



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Mejora de reserva de embrague
mediante el uso de herramientas
Six Sigma**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Ángel Jesús Álvarez Jaime

ASESOR DE INFORME

M.I. Mariano García del Gállego



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Mayo, 2017

Índice de contenidos

| | |
|---|----|
| Índice de ilustraciones..... | 4 |
| Índice de tablas | 5 |
| Agradecimientos | 6 |
| 1. Objetivos | 7 |
| 2. Introducción | 8 |
| 2.1. Industria automotriz mexicana | 8 |
| 2.2. Importancia de la industria automotriz en la economía..... | 10 |
| 2.3. Producción mexicana récord..... | 11 |
| 2.4. Mayor importancia a nivel mundial | 12 |
| 2.5. Mayor producción para exportación..... | 12 |
| Centros de Ingeniería | 13 |
| 2.6. Centros de Ingeniería | 14 |
| 3. Six Sigma..... | 15 |
| 3.1. ¿Qué es Six Sigma?..... | 15 |
| 3.2. ¿Cómo funciona?..... | 16 |
| 3.3. DMAIC | 16 |
| 3.3.1. Definir..... | 16 |
| 3.3.2. Medir | 17 |
| 3.3.3. Analizar | 18 |
| 3.3.4. Mejorar..... | 18 |
| 3.3.5. Controlar | 19 |
| 4. La empresa | 20 |
| 4.1. Ford Motor Company..... | 20 |
| 4.1.1. Creación de la compañía | 20 |
| 4.1.2. Desarrollo de la línea de ensamble | 20 |
| 4.1.3. Línea del tiempo..... | 21 |
| 4.1.4. Logotipo..... | 22 |
| 4.2. Historia de Ford en México | 23 |
| 4.3. Misión..... | 25 |
| 4.4. Visión..... | 25 |
| 4.5. Valores..... | 25 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.6. | Principios guía | 26 |
| 4.7. | Organigrama..... | 26 |
| 5. | Descripción de Puesto | 27 |
| 5.1. | Ingeniero de diseño y liberación | 27 |
| 5.1.1. | Descripción genérica del puesto | 27 |
| 5.1.2. | Habilidades requeridas para el puesto..... | 27 |
| 6. | Participación en la empresa..... | 27 |
| 6.1. | Periodo de trainee..... | 27 |
| 6.2. | Proyecto | 28 |
| 6.2.1. | Roles | 28 |
| 6.3. | Identificación del proyecto..... | 29 |
| 7. | DMAIC | 29 |
| 7.1. | Definición | 29 |
| 7.1.1. | Tendencias y desglose de garantías | 30 |
| 7.1.2. | Cascadeo de función | 31 |
| 7.1.3. | Generalidades de un embrague | 32 |
| 7.2. | Medición..... | 35 |
| 7.2.1. | Normalidad..... | 35 |
| 7.2.2. | Prueba de Anderson-Darling | 36 |
| 7.2.3. | MIRA..... | 36 |
| 7.2.4. | Repetitividad y reproducibilidad | 37 |
| 7.2.5. | DPMO | 40 |
| 7.2.6. | Cp y Cpk..... | 41 |
| 7.2.7. | Desempeño actual del proceso | 42 |
| 7.2.8. | Ishikawa..... | 43 |
| 7.3. | Análisis..... | 44 |
| 7.3.1. | Gráficas de control | 44 |
| 7.3.2. | X1: Secuencia de apriete incorrecta..... | 44 |
| 7.3.3. | X2: Deformación de la superficie de acople..... | 45 |
| 7.3.4. | X3: capacidad del proceso del proveedor | 45 |
| 7.4. | Mejora..... | 47 |
| 7.4.1. | Diseño de experimentos | 47 |
| 7.4.2. | Desempeño mejorado del proceso | 48 |

| | |
|---|----|
| 7.5. Control..... | 49 |
| 8. Conclusiones..... | 50 |
| 8.1. Acerca del trabajo realizado..... | 50 |
| 8.2. Sobre la formación adquirida en el trabajo | 50 |
| 8.3. De la formación recibida en las aulas..... | 51 |
| 9. Referencias | 52 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Inversión por Armadora (2011-2015)..... | 8 |
| Ilustración 2. Plantas de ensamble e inversiones | 9 |
| Ilustración 3. Porcentajes respecto al PIB del país a precios corrientes..... | 10 |
| Ilustración 4. Porcentajes respecto al PIB manufacturero a precios corrientes..... | 10 |
| Ilustración 5. Volumen de producción mexicana de automóviles | 11 |
| Ilustración 6. Principales Países Productores de Autos | 12 |
| Ilustración 7. Producción 2016 y Volumen de comercio..... | 13 |
| Ilustración 8. Centros de Ingeniería | 14 |
| Ilustración 9. Línea del tiempo con acontecimientos Importantes en la historia de la compañía ... | 21 |
| Ilustración 10. Logotipos | 22 |
| Ilustración 11. Detroit Industry, Diego Rivera, 1932..... | 23 |
| Ilustración 12. Organigrama..... | 26 |
| Ilustración 13. Áreas de mejora en el vehículo “F” | 30 |
| Ilustración 14. Partes causales | 30 |
| Ilustración 15. Reserva de pedal | 31 |
| Ilustración 16. Localización del embrague en el tren motriz – Tracción tasera..... | 32 |
| Ilustración 17. Componentes del embrague..... | 33 |
| Ilustración 18. Curva de un pedal De embrague..... | 34 |
| Ilustración 19. Gráfica de distribución normal..... | 35 |
| Ilustración 20. Equipo MIRA..... | 36 |
| Ilustración 21. Componentes de variación del sistema de medición..... | 37 |
| Ilustración 22. Criterio de aceptación Gage R&R..... | 37 |
| Ilustración 23. medición de fuerza de pedal..... | 38 |
| Ilustración 24. Medición de viaje de pedal | 38 |
| Ilustración 26. Gage R&R Fuerza y desplazamiento..... | 39 |
| Ilustración 27. Curva distribución Normal & Six Sigma..... | 40 |
| Ilustración 28. Cp y Cpk..... | 41 |
| Ilustración 29. Análisis estadístico inicial | 42 |
| Ilustración 30. Diagrama Ishikawa | 43 |
| Ilustración 31. Secuencia de apriete | 44 |
| Ilustración 32. Medición de espacios..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 33. Gráfica espacio vs torque | 45 |
| Ilustración 34. Gráfica de control de Lift Off | 46 |
| Ilustración 35. Gráfica de control de Lift Off | 46 |
| Ilustración 36. Gráfica de control Cushion | 46 |
| Ilustración 37. DOE Lift off & Cushion | 47 |
| Ilustración 38. Análisis estadístico final | 48 |
| Ilustración 39. Quejas en 6 meses después de implementado el cambio | 49 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Las industrias más importantes del sector manufacturero | 11 |
| Tabla 2. herramientas para la fase Definir | 17 |
| Tabla 3. Herramientas para la fase Medir | 17 |
| Tabla 4. Herramientas para la fase Analizar | 18 |
| Tabla 5. Herramientas para la fase Mejorar | 19 |
| Tabla 6. Herramientas para la fase Controlar | 19 |
| Tabla 7. Componentes del embrague | 33 |
| Tabla 8. Puntos de la curva de pedal..... | 34 |
| Tabla 9. Gage R&R Fuerza y Desplazamiento..... | 39 |
| Tabla 10. Valores análisis estadístico inicial..... | 42 |
| Tabla 11. Valores análisis estadístico final | 48 |

Agradecimientos

Honor a quien honor merece, gracias a mis padres por su apoyo, esfuerzo, educación y buenos valores que inculcaron en mí. Por procurar siempre mi bienestar, muchas veces a pesar del suyo. Por su humildad y buen trato con todas las personas, siempre ustedes mi mejor ejemplo.

A mi hermana, mi más claro modelo de perseverancia y fuerza de voluntad. A mis sobrinas Mía y Sofía por tanto cariño y pureza, y a su nuevo hermanito que viene en camino.

A mis abuelos, Papá Chucho y Chela por sus sabios consejos y confianza en que lograría lo que me propusiera, los extraño y siempre su recuerdo me motiva a seguir adelante.

A mi gran familia, mis primos, tíos, sobrinos por considerarme especial entre todos.

Gracias a todas las personas que me han acompañado en esta vida, me han apoyado y me han motivado a cumplir mis metas, y también a todas esas personas que hicieron lo posible por entorpecer mis planes, que me hicieron daño, me defraudaron o incluso me rompieron el corazón, pues forjaron mi temperamento y me hicieron una persona más fuerte y gracias a eso soy lo que soy y estoy en dónde estoy.

A Inti, un hermano incondicional que siempre me apoya en mis locuras. A Koji, que, aunque se desaparece, está presente en todas mis pláticas. Gracias a ambos por tantas experiencias y aprendizaje juntos.

A Leonardo Baltierra, Rebeca Cedeño, Gerardo Pradillo, y demás compañeros de carrera, siempre un grato recuerdo de todos ustedes mis amigos.

A mi querida Universidad, por mostrarme que la mayor enseñanza no es la que se da en las aulas, si no la que te da la diversidad de pensamientos, creencias, metodologías e idiosincrasias que convergen en este espacio abierto al diálogo, y que ayudaron a formarme un criterio.

A las mujeres de mi vida, al Jacalito, a mi ciudad, a mi mexicanidad, a mis raíces.

A Magnolia, por llenar de tanta magia este universo, eres especial. Gracias por todas las pláticas, los recuerdos, experiencias y enseñanzas. Gracias por abrir tu corazón. TAPS. A Mauro/Dalila, espero el día en que podamos encontrarnos, son el fruto de un amor incondicional.

A mi esposa EunJu, siempre impulsándome a ir por más, ser mejor, no conformarme. Ella, quien trajo equilibrio a mi vida con su ternura y entrega, decidiendo renunciar a todo para compartir esta vida conmigo. 감사합니다.

Por último, pero no por eso menos importante, al nuevo integrante de la familia Álvarez Seo que esperamos con mucho amor y que la noticia de su llegada me ha motivado para terminar este trabajo. Yuri, te espero con mucho amor.

¡Gracias al universo por siempre conspirar a mi favor! Algo muy bueno hice en mi otra vida para merecer estar rodeado de tan buenas personas Gracias Dios. ☺

1. Objetivos

El presente trabajo escrito tiene como objetivo la presentación del resumen de un proyecto que muestre un poco del trabajo que realizo en el área de Desarrollo de Producto, o conocida como PD (*Product Development*) en la Empresa Ford Motor Company.

Los alcances del trabajo escrito son los necesarios para cumplir con los requisitos de titulación por la modalidad de experiencia profesional, que tiene cómo puntos básicos el estar incorporado a una actividad profesional por al menos 6 meses y la presentación del trabajo escrito avalado por un académico de la UNAM.

Mucha de la información será acotada debido al tema de confidencialidad que manejamos en la empresa, por lo que muchos métricos no serán mostrados o serán borrados de las imágenes.

Al ser una la industria automotriz una industria tan grande, hay bastante información disponible, pero mucha es recolectada, analizada, sintetizada y publicada muchos meses después. Muchos de los artículos abarcan hasta el año 2014, otras fuentes si contemplan 205 e incluso 2016, dependiendo el tema que se trate.

Al ser una empresa norteamericana todas las presentaciones y comunicación escrita debe ser en inglés, por lo que muchas ilustraciones, imágenes y tablas estarán en este idioma. También muchos conceptos o acrónimos vienen del inglés por lo que una traducción literal no siempre representa la naturaleza de lo que se quiere decir, muchos términos del ramo automotriz no tienen una palabra que los represente en el idioma español acertadamente, e incluso muchas veces no existe una traducción. En algunos casos será necesario dejarlo en el idioma original

La mayoría de los cálculos estadísticos son realizados con el Software estadístico *Minitab*, que se utiliza de manera estandarizada a nivel global en la compañía. Esto es para evitar discrepancias entre cálculos realizados y unificar conceptos, además de que la paquetería es muy completa, y cuenta con todas las funciones necesarias para el estudio.

2. Introducción

2.1. Industria automotriz mexicana

En los últimos cinco años, la industria automotriz nacional se consolidó como destino de recursos de las principales armadoras del mundo. Muestra de ello es que desde 2011 a la fecha, ocho de las mayores empresas automotrices inyectaron al país 11 mil 408 millones de dólares y hay expectativas de que canalicen otros 4 mil 500 millones en los siguientes años.

Para los fabricantes, México es atractivo por su posición geográfica, sus recursos naturales y la cercanía con Estados Unidos, lo que se complementa con los menores costos de la mano de obra. Para los especialistas, México puede alcanzar mayores niveles de producción y de consumo si se atienden pendientes como la infraestructura y la seguridad. (Rodríguez, 2015)

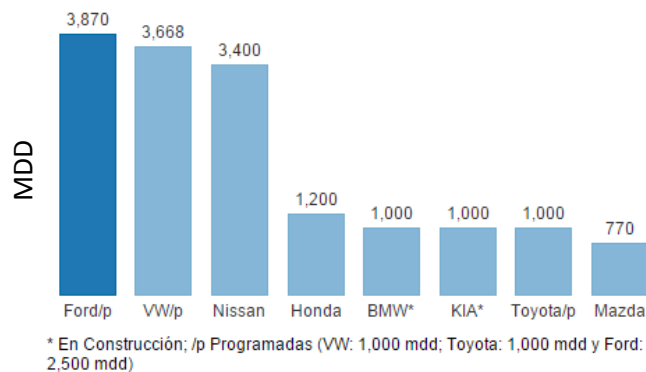


ILUSTRACIÓN 1. INVERSIÓN POR ARMADORA (2011-2015)

Fuente: (Rodríguez, 2015)

Las automotrices japonesas y alemanas están a la cabeza de la tendencia y tienen en cartera más proyectos de ensamblaje para México que para Estados Unidos, desde ahora hasta finales de la década, según. Estados Unidos consumirá la mayor parte de los nuevos autos.

Para el 2020, México tendrá la capacidad de ensamblar un vehículo de cada cuatro en Norteamérica, desde la proporción de uno de cada seis en el 2012 según pronósticos.

En México, la actividad se elevará un 62%. La producción de autos en Estados Unidos crecerá un 12% y las empresas con sede en Detroit están acelerando la producción doméstica al aumentar el ritmo en fábricas existentes a hasta tres turnos seis días por semana.

Según esos cálculos, de aquí al 2020 en México se erigirían más plantas de ensamblaje que en Estados Unidos y Canadá. (Forbes, 2014)

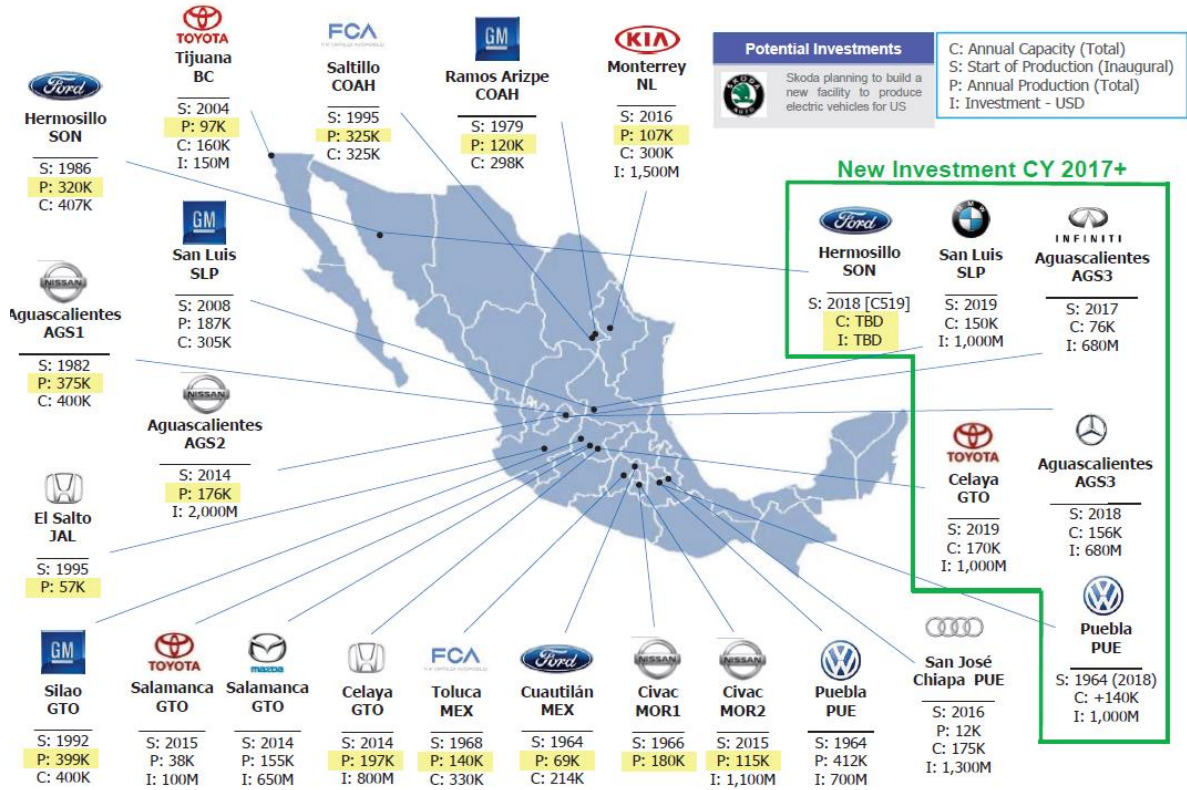


ILUSTRACIÓN 2. PLANTAS DE ENSAMBLE E INVERSIONES

Fuente: (Ford, 2016)

Como se puede apreciar en la ilustración y en los textos previos, México se alista a recibir fuertes cantidades de dinero de inversión para la construcción de nuevas plantas.

