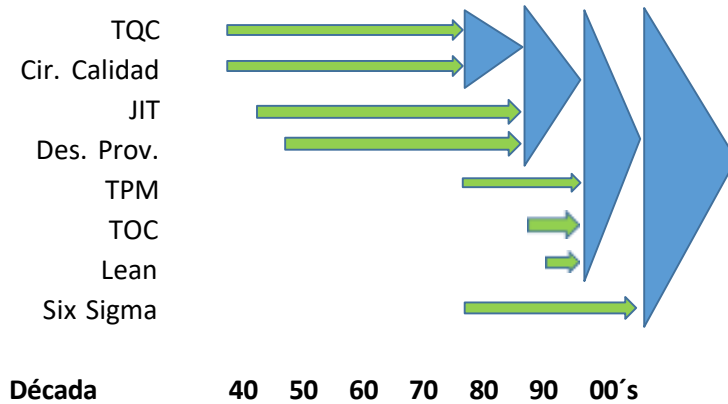
Círculo de Deming o PDCA

Dicha metodología tiene una estructura que sigue para cumplir sus objetivos.

Continuando con los antecedentes, es importante conocer la línea de tiempo que dio origen a LSS como el último avance en busca de la calidad, mencionando las herramientas anteriores, así como su posición en el tiempo y árbol genealógico de las metodologías que desde el siglo pasado han ayudado a las empresas a mejorar sus procesos y a mejorar también su rentabilidad.



Estructura de Deming (Socconini, 2016).



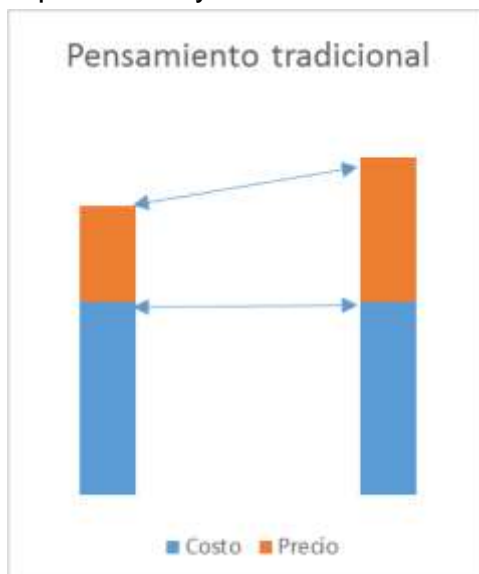
Evolución de Lean Six Sigma

El gráfico anterior, muestra la evolución de las herramientas de calidad que, desde mediados del siglo XX, han sido de mucha ayuda para las empresas que buscan la calidad, desde el “Control Total de la Calidad” (TQC) y el Círculo de Deming en la década de los 40’s, hasta la incorporación de Six Sigma, metodología nacida en los 80’s.

Además, en la misma gráfica podemos entender lo que la metodología “LSS” es a groso modo, pues es la reunión de conceptos y metodologías que buscan entregarle al cliente productos con la mayor calidad, desde mediados del siglo pasado, hasta principios del siglo XXI.

1.1.3 Enfoque Lean Six Sigma

LSS, tiene varios enfoques, que van desde el sentido económico, hasta el productivo y el administrativo.

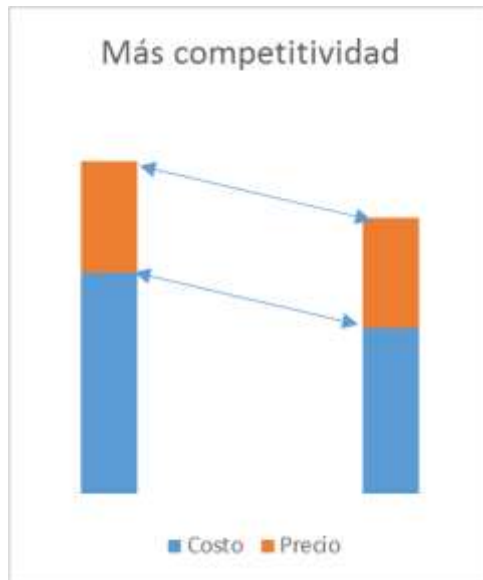


Enfoque Lean Six Sigma 1

El pensamiento tradicional de las empresas nos dice que para determinar el precio que le darán a su producto en el mercado, entonces se toma en cuenta el costo de ese producto o servicio, sumándole lo que queremos obtener como beneficio.

En la imagen de “Enfoque LSS 1”, se ve cómo una empresa trata de competir con otra, a ambas les cuesta lo mismo brindarle a su cliente el bien o servicio, pero el beneficio que la empresa de la derecha busca, es mayor. Sin embargo, eso afecta el precio que le ofrece al cliente, pues su competencia tendría un precio más aceptable.

$$\text{Costo} + \text{Beneficio} = \text{Precio}$$



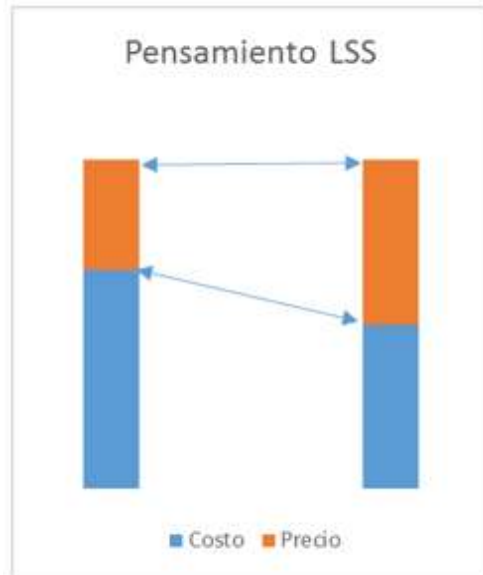
Enfoque Lean Six Sigma 2

El pensamiento LSS, busca obtener un mayor beneficio que la competencia, sin afectar el precio final que le ofrece al cliente, para volverse igual de competitivo que la competencia.

Lo anterior lo logra como se puede observar en la imagen “Enfoque LSS 2”, pues encuentra la manera de reducir los costos (sin reducir la calidad del producto), aumentando su beneficio y con el mismo precio que la competencia.

$$\text{Precio} - \text{Costo} = \text{Beneficio}$$

Entonces, a nivel económico, LSS conduce a la empresa a lograr reducir los costos, y aceptando obtener un beneficio menor por producto o servicio que le brinde al cliente, puede otorgar un mejor precio que su competencia, lo cual los lleva a conseguir más clientes, y posteriormente, mayores ganancias.



Enfoque Lean Six Sigma 3

Finalmente, mostramos el enfoque de LSS, en el que podemos observar que se vuelve una empresa más competitiva en el mercado, logrando ofrecer un precio menor que el de la competencia, ganando así más clientes.

Ello es posible con la clave: Reducir los costos, para mejorar los beneficios.

Se deben bajar los precios, sin bajar los beneficios

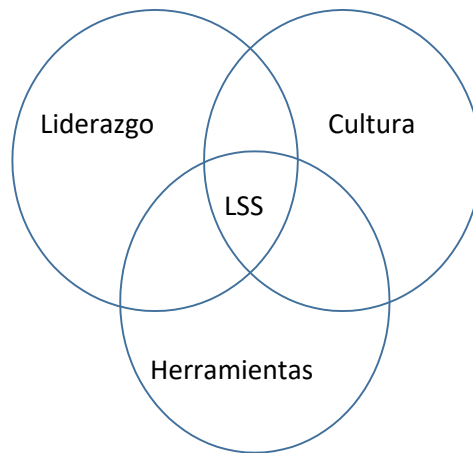
Entonces, a nivel económico, LSS conduce a la empresa a lograr reducir los costos, y aceptando obtener un beneficio menor por producto o servicio que le brinde al cliente, puede otorgar un mejor precio que su competencia, lo cual los lleva a conseguir más clientes, y posteriormente, mayores ganancias.

1.1.4 Aplicaciones Lean Six Sigma

La metodología Lean Six Sigma tiene aplicaciones multi disciplinarias, es decir, de ser bien ejecutada lo mismo puede tener buenos resultados en industrias manufactureras o en gobierno.

Para alcanzar la calidad total en LSS hay agentes que intervienen de manera directa en el objetivo, y que nos arrojen los resultados esperados, tales como:

- Reducción en tiempo de entrega
- Reducción en inventario
- Incremento de la capacidad
- Reducción del costo total
- Reducción de defectos, rechazos y retrabajos
- Incremento de la productividad



Requerimientos Lean Six Sigma

Capítulo II.- Industria Automotriz

La industria automotriz, es una de las industrias más importantes a nivel global, su alta rentabilidad, la coloca ahí.

Su rentabilidad, se debe principalmente, a que casi todo el mundo hace uso del automóvil, para su vida cotidiana, ya sea trasladarse a su lugar de trabajo, al centro de estudios, al supermercado, cuestiones de viaje, etc. Es por ello, que existen decenas de empresas dedicadas a la fabricación de autos. Estas compiten entre sí, para ganar la preferencia de un mercado, o cliente es específico.

De acuerdo con la revista Forbes, de México, son 15 las empresas que lideran éste ramo industrial, que deja ganancias de millones de USD al año a sus propietarios, así como los países y zonas en las que estas empresas se establecen, gracias a la cantidad de empleos directos e indirectos que generan éstas inversiones.

Puesto	Empresa	País
1	Volkswagen Group	Alemania
2	Toyota Motor	Japón
3	Daimler	Alemania
4	Ford Motor	USA
5	BMW Group	Alemania
6	General Motors	USA
7	Nissan Motor	Japón
8	Honda Motor	Japón
9	Hyundai Motor	Corea del Sur
10	SAIC Motor	China
11	Renault	Francia
12	Volvo	Suecia
13	KIA Motors	Corea del Sur
14	Tata Motors	India
15	Suzuki Motor	Japón

*Tabla 1.- Las automotrices más importantes en 2013
(Forbes Staff, 2013)*

2.1 Introducción a la Industria Automotriz

Se le conoce a industria automotriz, a aquella rama industrial que se dedica al diseño, manufactura, distribución y venta de automóviles o autopartes. Actualmente es una de las industrias más rentables, ya que, por distintos motivos, prácticamente todo el mundo es usuario de algún automóvil.

Existen 15 empresas líderes (Forbes Staff, 2013) dedicadas a la fabricación y distribución de automóviles, éstas empresas generan un alto impacto positivo en las economías, tanto de sus países de origen, como de los países en los que tengan instaladas plantas armadoras, por la cantidad de empleos que genera. Así como su

efecto en el libre mercado con los tratados de libre comercio entre los países que es procesado y por supuesto, comercializado.

La industria automotriz nace en, el siglo XIX, cuando el alemán Karl Benz inventó el primer automóvil impulsado por un motor de combustión interna.

A lo largo de todo el siglo XX, y lo que llevamos de éste siglo XXI, han surgido nuevas innovaciones desde el limpiaparabrisas, hasta que hoy por hoy existan algunos autos híbridos, es decir, que funciones lo mismo con combustibles fósiles, o con electricidad.

2.1.1 Volkswagen

Volkswagen Group, es una empresa dedicada al ramo automotriz de origen alemán, colocada en el primer puesto de las 15 automotrices más importantes del mundo.

Con inicios en Berlín, Alemania, en la primera mitad del siglo pasado (28 de mayo de 1937), es una empresa líder desde sus comienzos, con autos siempre a la vanguardia y que han sido del gusto de las personas durante más de 80 años.

Desde sus comienzos, Volkswagen ha buscado el gusto del cliente, y se dieron cuenta que la mejor manera de competir con las otras empresas automotrices, era ofrecer un auto al alcance económico de más gente, por ello, desde las épocas de Adolf Hitler, se buscaba crear la empresa más grande de autos de toda Europa. Ubicada en un punto estratégico que permitiera construir, además de la planta, un pueblo para que los trabajadores de la planta pudieran también vivir allí junto con sus familias, cerca de un puerto marítimo, para que se facilitara el transporte.

El encargado del proyecto del nuevo “auto del pueblo” fue Ferdinand Porsche, quién en 1931 junto con su hijo, habían fundado la firma automotriz “Porsche”, y que fueron los creadores del “Volkswagen Tipo 1”, conocido en México como el “Vocho”.

A lo largo de los años, ha crecido tanto que, en 2013, Forbes de México la colocó en el primer puesto de entre 15 firmas automotrices del mundo. Con 104 plantas en 27 países y más de medio millón de empleados directos, vendiendo los casi 38,000 autos que producen al día en 153 países (Forbes Staff, 2013).

Además, Volkswagen, tiene a 3 autos en la lista de los autos más vendidos en todo el mundo, en toda la historia (Vocho, Golf y Passsat). Sin mencionar también que, es propietaria de otras firmas automotrices como: Audi, SEAT, Bentley, Porsche, Skoda, Lamborghini, Bugatti, y una firma de camiones como Scania.

2.1.2 Industria Automotriz en México

México se ha convertido, desde el siglo pasado, en uno de los sitios favoritos para muchas de las marcas automotrices que buscan donde establecerse.

Esto debido a que la industria automotriz ha encontrado en México, el lugar ideal para manufacturar los autos que se venden en América del norte, 12 de los 32 estados de la república mexicana cuentan con alguna planta armadora (PROMEXICO, 2017)

#	Empresa	Locación	Producción anual
1	Toyota	Tecate, Baja California	64,000
2		Apaseo el Grande, Guanajuato	200,000
3	Ford	Hermosillo, Sonora	378,000
4		Chihuahua, Chihuahua	ND
5		Cuautitlán, Estado de México	324,000
6	General Motors	Ramos Arizpe, Coahuila	173,000
7		San Luis Potosí, San Luis Potosí	127,000
8		Silao, Guanajuato	320,000
9		Toluca, Estado de México	ND
10	Chrysler	Ramos Arizpe, Coahuila	ND
11		Salttillo, Coahuila	146,000
12		Salttillo, Coahuila	146,000
13		Salttillo, Coahuila	ND
14		Toluca, Estado de México	146,000
15	KIA Motors	Monterrey, Nuevo León	300,000
16	BMW	San Luis Potosí, San Luis Potosí	150,000
17	Nissan	Aguascalientes, Aguascalientes	380,000
18		Aguascalientes, Aguascalientes	175,000
19		Cuernavaca, Morelos	299,000
20	Mercedes Benz	Aguascalientes, Aguascalientes	300,000
21	Honda	El Salto, Jalisco	60,000
22		Celaya, Guanajuato	200,000
23	Volkswagen	Silao, Guanajuato	ND
24		Puebla, Puebla	730,000
25	Mazda	Salamanca, Guanajuato	230,000
26	Audi	San José Chiapa, Puebla	150,000
Producción anual de autos en México			4,998,000

Producción anual de autos en México (Expansión México, 2016)

Tan solo en este año, 2017 existen 26 armadoras de automóviles en nuestro país (PROMEXICO, 2017), instaladas alrededor de nuestro territorio nacional, así como fábricas de autopartes y motores de las cuales, su producción es enviada a otras armadoras de autos del mundo.

La industria automotriz en México aporta un 16.9% al PIB manufacturero del país y un 3.2% del PIB total en 2015 (Expansión México, 2016), es por ello que, económicamente hablando, esta industria es una de las más importantes para México, por el impacto económico que tiene en los sectores geográficos, con el número de gente al que emplea de manera directa e indirecta también, además del desarrollo tecnológico y de servicios en las zonas donde éstas industrias están instaladas, pues por sus necesidades, hay un mejor sistema de transporte dentro y fuera de las ciudades beneficiadas con las plantas automotrices, así como las vías de comunicación, como carreteras y autopistas de alto nivel y seguridad, que dan

mayor garantía al transporte de personal, del producto, y de la sociedad en general.

2.1.3 Volkswagen de México

Volkswagen de México, es una empresa armadora de autos (Planta Puebla), y desarrolladora de motores (Planta Silao), que forma parte del consorcio Volkswagen Group, con una producción anual de casi 750,000 autos. Empresa que busca ser líder en la producción y calidad a nivel consorcio, es decir, ser una de las más eficientes plantas armadoras en cuanto a los volúmenes de producción, así como con los parámetros de calidad entre las 104 plantas que se tienen en 27 países, que son proveedoras en 153 países alrededor del mundo.