2.2. Importancia de la industria automotriz en la economía

La producción de la Industria automotriz ha aumentado su importancia relativa en la economía. Cuando entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, esta industria representaba el 1.9% del PIB del país y en 2014, este porcentaje fue de 3.0 por ciento.

Las empresas que conforman la Industria automotriz dieron empleo directo a 730 923 personas, que representaron el 14.4% de la ocupación de las Industrias manufactureras, según los Censos económicos 2014. Cabe señalar que, además de este empleo directo, también se generan empleos indirectos por la industria automotriz, ya que este sector impacta a 84 industrias manufactureras. (INEGI/AMIA, 2016)

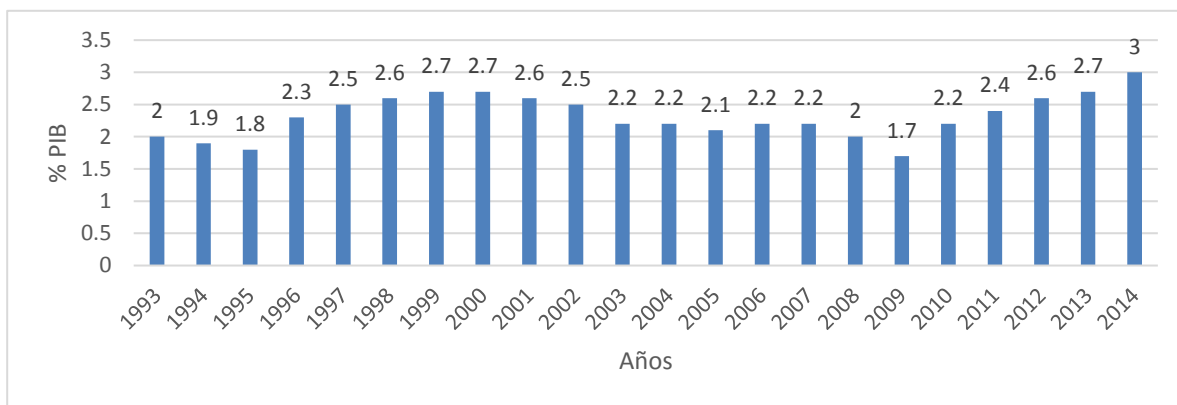


ILUSTRACIÓN 3. PORCENTAJES RESPECTO AL PIB DEL PAÍS A PRECIOS CORRIENTES

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI/AMIA, 2016)

La producción de la Industria automotriz representó el 16.9% de las manufacturas durante 2014, alcanzando el sector automotriz una importancia económica que no tiene precedente. (INEGI/AMIA, 2016)

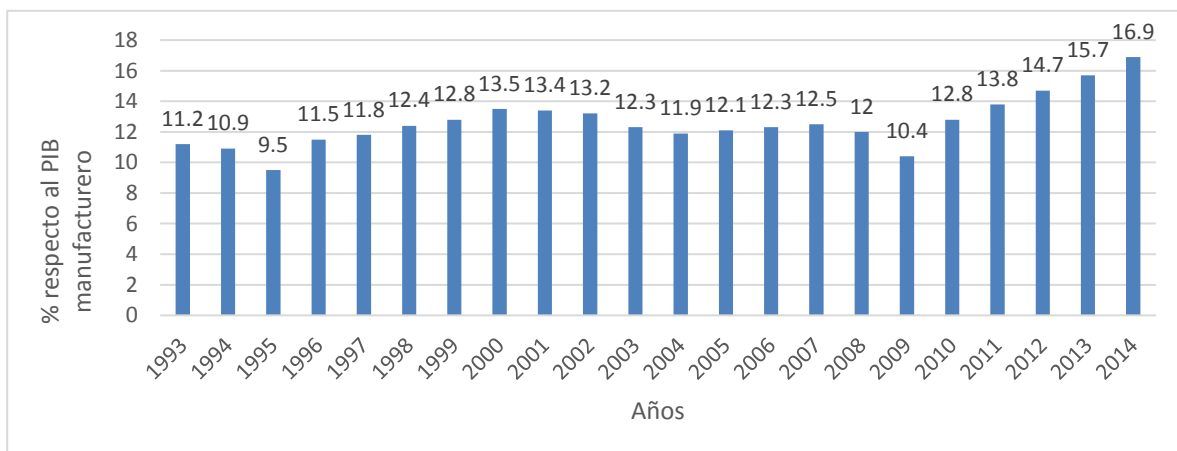


ILUSTRACIÓN 4. PORCENTAJES RESPECTO AL PIB MANUFACTURERO A PRECIOS CORRIENTES

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI/AMIA, 2016)

Por lo que aporta la Industria automotriz a la producción manufacturera se ubica entre las actividades más importantes después de la industria alimentaria.

| Denominación | 1993 | 2000 | 2005 | 20014 |
|-----------------------|------|------|------|-------|
| Ind. Alimentaria | 24.1 | 20.2 | 22.7 | 23.6 |
| Ind. Automotriz | 11.2 | 13.5 | 12.1 | 16.9 |
| Ind. Química | 9.4 | 11.1 | 12.6 | 11.6 |
| Ind. Metálica básica | 3.3 | 4.5 | 6.4 | 5.8 |
| Ind. Bebidas y tabaco | 4.5 | 4.7 | 5.5 | 5.1 |

TABLA 1. LAS INDUSTRIAS MÁS IMPORTANTES DEL SECTOR MANUFACTURERO

Fuente: Elaboración propia con datos de (INEGI/AMIA, 2016)

2.3. Producción mexicana récord

Al cierre del 2014, el sector automotriz nacional rebasó los tres millones de automóviles y camiones ligeros producidos por primera vez en su historia, de los cuales, el 82 por ciento se destina a los mercados de exportación.

En 1994, en plena apertura por el TLCAN, se exportaba el 52 por ciento de lo producido por la industria nacional, mientras que en 2004 alcanzó el 73 por ciento. El impulso que ha recibido el sector automotriz ha elevado la producción en casi 153 mil vehículos, promedio anual. (Rodríguez, 2015)

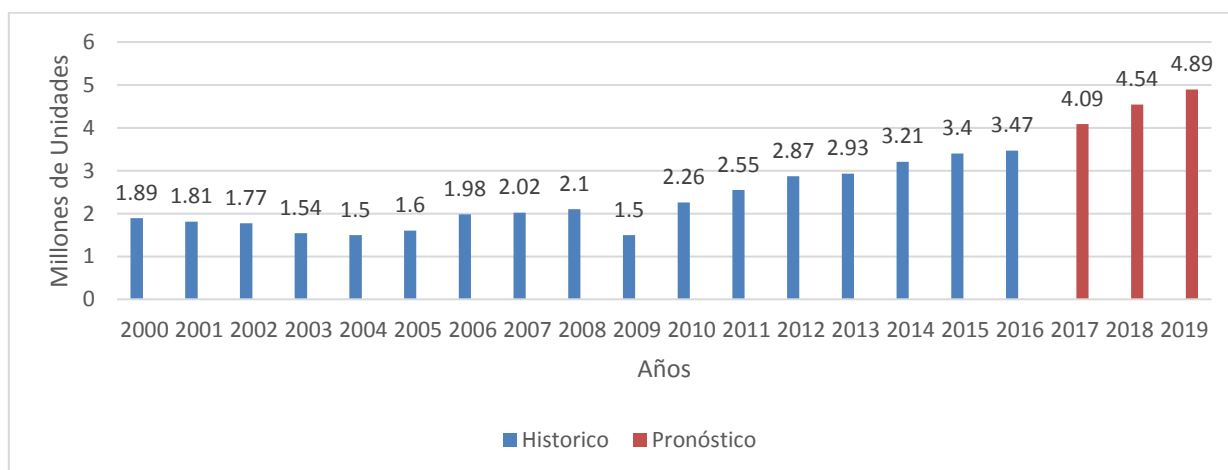


ILUSTRACIÓN 5. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN MEXICANA DE AUTOMÓVILES

Fuente: Elaboración propia con datos de (Rodríguez, 2015) y de (Ford, 2016)

2.4. Mayor importancia a nivel mundial

El nivel de producción alcanzado al cierre de 2014 le permitió situar a México en la séptima posición a nivel mundial, sólo superado por naciones como India, Corea del Sur y Alemania. China es el mayor productor de automóviles del mundo, al cerrar el año anterior en más de 23 millones de unidades fabricadas.

En los últimos 10 años, México aumentó su importancia como productor de autos, muestra de ello es que ya rebasó a potencias como Brasil, Canadá, Inglaterra y Francia. Esto debido a que actualmente el costo de producción en algunas de esas naciones creció debido, en gran parte, a las prestaciones que se tienen en esas naciones y que son apoyadas por los sindicatos. En 2004, México ocupaba el lugar 11 entre los productores mundiales.

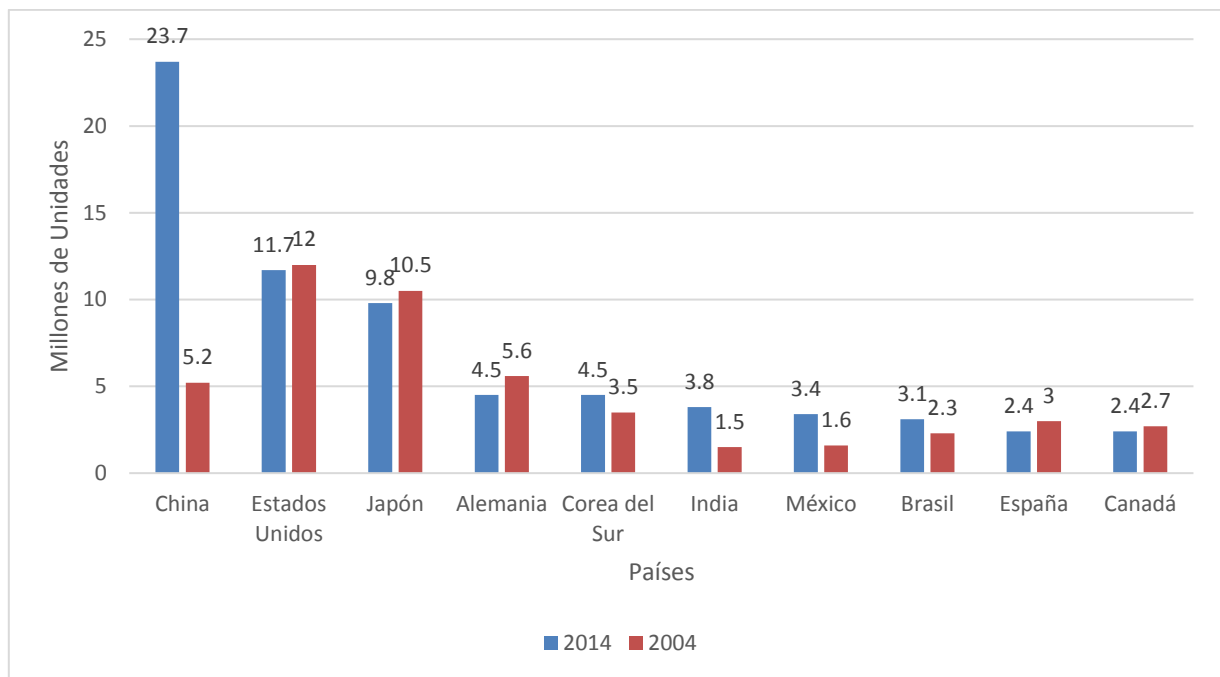


ILUSTRACIÓN 6. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE AUTOS

Fuente: Elaboración propia con datos de (Rodríguez, 2015)

2.5. Mayor producción para exportación

Los vehículos producidos en México representan el 3.7 por ciento del total mundial, un nivel históricamente alto que apunta a elevarse si tomamos en cuenta que se espera una mayor demanda de automóviles en los siguientes años.

Actualmente, el crecimiento está sostenido por la mayor demanda de vehículos por parte de Estados Unidos, el principal destino de las exportaciones mexicanas.

Otro de los elementos que está apuntalando el crecimiento del sector es el precio de las gasolinas. La mayor parte de la producción nacional son vehículos con motores de combustión interna, en tanto que los autos de tecnologías más limpias se están produciendo en naciones como Estados Unidos, China y Alemania. (Rodríguez, 2015)

La siguiente imagen es un diagrama que muestra las importaciones al territorio nacional y exportaciones de automóviles producidos en México, poniendo en contexto la aportación de Ford. Como se ha mencionado con anterioridad el principal destino de exportaciones y quien más es Norte América, concretamente Estados Unidos.

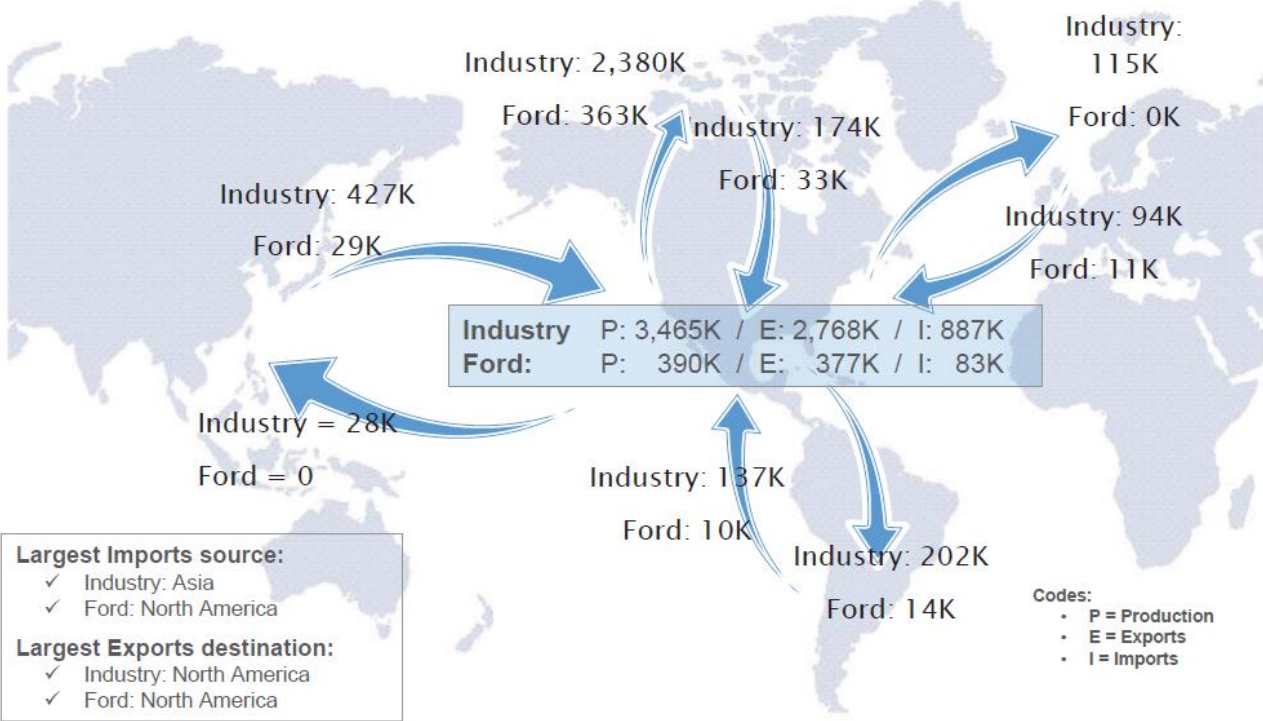


ILUSTRACIÓN 7. PRODUCCIÓN 2016 Y VOLUMEN DE COMERCIO

Fuente: (Ford, 2016)

2.6. Centros de Ingeniería

Una parte ligada a la manufactura de los automóviles es el diseño de los mismos, así como de todos los componentes que se utilizan para ensamblarlo. Este se realiza en centros de Ingeniería, son lugares en los que se desarrollan los productos, desde la concepción, diseño, elaboración de prototipos, pruebas y validación.

Ford de México cuenta con uno de los centros más importantes de País, el que emplea a más de 1400 Ingenieros repartidos en diferentes áreas y aportando a prácticamente en casi todos los vehículos que la empresa comercializa en todo el mundo.

La mayoría de los centros de Ingeniería en México son Automotrices y Aeronáuticos. Y se encuentran distribuidos a lo largo de la república de acuerdo al siguiente mapa.



ILUSTRACIÓN 8. CENTROS DE INGENIERÍA

Fuente: (Ford, 2016)

3. Six Sigma

3.1. ¿Qué es Six Sigma?

La metodología Six Sigma es una filosofía e iniciativa de negocios que propicia la calidad y la mejora continua para alcanzar los más altos niveles de satisfacción del cliente. Se establecen métricos alineados a los objetivos de la compañía, así como necesidades y expectativas del cliente.

Fue presentada por el Ingeniero Bill Smith y Mikel Harry mientras trabajaban en Motorola en 1986. General Electric lo adoptó como filosofía de calidad en 1995 y es cuando tuvo gran difusión.

Sigma (σ) representa una unidad de medida que designa la distribución o dispersión de un proceso con respecto a su media, define cuanto tienden a alejarse los valores del promedio en una distribución de datos. Se le conoce como desviación estándar. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} [(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + \dots + (x_N - \mu)^2]}$$

Dónde

$$\mu = \frac{1}{N} (x_1 + \dots + x_N)$$

En conclusión, sigma es un valor que representa que tan bien se desempeña un proceso en términos de variabilidad y qué tan propensos estamos a que pueda ocurrir un defecto. Mientras más alto sea el valor de sigma, menos variación y menos defectos el proceso tendrá. Six Sigma es un estándar de excelencia que permite únicamente 3.4 piezas defectuosas de cada millón producidas, o también conocidos como defectos por millón de oportunidades (DPMO). (Six Sigma Academy, 2002)

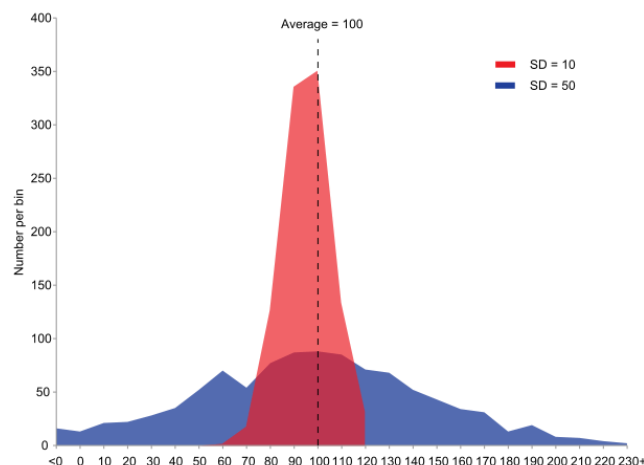


ILUSTRACIÓN 9. DOS MUESTRAS CON MISMA MEDIA PERO DIFERENTE DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Fuente: (Wikipedia, 2017)

3.2. ¿Cómo funciona?

La filosofía Six Sigma usa herramientas estadísticas para sistemáticamente mejorar procesos y mantener las mejoras. Los métricos del proceso son evaluados con base en una comparación de promedios y variación del desempeño contra especificaciones y objetivos. Si bien las herramientas no fueron inventadas por los creadores de Six Sigma, fueron los encargados de darle estructura a la metodología.

La metodología está enfocada a proyectos con que son seleccionados y definidos con base en necesidades del negocio, operacionales y necesidades del cliente, relacionados con las estrategias ejecutivas. (Six Sigma Academy, 2002)

3.3. DMAIC

DMAIC es un acrónimo proveniente de las palabras en inglés: *Define, Measure, Analyze, Improve y Control*. DMAIC es un conjunto de herramientas divididas en 5 fases, las que le dan el origen al acrónimo. Cada proyecto debe completar las fases en orden y hacer uso de las herramientas y actividades que se consideren necesarias, pues cada caso es particular. Para casos del marco teórico se enunciarán todos.

Más adelante se desarrollarán cada una de las etapas, a grandes rasgos, se define el proyecto que se usará para caracterizar y optimizar, ya sean procesos de negocios o industriales, en la etapa de medición, se aplican las herramientas necesarias para validar el sistema de medición y caracterizar el proceso. En las fases de Análisis y Mejora, se identifican fuentes de variación y la relación estadística y efectos entre las entradas y salidas del proceso para poder optimizarlo. En la fase de control se aplican herramientas para mantener las mejoras que se implementaron.

3.3.1. Definir

Se establecen o dejan en claro las necesidades del cliente, junto con la identificación del proceso o producto a mejorar.

| Actividades/Herramientas | Resultados deseados |
|--|--|
| Paso 1. Crear un enunciado del problema | |
| <ul style="list-style-type: none">• Definir el proceso a mejorar• Definir objetivos del proyecto• Identificar personal relacionado al proyecto | <ul style="list-style-type: none">• Enunciado del problema• Alcances del proyecto• Objetivo del proyecto |
| Paso 2. Identificar Críticos para la Calidad (CTQ) | |
| <ul style="list-style-type: none">• Árboles CT (<i>critical to</i>) | <ul style="list-style-type: none">• Identificar las necesidades del cliente |

| Paso 2. Definir los estándares de desempeño | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los métricos de desempeño • Análisis financiero • Mapeo del proceso | <ul style="list-style-type: none"> • Impacto al negocio (ahorro) • Definición del proyecto • Plan del proyecto • Mapa del proceso • Definición de métricos de desempeño |

TABLA 2. HERRAMIENTAS PARA LA FASE DEFINIR

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

Para el árbol CT es importante definir algunos conceptos elementales para esta etapa.

CTS: Crítico para la satisfacción (*Critical to Satisfaction*). Son características relacionadas específicamente a la satisfacción del cliente, el cliente típicamente definirá la satisfacción en una de tres maneras:

- CTQ (*Critical To Quality*) son características del producto o servicio que influyen significativamente una o más CTS en términos de calidad,
- CTD (*Critical To Delivery*) son características del producto o servicio que influyen significativamente una o más CTS en términos de entrega.
- CTC (*Critical To Cost*) son características del producto o servicio que influyen significativamente una o más CTS en términos de costo.

3.3.2. Medir

Determina la condición actual y el objetivo de desempeño del proceso, define las variables de entrada y de salida del proceso y valida los sistemas de medición.

| Actividades/Herramientas | Resultados deseados |
|--|--|
| Paso 1. Entender el proceso y validar el sistema de medición | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mapear el proceso “cómo es” • Identificar entradas y salidas • Recolección de datos • Evaluar sistema de medición | <ul style="list-style-type: none"> • Mapa detallado del proceso • Enunciado del problema • Alcances del proyecto • Objetivo del proyecto |
| Paso 2. Determinar la capacidad del proceso | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tablas de control de variables del proceso • Análisis de capacidad • Técnicas gráficas | <ul style="list-style-type: none"> • Tablas de control actual • Capacidad actual • DPMO / Valor Z |
| Paso 3. Finalizar los objetivos de desempeño | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de causa y efecto • Crear un FMEA • Revisión de objetivos y plan de proyecto | <ul style="list-style-type: none"> • Objetivos de proyecto, plan y objetivos financieros revisados • Relaciones causa y efecto |

TABLA 3. HERRAMIENTAS PARA LA FASE MEDIR

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

3.3.3. Analizar

Utiliza los datos e información para establecer las variables de entrada que más afectan las salidas.

| Actividades/Herramientas | Resultados deseados |
|--|--|
| Paso 1. Identificar fuentes de variación | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mapa de proceso detallado • Lluvia de ideas • Ishikawa • Matriz de causa y efecto • FMEA | <ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de variación identificadas • Mapa de proceso actualizado • FMEA actualizado |
| Paso 2. Determinar la capacidad del proceso | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Análisis gráfico • Pruebas de hipótesis • Análisis de multi-variables • Análisis de correlación y regresión | <ul style="list-style-type: none"> • Variables críticas para el desempeño del proceso • Oportunidades de mejora identificadas • Análisis estadístico de datos |

TABLA 4. HERRAMIENTAS PARA LA FASE ANALIZAR

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

3.3.4. Mejorar

Se identifican las mejoras para optimizar las salidas y eliminar o reducir defectos en la variación. Se identifican X's y determina la relación de $y = f(x)$, se valida estadísticamente las condiciones de operación del nuevo proceso.

| Actividades/Herramientas | Resultados deseados |
|--|---|
| Paso 1. Determinar la relación de variables | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de experimentos • Análisis de regresión • ANOVA / • Simulaciones | <ul style="list-style-type: none"> • Relación entre X's y Y's • Parámetros de optimización del salidas del proceso con mínima variación |
| Paso 2. Establecer las tolerancias de operación | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Establecer relación entre X's y Y's • Usar optimización de X's • Determinar nuevas capacidades del proceso • Análisis costo beneficio | <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de parámetros robustos con tolerancias • Plan de implementación establecido |

| Paso 3. Confirmar resultados y validar mejoras | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Confirmación de experimentos • Mapas de procesos • Hojas de control • Acciones correctivas | <ul style="list-style-type: none"> • Mapa de proceso, recolección de datos y Corrida piloto. • Validación de sistema de medición • Capacidad mejorada |

TABLA 5. HERRAMIENTAS PARA LA FASE MEJORAR

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

3.3.5. Controlar

Esta fase documenta, monitorea y asigna responsabilidades para mantener las ganancias hechas por las mejoras del proceso.

| Actividades/Herramientas | Resultados deseados |
|--|--|
| Paso 1. Redefinir capacidades del proceso | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Plan de control • Análisis de capacidad | <ul style="list-style-type: none"> • Plan de control • Hojas de Control • DPMO • Z |
| Paso 2. Implementar control de proceso | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de errores • Procedimientos estándar • Auditorías de responsabilidad • Finalizar transición al dueño • Mantenimiento preventivo • Planes de control de calibración | <ul style="list-style-type: none"> • Validación del control del proceso • Desempeño mantenido • Plan de monitoreo • Cálculo RPN FMEA |
| Paso 3. Completar documentación del proyecto | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Validación financiera • Junta con dueños del proceso y el cliente • Seguimiento a la finalización del proyecto • Identificar oportunidades de replica | <ul style="list-style-type: none"> • Lecciones aprendidas • Mejores prácticas • Comunicación del éxito del proyecto • Reporte del proyecto • Entregables finales • Retroalimentación del cliente |

TABLA 6. HERRAMIENTAS PARA LA FASE CONTROLAR

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

4. La empresa

4.1. Ford Motor Company

Ford Motor Company, es una empresa multinacional estadounidense fabricante de automóviles y el quinto mayor productor de automóviles a nivel mundial basado en las ventas de autos globales. Su base está en Dearborn, Michigan, Estados Unidos. Fue fundada el 16 de junio de convirtiéndose en una de las compañías más grandes y con mejores ganancias en el mundo, logró sobrevivir a la gran depresión. Es la compañía más grande controlada por una familia quien ha tenido el control por más de 110 años. Ford ahora sólo tiene dos marcas, Ford y Lincoln, en el pasado Ford poseía muchas marcas más, entre ellas 5 de lujo: Volvo, Aston Martin, Mercury, Land Rover y Jaguar. (Wikipedia, 2017)

4.1.1. Creación de la compañía

Henry Ford construyó su primer vehículo, el cual llamó *Quadrycycle* en Detroit en 1896. En el año de 1899 funda *Detroit Automobile Company* y en 1901 se reestructura para convertirse en *Henry Ford Company*. En Marzo de 1902 Ford deja la compañía con los derechos del nombre.

Ford y Alexander Malcomson se asocian y diseñan un carro que lanzan a la venta con el que venden más de lo que esperaban. En junio 16 de 1903 se funda *Ford Motor Company*.

4.1.2. Desarrollo de la línea de ensamble

La línea de ensamble moderna y su concepto básico se le debe a Ransom Olds, quien lo utilizó para construir el primer automóvil en ser producido en masa, el Oldsmobile Curved Dash. Olds patentó el concepto de línea de ensamble, el cual puso a trabajar en su fábrica de 1901 Compañía de Vehículos Olds Motor. Este desarrollo es a menudo opacado por Henry Ford, quien perfeccionó la línea de ensamble al instalar cintas transportadoras conducidas que podían producir un Modelo T en 93 minutos. (Domm, 2009)

La línea de ensamble desarrollada para el Ford Modelo T comenzó a operar el primero de diciembre de 1913. Tuvo una inmensa influencia en el mundo. A pesar de los intentos para atribuirle este fenómeno a un hombre u otro, fue en efecto un desarrollo compartido basado en la lógica y que tomó 7 años y una gran cantidad de hombres inteligentes. (Wikipedia, 2017)

4.1.3. Línea del tiempo

- 1986 – Henry Ford construye su primer vehículo llamado “Quadicycle”.
- 1988 – Henry Ford reúne al grupo que funda la *Detroit Automovile Company*.
- 1901 – Henry Ford vence en la carrera conocida como *Top racecar driver of the era*.
- 1903 – Se funda Ford Motor Company** con 12 inversionistas.
- 1904 – Se funda Ford de Canadá.
- 1907 – Ford introduce el logotipo que le da distinción a la marca.
- 1908 – Ford introduce al mercado el **Modelo T**.
- 1913 – Ford desarrolla la **línea de ensamble** de producción.
- 1917 – Ford Motor Company produce su primera camioneta.
- 1922 – Ford adquiere Lincoln Motor Company.
- 1927 – Ford comienza la venta del **Modelo A**.
- 1932 – Ford lanza el motor *V8 flathead*.
- 1943 – Muere Edsel Ford.
- 1945 – Henry Ford II se convierte en presidente de la compañía.
- 1948 – Ford lanza la línea de camionetas **F-Series**.
- 1954 – Ford lanza el Thunderbird.
- 1964 – El **Mustang** sale a la venta.
- 1966 – Tres **Ford GT40** Mk. II barren con el pódium en las 24 horas de Le Mans.
- 1986 – Ford implementa la línea de ensamble modular en la planta de St. Louis.
- 2003 – Ford celebra su aniversario número 100.
- 2006 – **Alan Mullaly** se convierte en presidente y CEO de Ford Motor Company.
- 2014 – Ford celebra el 50 aniversario de Mustang.
- 2014 – **Mark Fields** reemplaza a Mullaly como presidente y CEO.
- 2016 – Se crea Ford Smart Mobility LLC.

ILUSTRACIÓN 10. LÍNEA DEL TIEMPO CON ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES EN LA HISTORIA DE LA COMPAÑÍA

Fuente: (Ford, s.f.)

4.1.4. Logotipo

El óvalo azul que conocemos hoy en día ha sufrido cambios en estos más de 110 años de historia de la compañía, se ha convertido en la identidad y en su evolución se ve reflejada la historia de la compañía.

El primer hallazgo de un logotipo de la armadora estadounidense, fue creación de Childe Harold Wills, jefe de ingeniería y diseño de la marca, quien comenzó a usar en las tarjetas un emblema para presentar su negocio.

Fue hasta 1903 con la fabricación de los primeros autos que se implementó un logotipo oficial que se distinguía por una chapa metálica “Ford”, sin el ovalo, pero ya con la característica tipografía.