2.1.3.1 Historia de Volkswagen de México

Los primeros autos ensamblados en México, por parte de Volkswagen, datan del año 1955, cuando un lote de 250 “vochos” fueron manufacturados en la planta de Automex, una empresa de Chrysler dedicada a la fabricación de autos. Luego se logró un acuerdo con Studebaker Packard de México, para que les permitiera seguir utilizando sus instalaciones hasta el año de 1961.

“Volkswagen de México”, se constituye como empresa en los años 60’s, cuando la primera planta de Volkswagen en México se ubicó en el municipio de Xalostoc, Estado de México en el año de 1962, pero que, debido a la demanda de autos, la empresa alemana se vio obligada a buscar un terreno más grande. Fue entonces que en el municipio de Cuautlancingo, en el estado de Puebla, la primera piedra fue colocada el 27 de Febrero de 1965 (Volkswagen de México, 2017). Entonces en 1966, la planta en Xalostoc dejó de funcionar y la planta de Puebla comenzó sus operaciones. En 1967, se produce el primer “Vocho” en la planta de Puebla.

En 2011, comienza en Silao Guanajuato, la construcción de la planta de fabricación de motores de última generación en donde se surten los motores para los autos de las plantas de Puebla en México y la de Chattanooga en Estados Unidos. Algunos de los autos que se han producidos en las líneas de producción de la planta de Puebla han sido el Safari (1970), la Combi (1970), Brasilia (1974), Golf (1977), Atlantic (1981), Corsar (1984), Golf convertible (1995), Derby (1995), New Beetle (1997) Jetta A6 (2010), The Beetle (2011), Golf A7 (2014), Tiguan (2017), Jetta A7 (2018).

2.1.3.2 Actualidad de Volkswagen de México

Actualmente, Volkswagen de México, cuenta con dos plantas, una armadora de autos (Puebla), y una más, desarrolladora de motores de última generación (Silao, Guanajuato).

La producción anual de automóviles, de acuerdo con la revista Expansión en 2016, es de 730,000 autos al año.

Empresa	Locación	Producción anual
Volkswagen	Silao, Guanajuato	ND
	Puebla, Puebla	730,000

Producción anual de autos de VWM

La planta VWM es una de las más eficientes a nivel consorcio, durante los años 2015 y 2016, se ha ganado el premio de la productividad que otorga el consejo de Volkswagen Group, al superar las metas anuales de producción que se tienen cada comienzo de año.

VWM en Puebla, cuenta con 3 segmentos de producción, el KS1, el KS” y el Westsegment.

Los autos producidos en estos segmentos, tienen como mercado, el mexicano, el norteamericano (USA y Canadá), así como el sudamericano (Uruguay, Chile, Colombia, Argentina, Perú, etc.).

Los autos producidos en el año 2017, son: Golf A7 del segmento C, Golf Variant del segmento D, el nuevo Tiguan, del segmento SUV, Jetta A6 del segmento C, The Beetle, y The Beetle Cabriolet también del segmento C. (Volkswagen Group, 2017).

La planta de producción Volkswagen de México es la segunda más grande fuera de Europa.

2.1.4 Golf

El auto Golf, de Volkswagen, es uno de los autos más populares de todos los tiempos de la firma alemana, es uno de los 3 autos de VW que tiene un lugar entre los diez autos más vendidos de toda la historia alrededor del mundo.

2.1.4.1 Historia del Golf

El Golf de VW tiene una historia de más de 40 años, que data de 1974, cuando en Alemania fue creado, con casi 43 años desde su salida al mercado, ha vendido más de 30 millones de unidades en todo el mundo, lo cual hace que se gane un lugar entre los diez autos más vendidos de la historia.

El origen de su nombre no es del todo claro, existen versiones que se han popularizado a lo largo de los años, sin embargo, existe una que parece es más real.

Al parecer, el nombre de “Golf”, hace referencia a las fuertes corrientes del Golfo de México, lugar por donde entraron los primeros autos de este modelo para América. (Blanco, 2016).

2.1.4.2 Versiones del Golf

Actualmente, se produce y comercializa la séptima generación de éste auto, conocido como Golf A7. Lo cual nos dice que hay 6 generaciones que preceden a la que actualmente se produce en la planta de VWM.

Estas son:

Golf I (1974-1984): También conocido como Golf MKI o Golf A1, que inició su producción en Alemania en el año de 1974, pero que en Norteamérica (USA y Canadá) se le conoció como Volkswagen Rabbit, y en México como Volkswagen Caribe.



Golf A1. Fuente: CarBase.com

Golf II (1983-1992): También conocido como Golf MKII o Golf A2, tuvo su presentación al mundo en una exposición de autos en Frankfurt, Alemania en 1983, este modelo aumentó sus dimensiones de anchura, altura y largo. Una de las principales diferencias fue que el diseño interior corrió a cargo del departamento de Diseño de VW, a diferencia la versión anterior, en la que el diseño fue hecho de manera externa por el italiano, Giorgetto Giugiaro.



Golf A2. Fuente: Motorpasión.

Golf III (1991-1997): También conocido como Golf MKIII o Golf A3, se caracterizó por ser la primera generación del Golf de VW que incluía bolsas de aire, y que su estética sufrió grandes cambios, tanto así que, muchos creían una estrategia arriesgada por parte de VW pues los clientes se habían acostumbrado ya a un estilo. Éste modelo se fabricó en México de 1992 a 1999.



Golf A3. Fuente: MotorGiga.com

Golf IV (1997-2003): También conocido como Golf MKIV o Golf A4, ésta generación del Golf, tuvo algunos problemas en cuanto a su comercialización, pues su costo era más alto que el resto de autos del segmento al que pertenece (Segmento C). Ésta versión no fue producida en México.



Golf A4. Fuente: Autoevolution

Golf V (2003-2008): También conocido como Golf MKV o Golf A5, una de las características principales de ésta versión, es que reduce su tamaño de portaequipaje, no obstante que su tamaño es considerablemente mayor al de la versión anterior. Ésta versión no fue fabricada en México.



Golf A5. Fuente: Autoevolution

Golf VI (2008-2012): También conocido como Golf MKVI o Golf A6, conservó muchas características de la 5ta generación, de hecho, mucha gente la considera un rediseño del MKV a una nueva versión, no obstante, era más barata su fabricación que la versión pasada. Ésta versión no fue manufacturada en México.



Golf A6. Fuente: ForoCoches.com

2.1.4.3 Actualidad del Golf

Actualmente, la séptima versión del Golf se encuentra produciéndose en la planta VWM en Puebla desde 2012 a la fecha.

Recientemente, se hizo el lanzamiento del modelo 2018, en el que, si bien no es la octava generación del Golf, si presenta algunos cambios considerables al primer modelo de ésta séptima generación entre los cuales se encuentran para el Golf A7 GTI:

Ficha	
Motor	20 litros/4 cilindros turbo
Potencia	230 hp a 4,500 rpm
Torque	258 libras/pie a 1,500 rpm
Transmisión	Automática DSG de 6 velocidades
Precio	\$499,900.00

Ficha Técnica Golf A7 GTI 2018 Fuente: El Universal

Entre lo que más se resalta, tiene 10 caballos de fuerza más que al inicio de ésta versión en 2012 (Ponce de León, 2017).

Los principales mercados consumidores de ésta auto producido por VWM, son; el de USA y Canadá, el mexicano, y países sudamericanos como Colombia, Chile, Uruguay y Perú.



Golf A7. Fuente: tuningblog.eu

Éste auto, ha logrado ganar el premio al mejor auto compacto de la categoría Hatchback (Volkswagen Group, 2017).

Además, ha sido galardonado con el premio al auto más seguro en USA.



Evolución del Golf

Es así como el auto Golf, actualmente producido en la planta de Puebla de VWM ha llegado a lo que es hoy, su séptima generación.

Capítulo III.- Descripción de fases y herramientas de la metodología DMAIC

3.1 Introducción a la metodología DMAIC

DMAIC, acrónimo de; Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (por sus siglas en inglés), nace con Lean Six Sigma, como una metodología enfocada en la mejora de calidad de los procesos.

Está basada en el uso de una vasta cantidad de herramientas de control estadístico. Es por ello que, la recolección y medición de datos, es parte importante de la correcta función de este sistema, ya que los datos nos arrojarán los primeros indicadores, los niveles de calidad en los que nos encontramos al inicio y durante el desarrollo (Roberson, 2011).

La primera fase de esta metodología, representada con la letra “D” de Definir, fue incluida por “General Electric”, a comienzos de los años 2000’s.

La metodología DMAIC ha sido utilizada en diferentes ramos de la industria, General Electric, pionera en su uso, tiene distintas ocupaciones dentro de la industria, que van desde servicios financieros, hasta energía. Esto nos habla de la flexibilidad que tiene la metodología DMAIC para hacerse presente en proyectos de mejora de calidad, y la industria automotriz no es la excepción.

3.2 Desarrollo de la metodología DMAIC

Esta metodología cuenta con 5 fases, cada una de suma importancia para asegurar el éxito en el proyecto, pues va desde definir un problema, junto con su correcto sistema de recolección y medición de datos, que posteriormente pasan a ser analizados por los encargados del proyecto para después diseñar y ejecutar medidas preventivas y correctivas, que puedan ser controladas y estandarizadas posteriormente.

3.2.1 Descripción de las fases de DMAIC

Es por ello que, pasamos a describir cada una de estas fases, junto con las herramientas que serán utilizadas para este proyecto y trabajo de tesis de “Mejora de calidad en los sistemas de pintado en planta armadora automotriz”.

3.2.1.1 Definir

En esta fase definimos nuestro alcance en el proyecto, es decir, delimitamos el problema o situación en la que no enfocaremos para encontrar una mejora.

El problema es delimitado por los CTQ’s (Critical to Quality) que en base al estudio

del proceso y en el barrido del mismo, es decir, que, analizando el proceso productivo, se hará un énfasis en aquel o aquellos subprocesos que sean los responsables de las variables críticas en las siguientes etapas del proceso, pero sobre todo para la calidad del producto final.

Para esta etapa, en la que primero debe describirse una problemática, y posteriormente desarrollarla en las fases siguientes, es necesario el uso de herramientas de calidad, que han sido desarrolladas y adaptadas para esta fase, en la que, se describirá el problema y se hará la planeación adecuada para el cumplimiento de la misma fase, y las que le suceden.

3.2.1.2 Medir

Una vez que los CTQ's indiquen cual es la parte crítica del proceso productivo en estudio, y que a su vez eso indique el alcance que el proyecto tendrá, entonces se pasará a la fase en la que se diseña el proceso de recolección de datos.

Determinar el tamaño de los muestreos, la repetitividad de los mismos, y la manera de medición con la que se harán dichos muestreos.

Posteriormente, comienza toda la estadística descriptiva que ayudará a tener mejor ordenados los datos y así comenzar las pruebas de hipótesis por medio de los primeros parámetros numéricos que se irán obteniendo, para así proyectar los niveles de mejora que se desean.

Cabe destacar que, para esta etapa, las herramientas en las que la fase se apoyará, son de carácter estadístico, las cuales requieren de un análisis de datos serios que arrojen las primeras hipótesis y datos que analizar, como posibles causas, efectos y soluciones.

3.2.1.3 Analizar

La información obtenida de los muestreos que se irán haciendo durante la etapa de medición, será analizada para determinar: las potenciales causas de los CTQ's.

Se identifican las áreas de oportunidad en las que se podrán tomar mayores y mejores acciones, siguiendo el lineamiento de que se debe de ser rápidos, económicos, y sobretodo, eficientes.

Definir las medidas preventivas y/o correctivas que se tomarán para mejorar el proceso y controlar estos CTQ's.

Esta etapa de la metodología es crucial, pues dependerá del correcto análisis de los datos obtenidos de la medición de la situación en estudio.

3.2.1.4 Mejorar

Ya una vez analizada toda esta información, es decir, habiendo descifrado todas las áreas de oportunidad, evaluar las opciones que se tienen y habiendo determinado las mejores acciones tentativas, es hora de diseñar un plan de acción para que se trabaje en base a él, se pueda ir documentándolo para ir generando históricos y que se pueda crear, de esta manera, un pequeño manual de calidad en el proceso, que tendrá como objetivo, ayudar a tomar decisiones en un futuro sin la necesidad de comenzar todo el proceso de nuevo, ahorrándose así, tiempo y recursos.

Se destaca que, en esta fase, se tengan que realizar planeaciones, al igual que en la primera fase de esta metodología, sustentadas en herramientas diseñadas para ello.

3.2.1.5 Controlar

Una vez acertando en las acciones preventivas y correctivas que se hayan tomado y que hayan también mejorado la calidad en el proceso productivo, es momento de estandarizar esos movimientos, es decir, que las acciones que se hayan tomado pasen a ser normalizadas dentro del proceso productivo, y no sean consideradas solamente como medidas de contención.

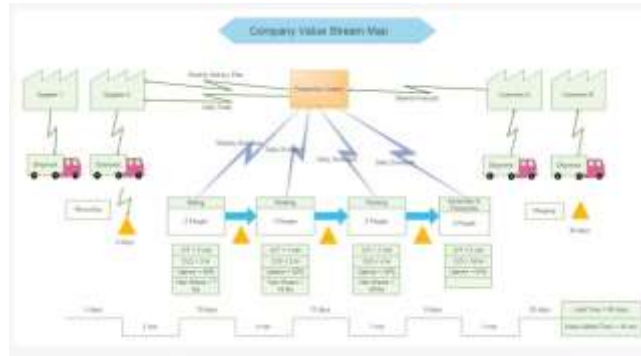
3.2.2 Herramientas a utilizar

Para que cada una de las fases anteriormente descritas, tenga una mayor aproximación al éxito, es necesario contar con el uso de ciertas herramientas de control estadístico y de descripción del proceso, según y acorde a cada fase. Es por ello, que se ha determinado utilizar las siguientes herramientas:

3.2.2.1 Definir

Las herramientas a utilizar en esta fase y el porqué de su utilidad son:

- Mapa de valor: Esta herramienta tiene como finalidad dar a conocer a profundidad los procesos, e identificar actividades que no agregan valor a nuestro producto. De esta manera buscamos conocer la capacidad del sistema, los cuellos de botella que se tienen en el proceso, capacidad de disponibilidad, las restricciones que existen en el mismo proceso (tanto internas, como externas) y, sobre todo, el cómo se puede mejorar.



Ejemplo de mapa de valor

- **Project Charter (Acta de Constitución de proyecto):** En esta herramienta se delimita el alcance, sirve también para ayudar a definir los objetivos, estableciendo así, los lineamientos y fechas de los entregables, y en donde se aclaran las funciones de las personas involucradas en el proyecto, así como también mantener comunicado al responsable del plan de trabajo a realizar.

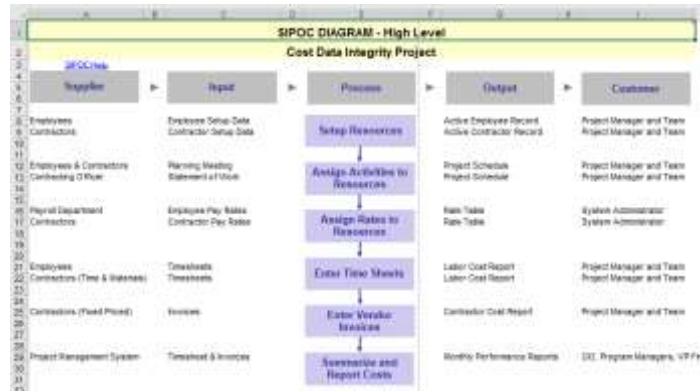
1) General Project Information			
Project Name			Requested By
Customer			Proposed By
Projected Start	Projected End	Submitted	
Request Status	Review Date	Project Manager	
Comments			

2) Stakeholder Information			
Stakeholder	Organization	Name	How will the organization benefit from this request?
Stakeholder			

3) Project Scope	
Description of Project	
High-Level Objectives	
High-Level Deliverables	
Known Time Constraints	
Unknown/Assumptions	

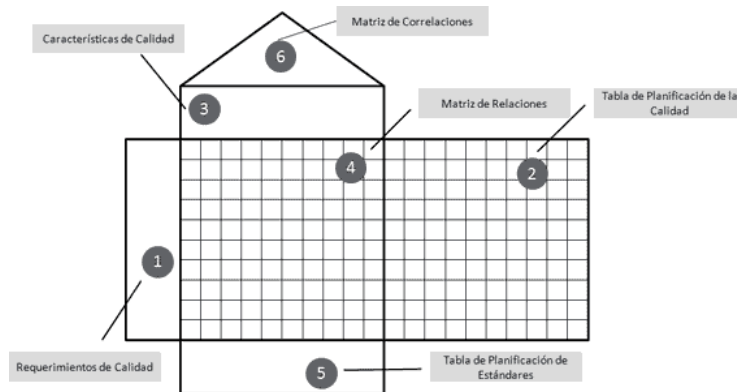
Ejemplo Project Charter

- **Plan de Comunicación:** Determinar un plan para tener un mayor control de la información manejada y requerida, que involucra a todos los líderes de área, pero también a quienes de manera técnica y obrera participan en el desarrollo del producto, pues es por sus manos que pasa el mismo. Esto, con la finalidad de no dejar pasar ningún detalle que ayude a tener una mejor estrategia de medición, de análisis y de plan de acción.
- **SIPOC:** El SIPOC es una herramienta que ayudará a identificar de manera más rápida las fases del proceso productivo y a los agentes que en ellos intervienen. Identificar de manera más rápida también a los Proveedores (**S**uppliers), Entradas (**I**nputs), Procesos y Sub-Procesos (**P**rocess), Salidas (**O**utput) y Clientes (**C**ustomers).