La mezcla que hoy conocemos del apellido de Henry Ford y el óvalo, se produjo en 1911; sin embargo, en un corto tiempo se dejó de lado el óvalo para usar un triángulo con alas en honor a la velocidad, ligereza, gracia y estabilidad de los autos de esa época, pero debido a su poca aceptación, este logo se empleó conjuntamente con el diseño original de la placa metálica.

Fue hasta 1928 cuando se añadió por primera vez el fondo azul, conocido por los diseñadores como Pantone 294C, y partir de 1976, las letras se centraron en el óvalo y cambiaron en un tono plata, diseño que marcó el futuro del logotipo, que a pesar d sufrir leves retoques siempre conservo la esencia del diseño de su imagen corporativa.

En 2003, Ford celebró su centenario con autos ediciones especiales, objetos conmemorativos y la realización de un retoque significativo del logo; la elipse se hizo más alargado y el nombre “Ford” se inscribió en color blanco sobre un fondo más brillante y con distintos tonos de azul. (Guzmán, 2013).



ILUSTRACIÓN 11. LOGOTIPOS

DE FORD A TRAVÉS DEL TIEMPO

Fuente: (Guzmán, 2013)

4.2. Historia de Ford en México

A inicios del siglo XX comenzó la aventura automotriz en nuestro país, en 1903 se comenzó la comercialización de automóviles producidos fuera de territorio nacional, y para 1906 el modelo T de Ford ya circulaba por las calles de la ciudad de México.

Gracias al impulso y a la visión de Henry Ford, a inicios del siglo XX el sector automotriz se consolidó como una de las principales industrias de una nueva era moderna que destacaba por los múltiples e importantes avances alcanzados en materia de producción, tecnología e innovación. México fue parte de la creciente industria automotriz a principios de siglo y el martes 23 de junio de 1925 dio la bienvenida a Ford Motor Company que hizo historia al convertirse en la primera automotriz en instalarse en el país.

Bajo el liderazgo de Edsel Ford y el ingeniero Adrián Lajous, durante 1925, se instalan las primeras oficinas de la armadora en Bucareli #13 y, posteriormente, el 26 de agosto se inaugura la Planta de Montaje y Acabado de Automóviles de Ford en Calzada de Balbuena y prolongación Candelaria en la Ciudad de México, misma que producía 25 unidades diarias. En este mismo año, se designan los primeros distribuidores mexicanos de la automotriz. (Ford, 2015)

En 1932 la compañía construye una nueva planta de ensamble en el vecindario de La Villa. Esta fábrica tenía la capacidad de producir 100 coches diarios, mucho más de las necesidades del mercado mexicano, incluso cuando Ford estableció una compañía de crédito para financiar las ventas. Ford fue la única automotriz en México hasta 1938, cuando General Motors abrió una planta. (Funding Universe, s.f.)

En la década de los 30 Diego Rivera fue comisionado a decorar los muros interiores del Instituto de Artes de Detroit, Diego pintó 27 frescos en 11 meses, todos ellos tributo a la manufactura de la ciudad. Los dos paneles principales son frescos de la planta de River Rouge, que en esa época era el complejo industrial más avanzado y grande del mundo. (Detroit Institute of Arts, s.f.)



ILUSTRACIÓN 12. DETROIT INDUSTRY, DIEGO RIVERA, 1932

Fuente: (Detroit Institute of Arts, s.f.)

Para noviembre de 1964 se construyó el mayor complejo de América Latina y la primera pista de pruebas fuera de Estados Unidos en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, así como su primera oficina de planeación y desarrollo del producto. Fue el presidente Adolfo López Mateos quien recibió a Henry Ford II al corte del listón. (Roy, 2010)

En 1975 se ensambló el auto un millón en la planta de La Villa, y 52 años después de su inauguración esta planta cierra sus puertas. A inicios de los ochentas se comenzó con el proyecto Cuautitlán II, la nueva planta de ensamble. En 1983 se inicia la producción del Ford Topaz, mismo año en el que la planta de motores de Chihuahua inició operaciones. (Funding Universe, s.f.)

En 1983 se abre la planta de motores de Chihuahua, y 1986 se inauguró la planta de estampado y ensamble de Hermosillo consolidando así la presencia de Ford en el país.

Durante muchos años la infraestructura de Ford en México no tuvo crecimiento considerable, pero fue hasta abril del 2015, durante una reunión con el presidente, Ford Motor Company anunció en la residencia oficial de los pinos y ante el presidente Enrique Peña Nieto, la inversión de 2 mil 500 millones de dólares, para expandir la planta de chihuahua, y una nueva planta de transmisiones en Guanajuato, dejando en claro que Ford tiene confianza en la ingeniería mexicana y que los planes a futuro contemplan manufactura y diseño nacional. (Excelsior, 2015)

La apuesta de Ford por México ha sido tan sólida e importante que tan sólo en la última década, ha invertido en el país más de 8 mil millones de dólares para reforzar sus operaciones en las ya mencionadas plantas de Hermosillo y Cuautitlán, así como en las instalaciones de Motores en Chihuahua, sus próximas instalaciones para manufactura de transmisiones en el estado de Guanajuato, sus oficinas corporativas establecidas en la Ciudad de México y en su Centro de Ingeniería.

Actualmente, la producción de la armadora en México incluye los vehículos Ford Fiesta, Ford Fusion y Lincoln MKZ, así como las versiones híbridas de estos últimos dos, además de los motores Duratec I-4 (2.0 y 2.5 litros), Power Stroke Diesel de 6.7 litros V8 y un motor diesel de 4.4 litros. (Ford, 2015)

En 2017 comenzará operaciones la planta de transmisiones de Irapuato, que producirá transmisiones automáticas de 6 y 8 velocidades. (Oropeza, 2015)

4.3. Misión

Ford Motor Company es líder mundial en productos y servicios automotrices, y financieros. Nuestra Misión es mejorar continuamente nuestros productos y servicios a fin de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, lo que nos permite prosperar como negocio y proporcionar utilidades razonables a nuestros accionistas quienes son propietarios de nuestro negocio. (Ford de México, s.f.)

4.4. Visión

Una buena compañía ofrece excelentes productos y servicios, una gran empresa, además, se preocupa por hacer nuestro mundo un mejor lugar donde vivir. (Ford de México, s.f.)

4.5. Valores

La manera como cumplimos nuestra misión es tan importante como la misión misma. Los siguientes valores básicos son fundamentales para el éxito de la Compañía.

- Gente - Nuestra gente es la fuente de nuestra fuerza. Ellos proporcionan nuestra inteligencia corporativa y determinan nuestra reputación y vitalidad. El involucramiento y el trabajo en equipo son la esencia de nuestros valores humanos.
- Productos - Nuestros productos son el resultado final de nuestros esfuerzos, y deben ser los mejores para servir a nuestros clientes en todo el mundo. Así como nuestros productos son vistos, así somos vistos nosotros.
- Utilidades - Las utilidades son la medida final de cuán eficientes somos al proveer a nuestros clientes con los mejores productos para satisfacer sus necesidades. Las utilidades son necesarias para sobrevivir y crecer.
- Los concesionarios y los proveedores son nuestros socios - La compañía debe mantener relaciones de mutuo beneficio con distribuidores, proveedores y con nuestros demás asociados comerciales.
- La integridad nunca es comprometida - La conducta de nuestra compañía alrededor del mundo debe seguirse de una manera que sea socialmente responsable, requiriendo respeto por su integridad y por sus contribuciones positivas a la sociedad. Nuestras puertas están abiertas para hombres y mujeres de la misma manera sin discriminación y sin considerar origen étnico o creencias personales. (Ford de México, s.f.)

4.6. Principios guía

- La calidad es lo primero - Para lograr la satisfacción de nuestros clientes, la calidad de nuestros productos y servicios debe ser nuestra prioridad número uno.
- Los clientes son el centro de todo lo que hacemos - Nuestro trabajo debe estar hecho pensando en nuestros clientes, proporcionando mejores productos y servicios que nuestra competencia.
- El mejoramiento continuo es esencial para nuestro éxito - Debemos esforzarnos por la excelencia en todo lo que hacemos: en nuestros productos, en su seguridad y valor, y en nuestros servicios, nuestras relaciones humanas, nuestra competitividad y nuestra rentabilidad.
- El involucramiento del personal es nuestra forma de vida - Somos un equipo. Debemos tratarnos unos a otros con confianza y respeto (Ford de México, s.f.)

4.7. Organigrama

Desempeño mi trabajo como ingeniero de diseño y liberación en el área de *Powertrain*, en el grupo de *Transmission and Driveline Engineering*.

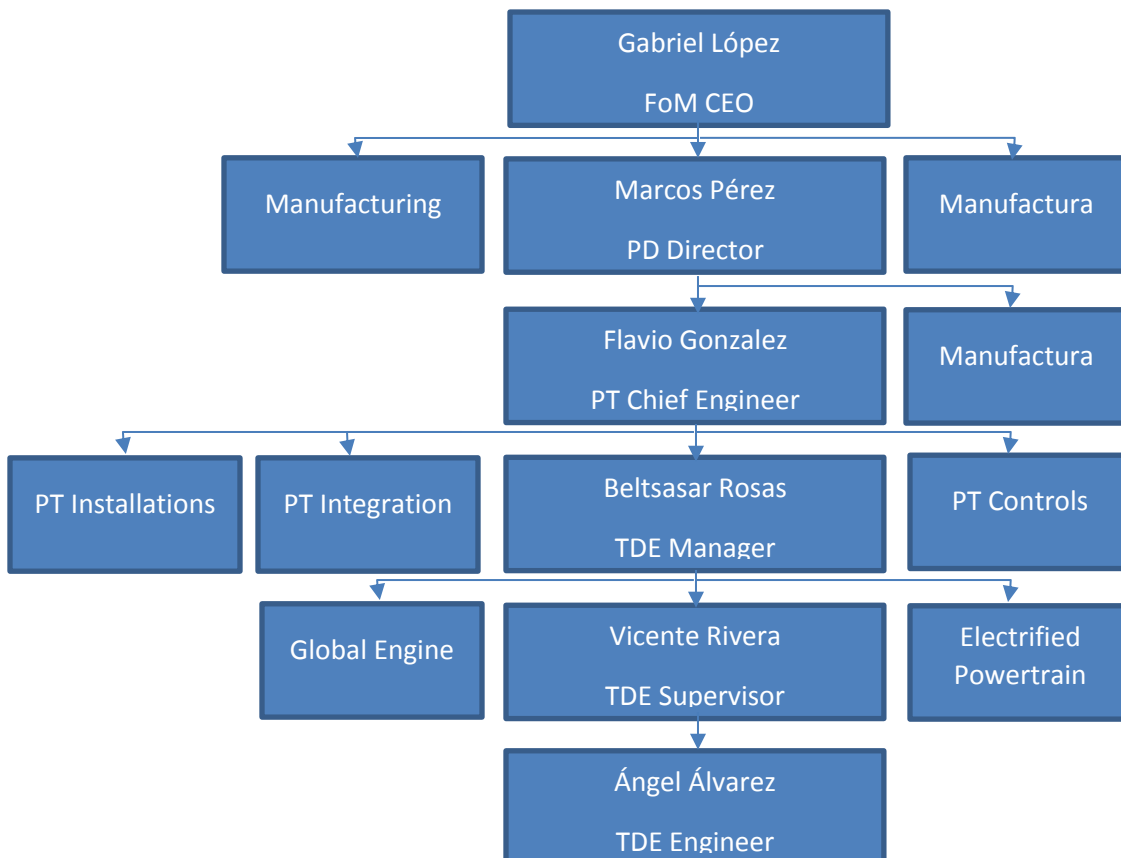


ILUSTRACIÓN 13. ORGANIGRAMA.

Fuente: Creación propia.

5. Descripción de Puesto

5.1. Ingeniero de diseño y liberación

5.1.1. Descripción genérica del puesto

El ingeniero de Diseño y liberación (Design and Release en inglés) es responsable de diseñar, desarrollar, validar y liberar partes bajo su responsabilidad para los programas asignados. El D&R es también responsable de buscar mejoras en el diseño para incrementar la calidad y optimizar el costo y peso. El D&R es responsable de diseñar partes que cumplan con los requerimientos corporativos como del mercado local para su validación, considerando documentos internos como del WRC (*Worldwide Customers Requirements*), ES (*Engineering Specifications*) and SDS (*Systems Design specifications*) así como requerimientos de manufactura y ensamble. El ingeniero es también responsable de la incorporación de partes a la planta de ensamble.

5.1.2. Habilidades requeridas para el puesto

- Estudios de ingeniería
- Dominio del idioma inglés
- Habilidad para comunicarse e interactuar con otros
- Conocimiento general de las funciones del vehículo
- Visión y conocimiento del ambiente industrial automotriz
- Manejo de paquetería CAD (abrir archivos, visualización, medición, etc.)
- Paquetería Microsoft Office
- Conocimiento de propiedades de materiales
- Conocimiento de procesos de producción

6. Participación en la empresa.

6.1. Periodo de trainee

Me incorporé a Ford en el programa de *Trainees* en febrero de 2013, apoyando al área de *Cost Attack*, dentro del departamento de *Powertrain*. Esta área es responsable de la generación, seguimiento e incorporación de ideas para reducción de costo y peso, sin la afectación de atributos o la calidad, para los coches, de ahora en adelante llamados programas, que son ensamblados en México (Ford Fiesta, Ford Fusion y Lincoln MKZ). También colaboré en el lanzamiento del vehículo

Fiesta CNG (*Compressed Natural Gas*) en Venezuela, apoyando a los ingenieros responsables, en dar seguimiento a los problemas de producción temprana de la unidad, elaborando planes de acción con proveedores.

En mayo de 2013 terminé mi periodo de *Trainee* y firmé mi contrato definitivo como Ingeniero de Calidad en el área de *Powertrain*, responsable del seguimiento, y determinación de causas raíz de problemas en campo, referente a unidades vendidas en territorio mexicano.

Pocos meses después, septiembre de 2013 fui promovido al puesto de ingeniero de diseño y liberación (D&R) como responsable del sistema de embrague de un vehículo de carga líder de ventas en su segmento, cumpliendo 2 años en este puesto. Fue aquí donde desarrollé el proyecto que se presentará más adelante.

De septiembre de 2015 a septiembre de 2016 desarrollé actividades de área de Integración, PTIM (*Powertrain Integration Management*), coordinando construcciones de vehículos prototipo en Dearborn, Michigan, siendo el punto de contacto entre las diferentes organizaciones de desarrollo de producto involucradas en este programa, como fueron Ford de Alemania, Ford de Inglaterra, Ford de Turquía, Ford de México.

De septiembre de 2016 a la fecha mi puesto actual es el de *TDE Systems Engineer*, junto con un equipo de ingenieros soy responsable de coordinar, por parte del área de desarrollo de producto, el inicio de producción de una nueva transmisión en una nueva planta que se abrirá en Irapuato a mediados del 2017.

6.2. Proyecto

Es requisito indispensable para los ingenieros de la compañía obtener una certificación Green Belt por medio de la conducción de un proyecto utilizando la metodología Six Sigma con sus herramientas, durante el primer año de trabajo. Los ingenieros destacados y con las habilidades necesarias pueden ser candidatos a una certificación Black Belt.

6.2.1. Roles

Green Belt: Son los empleados que adoptan la metodología Six Sigma conjuntamente con sus responsabilidades del trabajo operando bajo la guía de un Black Belt.

Black Belt: Operan bajo la dirección de un Master Black Belt para aplicar la metodología Six Sigma a proyectos específicos. Destinan un 100% de su valioso tiempo a Six Sigma. Se enfocan en la ejecución del proyecto y liderazgo con tareas mientras que los Master Black Belts y Champions lo hacen en identificar proyectos y funciones.

Process Owner: Toma posesión del proyecto cuando este está terminado, responsable de mantener las mejoras y quitar las barreras para el trabajo de los Black Belt.

Master Black Belt: Es un experto en las herramientas Six Sigma y en sus conceptos. Entrena a los Black Belt y se encarga de que apliquen los métodos y herramientas correctamente, trabaja en proyectos de alto nivel que involucran varias unidades de negocio.

Project Champion: Elige a los Black Belt, lidera la identificación de proyectos, trabaja en la implementación de una infraestructura Six Sigma, comunica el desarrollo de los proyectos

6.3. Identificación del proyecto

A través de una base de datos de garantías de los distribuidores podemos obtener indicadores de calidad de los componentes que hemos diseñado. Cuando estos indicadores muestran tendencias de falla es fácil identificar un problema de calidad en campo. Tal fue el caso del proyecto que se muestra a continuación. Para facilidad de interpretación de resultados se muestra en el orden de presentación de proyectos *Green Belt Six Sigma*, llamado *Six Panel*.