Ejemplo de SIPOC

- Casa de la Calidad (QFD): La casa de la Calidad servirá como el parámetro de lo que se debe tener ya que esta marca las características demandadas, para así posteriormente implementar las funciones y métodos que agreguen más calidad y valor al producto y asegurar también que los procesos siguientes tendrán un producto con las más óptimas condiciones y que de este modo, el cliente final reciba un producto de total calidad.



Ejemplo de QFD

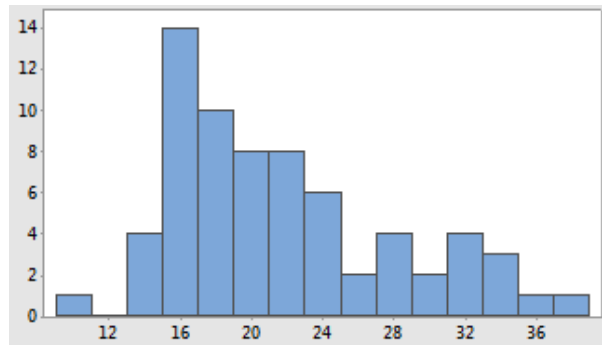
3.2.2.2 Medir

Las herramientas a utilizar en esta fase y el porqué de su utilidad son:

- Plan de recolección de datos: Aquí se determinará con ayuda del plan de comunicación cómo es que irán tomando las mediciones; encargados, tiempos de medición, tamaños de muestra. Así mismo esa información será compartida con todos los responsables del proyecto, para que se tenga un seguimiento de todos los datos que participan en el estudio, y así todos los participantes estar enterados de la situación que se tenga en tiempo real.

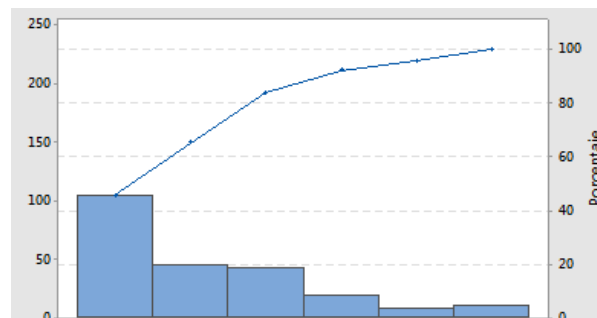
Una vez teniendo el plan de recolección de datos, este será ejecutado y todos aquellos datos irán siendo agregados a una base de datos automatizada con Macros para tener un mejor manejo de dicha información, y así poder empezar la estadística descriptiva, y posteriormente usar los resultados para comenzar a elaborar todas las demás herramientas de control. *

- Histograma: La realización de un histograma es importante pues, indicará por vez primera los valores reales de cada situación crítica que tiene que ser remediada, logrando así, una pre-priorización de las situaciones a analizar dentro del proceso.



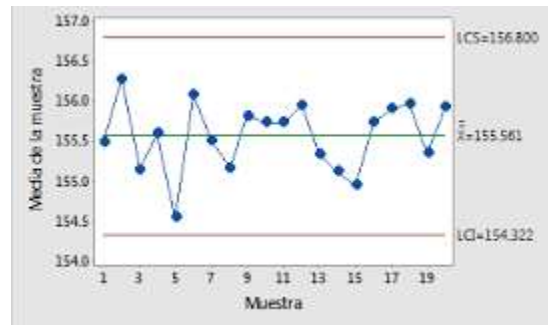
Ejemplo de Histograma

- Diagrama de Pareto: El diagrama de Pareto es una herramienta que nos ayuda a priorizar las situaciones evaluadas e indica en qué situación se encuentra un punto más crítico, pues ordena los datos en un orden ascendente demostrando así, el principio de Pareto de “*pocos vitales, muchos triviales*” que nos dice que hay muchos problemas sin importancia, frente a unos pocos muy importantes. A diferencia del histograma, este diagrama nos muestra de manera gráfica los pocos vitales y muchos triviales, pues coloca los resultados en manera ascendente, haciendo más gráfica la representación de los puntos críticos.



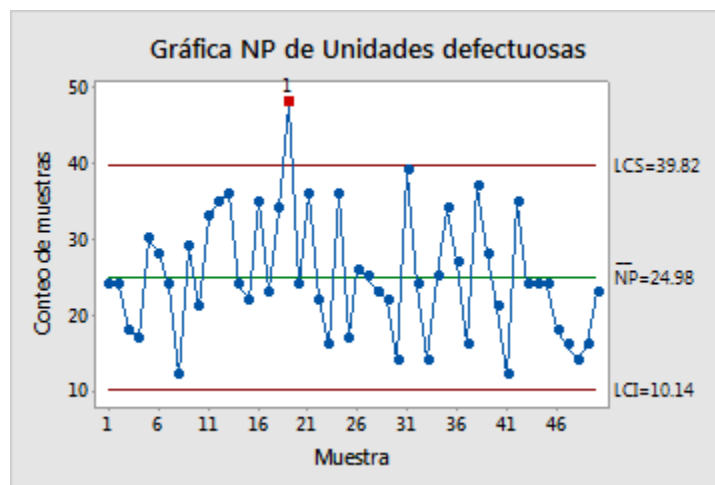
Ejemplo de Pareto

- Carta P: Esta carta de muestra las variaciones de los defectos, recorta la proporción de los defectos en un proceso.



Ejemplo de carta P

- Carta NP: Esta carta nos sirve para monitorear el número de unidades defectuosas dentro de las muestras que son tomadas, en este caso, como el tamaño de las muestras son siempre contantes.



Ejemplo de carta NP

- Eficiencia del proceso: Para tener el porcentaje de eficiencia que nuestro proceso maneja. Tomaremos en cuenta factores como; *Disponibilidad*, *Capacidad* y *Calidad*.

La “Disponibilidad” se refiere al tiempo real que las máquinas dentro de la producción están en funcionamiento. Es decir, restarle el tiempo que las máquinas no estuvieron en funcionamiento, al tiempo que se tenía disponible para la producción.

$$\text{Disponibilidad} = (\text{TO} / \text{TPO}) * 100$$

Donde:

TPO = Tiempo total de trabajo – Tiempo de paradas planificadas.

TO = TPO – Paradas y/o averías.

El resultado de esta ecuación tiene un valor que oscila entre 0.0 y 1.0, por ello se expresa en porcentaje.

La “Capacidad” también involucra situaciones que tienen que ver con las máquinas. En este rubro, se evalúa lo producido, es decir, la capacidad que las máquinas pueden producir, trabajando al 100% de su capacidad, en relación con lo que realmente se produce.

Capacidad = Tiempo de ciclo ideal / (Tiempo de operación / N° Total de unidades)

Ó

Capacidad = N° Total de unidades / (Tiempo de operación * Velocidad Máxima)

El resultado de esta ecuación tiene un valor que oscila entre 0.0 y 1.0, por ello se expresa en porcentaje.

La “Calidad” se refiere al cumplimiento de requerimientos del cliente por parte de la manufactura del producto.

Calidad = N° de unidades conformes / N° de unidades totales.

El resultado de esta ecuación tiene un valor que oscila entre 0.0 y 1.0, por ello se expresa en porcentaje.

Ahora bien, para obtener el resultado final de la eficiencia general, la fórmula es la siguiente:

$$(\text{Disponibilidad} * \text{Capacidad} * \text{Calidad}) * 100$$

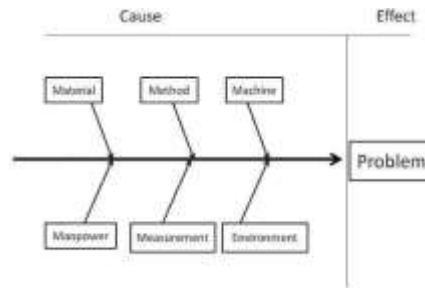
El resultado de esta ecuación tiene un valor que oscila entre 0.0 y 1.0, por ello se expresa en porcentaje.

3.2.2.3 Analizar

Las herramientas a utilizar en esta fase y el porqué de su utilidad son:

- Diagrama de Ishikawa: Haciendo uso del método de las 6m's (**M**ano de Obra, **M**ateria prima, **M**aquinaría, **M**étodo, **M**edición y **M**edio ambiente), para así poder generar una lluvia de ideas; que ayudará a identificar variables de cada una de las seis clasificaciones que afectan al proceso, encontrar esas áreas

de oportunidad que ayuden a encontrar una mejora.



Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

- **Benchmarking:** Organizar juntas con los encargados de las áreas que se ven más afectadas por los puntos críticos que arrojen el análisis de los estudios previos para intercambiar información que pueda ser de gran utilidad para empezar a elaborar las requeridas estrategias de trabajo, ya que podemos detectar situaciones que no se habían localizado en otro momento. Esto con el fin de retroalimentar a todo individuo involucrado dentro del proyecto.
- **Tormenta de ideas:** Después del Benchmarking con los encargados de área se hará una tormenta de ideas, donde se pretende que los mismos encargados sugieran causas, soluciones, medidas de contención. Tampoco hay que olvidar consultar a los operadores técnicos, pues ellos son los que tienen el contacto directo con la manufactura dentro del proceso, y pueden ayudar a ver situaciones que se puedan estar dejando pasar desapercibidas.
- **Método GUT:** Usar el método de **G**ravedad, **U**rgencia y **T**endencia, para definir cuál será el primer problema a resolver. Esta herramienta hace función de un sistema de puntuación, al que al problema se le va a asignando una calificación que mida:
 - *Gravedad* del problema: Que tantos problemas puede ocasionar más adelante en el proceso, o una vez entregado al cliente final.
 - *Urgencia* que se tenga por resolverlo: Se mide la prisa que se tiene por resolver el problema, ya sea por movimientos en la planeación de la producción, como tiempo, volumen, calidad, etc.
 - *Tendencia* del problema: Es decir, el porcentaje de frecuencia con la que el problema se presenta.

Una vez puntuando todos los aspectos de los problemas que se tengan, se van a priorizar las acciones que se deban tomar en la fase o subproceso donde se obtenga la mayor puntuación.

- Planificación de las operaciones: Es detallar cada una de las acciones que conforman al plan de acción. Cada una de las acciones que se han determinado realizar, deben estar sincronizadas entre sí, la planificación de estas, con apoyo de un cronograma con una agenda de actividades. Asegurando así que el plan de acción será ejecutado de la mejor manera.
- Seguimiento al plan de acción: Monitorear que todas las acciones que han sido diseñadas, estén siendo implementadas de la mejor manera para cerciorarnos que tendremos el mejor resultado en el menos tiempo posible.

3.2.2.5 Controlar

Implementar el pequeño manual de calidad contra las CTQ's a las que se enfoque el proyecto, y que, si en un futuro reaparecen, el personal sepa qué acciones son las que deben ser tomadas en caso de que esas mismas acciones no hayan sido normalizadas dentro del proceso productivo.

- Plan de control de procesos: Una vez probado y comprobado el plan de acción que fue seleccionado para la mejora de nuestro proceso, viene la elaboración de un plan que controle la aplicación de las acciones tomadas, para garantizar que estas no serán desplazadas una vez corregido el problema.
- Plan de comunicación: Similar al de la primera fase que fue Definir, en esta ocasión volveremos a abrir la comunicación con los responsables de las áreas involucradas para acordar dejar como permanente la o las condiciones que mejoraron nuestro proceso.
- Estandarización de procesos operativos: Una vez acordadas como permanentes las condiciones, pasamos a plasmarlas en un pequeño manual de calidad que nos sirva para problemas futuros dentro de las mismas condiciones o similares.

Capítulo IV.- Proceso de pintado de carrocerías

4.1 Descripción del proceso

El proceso, en el cual se desarrollará la sistemática de mejoramiento y control de la calidad, se trata del pintado de carrocerías, un proceso que determina la presentación de la superficie, y la calidad estética que muestran los autos.

En el ciclo de manufactura de un automóvil, existen 3 procesos importantes:

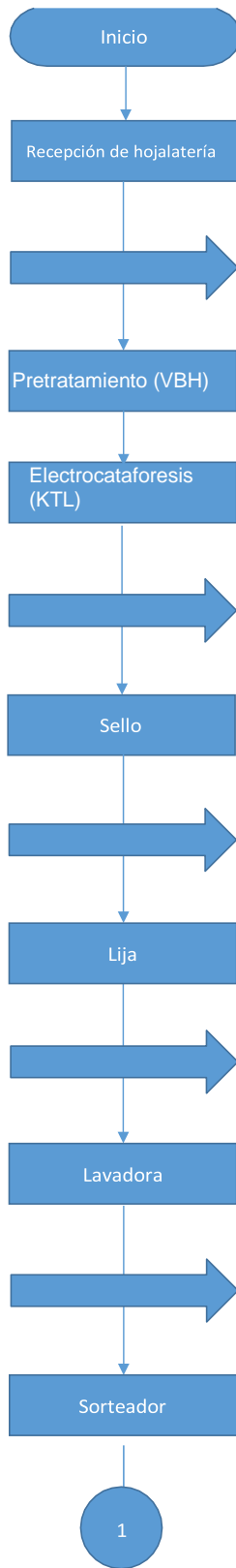
- Construcción de carrocerías: Donde comienzan a ensamblarse las partes de la carrocería, así como su cuerpo.
- Pintura: Asignación y aplicación de color.
- Montaje: Donde todos los componentes son montados dentro de la carrocería ya ensamblada y pintada.

Después de este proceso, el auto es enviado a una inspección de calidad donde es aceptado o no como producto listo para su venta.

4.1.1 Descripción de subprocesos

El proceso de pintado de carrocerías, consta de varias fases que componen al proceso, cada una de ellas cumpliendo una función específica que, de cumplir con las condiciones correctas, se logra una calidad ideal.