Los métricos que utilizamos para priorizar los proyectos son:

- **R/1000**: reparaciones por cada mil vehículos.
- **CPU**: *Cost Per Unit*. Medida del costo por reparación por unidad vendida.
- **TGW**: *Things Gone Wrong*. Medida de impresión negativa en el cliente después de 3 meses.

Por confidencialidad, muchos de los valores y datos del proyecto han sido removidos o van a ser omitidos. No se especifican datos del vehículo en el que se trabaja, nombre del proveedor, planta de manufactura, valores, etc.

7. DMAIC

7.1. Definición

- Enunciado del problema: Dificultad para meter cambios en primera y reversa
- Alcances del proyecto: encontrar la causa raíz de la dificultad para meter cambios.
- Objetivo del proyecto: detectar la causa raíz de la falla, implementar acciones correctivas y reducir los DPMO en 70%.
- Definición CTQ: El cliente debe ser capaz de realizar cambios sin dificultad
- Definición del defecto: La reserva del pedal debe ser un valor "R" indicado en nuestras guías de diseño internas, todo valor fuera de esta especificación es un defecto
- Costo de la mala calidad: El promedio de reparación por una falla de este tipo es de 1000 USD además del impacto negativo a la satisfacción del cliente.

7.1.1. Tendencias y desglose de garantías

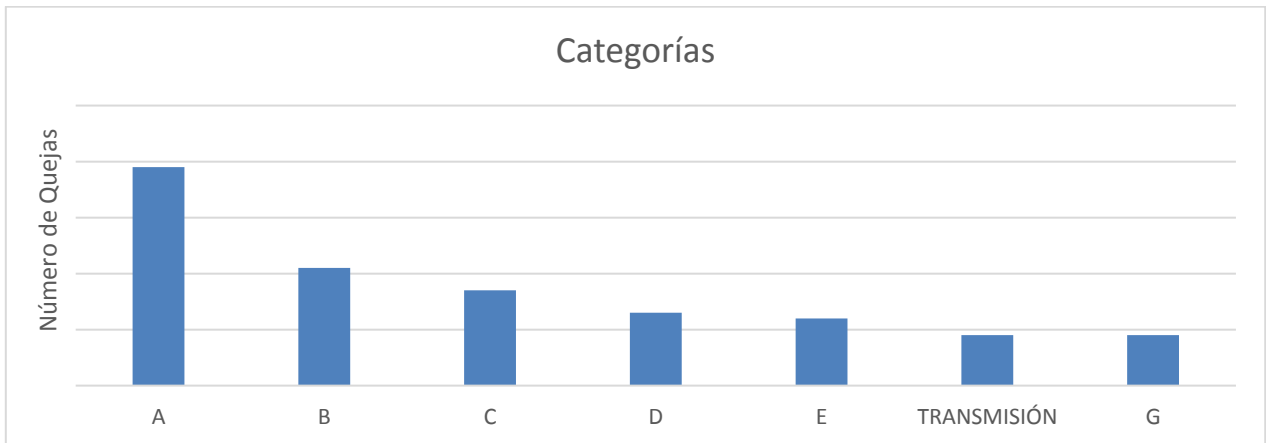


ILUSTRACIÓN 14. ÁREAS DE MEJORA EN EL VEHÍCULO "F"

Fuente: Ford Internal

Las áreas no mostradas corresponden a diferentes categorías, si bien es importante resolver primero otros problemas, dentro de mi área, *Powertrain*, la columna catalogada como transmisión es la que cae dentro de nuestra responsabilidad, por lo que otros equipos se encargaron de los demás.

Una vez seleccionada la categoría a mejorar, determinamos las partes que están contribuyendo en mayor medida al problema.

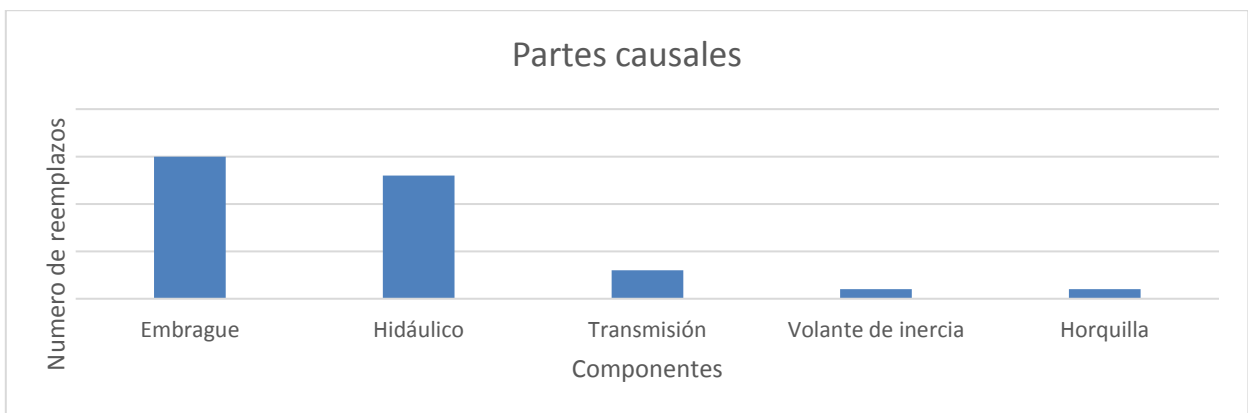


ILUSTRACIÓN 15. PARTES CAUSALES

Fuente: Ford Internal

Para nuestro caso en particular el embrague y el sistema hidráulico son los componentes que están cambiando en la agencia para solucionar el problema, muchas veces con reincidencias, la misma unidad regresando por el mismo problema.

7.1.2. Cascadeo de función

Para poder traducir la voz del cliente a un métrico realizamos lo que se conoce como un cascadeo de función. Para la ecuación que se muestra a continuación, los CTQ, CTD y CTC representan las variables dependientes (Y), mientras que los CTP representan las variables independientes (x)

$$Y = f(x)$$

Y = voz del cliente = dificultad para hacer cambios

Y = f(fugas en el sistema hidráulico, baja reserva, desgaste del embrague, etc)

Y' = baja reserva = f(proveedor del hidráulico, proveedor del embrague)

Mucho del cascadeo de función depende enteramente de la experiencia de los ingenieros involucrados en el proyecto, por eso es necesario contar con los expertos en el tema, en este caso embrague, para tener la certeza de que la traducción de la voz del cliente es lo más acertada posible.

Para nuestro caso particular, la voz del cliente se tradujo como baja reserva de pedal de embrague.

Definición: la reserva de pedal es la distancia desde el punto en que el embrague está completamente desacoplado hasta el final del viaje del pedal.

Su importancia: Falta de reserva puede ocasionar ruido de engranes cuando se intenta hacer un cambio de velocidad, altos esfuerzos de cambio y desgaste de sincronizadores.

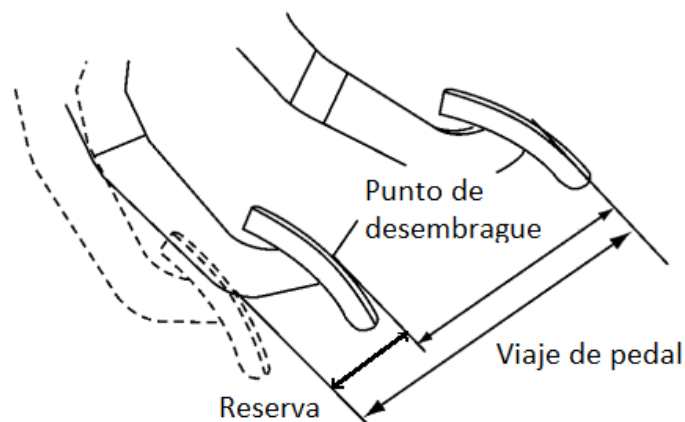


ILUSTRACIÓN 16. RESERVA DE PEDAL

Fuente: (Autozone, s.f.)

7.1.3. Generalidades de un embrague

Para facilitar la comprensión del proyecto los siguientes apartados dan una breve, pero completa descripción del sistema, funcionamiento y características más importantes.

7.1.3.1. Función

Los motores de combustión interna tienen un inconveniente, proveen par óptimo en un rango muy limitado de revoluciones. Esto significa que la velocidad, par transmisible del motor, y caja de cambios deben estar óptimamente sincronizados en diferentes condiciones de manejo, esta es la función del embrague.

Un embrague es un elemento mecánico que se encarga de transmitir par proveniente del motor hacia la transmisión y también de interrumpir el torque para poder realizar cambios en cajas de velocidades manuales. Hoy en día, además de cumplir las funciones básicas, el embrague debe de satisfacer requerimientos que impactan directamente el comportamiento y la comodidad del vehículo. (Schaeffler Group, s.f.)

Junto con el volante de inercia, el disco de fricción, el plato opresor forma un sistema de fricción. El plato opresor asegura que el par del motor es transferido por medio del disco de fricción a la flecha de entrada de la transmisión. La fuerza de contacto requerida para transmitir el par del motor es suministrada por el diafragma. (Schaeffler Group, s.f.)

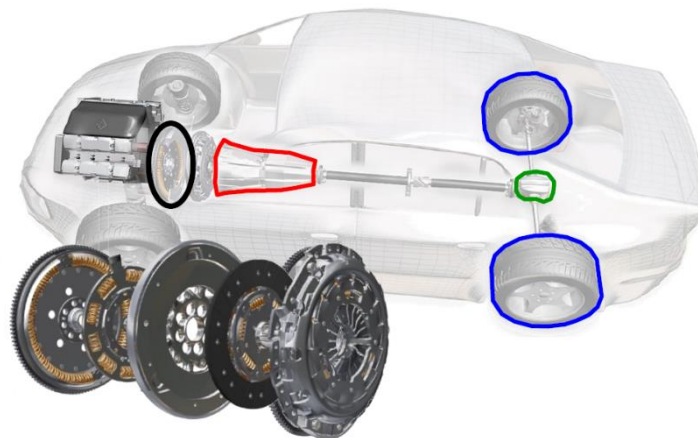


ILUSTRACIÓN 17. LOCALIZACIÓN DEL EMBRAGUE EN EL TREN MOTRIZ – TRACCIÓN TRASERA

Fuente: (Schaeffler Group, s.f.)

7.1.3.2. Componentes y funcionamiento

El diagrama muestra un corte de un embrague convencional. Entraremos un poco más en detalle en el papel que juega cada elemento, la interacción y el propósito de cada uno de ellos.

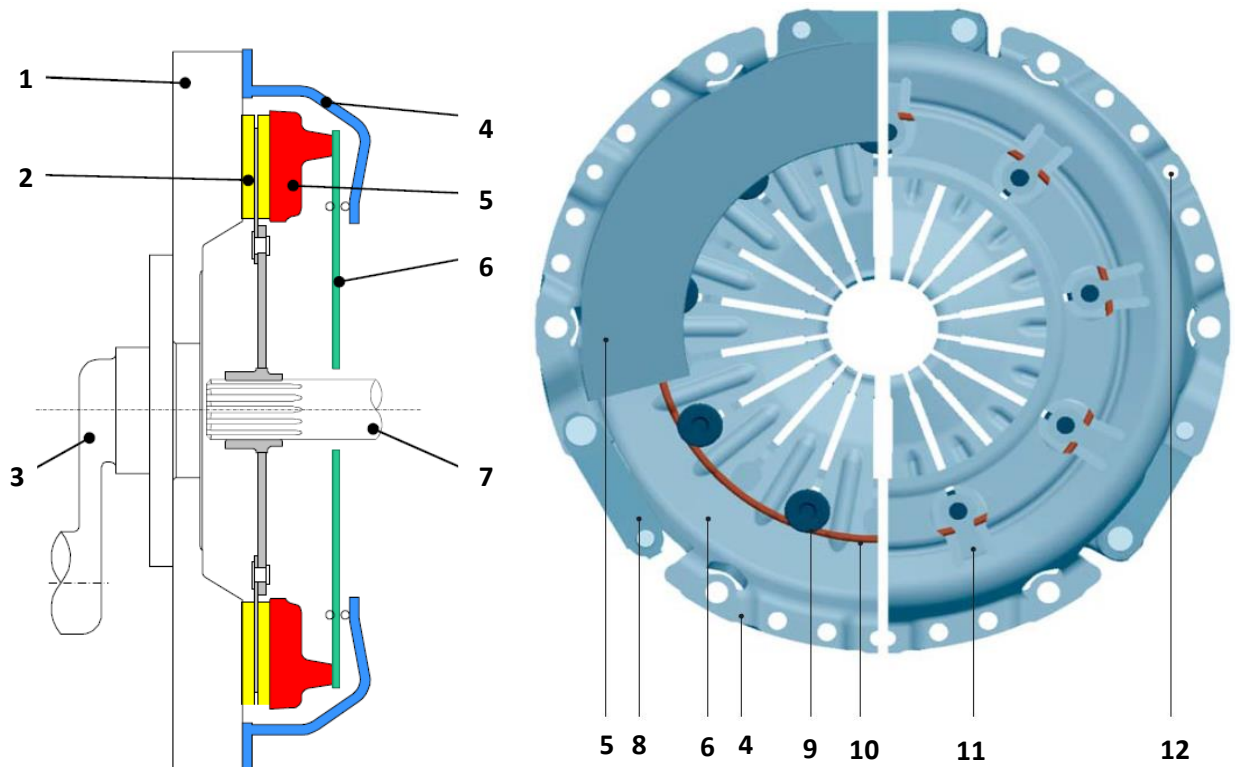


ILUSTRACIÓN 18. COMPONENTES DEL EMBRAGUE

Fuente: (Schaeffler Group, s.f.).

| Componentes del embrague | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Volante de inercia | 7. Flecha transmisión |
| 2. Disco | 8. Muelles |
| 3. Cigüeñal | 9. Pernos |
| 4. Cubierta | 10. Arillo de Pivote |
| 5. Plato opresor | 11. Ojivas |
| 6. Diafragma | 12. Guías para perno |

TABLA 7. COMPONENTES DEL EMBRAGUE

Fuente: Creación propia

Existen 3 estados del embrague. Embragado o acoplado, desembragado o desacoplado y en deslizamiento. Este último es un estado transitorio entre las dos condiciones anteriores.

Con el sistema embragado, el torque del cigüeñal es transmitido a través del volante de inercia hacia el ensamble de la cubierta del embrague. El plato de presión que está unido al volante de inercia

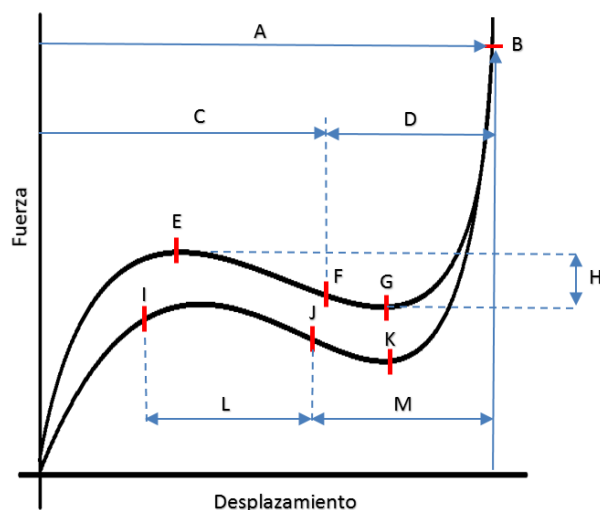
mediante la fuerza que ejerce el diafragma transmite el movimiento hacia el disco que queda aprisionado entre los dos elementos, y este a su vez está conectado mediante un buje a la flecha de entrada de la transmisión. En consecuencia, la conexión entre el motor y la transmisión está hecha.

Para desconectar el flujo de potencia entre el motor y la transmisión se requiere que el pedal del embrague sea accionado, y mediante un mecanismo, ya sea mecánico o hidráulico, liberar la horquilla y el collarín el cual a su vez presiona las lengüetas del diafragma. Mediante este movimiento el plato de presión se separa del disco, el cual ahora es libre de girar el motor y la transmisión están ahora desconectados.