El proceso se resume con el siguiente diagrama de flujo, cuyas fases serán brevemente descritas posteriormente:



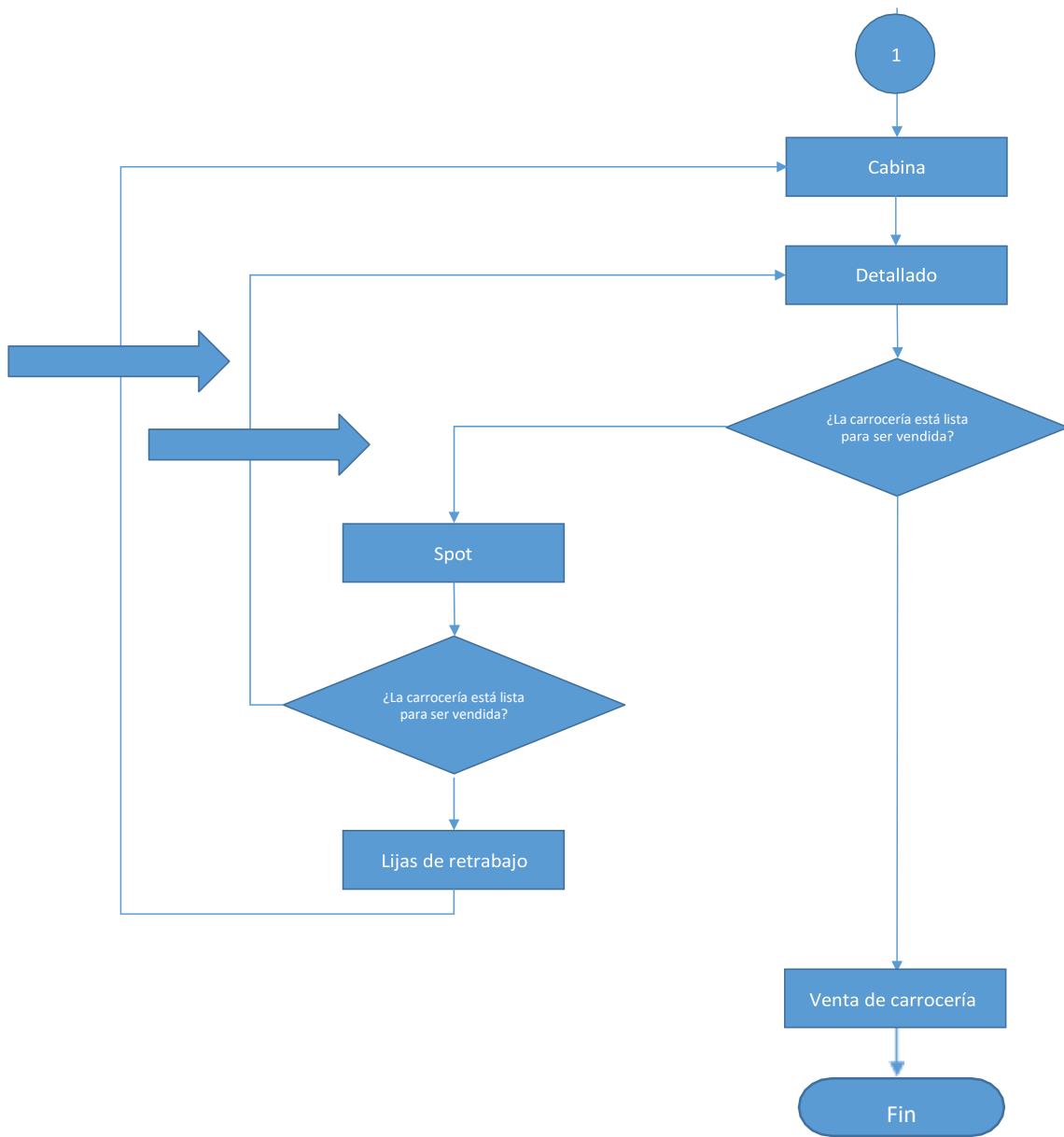


Diagrama de flujo del proceso

***El anterior diagrama de flujo del proceso, representa a grosso modo, lo que el proceso de pintado de carrocerías es, sin entrar en tantos detalles que comprometan la seguridad de los datos. De igual manera, las fases serán

descritas de manera muy general, sin que se pierda tampoco, la esencia de esta investigación y trabajo de grado.***

4.1.1.1 Pretratamiento (VBH)

El pretratamiento de la pintura, después de que “Construcción de Carrocerías” (CdC) termina su función con la carrocería, ésta es transportada a la nave de pintado, donde pasará por todas las fases, antes de ser enviada al montaje, para posteriormente ser entregado a calidad como producto final.

La chapa del carro es revestida con fosfato, revestimiento inorgánico a base de níquel y otros componentes, la cual crea una capa menor de 0.01mm de espesor, que tiene como finalidad mejorar la resistencia contra la corrosión, y al mismo tiempo de mejorar la adherencia de las capas siguientes.

El proceso de fosfatado consta de las siguientes etapas:

- 1) Se remueve el aceite de la placa y se prepara la superficie para el resto del proceso.
- 2) Se eliminan los residuos del engrasado.
- 3) Se prepara la superficie para el fosfatado.
- 4) Se deposita la capa de fosfato sobre la superficie mecánica.
- 5) Se remueven los residuos del fosfato.
- 6) Se sellan y se rellenan los espacios vacíos con el fosfato.
- 7) Se eliminan los residuos para asegurar que la carrocería mantenga su superficie libre de sales.

4.1.1.2 Electrocatáforesis (KTL)

Esta fase es la de electrocatáforesis, que asigna a la carrocería una capa orgánica con un espesor mayor a 0.01mm de grosor, que mejora la resistencia contra la corrosión.

Este proceso consta de las siguientes etapas:

Etapas	Aplicación	Función
Baño electrolítico	Por inmersión	Aplicación de pintura en toda la superficie de la carrocería
	Por expersión	
	Por inmersión	
Lavado con ultra filtrado	Por aspersion	Remover el exceso de pintura, reutilizar la misma para el baño electrolítico.
Lavado con agua Des Ionizada	Por inmersión	Remover los residuos de pintura de la superficie del auto.
	Por aspersion	
Horno	Traslación	Curado de la capa de pintura, que garantiza las propiedades físicas y mecánicas de la misma.

Proceso de KTL

4.1.1.3 Sello

La fase de sello, es la encargada de aplicar el sello en los bordes de los engargolados, esto cumple la función de proteger a todos los componentes de la carrocería de la corrosión, de la apertura de las chapas interior y exterior, además de cumplir una función acústica, pues el tipo de sello, grosor y método de aplicación, además de posición en donde es colocado, ayuda a que la entrada de audio sea bloqueada.

La aplicación de sello consta de distintos tactos que cumplen cada uno con la tarea específica de aplicar el sello a ciertas áreas, como:

- Aplicación de sello en chasis.
- Aplicación de sello en parte trasera de la carrocería.
- Aplicación de sello a puertas delanteras.
- Aplicación de sello a puertas traseras.
- Aplicación de sello a tapa delantera.
- Aplicación de sello a tapa trasera.

Éstas aplicaciones de sello son algunas de manera manual con operarios y otras de manera automática, con robots programados.

4.1.1.5 Lijas

Cuando las carrocerías terminan su proceso de electrocatalforesis, éstas tienen algunas impurezas que requieren ser removidas con lijas, éstas impurezas pueden ser:

- Incrustaciones de sello negro.
- Incrustaciones de sello violeta.
- Incrustaciones de basuras.
- Aperturas en el primer conocidas como cráter.
- Escurrimientos de permeato sobre la superficie de la carrocería.

A estos retrabajos, se les tiene un tiempo estimado de trabajo, que está alineado con el tiempo de tacto que se le es asignado a cada estación de trabajo.

Las estaciones de trabajo tienen a su cargo la tarea de lijar específicas zonas, como:

- Lijado a todo de la carrocería.
- Lijado a puertas delanteras.
- Lijado a puertas traseras.
- Lijado a estribos.
- Lijado a largueros y postes.
- Lijado a tapa trasera.
- Lijado a tapa delantera.

4.1.1.6 Lavadora

Después de pasar por el proceso de lijado, las carrocerías son transportadas al área de lavadora, donde las carrocerías son “lavadas”, por medio de espreas que enjuagan toda la superficie de las carrocerías, removiendo principalmente, los residuos del polvo de lija del proceso anterior.

El propósito principal de éste proceso, es dejar limpia a la superficie, para que ésta esté lista para la aplicación del esmalte, ya de que existir aun, alguna basura o residuo de polvo de lija, la aplicación de esmalte, puede verse afectada, ya que nos provoca fallas en el acabado final de la pintura, tales como:

- Incrustaciones en la pintura.
- Falta de pintura.

Y que, al intentar reparar esas fallas, de no hacer un retrabajo correcto, pueden provocar otras fallas:

- Marca de lija.
- Marca de pulido.

4.1.1.7 Esmalte

Es en ésta fase del proceso de pintado de carrocerías, que se aplica la pintura final a las mismas, después de terminar la fase de lavado, éstas son transportadas a un “sorteador”, en donde de acuerdo al color que se les ha asignado, éstas son almacenadas en pequeños lotes donde se encuentran con otras carrocerías a las que se les aplicará el mismo color de esmalte. Esto, entre otras razones, para ahorrar la cantidad de pintura de un color en específico, pues aplicar el mismo tipo de esmalte a lotes pequeños, genera menos desperdicio de material, que si la asignación de esmaltes fuera aleatoria.

Al igual que las fases anteriores del proceso, la aplicación de esmalte cuenta con distintas estaciones de trabajo, cada una de ellas, dedicada específicamente a la aplicación del esmalte definidos previamente por la ingeniería.

El esmalte se aplica:

- Aplicación de esmalte a interior del auto.
- Aplicación de esmalte a tapa trasera.
- Aplicación de esmalte a puertas traseras.
- Aplicación de esmalte a puertas delanteras.
- Aplicación de esmalte a tapa delantera.
- Aplicación de esmalte a exterior del auto.

4.1.1.8 Detallado.

El detallado, es la fase última del flujo continuo del proceso de pintado de carrocerías, pues es donde la carrocería llega después de terminar su proceso en la fase de aplicación de esmalte. Aquí se “detallan” las carrocerías, se les limpian

aquellas impurezas que dañan el acabado final, se hace la inspección final, y si éstas no requieren de un retrabajo mayor del que pueda ser realizado en dicha área, las mismas pasan a ser liberadas, de lo contrario son enviadas a una zona de retrabajos, o en caso de que demande un retiro de esmalte, para que este vuelva ser aplicado a la carrocería, se envían a “lijas de retrabajo”, donde el esmalte es retirado por completo, pues se le volverá a aplicar, posteriormente es enviada a “Aplicación de esmalte” de nuevo, donde se reintegra al flujo continuo del proceso.

4.2 Situación actual en el proceso de pintado

Actualmente se tienen distintas fallas en el proceso de pintado, que ocasionan un deterioro de calidad en el producto final, y también en los subprocesos descritos anteriormente, que ocasionan demoras, retrabajos y hasta paros de línea en las fases que le preceden y suceden.

Éstas fallas muchas veces ocasionan que los operarios del proceso recurran a hacer movimientos o trabajos que están fuera de sus actividades normales, lo cual puede afectar la ergonomía y la ingeniería de métodos en el proceso.

4.2.1 Problemas en el proceso de pintado

Clasificamos las fallas en el proceso como las que afectan el flujo del proceso, y las que provocan una depreciación de la calidad en el producto final.

Algunas de las fallas que afectan el flujo del proceso son:

- Gotas de permeato: Arrastre de residuo sólido con poco peso molecular que entrompa por las cavidades huecas de la carrocería, provocando un escurrimiento sobre la superficie de la carrocería cuando la temperatura es elevada y ésta se condensa.
- Residuos de sello naranja: El sello naranja es un sello que se aplica en las chapas exteriores de las tapas para que sean unidas. Aunque en ocasiones, una mala aplicación de este sello origina que haya un escape de residuos que termine por incrustarse y dañar la superficie de la carrocería.
- Residuos de sello violeta: El sello violeta es un sello que se aplica en las chapas exteriores de las puertas para que sean unidas. Aunque en ocasiones, una mala aplicación de este sello origina que haya un escape de residuos que termine por incrustarse y dañar la superficie de la carrocería.

Pero también se tienen fallas que afectan la calidad final de nuestro producto, como:

- Falta de pintura: Se llega a tener diminutas partes con escasas de pintura en

algunas zonas, esto tiene como principal causa la dificultad de la aplicación en la zona afectada.

- Incrustaciones: Basuras llegan a colarse en las pistolas que aplican la pintura, que se increpan en la pintura, provocando una falla estética en el acabado final.

4.2.2 Elección de problema a resolver

Como parte de éste proyecto, aplicando la metodología DMAIC para el desarrollo de una sistemática que ayude a mejorar la calidad en los procesos de pintado de carrocerías, es necesario modelar la propuesta de la sistemática en una de las fallas, esto para demostrar que la correcta aplicación del modelo diseñado, con el soporte de LSS, puede ser tan eficiente que logre incrementar los niveles de calidad en el flujo del proceso o la calidad final del producto.

Para esto, el problema elegido para modelar la sistemática, será el de las “gotas de permeato”, que son fallas que provocan retrabajos en varias zonas de las carrocerías, y con distinto grado de dificultad de retrabajo, esto por su posición, volumen, etc.

Las gotas de permeato son, arrastre de residuos sólidos, con poco peso molecular lo cual permite que entrompen por cualquier cavidad hueca que existe en la carrocería o en sus componentes, que después de pasar por el horno donde la primer capa de pintura se adhiere a la carrocería, hace que, al elevarse la temperatura, en conjunto con el poco peso molecular de los sólidos que componen la fórmula, sus partículas entran colisión al condensarse y provocan un escurrimiento sobre la superficie de las carrocerías.

En algunas ocasiones, la superficie afectada no daña la estética de la carrocería, en otras, cuando sí daña la estética, es cuando se demanda un retrabajo no programado en la zona de lijas.

Se entiende por superficie estética de la carrocería, a las zonas donde no se colocará una moldura que puedan cubrir esa parte de la superficie, cuando la superficie no es estética, se da a entender, que una moldura será colocada en esa parte.

4.2.3 Análisis de la situación

Existen ocho zonas, de manera muy general en donde estos escurrimientos de gotas se pueden presentar y provocar un daño en la superficie estética de la carrocería.

- Poste A, costado derecho.
- Poste B, costado derecho.
- Poste C, costado derecho.
- Canal de desagüe, costado derecho.
- Poste A, costado izquierdo.
- Poste B, costado izquierdo.
- Poste C, costado izquierdo.
- Canal de desagüe, costado izquierdo.



Zonas de afectación en la carrocería

La ilustración anterior, marca las 4 zonas de afectación en el costado izquierdo, de la carrocería, las del costado derecho son completamente iguales a estas.

4.2.4 Impacto económico

Algunos de los retos más significantes de cualquier proyecto de mejora de calidad es el impacto económico, pues incluye el desarrollo de estándares, mejorando la selección de los materiales, el incremento de la rentabilidad y vida útil del equipo. (Chee Kai Chua, 2017).

La necesidad de retrabajar las zonas afectadas, demanda un mayor gasto de materiales y herramientas que no están contempladas en el presupuesto inicial, puesto que es algo que no se tiene programado como actividad y por lo tanto no entra dentro de la planeación normal de la producción.

Por cada carrocería que tenga estos escurrimientos de gotas, se pueden gastar hasta una lija entera.

Se tiene un volumen de producción diaria de 200 unidades que pasan por el proceso de lijas, 1000 unidades semanales, por cincuenta semanas de producción, equivalen a unas 50mil lijas gastadas en puro retrabajo ocasionado por los escurrimientos de gotas de permeato sobre las superficies de las carrocerías.

Lijas extras	
Por unidad producida	1
Unidades producidas diarias	200
Días de producción semanal	5
Unidades semanales	1000
Semanas de producción anual	50
Unidades anuales	50000

Lijas extras

En la tabla anterior de “Lijas extras” se refleja la cantidad de lijas que serían requeridas anualmente para corregir las imperfecciones en la superficie de las carrocerías provocadas por la problemática.

Por motivos de confidencialidad, el precio real de los materiales utilizados, así como el proveedor de los mismos, no pueden ser expresados de manera textual. Sin embargo, para fines prácticos, se presenta una tabla con un precio estimado de una lija con característica similares y su precio en el mercado:

Lijas	
Costo unitario (USD)	\$0.75
Unidades al año	50,000
Costo anual (USD)	\$125,000.00

Inversión anual en lijas extras

En la tabla anterior de “Inversión anual en lijas extras”, podemos observar que de seguir la tendencia en que en cada una de las unidades producidas requiera de esa lija extra, entonces se tendrá un gasto anual de \$125,000.00 USD, lo cual al tipo de cambio en México en Diciembre de 2017 corresponde a \$19.13 MXN (BANXICO, 2017).

Gasto anual en lijas extras		
Precio por lija	\$ 0.75	USD
Valor USD a MXN (Dic 2017)	\$ 19.13	MXN
Unidades anuales	50,000	PC
Costo anual USD	\$ 37,500.00	USD
Costo anual MXN	\$ 717,375.00	MXN

Gasto anual en lijas extras

En la tabla anterior, se observa a cuanto equivale en dólares y en moneda nacional que es de \$717,375.00 MXN, el total del gasto anual que se tendría que hacer, de continuar con la tendencia.