Adicional a las funciones básicas existen otros elementos que brindan diferentes características que hacen que el embrague tenga un desempeño más confortable. Ejemplo de ellos son los segmentos y el amortiguador torsional. El primer elemento sirve para que el proceso de conexión sea suave y evita trepidaciones en el vehículo. El segundo elemento es el encargado de filtrar las vibraciones torsionales, que son las explosiones de los pistones que causan aceleración y desaceleración de la flecha de entrada de la transmisión, y a su vez de los engranes de la caja, y en consecuencia pueden causar un ruido de cascabeleo que es molesto para el usuario.

7.1.3.3. Curva de pedal de embrague

La interfaz de todo el sistema de embrague con el usuario se da mediante el pedal de embrague, y no fue hasta hace una década que se comenzó a medir esta interacción mediante una gráfica de fuerza contra desplazamiento. A continuación, se muestra un ejemplo y los puntos de estudio más importantes, que dependiendo su valor pueden causar una experiencia de manejo placentera o tortuosa.



| | |
|----------|------------------------|
| A | Viaje máximo de pedal |
| B | Fuerza máxima de pedal |
| C | Viaje de desembrague |
| D | Reserva |
| E | Fuerza pico |
| F | Punto de desembrague |
| G | Punto de caída |
| H | Fuerza de caída |
| I | Punto de paro |
| J | Punto de embrague |
| K | Fuerza de retorno |
| L | Modulación |
| M | Viaje de embrague |

ILUSTRACIÓN 19. CURVA DE UN PEDAL DE EMBRAGUE.

Fuente: Creación propia

TABLA 8. PUNTOS DE LA CURVA DE PEDAL

Fuente: Creación propia

Esta curva se ha vuelto una medida estandarizada de referencia entre diferentes marcas para comparar el desempeño, comportamiento y confort de todo el sistema. Esta curva también proporciona los puntos necesarios para obtener la reserva de pedal, la cual es de particular interés para nuestro proyecto.

Es importante considerar que no es el mismo esfuerzo el que se espera en un camión de carga, un auto compacto, un deportivo y uno automóvil comercial, mientras más torque tenga el motor del vehículo, mayor será la fuerza que necesite ejercer el diafragma y en consecuencia mayor es la fuerza reflejada en el pedal

7.2. Medición

Ya que se habló de la curva de pedal y la importancia de medirla, en este capítulo se abordará la metodología, las herramientas utilizadas y la validación de estas herramientas.

7.2.1. Normalidad

Es indispensable primero determinar la normalidad del comportamiento del proceso, ya que las herramientas básicas fueron desarrolladas para este tipo de datos, de otra manera habría que utilizar alternativas para obtener la condición actual y puede complicar el estudio. Este tipo de comportamiento es también conocido como distribución gaussiana.

Algunas características importantes de esta distribución son:

- Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
- La curva normal es asintótica al eje de abscisas.
- El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.
- Es simétrica con respecto a su media, existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.
- Existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo comprendido entre dos desviaciones estándar. (Ruidias, 2010)

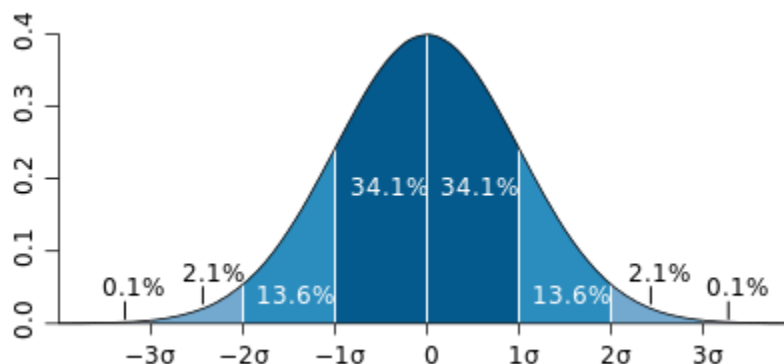


ILUSTRACIÓN 20. GRÁFICA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL

Fuente: (Wikipedia, 2017)

7.2.2. Prueba de Anderson-Darling

La prueba de Anderson-Darling es una prueba estadística que permite determinar que tan bien una muestra de datos encaja o se asemeja a una distribución de probabilidad. Para un determinado conjunto de datos o distribución, mientras mejor se ajusten los datos, es menor la estadística o ajustes que se necesitan hacer. (Minitab, 2016)

Cuando se aplica para probar si una distribución normal describe adecuadamente un conjunto de datos, es una de las herramientas estadísticas más potentes para la detección de la mayoría de las desviaciones de la normalidad. (Wikipedia, 2013)

El valor que utilizaremos para discernir si los datos recabados se asemejan a una distribución normal es el *P-value*. El criterio es el siguiente:

$P\text{-value} < 0.05 = \text{Distribución no normal.}$

$P\text{-value} \geq 0.05 = \text{Distribución normal}$

7.2.3. MIRA

MIRA *Clutch measurement system* es un equipo utilizado en la industria automotriz para obtener curvas de pedal de embrague con sus puntos más importantes, mencionados en párrafos anteriores.

Consta de una celda de carga para medir fuerza, un potenciómetro para medir desplazamiento y una unidad de adquisición de datos para transmitir y almacenar los datos en un equipo de cómputo.



ILUSTRACIÓN 21. EQUIPO MIRA

Fuente: Ford Internal

7.2.4. Repetitividad y reproducibilidad

Para la validación del sistema de medición es necesario verificar la variabilidad de algunos puntos, uno de los más importantes la reproducibilidad y repetitividad.

- Repetitividad: Es la habilidad del sistema de medición de dar el mismo valor cuando un mismo operador toma mediciones en repetidas ocasiones de la misma característica de un mismo objeto.
- Reproducibilidad: Es el grado de concordancia de resultados cuando múltiples operadores miden la misma característica en el mismo objeto.

Esta prueba, conocida también como *Gage R&R*, determina si existe variabilidad en el sistema de medición. La prueba está diseñada de tal modo que es posible obtener la variabilidad total, la variabilidad del producto, también conocida como *part-to-part*, y la variabilidad del sistema.

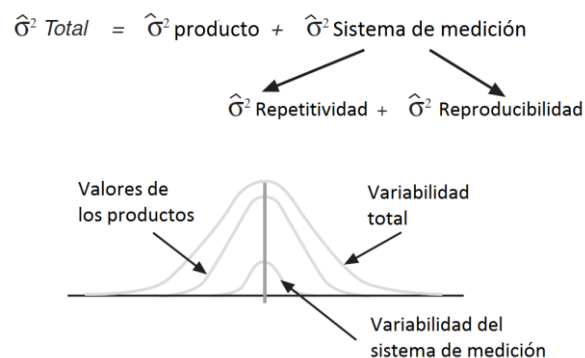


ILUSTRACIÓN 22. COMPONENTES DE VARIACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

Una vez que todas esas variaciones han sido calculadas, se puede determinar si el sistema de medición es confiable basado en un criterio de aceptación. Si el sistema es considerado poco fiable estas variaciones pueden ayudar a determinar si el problema es repetitividad y/o reproducibilidad.

Estos son los valores que la AIAG (*Automotive Industry Action Group*), ha estandarizado y publicado como lineamientos generales para la aceptación de los sistemas de medición en el ramo automotriz en Norte América. (AIAG, 2010)

| % Contribution | % Variation | No of distinct categories |
|-----------------------|--------------------|----------------------------------|
| R > 9% | R > 30% | R < 5 |
| Y 2-9% | Y 11-30% | Y 5-10 |
| G < 1% | G < 10% | G > 10 |

ILUSTRACIÓN 23. CRITERIO DE ACEPTACIÓN GAGE R&R

Fuente: (Six Sigma Academy, 2002)

7.2.4.1. Resultados Gage R&R

Utilizando el software Minitab, ejecutamos la función de Gage R&R, quien ejecuta la parte de repetitividad y reproducibilidad abordada con anterioridad. Para el software es necesario únicamente ingresar los valores, en este caso de fuerza y desplazamiento, que tomaron los diferentes usuarios utilizando MIRA en diferentes componentes, para nuestro estudio fueron dos usuarios y 10 pedales de embrague de 10 vehículos diferentes.

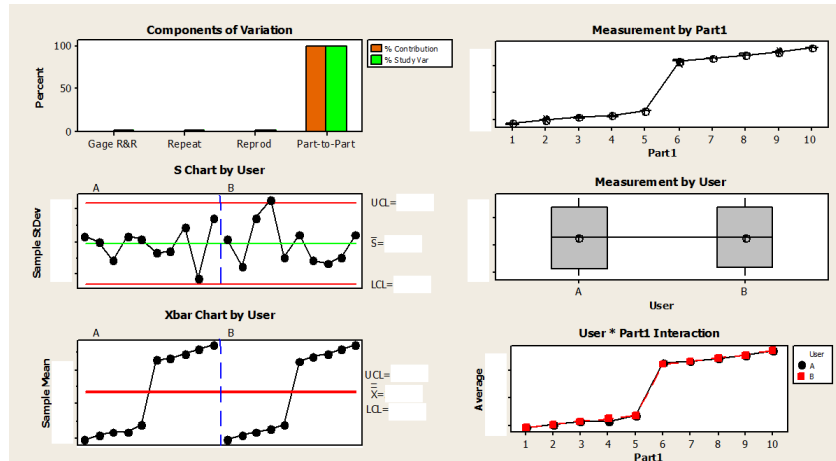


ILUSTRACIÓN 24. MEDICIÓN DE FUERZA DE PEDAL

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

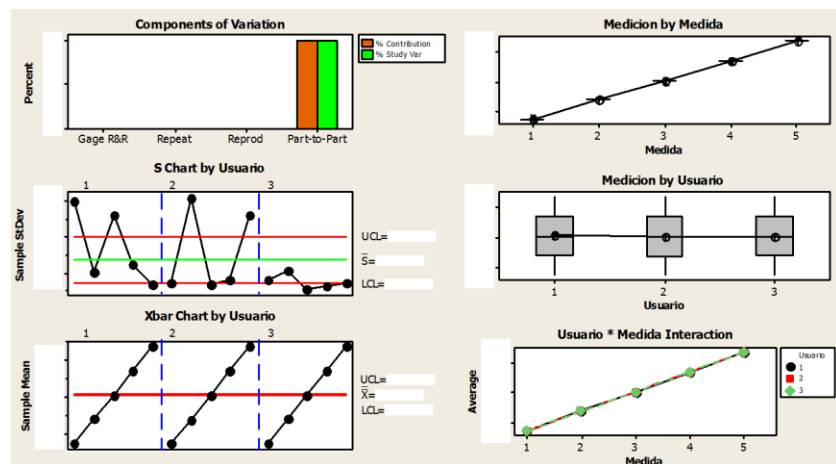


ILUSTRACIÓN 25. MEDICIÓN DE VIAJE DE PEDAL

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

De las gráficas anteriores, la mejor referencia es ir al histograma de *Components of variation*. Es un abstracto de los cálculos, mostrados de manera gráfica. A simple vista se puede apreciar que casi un 100% de la aportación de la variación está dado en *Part-to-part*, es decir entre componente medido y componente medido, lo cual es normal, pues si bien todos los valores de fuerza y

desplazamiento entre diferentes vehículos deben ser similares o están dentro de un rango, no todos los vehículos tienen exactamente el mismo valor. Es importante recordar que estamos analizando el sistema de medición, no la distribución de los valores medidos.

En caso de que no fuera tan clara la parte gráfica, es posible obtener el porcentaje de contribución, el porcentaje de variación y el número de categorías distintas en el software.

| Source | VarComp | (of VarComp) |
|-----------------|---------|--------------|
| Total Gage R&R | 0.366 | 0.06 |
| Repeatability | 0.213 | 0.03 |
| Reproducibility | 0.152 | 0.02 |
| User | 0.000 | 0.00 |
| User*Part1 | 0.152 | 0.02 |
| Part-To-Part | 610.497 | 99.94 |
| Total Variation | 610.862 | 100.00 |

| Source | VarComp | (of VarComp) |
|-----------------|---------|--------------|
| Total Gage R&R | 0.00045 | 0.01 |
| Repeatability | 0.00007 | 0.00 |
| Reproducibility | 0.00038 | 0.01 |
| Usuario | 0.00011 | 0.00 |
| Usuario*Medida | 0.00028 | 0.00 |
| Part-To-Part | 6.61970 | 99.99 |
| Total Variation | 6.62015 | 100.00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (\$SV) |
|-----------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| Total Gage R&R | 0.6047 | 3.628 | 2.45 |
| Repeatability | 0.4618 | 2.771 | 1.87 |
| Reproducibility | 0.3904 | 2.342 | 1.58 |
| User | 0.0000 | 0.000 | 0.00 |
| User*Part1 | 0.3904 | 2.342 | 1.58 |
| Part-To-Part | 24.7082 | 148.249 | 99.97 |
| Total Variation | 24.7156 | 148.294 | 100.00 |

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | %Study Var (\$SV) |
|-----------------|-------------|-----------------------|----------------------|
| Total Gage R&R | 0.02123 | 0.1274 | 0.82 |
| Repeatability | 0.00820 | 0.0492 | 0.32 |
| Reproducibility | 0.01958 | 0.1175 | 0.76 |
| Usuario | 0.01038 | 0.0623 | 0.40 |
| Usuario*Medida | 0.01660 | 0.0996 | 0.65 |
| Part-To-Part | 2.57288 | 15.4373 | 100.00 |
| Total Variation | 2.57297 | 15.4378 | 100.00 |

Number of Distinct Categories = 57

Number of Distinct Categories = 170

ILUSTRACIÓN 26. GAGE R&R FUERZA Y DESPLAZAMIENTO

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

| Concepto | % | |
|----------------------|--------|----|
| % Contribución | 0.06 % | OK |
| % Variación | 2.45 % | OK |
| Número de categorías | 57 | OK |

| Concepto | % | |
|----------------------|--------|----|
| % Contribución | 0.01 % | OK |
| % Variación | 0.82 % | OK |
| Número de categorías | 170 | OK |

TABLA 9. GAGE R&R FUERZA Y DESPLAZAMIENTO

Fuente: Creación propia con datos de Minitab

En conclusión, nuestro sistema de medición es aceptable pues cumple con los criterios marcados por la AIAG.

En caso de que el sistema fuera rechazado por porcentaje de repetitividad fuera alto, significa que el problema está en el sistema de medición, si el problema fuera la reproducibilidad, significa que el problema está en el usuario que está utilizando el sistema, ya sea en el método, el ambiente o apreciación.

7.2.5. DPMO

DPMO es el acrónimo de Defectos por Millón de Oportunidades, es una medida de desempeño de procesos. Un defecto está definido como el incumplimiento de una característica de calidad (por ejemplo, tiempo, fuerza, longitud) con respecto a una especificación. (Wikipedia, 2017)

La fórmula para calcularlo es simple:

$$DPMO = \frac{1,000,000 * \text{Número de defectos}}{\text{Número de unidades} * \text{Número de oportunidades}}$$

- Número de defectos: es la cantidad de unidades o no conformidades fuera de especificación encontradas en una cierta cantidad de unidades tomadas como muestra.
- Número de unidades: es la cantidad de piezas o elementos de muestra producidos.
- Número de oportunidades: es la cantidad de defectos posibles dentro de una misma pieza o unidad.

Existe una relación entre Sigma y DMPO, En un proceso Six Sigma los valores de DPMO es inferior a 3.4. Recordando, el alcance de este proyecto es reducir los DPMO en un 70%.

| Sigma | DPMO |
|-------|---------|
| 1 | 691,462 |
| 2 | 308,538 |
| 3 | 66,807 |
| 4 | 6,210 |
| 5 | 233 |
| 6 | 3.4 |

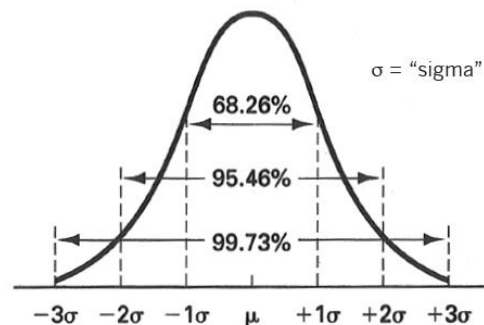


ILUSTRACIÓN 27. CURVA DISTRIBUCIÓN NORMAL & SIX SIGMA

Dado que este es un método estadístico, no es posible medir la característica de estudio en el cien por ciento de los vehículos producidos, pues sería muy costoso, poco práctico, y tomaría mucho tiempo y recursos.