Ahora ya se conoce, cuál es el impacto económico que busca reducirse.

En esta ocasión, como se menciona al inicio de este proyecto de grado, no se toma en cuenta el factor humano, es decir, la mano de obra involucrada, y los gastos que esto genera. Lo anterior porque se toman en cuenta aspectos como:

- No acceso a información de sueldos operativos.
- Trato sindical.
- Mayor variabilidad económica.

Capítulo V.- Desarrollo de la metodología DMAIC en el proceso

En éste capítulo, se comenzará a desarrollar cada una de las fases involucradas en la metodología, en conjunto con las herramientas que han sido seleccionadas para el acompañamiento de cada una de las fases del DMAIC.

Además, como introducción al proceso de implantación, en donde el objetivo principal es la mejora de calidad en el proceso de pintado de carrocerías, y sobre el mito de que la calidad es lo que el cliente diga que la calidad es, y que no hay nada más falso que eso, pues de ser cierto, existiría mucho desempleo, los estándares de calidad deben ser estipulados cuidadosamente por las organizaciones, estableciendo altos y consistentes requerimientos que conduzcan a una ventaja competitiva para la organización y un valor para el cliente correcto. (Roberson, 2011).

5.1 Desarrollo de las fases aplicadas al proceso

A continuación, se iniciará con la descripción de las fases de la metodología junto con todas las herramientas elegidas que acompañaran el desarrollo y garantizan un mejor resultado, siempre y cuando sean ejecutadas de manera correcta, con también un correcto análisis de todas las herramientas.

5.1.1 Definir

La primera fase de la metodología DMAIC, desprendida de LSS tiene su origen gracias a “General Electric”, una empresa estadounidense pionera en el uso de LSS, que notó que antes de resolver un problema, este debía ser definido por completo, es decir, precisar realmente con todas sus dimensiones, lo que un problema es, para delimitar futuras acciones (Abramowich, 2005).

Es por ello que, todas las herramientas presentadas en la fase de “Definir”, están orientadas a conocer, posteriormente delimitar al problema específico, orientados a presentar las partes del proceso en donde se puedan encontrar áreas de oportunidad, que ayuden a encontrar la dirección que se debe tomar para encontrar la mejor solución al problema elegido.

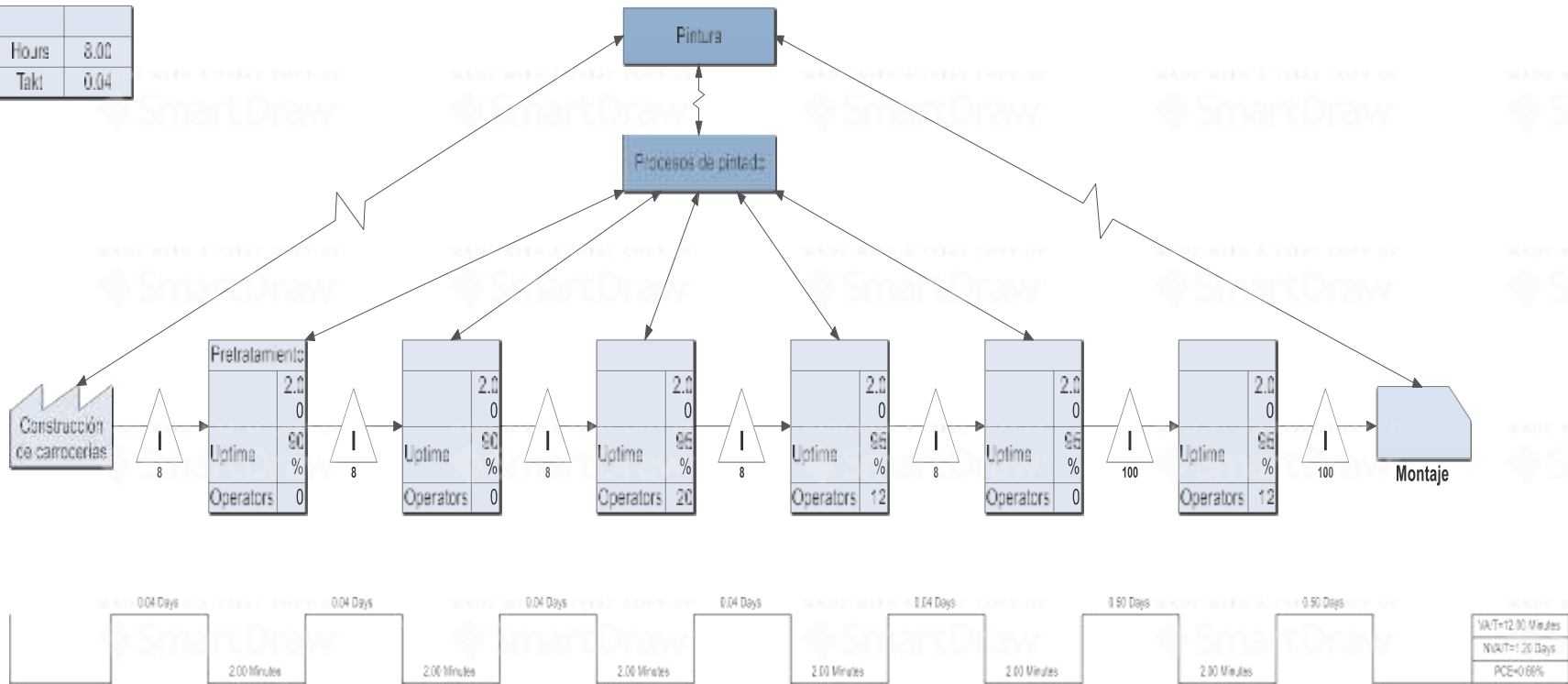
Las herramientas elegidas para esta fase ya fueron descritas en un capítulo anterior, junto con su justificación, en esta ocasión solo los enumeramos:

1. VSM
2. Project Charter.
3. Plan de comunicación.

4. SIPOC.
5. Casa de la calidad.

Comenzamos con el VSM, herramienta que ayudará a conocer más los agentes que intervienen en el proceso desde un origen, hasta donde el problema se presenta, esto con la finalidad de delimitar las posibles causas que originan al problema.

Hours	8.00
Takt	0.04

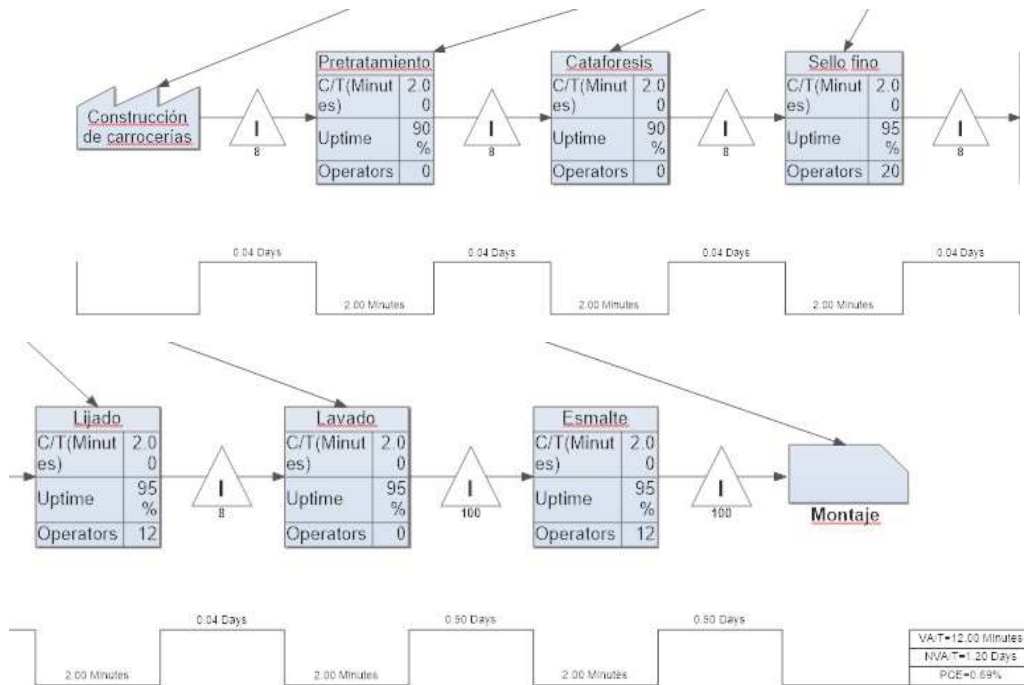


VSM de Pintura

El VSM anterior, nos muestra que todo comienza cuando construcción de carrocerías entrega al proceso de pintura, las carrocerías ya ensambladas.

Con una demanda de producción de 200 unidades por un turno de 8 horas, se tiene lo siguiente en cuanto a los procesos de pintado:

Demand	200.00
Hours	8.00
Takt	0.04



Detalle de VSM de Pintura

En el VSM se puede apreciar el tiempo de ciclo, de tacto, y la mano de obra requerida para poder llevar a cabo esas tareas específicas.

Project Charter

El Project Charter, es la herramienta encargada de delimitar el desarrollo correcto del proyecto. En el cual se delimita primero, los alcances, para asegurar el buen funcionamiento del plan a ejecutarse.

El Project Charter para el desarrollo del proyecto, es el siguiente:

Project Charter

A. Información general

Nombre del proyecto:	Disipación de las gotas de permealto sobre la superficie de las carrocerías	Fecha de inicio:	07-ago-17
Asesoramiento:	Esp. Ing de proceso Martín Acuña Cuevas	Fecha de finalización:	12-ene-18
Presentado por:	C. David García Vázquez	Autorizado por:	Gerencia de Pintura

B. Propósito del proyecto

Disipar la presencia de las gotas de permealto sobre la superficie estética de la carrocería, con el fin de evitar retrabajos en el flujo continuo del proceso que no le dan un valor agregado a la calidad final y entrega de producto terminado.

C. Objetivos del proyecto

Metas de la organización	Objetivos del proyecto
<ul style="list-style-type: none"> *Reducir costos en materiales utilizados. *Reducir costos en herramientas utilizadas. *Evitar paros de línea no programados por retrabajos. *Eliminar tareas que no asignen valor agregado al proucto. 	<ul style="list-style-type: none"> *Disipar la presencia de escurrimientos que dañan superficie. *Reducir volumen de escurrimientos.

D. Alcance del proyecto

Definir un plan de trabajo que cumpla con los objetivos en un lapso de tiempo no mayor a 5 meses.

Lograr un 50% de ahorro en el gasto de materiales y herramientas que la organización utiliza en retrabajar zonas afectadas.

Retroalimentar paulatinamente con los encargados de áreas involucradas para hacerles saber de los avances y limitaciones.

Presentación de resultados parciales y finales, con objetivos logrados.

Project Charter

El Project Charter pasado, define los intereses de la empresa, así como los del proyecto, los alcances que junto con los objetivos se esperan lograr, y las personas involucradas en el proceso.

Plan de comunicación

Esta es una de las herramientas más importantes para cerciorar el buen desarrollo del proyecto, pues depende mucho de la comunicación que se tenga con todos los encargados de áreas involucradas, puesto que dependerá de la información que sea compartida, se podrá tener un mejor diagnóstico del problema, un mejor plan de acción y un mejor seguimiento a las acciones preventivas y correctivas que se tengan.

Para lo siguiente, se programan citas para abordar temas importantes que conciernen al problema en desarrollo, las citas de trabajo serán con quienes están a cargo de los procesos que influyen en el problema, así como cualquier otro que sin tener a cargo un proceso como tal, puede ayudar a evaluar y tomar decisiones que logren mejoras.

Es por ello, que se han programado buscar juntas donde se tenga un “Benchmarking” con los equipos que tengan variables de impacto en el proceso evaluado, que son los siguientes:

Equipos con intervención de variables en el proceso			
Junta con equipo de pretratamiento de la pintura	Junta con equipo de catáforesis	Junta con equipo de corrosión	Junta con equipo de geometría de componentes

Equipos con intervención de variables en el proceso

SIPOC

El SIPOC, la herramienta que evalúa la relación de los proveedores junto con las entradas de materia prima o en este caso, un subensamble que será sometido a un proceso el cual estará bajo la supervisión de esta área, para que la salida o resultado que se tenga, contenga los estándares que el cliente, o procesos siguientes demanden.

El SIPOC, ayudará a identificar como es que los proveedores (pueden ser en este caso externos o internos dentro del proceso) afectan al proceso, los insumos, los procesos que anteceden y le suceden, así como las salidas y la entrega a los clientes (que en este caso es uno de los procesos siguientes).

El SIPOC para este proyecto queda de la siguiente manera:

SIPOC				
Suppliers/Proveedores	Incomes/Entradas	Process/Procesos o subprocesos	Outputs/Salidas	Coustomers/Clientes
Construcción de carrocerías	Componentes con cavidades en donde las gotas pueden escurrir sobre la superficie de las carrocerías	Subensamble de piezas sueltas	Carrocerías con superficies estéticas dañadas por el escurrimiento de sólidos	Proceso de esmalte
Pretratamiento de pintura		Ensamble de componentes		Entrega de producto al siguiente proceso
Electrocataforesis		Electrocataforesis		

SIPOC

El SIPOC anterior ayuda a conocer en todo momento quienes son los proveedores de los componentes que presenta la falla, así se sabe en todo momento en a quién o quiénes necesitamos consultar o en dónde se necesita generar un ajuste.

Los datos en el SIPOC, hacen conscientes de la condición en la que los proveedores (internos o externos) nos entregan los componentes, para así ser francos en la dirección que debemos tomar para la resolución del problema.

Así como fueron identificados los proveedores, también es necesario identificar a los procesos y subprocesos que interfieren de manera directa e indirecta en la aparición de las gotas de permeato, entonces, al identificar el nivel de impacto que cada uno de los procesos y/o subprocesos y así las medidas que deberían tomarse en cada proceso o subproceso.

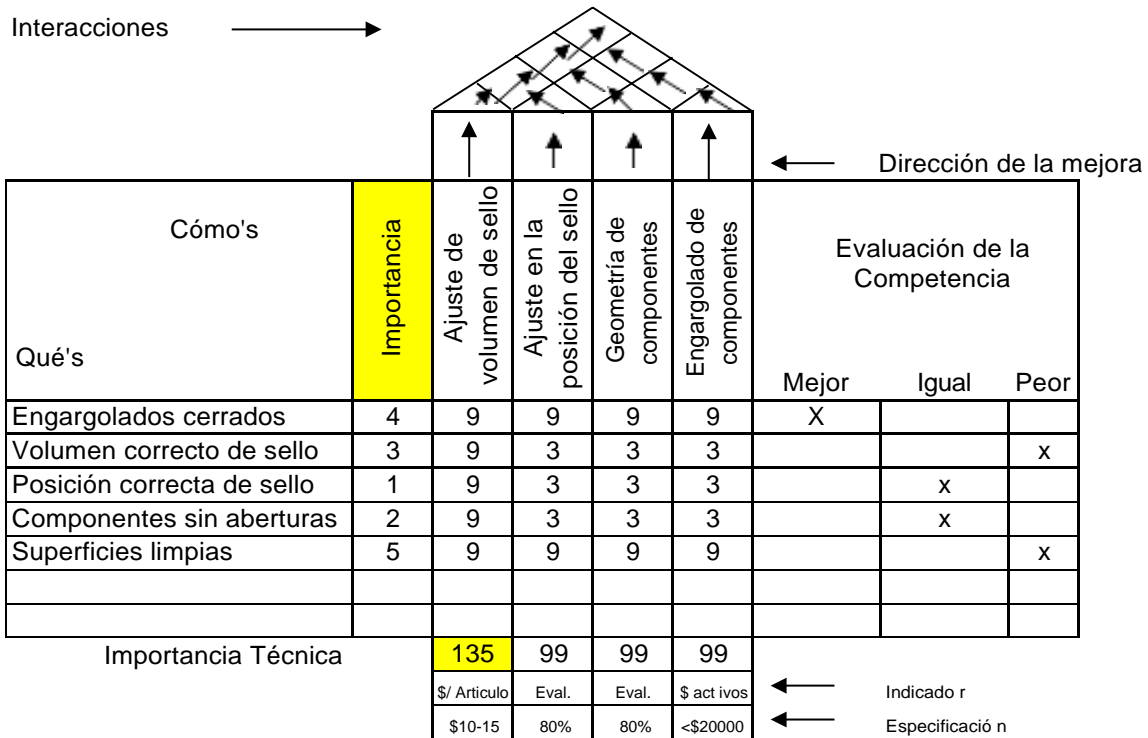
Reconocer lo que se entrega como las “Salidas” (Outputs) al siguiente proceso que es entonces el “Cliente” (Coustumer) inmediato para así evaluar, a medida que el proyecto avance, si es que el nivel de reclamaciones continua, mejora o empeora, será parte de los parámetros para la evaluación de la eficacia del plan metodológico para la resolución de éste problema.