Es necesario recabar datos de una muestra representativa de la producción, para extrapolar y determinar la condición actual, DPMO, del proceso.

7.2.6. Cp y Cpk

Los siguientes índices son igualmente de suma importancia en la interpretación de la estabilidad y centralidad del proceso, son el Cp y Cpk. Ambos están también relacionados con los DMPO y existe una relación entre ellos.

Antes de pasar a los índices es importante definir otro concepto, los límites de especificación. El LSL (*Lower Specification Limit*) y USL (*Upper Specification Limit*), son los valores mínimos y máximos, respectivamente, que pueden tomar las mediciones. Todo valor fuera de estos extremos es considerado un defecto.

Cp es el índice de capacidad, compara la capacidad del proceso de cumplir con la máxima variación indicada por la tolerancia. Este índice provee una medida de que tan bien cumplirá el proceso con los valores de variabilidad. Para procesos unilaterales (cuando el valor mínimo de especificación es cero) este índice no significa nada. Debe ser solo interpretado cuando hay un proceso bilateral. (AIAG, 2005)

De manera coloquial, Cp es el número de veces que cabe la distribución del proceso dentro de los límites de especificación. Dispersión del proceso.

El Cpk es el valor que caracteriza la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación, por el cual el proceso dará un resultado menos correcto. Es el índice utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias, es decir, si la media natural del proceso se encuentra centrada o no con relación al valor nominal del mismo. Cpk muestra la capacidad de un proceso para producir un resultado dentro de los límites predefinidos. Mientras más grande sea el índice, menos probable es que cualquier característica esté fuera de los límites de especificación. (AIAG, 2005)

De manera coloquial, Cp es el que tan lejos está la media de la distribución del proceso comparado con la media u objetivo de la especificación. Centralidad del proceso.

Ambos índices deben ser evaluados en conjunto, o con algún otro indicador, por ejemplo, DPMO.

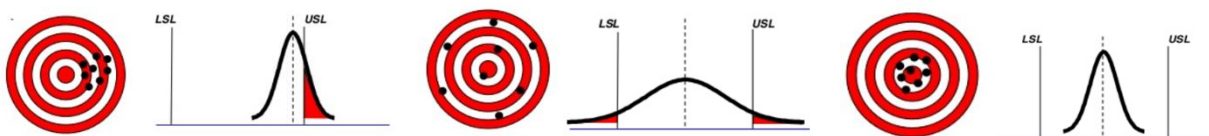


ILUSTRACIÓN 28. CP Y CPK

Fuente: (Talukdar, 2015)

El primer proceso tiene buen Cp pero mal Cpk, el segundo proceso tiene mal Cp pero buen Cpk, y el tercero tiene buen Cp y buen Cpk.

En el entendido de que mientras mayor el índice mejor, podemos definir que un Cpk aceptable debe ser mayor a 1.33 y un Cp mayor a 2. (iSix Sigma, s.f.)

7.2.7. Desempeño actual del proceso

Una vez que recopilamos los datos crudos, utilizamos nuevamente el software Minitab para correr la función de análisis estadístico del proceso. Es necesario ingresarlos junto con los límites de especificación.

Este análisis contiene un extracto de los datos ya procesados, y es posible obtener el *P-value*, *Cp*, *Cpk* y los DPMO del proceso.

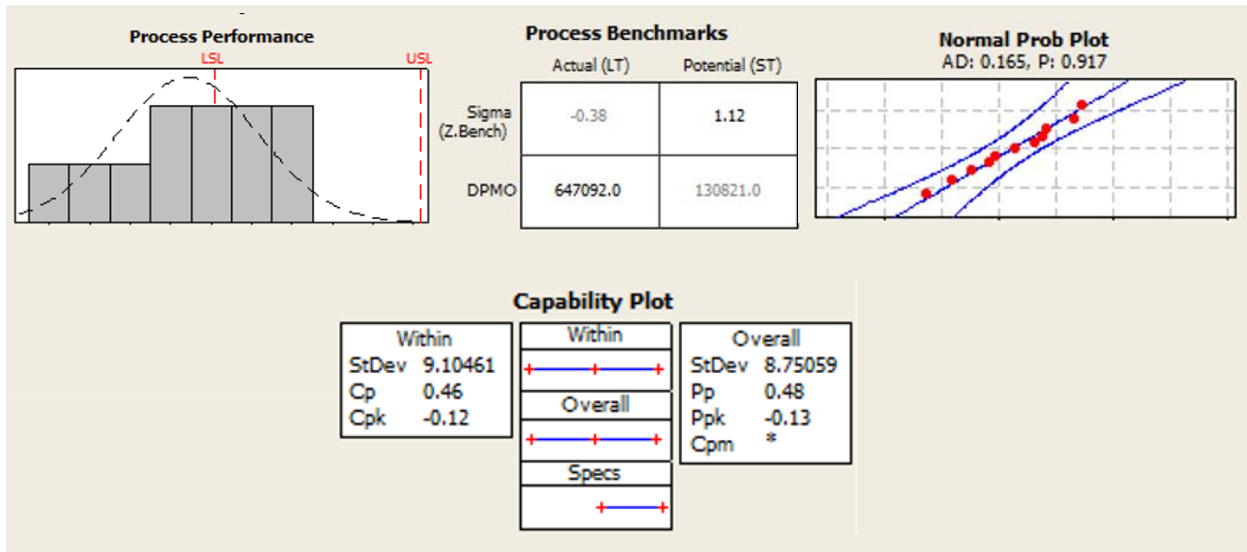


ILUSTRACIÓN 29. ANÁLISIS ESTADÍSTICO INICIAL

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

A manera de resumen, la siguiente tabla muestra los valores que se compararán al final del proyecto, así como su interpretación.

| Resultados del análisis estadístico | | |
|-------------------------------------|---------|---|
| P value | 0.917 | Al ser mayor a 0.05 la distribución de la muestra se asemeja a una distribución normal y podemos usar las herramientas. |
| DPMO | 647,092 | Número de unidades que no cumplen con la especificación por cada millón de unidades producidas. Más del 60% de la producción. |
| Cp | 0.46 | El proceso tiene gran dispersión, hay valores muy separados entre ellos y el máximo y el mínimo también están alejados. |
| Cpk | -0.12 | La media de la distribución del proceso está fuera de los límites de especificación |

TABLA 10. VALORES ANÁLISIS ESTADÍSTICO INICIAL

Fuente: Creación propia utilizando valores de Minitab

7.2.8. Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como espina de pescado o diagrama causa efecto, es una representación gráfica para categorizar las diferentes causas que puedes estar causando el problema. Para problemas de procesos de producción generalmente se divide en las categorías: Maquinaria o equipo, Método (cómo es realizado el trabajo), Material (Componentes o materia prima), Medio ambiente, Medición, Gente o personal.

El diagrama se alimenta de una lluvia de ideas, generalmente de las personas involucradas en el proceso, que tienen conocimiento y experiencia en él.

Es importante no llegar a conclusiones precipitadas, todas las ideas son buenas y válidas, posteriormente estas ideas se ponderan con base en la experiencia y criterio de los expertos en la materia, para poder enfocar los esfuerzos en analizar las más probables, sin descartar, en caso de no encontrar anomalías, a las que se pensaron que tendrían mayor probabilidad de contribuir.

Una vez realizada la lluvia de ideas se procede a catalogar cada una de ellas en las espinas. El Ishikawa para el proyecto fue el siguiente:

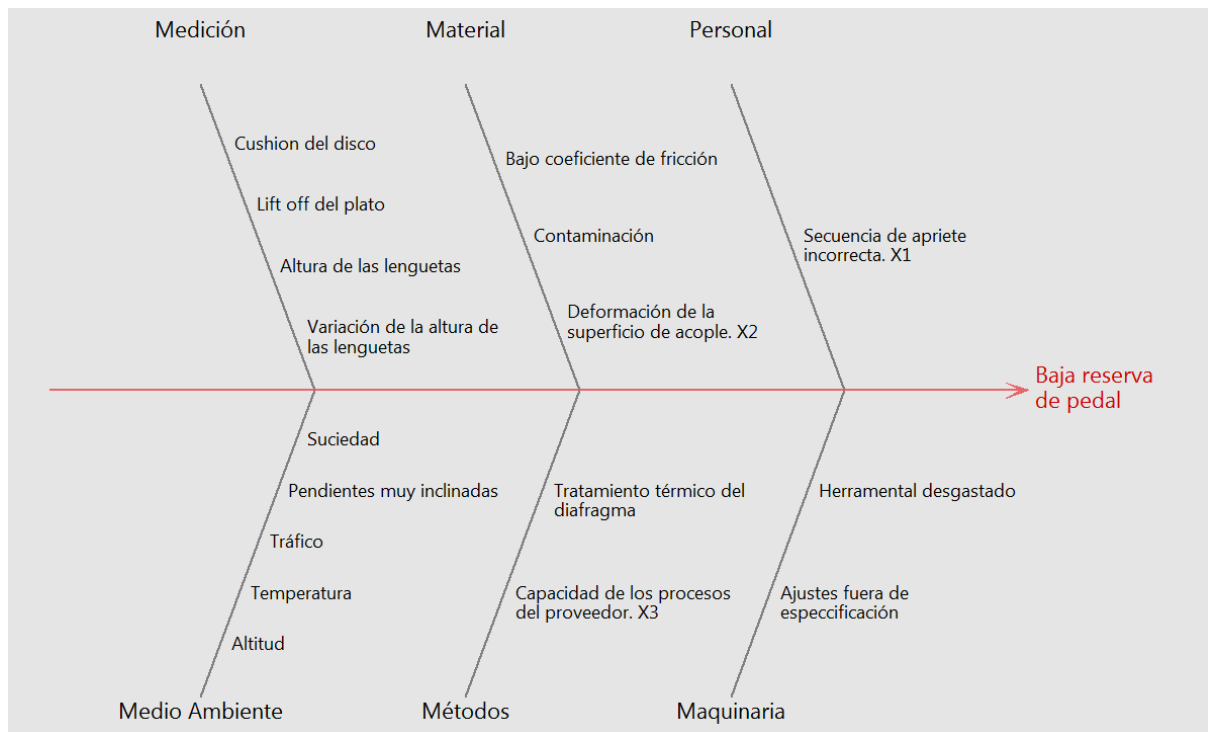


ILUSTRACIÓN 30. DIAGRAMA ISHIKAWA

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Han quedado categorizadas, las que, de acuerdo al criterio del equipo, son las posibles causas de ocasionar el problema. Aunque se analizaron todas ellas, sólo mostraremos evidencia de 3 de ellas como referencia y evidencia del tipo de análisis que se hace en la siguiente fase de la metodología.

7.3. Análisis

Durante esta fase, cómo lo indica el título, se analizan las posibles causas raíz que se consideraron con mayor probabilidad de causar el problema, y se descartaron las que pueden tener menos probabilidad o impacto en el problema.

Mediante el uso de gráficas de control, análisis de procesos, etc. se busca evidencia que sustente que el proceso está bajo control, todas las posibles causas son sospechosas hasta demostrar lo contrario.

Todas las x se analizaron, para efectos prácticos y en cierto punto de confidencialidad solo se mostrarán las que variables que estuvieron fuera de control

7.3.1. Gráficas de control

Esta herramienta se utiliza para permitir el estudio de datos, para identificar tendencias o patrones en un periodo de tiempo especificado. El eje de las X se utilizará para el tiempo y el de las Y para la variable que debe medirse. Además, se grafican los límites de especificación y el valor objetivo. Entre otras ventajas de esta herramienta gráfica está:

- Monitorear el desempeño de uno o más procesos a lo largo de un periodo de tiempo para detectar tendencias, turnos o ciclos.
- Permite al equipo comparar el desempeño antes y después de la implementación de una solución y cuantificar el impacto.
- Enfoca la atención en cambios verdaderamente importantes en el proceso.
- Rastrea información útil para predecir tendencias. (Six Sigma Academy, 2002)

7.3.2. X1: Secuencia de apriete incorrecta

Se realizó una auditoría en la línea de ensamble. La secuencia de apriete del embrague al motor es importante porque si no se sigue el procedimiento de orden de apriete, puede causar deformación en el diafragma, ocasionando a su vez que el plato de presión no levante de forma paralela al disco, teniendo un torque de arrastre, que puede ocasionar baja reserva de pedal y por consecuencia dificultad para meter los cambios.

Después de la auditoría se verificó que todos los tornillos se insertan al mismo tiempo evitando la posibilidad de deformación.

Conclusión: La secuencia de apriete no es una causa raíz.



ILUSTRACIÓN 31. SECUENCIA DE APRIETE

Fuente: Foto propia

7.3.3. X2: Deformación de la superficie de acople

Se analizaron 6 embragues de unidades con baja reserva, buscando deformación en la superficie de contacto entre el volante de inercia y la cubierta del embrague. Si existiera una deformación en la cubierta, todos los componentes que están unidos a ella, en este caso el plato opresor, no tendrían la condición de paralelismo necesaria para evitar el torque de arrastre.

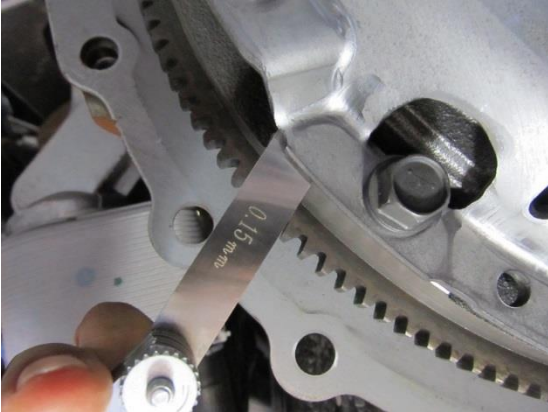


ILUSTRACIÓN 32. MEDICIÓN DE ESPACIOS

Fuente: Foto propia

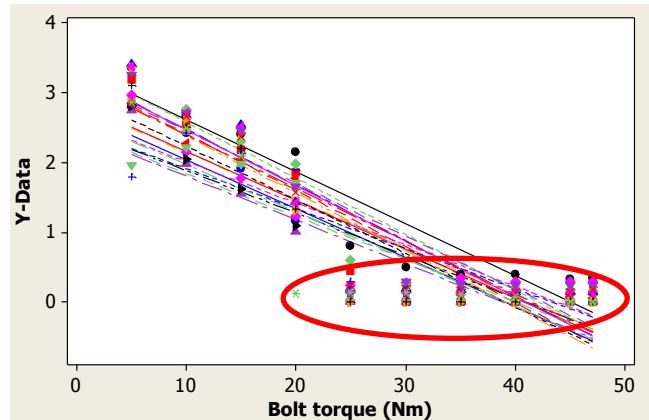


ILUSTRACIÓN 33. GRÁFICA ESPACIO VS TORQUE

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Los resultados demuestran que el asentamiento es parejo, pues todos los espacios entre los dos componentes tienden a cero incluso antes de llegar al torque nominal al que debe de estar el tornillo que une las dos partes.

Conclusión: La deformación de la superficie de acople no es una causa raíz.

7.3.4. X3: capacidad del proceso del proveedor

7.3.4.1. Lift-Off

El *lift off* es la característica que posee el embrague de levantar el plato de presión y alejarlo del volante de inercia, permitiendo la separación o libre giro del disco. Es una característica medida al 100% en la línea de producción de embragues debido a su importancia.