Casa de la Calidad (QFD)

La casa de la calidad, lo primero que hace es tomar en cuenta la voz del cliente, para este caso, la necesidad que tiene el siguiente proceso de que se le entregue un producto en condiciones tales, así como los involucrados podemos determinar también los alcances, limitantes, etc.

Nuestra casa de la calidad queda de la siguiente forma:

Casa de Calidad



Casa de la calidad

Para entender mejor esta casa de la calidad, es necesario remarcar la importancia de sus “Qué’s”, y al de sus “Cómo’s” también. Empezando por decir que los “Qué’s” son las necesidades del cliente, es decir, cómo es que ellos lo piden, en este caso, solicitan que:

- Los engargolados estén completamente cerrados para así evitar que los sólidos entrompen por las cavidades huecas.
- Un volumen de sello que asegure que cumplirá las funciones para las cuales el sello ha sido diseñado.
- Una posición del sello que asegure que cumplirá las funciones para las cuales el sello ha sido diseñado.
- Componentes que no presenten alguna abertura que permita la circulación de sólidos.
- Y, finalmente, que las superficies de las carrocerías vengan libres de cualquier escurrimiento que dañe la calidad estética de las mismas.

Para cumplir estos “Qué’s” es necesario determinar los “Cómo’s” para que estos puedan ser logrados, tales como:

- Ajustar el volumen del sello para una mejor función.

- Ajustar la posición del sello para una mejor función.
- Lograr una mejor geometría en los componentes.
- Evitar que existan orificios o cavidades huecas que permitan la circulación de residuos sólidos.

Los “Qué’s” vienen calificados con un nivel de importancia, siendo 1 la menor importancia y siendo 5 el de mayor importancia. Después se asigna un nivel de relación entre las variables, estos niveles de relación están clasificados en 3, siendo distinguidos por 3 puntuaciones distintas, siendo el “9” la mayor relación, “3” de mediana relación, y “1” de casi nula relación.

Es así como se determina cuál de los “Cómo’s” nos ayuda a generar un mayor impacto en los requerimientos del cliente representados en los “Qué’s”.

Lo cual nos arroja que el “Ajuste en el volumen del sello” es la vía más importante en “cómo” se dará solución a la mayor cantidad de los requerimientos del cliente.

Es así como con las herramientas utilizadas en esta fase nos ayudan a definir un problema, con el uso del VSM pudimos reconocer en qué orden se encuentran los procesos donde existen áreas de oportunidad.

El Project Charter nos ayudó a definir el problema, la dirección que debemos tomar para resolverlo, así como las personas involucradas para la resolución del mismo.

El plan de comunicación es esencial para lograr involucrar a todas las partes con intervención en las variables de interés, para así buscar entre todos, una solución eficiente.

El SIPOC profundiza en lo que el VSM nos arrojó, es decir, aparte de conocer a los agentes, proceso y subprocesos que intervienen en la solución del problema, conocemos los detalles y su nivel de influencia para el mismo.

La casa de la calidad nos hace conscientes de lo que el cliente (siguiente o siguientes procesos) requieren y del cómo vamos a solucionar ese problema que afecta nuestra calidad, con las vías que elegimos como nuestros “cómo’s”.

5.1.2 Medir

Para la fase Medir, una vez que se ha definido la problemática, es necesario comenzar a medir la gravedad de nuestro problema, la variable de medición será representada por PPM al final del ejercicio.

Para ello, se han elegido las siguientes herramientas que darán acompañamiento a esta fase:

- Plan de recolección de datos.
- Diagrama de Pareto.

- Histograma.
- Capacidades de proceso.
- Eficiencia de proceso.

Plan de recolección de datos:

Se debe tener certeza de cómo los datos serán recolectados, que posteriormente serán analizados, pues la recolección de los datos es la materia prima para llegar a la solución de la problemática.

Como el análisis, y las decisiones y acciones de mejora dependerán de los datos, se ha determinado recolectar los datos de la siguiente manera:

Evaluación:	Diaria
Volumen:	30 piezas

El volumen de la muestra es representativo al volumen de producción diaria, pues se toma más de un 10% de la producción diaria, para tener una muestra que arroje datos más certeros.

Diagrama de Pareto

Anteriormente se han mencionado que existen ocho zonas afectadas, el Pareto nos ayudará a determinar cuál debe ser la primera zona que debe ser atacada, siguiendo el principio de Pareto, que es atacar el 80% de las fallas, es decir, la afectación con mayor incidencia.

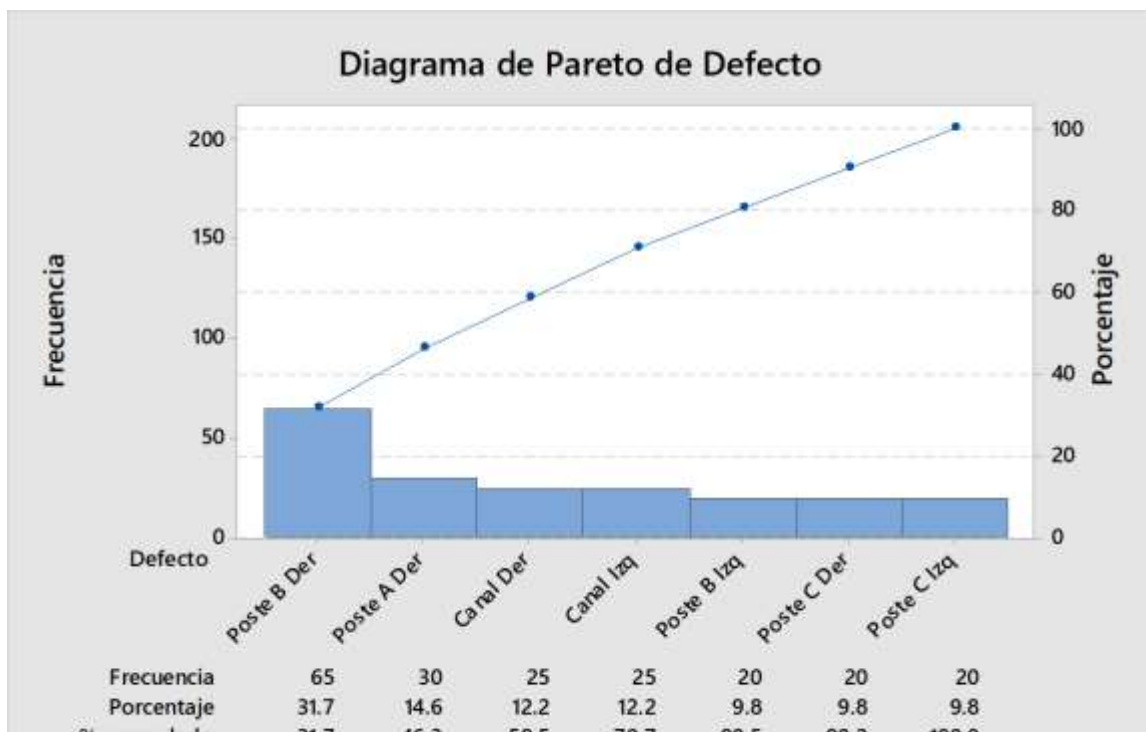


Diagrama de Pareto de Defecto

El Diagrama de Pareto anterior nos muestra que la presencia del escurrimiento de sólidos se presenta sobre todo con mayor porcentaje en el poste B derecho, es decir, esa será la zona que más será trabajada para mejorar la calidad.

Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es muy importante, ya que toma en cuenta para su análisis, el método de las 6m's:

- Mano de obra
- Medición
- Materia prima
- Maquinaria
- Medio ambiente
- Método

Esto le permite hacer un análisis sobre esos seis aspectos que puedan direccionar a identificar las áreas de oportunidad que se necesitan corregir para lograr la mejora de calidad.

Nuestro diagrama de Ishikawa queda de la siguiente forma:

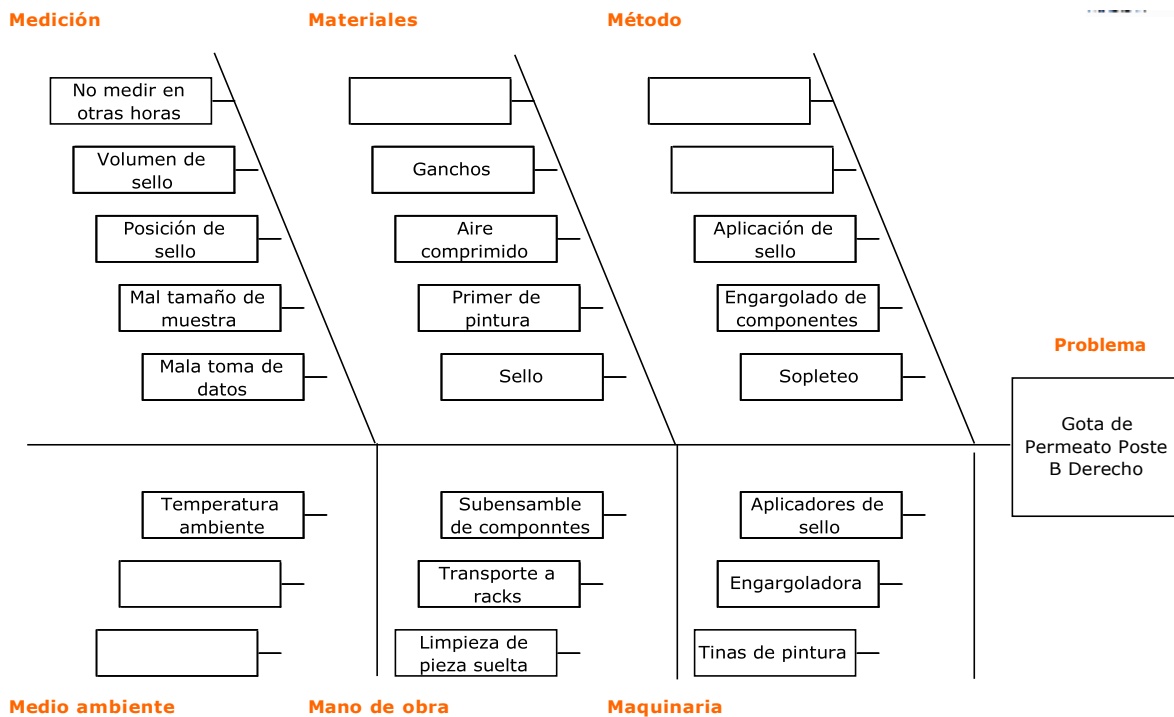


Diagrama de Ishikawa

Las anteriores, son todas las variables a considerar que ayudarán a disipar la presencia del escurrimiento de sólidos, clasificadas según su familia "M".

5 Por qué

Una vez teniendo el Diagrama de Pareto y Diagrama de Ishikawa anteriores, definir la causa raíz de este análisis pertenece al siguiente eslabón. Para ello, el ejercicio de los “5 Por qué’s” queda de la siguiente manera:

Defecto		Razón
¿Por qué? 1	¿Por qué ocurrió el defecto?	Retrabajo de lijas en superficie de carrocería
¿Por qué? 2	¿Por qué ocurrió?	Presencia de protuberancias en la superficie
¿Por qué? 3	¿Por qué ocurrió?	Escurrimiento de gota de permeato
¿Por qué? 4	¿Por qué ocurrió?	Escurrimiento de materia por cavidades
¿Por qué? 5	¿Por qué ocurrió?	Mala posición de sello violeta

5 Por qué

Carta P

Una vez que se ha localizado la zona más crítica con la ayuda del diagrama de Pareto, es necesario estudiar esa zona para después analizarla.

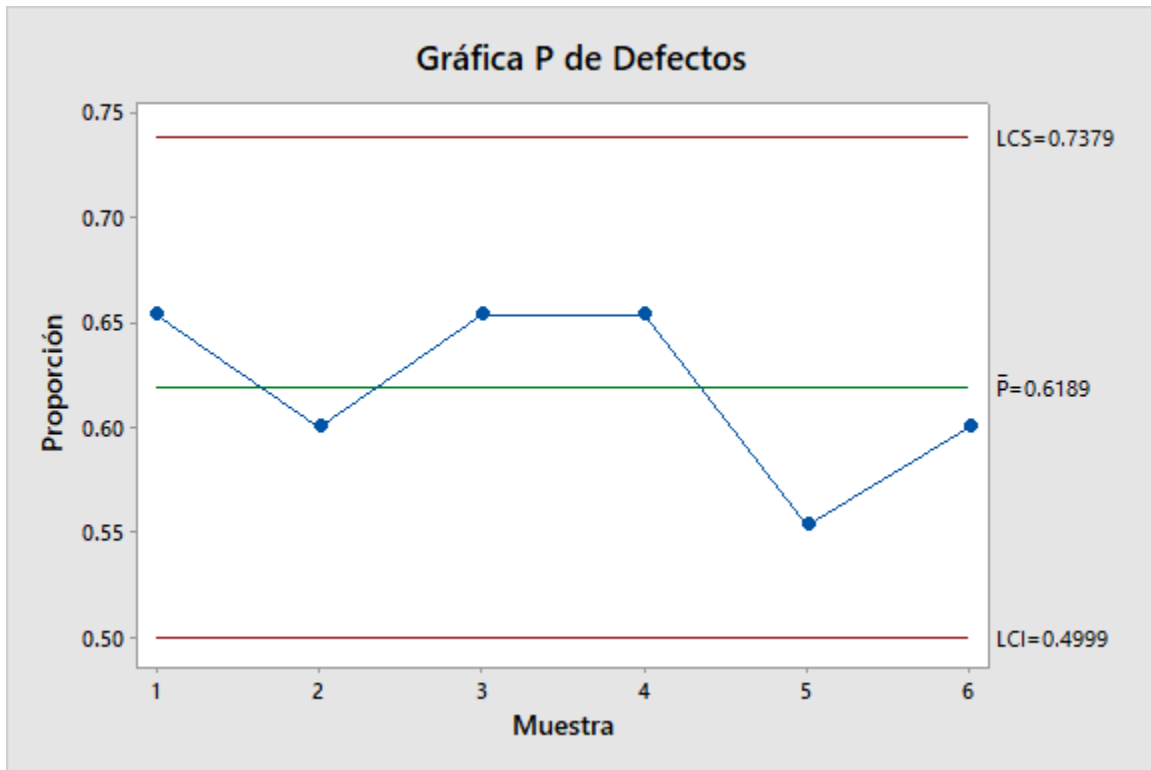
Es por eso que se comienza con medir la incidencia que presenta esta situación tan crítica.

Por ello, se ha determinado medir los índices de calidad con una carta P, la cual nos arroja de manera gráfica, como están los niveles de calidad del proceso.

Para la siguiente carta P se evalúan seis semanas, con los datos siguientes:

Semana	Porcentaje
S1	65.0%
S2	60.0%
S3	65.0%
S4	65.0%
S5	55.0%
S6	60.0%

Datos Carta P

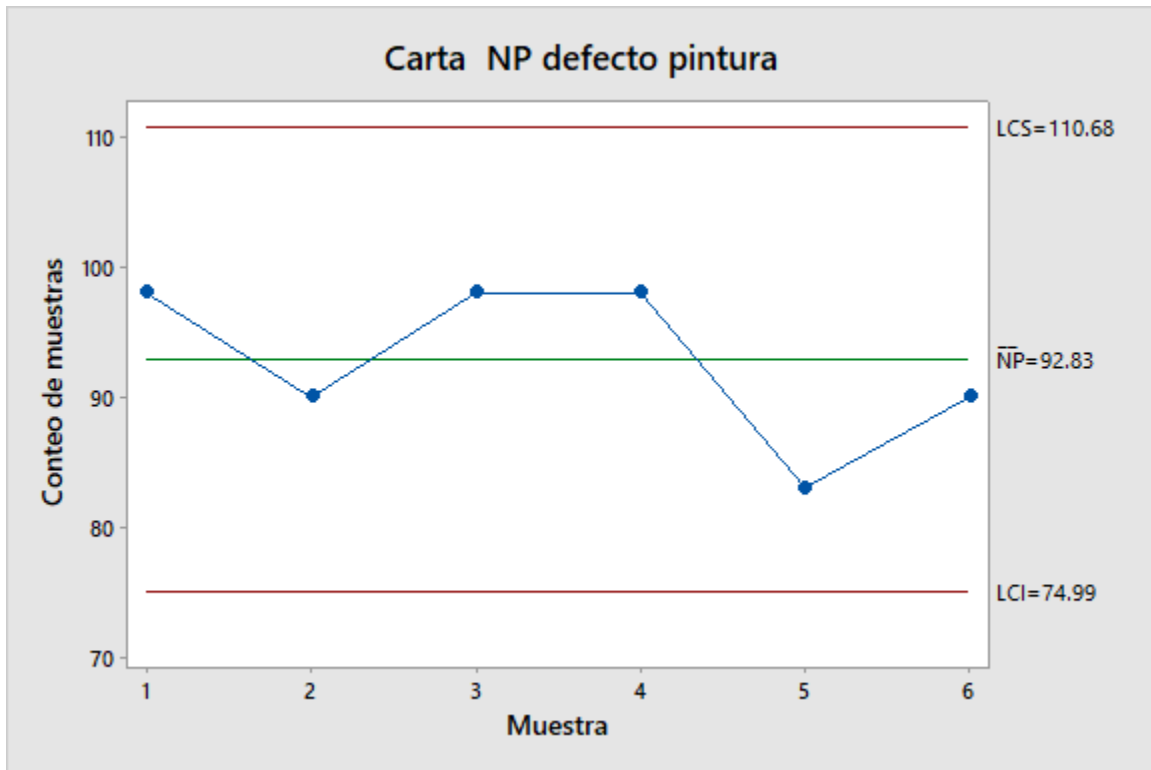


Carta P condición antes DMAIC

Podemos observar que la carta P arroja una dispersión de datos muy abierta, es decir, que los datos se encuentran muy dispersos. Y eso se demuestra en su desviación estándar, que es igual a 4.082, con una media de datos que oscila el 62%, con un mínimo de calidad que ronda el 55%, y un máximo de calidad de 65%, como se muestra en los datos que fueron recolectados.

Carta NP

Como parte de los indicadores que necesitamos para tener un parámetro que nos marque el antes y después de los índices de calidad, la carta que se muestra a continuación, nos muestra la condición que se tiene antes de desarrollar la metodología DMAIC, de las seis muestras semanales de las 150 piezas. Y resulta de la siguiente manera:



Carta NP condición antes DMAIC

De las 150 piezas evaluadas semanalmente, hay una media de 92.83 autos en condiciones aceptables.

Ahora se procede a evaluar la cantidad de piezas aceptables por millón, para tener un panorama más amplio de la condición que se tiene.

La fórmula es:

$$\frac{\text{Cantidad de piezas defectuosas}}{\text{Cantidad de piezas inspeccionadas}} * 1,000,000 \quad \text{PPM}$$

$$\frac{92.83}{150} * 1,000,000 \quad 618,866.67 \text{ PPM}$$

Sustituyendo:

Eficiencia del proceso

Para medir la eficiencia del proceso, usaré el OEE (Overall Equipment Effectiveness), que mide la Eficiencia General de los Equipos, esto para medir el impacto que tiene que re trabajar estas impurezas en la superficie, y brindar un prámetro que nos diga que tan bien corre el flujo del proceso.

El OEE se mide con 3 parámetros:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

- Disponibilidad.
- Capacidad.
- Calidad.

Y tenemos una tabla que, dependiendo del resultado, nos dice cómo nos encontramos a nivel eficiencia de equipos, que es la siguiente:

Parámetros de eficiencia OEE	
< - 65%	Inaceptable
65% - 75%	Regular
75% - 85%	Aceptable
85% - 95%	Buena
95% - >	Excelencia

Parámetros OEE

Para esto, se han medido los niveles de; Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, que quedan de la siguiente forma:

OEE	
Disponibilidad	95%
Rendimiento	97%
Calidad	35%

Niveles de cálculo de OEE

***El porcentaje correspondiente a la disponibilidad, fue proporcionado por el área de mantenimiento de la nave de pintura.

***El porcentaje correspondiente al rendimiento fue proporcionado por la gerencia de pintura.

***El porcentaje correspondiente a calidad, fue obtenido gracias al estudio y resultados que son mostrados previamente en la “Carta NP Defecto pintura”.

El cálculo queda de la siguiente forma:

Sustituyendo:

$$\text{OEE} = 95\% * 97\% * 35\% = 32.25\%$$

Entonces los niveles de aprovechamiento del equipo, en el proceso afectado es de un 32.25%, algo inaceptable, es por ello que es urgente remediar esta situación.

En el capítulo siguiente, una vez ejercidas las acciones correctivas que se requieran, se presentará esta misma herramienta, para equiparar las condiciones que se logren.

5.1.3 Analizar

Una vez que ya se tiene definido el problema, y se tienen las mediciones correctas, es momento de comenzar a profundizar en los análisis para que se tomen las acciones de mejora correspondientes.

Para ello, las siguientes herramientas acompañarán esta fase:

- Ishikawa
- Benchmarking
- Tormenta de ideas
- Método GUT
- AMEF
- Teoría de colas

Benchmarking & Tormenta de ideas

Junto con todos los departamentos y áreas involucrados en la resolución de este problema, se puede compartir información, y tener una lluvia o tormenta de ideas, donde se busque una o varias alternativas de solución, respaldadas con el conocimiento técnico de los encargados del área que sean compartidas.

Entre las ideas que surgieron, se tienen:

- Aumentar el volumen del sello.
- Redistribuir el sello por el contorno de las chapas interior y exterior de los componentes.
- Mejorar la geometría de los componentes.

Método GUT

Se tiene entonces, una zona afectada, pero distintas causas, es decir:

La zona más afectada con dichos escurrimientos es el poste B derecho, pero este puede deberse a:

- Escurrimiento por ganchos.
- Escurrimiento por orificio en chapas.
- Escurrimiento por bisagras.
- Escurrimiento por dren.

Todas estas posibles causas provocan el escurrimiento sobre el poste B derecho, sin embargo, se utilizará el método GUT, para definir cuál es más “Grave”, “Urgente” y cuál presenta una tendencia mayor que el resto.

Para ello se tiene lo siguiente:

Causas	Gravedad	Urgencia	Tendencia	Puntuación
Ganchos	1	1	1	1
Orificios en chapas	4	4	4	64
Bisagras	2	3	2	12
Dren	3	2	3	18

Método GUT

El método puntúa del 1 al 4, siendo “1” el de menor importancia y “4” el de mayor importancia, para al final obtener por causa, un producto de los 3 rubros que indica cual es la primera causa en la que se debe diseñar planes de acción y de mejora.

AMEF

El AMEF ayudará a identificar las posibles causas y su nivel de impacto:

El AMEF dice que dos de las potenciales causas que más dan origen al escurrimiento, se debe al sello, a que la posición y el volumen no se encuentran en óptimas condiciones.

Modo de Fallo	Efecto	Causas	Método de detección	Acciones recomend.	Responsable	Acción Tomada	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR final
Gota	Circulación de sólidos	Sello mal aplicado	Visual	Ajustar posición de sello	Sello	Ajuste en su posición	3	3	3	27
		Falta de sello		Ajustar volumen de sello		Ajuste en su volumen	3	3	3	27
		Mala geometría	Medición	Ajustar geometría	Geometría	Ajuste de geometría	2	2	2	8
		Mal cierre de engargolado		Ajustar engargolado	Cons. De carroc.	Ajuste de engargolado	3	3	2	18

AMEF

5.1.4 Mejorar

En esta cuarta fase de la metodología DMAIC, ya definido el problema, medido y analizado, se pasará entonces, a tomar acciones de mejora.

Para acompañar esta fase, las siguientes herramientas que se utilizarán, y que ya fueron descritas en un capítulo anterior, son:

- Matriz se de selección de soluciones.
- Plan de acción.
- Planificación de operaciones.
- Seguimiento a las acciones tomadas.

Para ello, se comienza con las herramientas de ésta fase.

Matriz de selección de soluciones

En la matriz de soluciones, se evaluarán todas las alternativas de solución que se obtuvieron en la lluvia de ideas y benchmarking con los agentes involucrados.

Solución(es)	¿Puede tomarse acción?
Aumentar el volumen de sello	Sí
Ajustar posición de sello	Sí
Ajustar engargolado de componentes	Sí
Ajustar geometría de pieza	Sí
Diseñar sistema de espreas	Sí

Selección de soluciones

En este caso, todas las potenciales soluciones son factibles, en conjunto con los equipos de trabajo encargados de las variables que influyen, se comenzará a tomar acción de manera inmediata, para lograr los objetivos de manera correcta e inmediata.

Plan de acción y Planificación de operaciones

El plan de acción, es la agenda de actividades que han de tomarse para la corrección de esta problemática.

Soluciones	Comienzo de ajuste	Tiempo de ajuste	Dpto a cargo
Ajustar el volumen de sello	De inmediato	1 día	Hojalatería
Ajustar posición de sello	De inmediato	1 día	Hojalatería
Ajustar engargolado de componentes	De inmediato	1 día	Hojalatería
Ajustar geometría de pieza	De inmediato	1 semana	Hojalatería
Diseñar sistema de espreas	De inmediato	2 días	Pintura

Acciones de mejora

***Todas las acciones propuestas no generaron un costo extra en materiales o herramientas, puesto que los volúmenes o posiciones de sello, no se refieren a aplicar mayor o menor cantidad, solo una mejor colocación de los mismos.

***Los ajustes en engargolado y geometría involucraron una reingeniería menor en el diseño, que no necesitó de nuevos costos.

***Ya existe un sistema de espreas interno, solo se necesitó una mejor distribución de las mismas.

***En resumen, las propuestas que se hicieron, tuvieron como objetivo principal, hacer más (obtener mejores resultados), con los mismos recursos.

Una vez ya identificadas las áreas de oportunidad, se solicita hacer los ajustes y cambios pertinentes para lograr la mejora de la calidad en nuestra pieza. Se hacen de manera inmediata, contemplando el tiempo que demoran cada encargado en realizar los ajustes que le competen.

Seguimiento de acciones de mejora

Una vez ya atendidas las áreas de oportunidad, es necesario brindar un seguimiento a éstas, por ejemplo:

El sistema de espreas que se diseñó por el departamento de pintura, periódicamente tiene una revisión de su estatus, pues ésta tiene una estandarización, es decir, cada esprea colocada tiene un área de la superficie encargada para disipar la presencia de los sólidos que se vienen arrastrando.

Así mismo con todas las acciones tomadas por las demás áreas y departamentos involucrados, como parte del plan de mejora, la retroalimentación y una periódica revisión del estatus de las acciones que se tomaron, aseguran un mejor funcionamiento.

5.1.5 Controlar

Ya se lograron la definición de un problema, la medición y análisis de su situación, se han diseñado y ejecutado planes de acción para buscar el incremento de la calidad. Ahora es momento de controlar las medidas que se tomaron durante todo este estudio para que se pueda dar dar garantía a que, de seguirse este plan, el departamento mejorará sus niveles de calidad de manera continua.

Para ello, las herramientas que acompañarán a esta fase son:

- Plan de control y comunicación.
- Estandarización de procesos.

Plan de control y comunicación

El plan de control y comunicación, dos acciones que van de la mano, pues una vez teniendo una estrategia para el control de las acciones correctivas, es necesario generar un control, para ello, todas las áreas y departamentos involucrados, necesitan establecer puentes de diálogo y comunicación para que por lo menos cada una de esas áreas estén constantemente pendientes de que dichas correcciones sean ejecutadas de la manera acordada y no hacer cambio en los ajustes sin antes un común previo acuerdo con los involucrados.

Por ejemplo:

- Agendar juntas técnicas con las áreas para revisar constantemente el estatus de los ajustes, para verificar si estos están o no conforme a lo acordado.
- Solicitar de manera mensual un reporte con las evaluaciones de los estatus de las correcciones, para que puedan ser evaluadas por el jefe de proyecto.

***El reporte mensual incluirá índices KPI, que muestren de manera más gráfica los avances logrados, y comparación de situaciones dentro de determinados lapsos de tiempo.

- Índice KPI de eficiencia.
- Índice KPI de productividad.
- Índice KPI de calidad.

Estandarización de procesos

Es necesario buscar estandarizar las acciones correctivas que ayudarán a mejorar e incrementar los niveles de calidad. Por ello, se acuerda lo siguiente:

- Elaboración de un manual que permita al jefe de proyecto e interesados del área, identificar y reconocer las fallas en el proceso, antes de que se vuelvan críticas.

El encargado de documentar este manual, será el ingeniero de proceso a cargo de la supervisión del proyecto. Se tendrá como base, lo que se entregará en este

proyecto de Tesis, es decir, las plantillas de cada una de las herramientas por fase que serán utilizadas desde el primer estudio, pasando por el acompañamiento de lo que será el parteaguas de la mejora continua en los procesos de pintado de carrocerías.

Para finalizar este capítulo, se hace el repaso para recordar que, se identificó un problema, se midió y analizó, para así determinar el rumbo y dirección de las acciones de mejora, una vez aplicadas se busca el control de las mismas, para garantizar el mejor funcionamiento de ellas.

Capítulo VI.- Conclusiones

En este último capítulo, se hablará de los resultados a los que se llegó, haciendo uso de la metodología DMAIC. De la misma manera, se presentarán las conclusiones a las que se llegó. Así como las recomendaciones finales que se hacen.

6.1 Resultados

Para medir los resultados, se colocarán los diagramas de control, y un cálculo del OEE más con los nuevos niveles de calidad alcanzados.

Para comenzar el estudio, se tomó la lectura de la situación durante seis semanas, una vez aplicadas las acciones de corrección, se determinó tomar el mismo número de lecturas posteriores para poder tener resultados equiparables con los anteriores resultados, siendo este un tamaño de muestra homogénea.

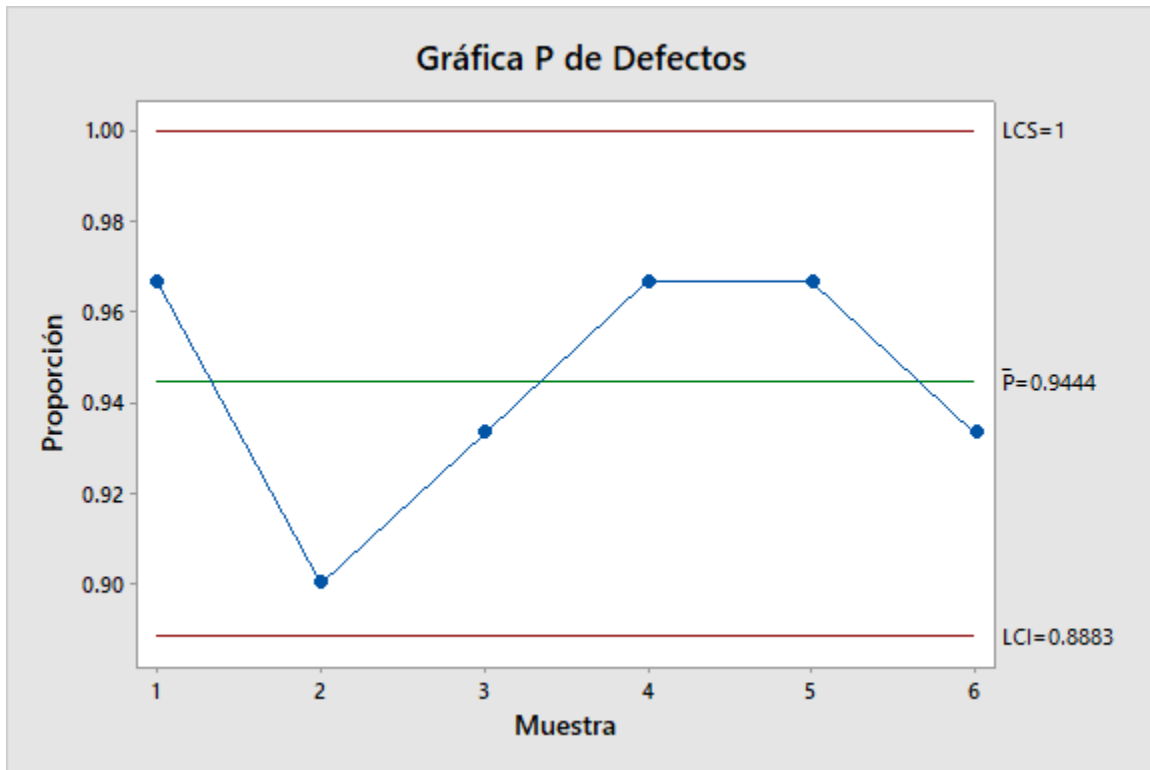
Las lecturas de las seis semanas evaluadas, posteriores a las acciones correctivas:

Lecturas posteriores	
Semana	Porcentaje
S1	5
S2	15
S3	10
S4	5
S5	5
S6	10

Lecturas posteriores a las acciones

Las lecturas anteriores, son las tomadas durante las seis semanas posteriores a las acciones, en ellas se observan los valores, en los que se muestra que el mínimo valor es un 5% y el valor máximo es de un 15%. Lo cual desde ya nos muestra una mejora notable respecto a las condiciones que existían en el proceso antes de implementar la metodología DMAIC, pues las lecturas anteriores tenían un límite inferior de un 55% y límite superior de 65%, lo cual habla de una diferencia mínima de 40% entre el límite inferior antes de, y el límite superior después de las correcciones, así como una diferencia de un 60% entre el límite inferior después de las correcciones y el límite superior antes de, lo cual comprueba la mejora de la situación en el proceso y demuestra que la correcta aplicación de la metodología, puede arrojar resultados favorables para un proceso productivo.

Primero, se presentará la nueva carta P, detallando y comparando los resultados que se tenían al comienzo de este estudio con los que se obtuvieron una vez ejecutadas las acciones de corrección.



Carta P condición después de DMAIC

Ahora comenzaremos por describir, como es que las situaciones en esta nueva carta P han mejorado de manera notable:

La carta demuestra cómo es que las lecturas semanales evaluadas se han comportado, mostrando los seis valores manejados.

Demuestra que los valores se encuentran entre los límites establecidos, lo cual nos indica que, los objetivos en cuanto al alcance de calidad por el que se trabajó.

Nos muestra que existe una estabilidad.

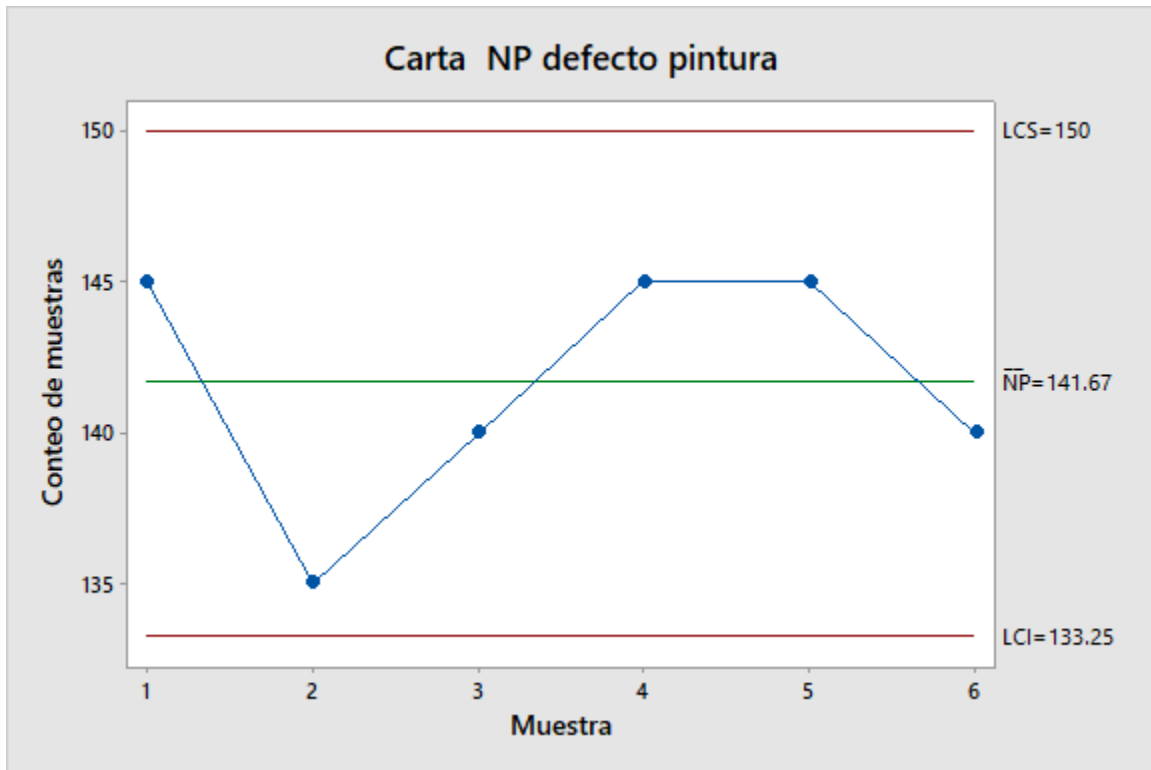
La gráfica de capacidad nos demuestra una desviación estándar de 4.43.

En el mismo número de semanas evaluadas, que fueron evaluadas las primeras muestras, se obtiene un promedio de 8.33%.

Carta NP

Ahora que ya se ha obtenido la carta P con la nueva condición, se procede a obtener la carta NP que nos arroja los resultados obtenidos con los ajustes que se derivaron de la implementación de la LSS.

La carta NP queda de la siguiente manera:



Carta NP condición después DMAIC

Ahora, procedemos a determinar las piezas aceptadas por cada millón de piezas producidas, para tener un parámetro a mayor escala de lo logrado:

Recordando la fórmula:

$$\frac{\text{Cantidad de piezas defectuosas}}{\text{Cantidad de piezas inspeccionadas}} * 1,000,000 \quad \text{PPM}$$

Sustituyendo:

$$\frac{141.67}{150} * 1,000,000 \quad 944,466.67 \quad \text{PPM}$$

Ahora las partes aceptables por cada millón de piezas producidas son de 944,446.67 piezas.

PPM anterior	944,466.67
PPM actual	618,866.67
<u>Diferencia</u>	<u>325,600.00</u>

Se obtuvo una diferencia de 325,600 piezas más aceptadas por cada millón de piezas que pasan el proceso.

OEE

El nuevo cálculo de OEE nos dice que:

$$\text{OEE} = 95\% * 97\% * 91.5\% = 84.3\%$$

El nivel de eficiencia del OEE en esta ocasión, equivale a 84.3%, algo mucho mejor que el 32.25% del pasado, en donde el proceso se encontraba en una condición inaceptable, y en esta, el proceso se encuentra ya en un nivel aceptable.

Cambio de indicador de OEE

El indicador que ha cambiado en el OEE ha sido el de la calidad, el cual fue el propósito desde el comienzo de este proyecto de Tesis; el primer porcentaje que se obtuvo fue de 35%, aplicando la metodología DMAIC, se ha alcanzado un notable 91.5%, el cual se notó también como mejora en el indicador del OEE, pasando de un 32.5% (Inaceptable), a un 84.3% (Aceptable).

6.1.1 Resultados económicos

En capítulos anteriores, se mostró que la baja calidad en el proceso tiene repercusiones económicas serias. En ese capítulo se menciona que de tener un 100% de fallas, el impacto económico representaría \$125,000.00 USD o de \$2,391,250.00 MXN.

Sin embargo, la condición que se tenía al comenzar el estudio demostraba una calidad de solo 38.33%, lo cual significa que el 61.66% de unidades presentan el escurrimiento.

Estudio financiero de condición anterior	
Volumen diario	200
Porcentaje con daño	38%
Piezas con daño	76
Costo unitario por lija (USD)	\$ 0.75
Gasto total en lija (USD)	\$ 57.00
Días laborales por semana	5
Gasto total en lijas (USD)	\$ 285.00
Semanas laborales al año	50
Gasto anual en lijas (USD)	\$ 14,250.00
Costo USD a MXN	\$ 19.13
Gasto anual en lijas (MXN)	\$ 272,602.50

Estudio financiero de condición anterior

Con esta condición, se tenía un gasto total en lijas de \$272,602.50 MXN.

Estudio financiero de condición actual	
Volumen diario	200
Porcentaje con daño	8%
Piezas con daño	16.66
Costo unitario por lija (USD)	\$ 0.75
Gasto diario total en lijas (USD)	\$ 12.50
Días laborales por semana	5
Gasto semanal total en lijas (USD)	\$ 62.48
Semanas laborales al año	50
Gasto anual total en lijas (USD)	\$ 3,123.75
Costo USD a MXN	\$ 19.13
Gasto anual en lijas (MXN)	\$ 59,757.34

Estudio financiero de condición actual

Ya con la condición alcanzada, se observa que el gasto total en lijas, de manera anual equivale a \$59,757.34 MXN.

Ahorro anual en lijas (MXN)	
Anterior	\$ 272,602.50
Actual	\$ 59,757.34
Ahorro	\$ 212,845.16

Ahorro en lijas

Tomando en cuenta el gasto total anual en lijas con la condición anterior, restándole el gasto total anual en lijas con la condición actual, lo que arroja el ahorro que se tendrá, una vez entrado en vigor la sistemática de mejora de calidad, apoyada por la metodología DMAIC.

El ahorro es de \$212,845.16 MXN.

6.2 Conclusiones

Es preciso mencionar como parte de las conclusiones, que la metodología LSS brinda herramientas muy útiles para la resolución de problemas.

La metodología DMAIC es una herramienta muy útil, comprobada durante todo el desarrollo de este proyecto de grado, pero esta es una metodología que basa gran parte de su éxito en la disciplina que se tenga, no solo en ser constantes en cuanto a las mediciones, la disciplina que un proceso como estos requiere es de hecho, más completa. Es decir, para que cada una de sus fases puedan ser cumplidas y obtener el mejor resultado al final es necesario ser llevar una organización en cuanto al orden que cada una de las herramientas propuestas desde el comienzo son aplicadas, pues recordemos que en cada herramienta se detalla el porqué de su uso, así como el porqué de su orden, pues constituyen un eslabón de una cadena que busca asegurar el mejoramiento de la calidad, el no cumplir correctamente con una, puede alterar las lecturas y resultados de otra herramienta dentro del mismo grupo de herramientas que conforman una fase, o bien, alterar el resultado o complicar ejecutar las acciones de otra de las fases.

Durante el proceso de ejecución de este proyecto, se le comunico a los involucrados en el mismo, desde puestos gerenciales hasta personal de carácter técnico y operativo, la importancia de la metodología DMAIC, como una herramienta que puede mejorar la calidad, despejando los buenos deseos, y aplicando las mejores prácticas que han funcionado en otros sistemas con el mismo propósito que se tenía al comenzar este proyecto: mejorar la calidad.

Cada uno de los involucrados en el proyecto, se comprometió con el mismo y se recibió un total apoyo y confianza por la gerencia del área. Al momento de hacerles saber la importancia y trascendencia de esta metodología, el entusiasmo fue homogéneo y con el desarrollo del estudio, y las primeras herramientas ejecutadas, se empezó por observar ciertas mejoras, en el recibimiento de la calidad del producto y en el proceso.

Cabe mencionar que, aunque el proceso no es rústico o con mucha mano de obra de por medio, sí son decisiones de personas, las que determinan los rumbos que hay que seguir para cumplir las condiciones fijadas.

Éstas decisiones son meramente técnicas, al quedar demostrado que generando ajustes sustentados en procesos técnicos, que son comprobados con herramientas estadísticas y de calidad, que a su vez arrojarán con resultado una menor variación en el proceso, un mayor control del mismo, una calidad del producto en mejores condiciones y el objetivo de éste proyecto cumplido.

Parte importante para que un proyecto como este alcance el éxito, es necesaria la buena comunicación, como la que se tuvo en este proyecto de grado, pues además de que varias de las herramientas utilizadas requieren forzosamente la

comunicación tanto de ideas como de información, parte de la disciplina que se menciona se debe tener, recae en la forma en cómo se pudo construir puentes de comunicación con los encargados de área, la gerencia del departamento y encargados de áreas de otros departamentos.

Por último, se sabe que la metodología DMAIC no es aplicable para todo tipo de procesos, pero se demostró que siguiendo la metodología y aplicando herramientas que se adecuen al proceso, en cada fase, el orden que se le asignó a cada una de ellas constituyó la estrategia final de mejoramiento de calidad.

6.3 Recomendaciones

Para finalizar, y así dar como concluido este proyecto de grado, se hará una serie de recomendaciones, esto con el fin de asegurar la continuación de la mejora del proceso, hasta obtener mejores resultados que acerquen a la calidad total del proceso. Es por ello que estas recomendaciones pueden ser consideradas como el “siguiente paso”, en busca de la mejora continua y de la calidad total.

Estas son las recomendaciones son las que se hacen a las personas que se quedan a cargo del proceso de producción, y, por tanto, de la continuidad del proceso de mejora continua:

- Mantener en orden los formatos de cada fase.
- Archivar todos los formatos que han sido llenados cada vez que se hacen ajustes en el proceso, buscando mejorar la calidad.
- Registro de fallas, con respectivas correcciones que lograron un efecto positivo en la calidad del proceso.
- Continuar con la filosofía DMAIC, con cada una de sus fases.

Bibliografía

- Abramowich, E. (2005). *Six Sigma for growth*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia).
- Blanco, M. E. (6 de Octubre de 2016). *Imagen Digital*. Obtenido de Atracción 360: <http://www.atraccion360.com>
- Chee Kai Chua, C. H. (2017). *Standards, quality control, and measurement sciences in 3D printing and additive manufacturing*. Chippenham, UK: ELSEVIER.
- Expansión México. (19 de Mayo de 2016). *Expansión*. Obtenido de Expansión: <http://expansion.mx>
- Forbes Staff. (13 de 10 de 2013). *Forbes México*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/>
- Ill, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma (Second Edition)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ponce de León, R. (4 de Noviembre de 2017). Volkswagen Golf GTI, un refrendo de poder. *El Universal*, pág. K13.
- PROMEXICO. (24 de Enero de 2017). Plantas de automóviles en México. *El País*. Roberson, D. R. (2011). *Quality Tenets on Leadership*. USA: CPSIA.
- Sahay, A. (2016). *Managing and Improving Quality*. New York: Business Epert Press.
- SAT. (31 de Diciembre de 2017). *Servicio de Administración Tributaria*. Obtenido de www.sat.gobm.mx
- Socconini, L. (2016). *Certificación Lean Six Sigma Yellow Belt para la excelencia en los negocios. (2da edición)*. CDMX: Alfaomega.
- Volkswagen de México. (2017). Medio siglo de producción en la planta de Volkswagen Puebla. *Volksnews*, 6-7.
- Volkswagen Group. (3 de Septiembre de 2017). *Volkswagen de México*. Obtenido de VWM: <http://www.vw.com.mx>
- Volkswagen Group. (20 de Noviembre de 2017). *Volkswagen de México*. Obtenido de VWM: <http://www.vw.com.mx>

Glosario de términos

LSS: Lean Six Sigma.

VW: Volkswagen.

VWM: Volkswagen de México.

CdC: Construcción de carrocerías

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (por sus siglas en inglés).

LM: Lean Manufacturing

SS: Six Sigma

Capability Sixpack: Análisis de capacidad de seis en uno.

MXN: Moneda nacional mexicana.

USD: Dólar estadounidense.

TPS: Toyota Production System.

CdC: Construcción de Carrocerías.

BANXICO: Banco de México.