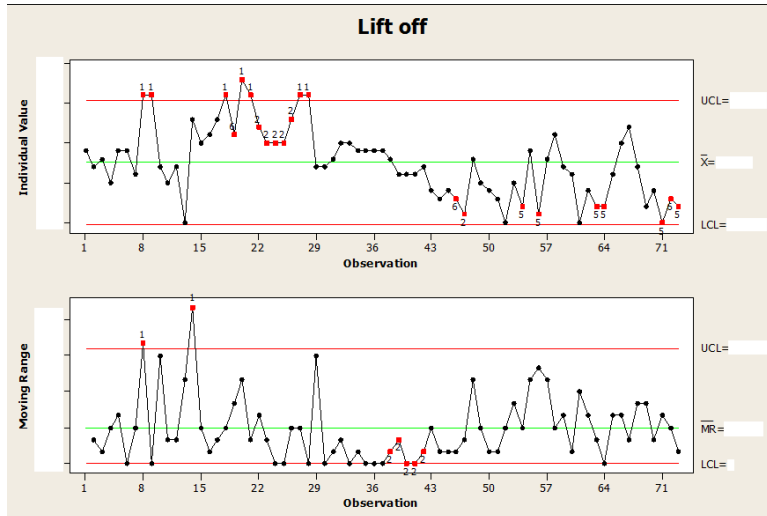


ILUSTRACIÓN 35. GRÁFICA DE CONTROL DE LIFT OFF

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Es claro ver en la gráfica que hay puntos fuera de los límites de control, y están tanto por debajo del inferior como por encima del superior. Esto significa que el proveedor no tiene control sobre esta característica, aunque esta pareciera estar centrada. Inclusive hay piezas consecutivas que caen en los extremos opuestos, el más claro indicio que el resultado de pieza a pieza tiene una gran variabilidad.

7.3.4.2. Cushion

El *Cushion* es la característica del disco de poder comprimirse bajo la aplicación de una fuerza normal a su superficie. Es una característica de confort, sin esta capacidad el vehículo presentaría trepidaciones o jaloneos, conocidos como *Judder* o *Chatter*, al momento de embragar.

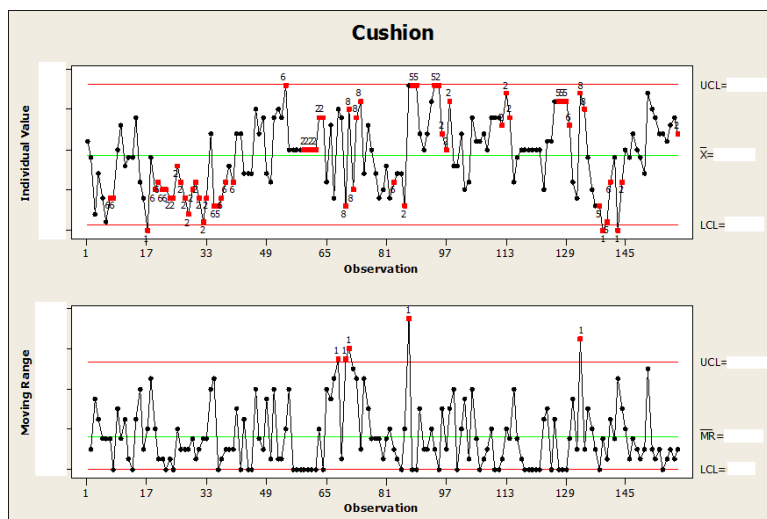


ILUSTRACIÓN 36. GRÁFICA DE CONTROL CUSHION

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Al igual que la característica anterior, no existe control, hay puntos muy cercanos al límite superior y al inferior y algunos fuera de los límites.

Otro punto importante es la interacción entre estas dos características. Las dos trabajan en conjunto, cuando se levanta o baja el plato (*Lift off*) se descomprime o comprime el disco (*Cushion*) respectivamente. El que estas características no estén en control afecta directamente a la reserva del pedal, pues al presionar el pedal, se necesita un mayor recorrido de este para poder separar el disco del plato, reduciendo la reserva.

7.4. Mejora

Una vez identificados los factores que están fuera de control, durante esta etapa, cómo su nombre lo menciona, mejoraremos las entradas del proceso, lo que tendrá un impacto positivo en las salidas del mismo.

¿Cómo mejorar? ¿Cuál es el valor óptimo? ¿Cómo determinar si mis mejoras tuvieron un impacto positivo? Todas esas preguntas tienen su respuesta durante esta fase.

7.4.1. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos (DOE) ayuda a investigar los efectos de las variables de entrada (factores) sobre una variable de salida (respuesta) al mismo tiempo, e incluso la afectación de la salida por la interacción entre las diferentes entradas. Estos experimentos consisten en una serie de corridas, o pruebas, en las que se realizan cambios intencionales en las variables de entrada. En cada corrida se recolectan datos. El DOE se utiliza para identificar las condiciones del proceso y los componentes del producto que afectan la calidad, para luego determinar la configuración de factores que optimiza los resultados. (Minitab, 2016)

El software Minitab también incluye la función DOE. Al ingresar nuestros datos, el resultado sugiere que más del 99% de variación en la reserva está impactada por estas variables, *Cushion* y *Lift off*.

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|------------------|--------|--------|---------|--------|-------|
| Constant | | 43.78 | 0.1781 | 245.84 | 0.000 |
| Lift-Off | 18.80 | 9.40 | 0.1781 | 52.77 | 0.000 |
| Cushion | -20.69 | -10.34 | 0.1781 | -58.08 | 0.000 |
| Lift-Off*Cushion | 3.58 | 1.79 | 0.1781 | 10.06 | 0.001 |

S = 0.503748 PRESS = 4.0602
R-Sq = 99.94% R-Sq(pred) = 99.74% R-Sq(adj) = 99.89%

ILUSTRACIÓN 37. DOE LIFT OFF & CUSHION

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Dentro de los resultados que también proporciona Minitab en el DOE, se encuentra el optimizador de la función, es ahí donde se determinan los valores de los factores que optimizan el resultado. Es importante verificar que los resultados sean factibles en la incorporación o modificación del proceso, pues puede que no sea posible alcanzar los valores sugeridos, por muchas razones.

Estos valores fueron compartidos con el proveedor para analizar su factibilidad desde el punto de vista de manufactura, una vez aceptados y acordados se implementaron los cambios físicamente en las partes.

Después de implementar las mejoras es necesario verificar el impacto cuantitativamente, entonces se vuelve a correr un análisis estadístico igual al que se utilizó para determinar el desempeño actual.

7.4.2. Desempeño mejorado del proceso

Con las mejoras implementadas en los componentes involucrados, se produjeron unidades y estas fueron medidas para confirmar. Es necesario volver a correr el análisis estadístico para tener el desempeño final.

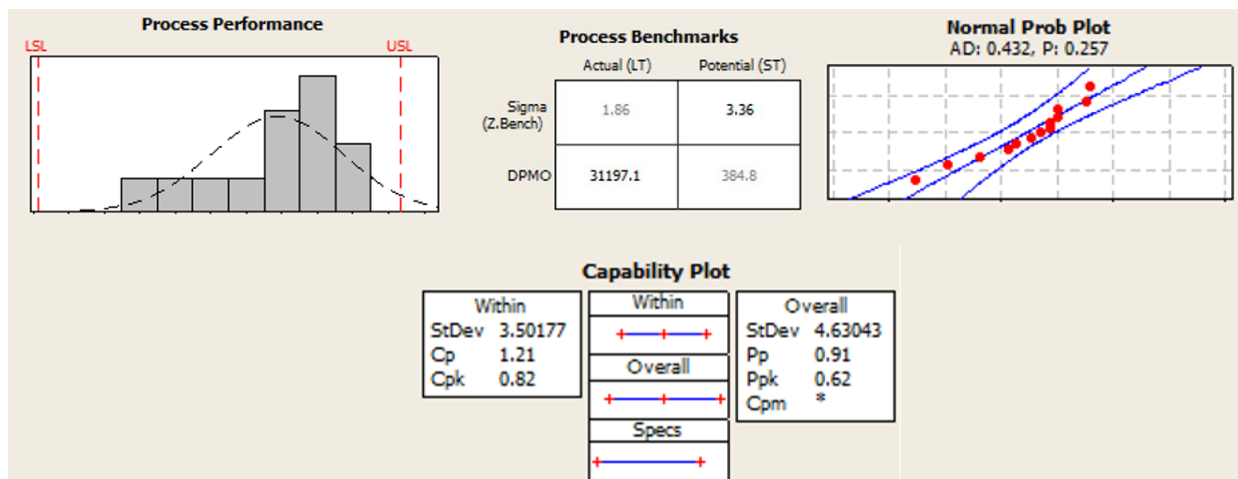


ILUSTRACIÓN 38. ANÁLISIS ESTADÍSTICO FINAL

Fuente: Creación propia utilizando Minitab

Para cerrar este capítulo se presenta la siguiente tabla mostrando todas las mejoras.

| | Antes | Después | |
|----------------|---------|---------|---|
| P value | 0.917 | 0.257 | La nueva distribución sigue asemejando una distribución normal |
| DPMO | 647,092 | 31,197 | Reducción del 95% en DPMO , cumpliendo el objetivo. |
| Cp | 0.46 | 1.21 | El proceso mejoró la dispersión. Todavía hay áreas de oportunidad. |
| Cpk | -0.12 | 0.82 | El proceso mejoró la centralidad. Todavía hay áreas de oportunidad. |

TABLA 11. VALORES ANÁLISIS ESTADÍSTICO FINAL

Fuente: Creación propia utilizando valores de Minitab

7.5. Control

En esta última etapa se monitorea que el comportamiento de los sistemas después de la mejora se mantenga, muchas veces las buenas prácticas o mejoras se pierden con el tiempo, y es necesario validar, que durante al menos los siguientes 6 meses de la fecha en que se implementaron y validaron, que el desempeño de sistema sigue teniendo un buen Cp, Cpk, DPMO, esto demostrará que la metodología fue utilizada correctamente, y que la acción correctiva es robusta.

Al igual que se realizó en un principio, la manera de verificar lo mencionado en el párrafo anterior, es determinar el número de quejas, en esta ocasión agregando el factor del tiempo. Se esperaría ver un decaimiento de quejas.

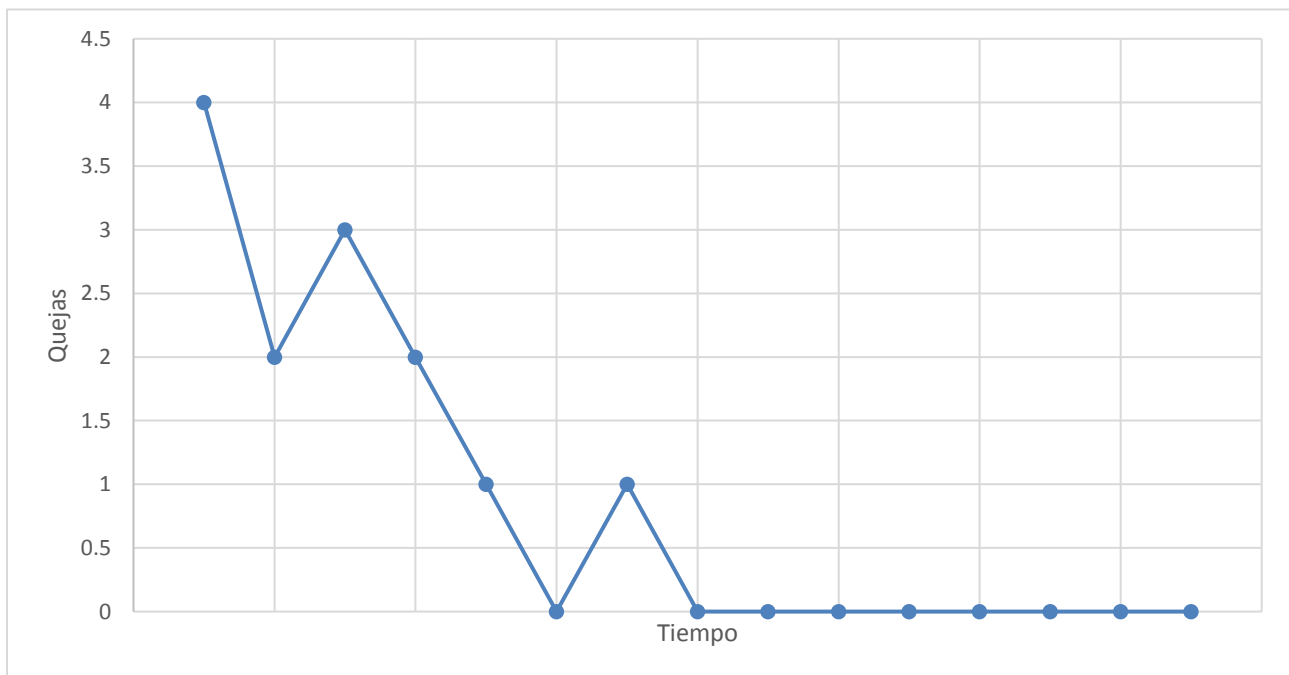


ILUSTRACIÓN 39. QUEJAS EN 6 MESES DESPUÉS DE IMPLEMENTADO EL CAMBIO

Fuente: Creación propia utilizando datos de garantías de Ford

Después de un periodo de 6 meses se monitoreó el sistema de garantías, de igual manera los valores de reserva de unidades producidas. Después de este tiempo se puede concluir que el proyecto fue exitoso.

Un proyecto que no encontró una verdadera causa raíz o que falseó datos se verá evidenciado en esta etapa, pues el problema no estará contenido y seguirá habiendo producción de defectos y llegando al cliente final.

8. Conclusiones

8.1. Acerca del trabajo realizado

La metodología Six Sigma representa una cultura de mejora que se puede aplicar en muchos ámbitos. Bien llevada a cabo, y con compromiso por mantener altos niveles de calidad en la elaboración de productos o servicios que satisfacen las necesidades del cliente, al final se ve reflejada en el bienestar económico de la compañía.

Para lograr eso, las instituciones tienen que permear el conocimiento a todos los niveles de la organización y dejar claro que la calidad y la mejora es responsabilidad de todos.

El trabajo realizado es el producto de un trabajo duro e inteligente, pues si bien la inteligencia no asegura la resolución de problemas, si no se ponen las manos a la obra. El trabajo duro no llega a ningún lado si no está enfocado inteligentemente.

Hablando en específico del proyecto, fue el primero de muchos proyectos Green Belt, y ahora me preparo para la certificación Black Belt. Es importante crear el hábito del pensamiento estructurado, organizado, analítico, y decisiones basadas en datos.

En el entendido de lo que no se mide no se mejora, el proyecto deja en claro la importancia de la adquisición de datos, la veracidad y fiabilidad de esos datos, y la toma de decisiones basado en ellos, dejando de lado la subjetividad.

Representó en su momento un reto muy grande, y aunque conté con el apoyo de la organización, el simple hecho de coordinar a un equipo, conjuntar la información, y presentar avances a la gerencia, desarrolló un sentido de urgencia y colaboración.

8.2. Sobre la formación adquirida en el trabajo

Estoy agradecido de formar parte de una empresa innovadora, con una cultura de trabajo balanceada y con una aplicación apasionante de la ingeniería cómo lo son los automóviles.

El conocimiento adquirido por experiencia es el que realmente se aprende, La formación en este trabajo ha sido impresionante, la oportunidad de ver una aplicación tan tangible de nuestros diseños, poder probarlos, evaluarlos, y analizar el impacto que tiene cada una de las diferentes características de las partes en las que trabajamos y lograrlas ver trabajar en conjunto es una dicha enorme.

Somos cientos de ingenieros los que tenemos que aprender a trabajar en equipo por un fin común, con metas claras desde el nacimiento de un concepto, cuidando la parte funcional y de desempeño pero también la financiera, cuidando costos, evaluando materiales y sin dejar de lado las habilidades de interacción con otras personas, y la capacidad de poder sintetizar información, retenerla, y poder

presentarla a niveles organizacionales más altos, con personas de 5 países diferentes todos conectados remotamente en una sala de juntas virtual. Sin duda la formación adquirida en este trabajo ha sido una grata experiencia en todos los aspectos.

8.3. De la formación recibida en las aulas

Hablar de mi Universidad es hablar con orgullo de ella, de la Facultad, de mis profesores, de mis compañeros, y si volviera el tiempo atrás y tuviera la oportunidad de volver a elegir dónde cursar mis estudios, sin duda alguna volvería a elegir la UNAM.

Poder decir que he aplicado 10% de lo que aprendí sobre la teoría vista en clases sería exagerar, es el aprendizaje de técnicas, formación de buenos hábitos, criterios y mentalidad de no darse por vencido, es lo más valioso que me llevo de las aulas, cada profesor me mostró diferentes maneras de enfrentar los problemas y de apreciar la ingeniería.

Un área de oportunidad dentro de la universidad, y que ha sido por muchos años tema de discusión, es la impartición de lenguas extranjeras, especialmente el inglés. Ha pasado de ser una competencia, a un requisito básico en cualquier trabajo, y más en la rama de la ingeniería.

Es frustrante ver que la mayoría de las vacantes en la empresa son ganadas por alumnos egresados de otras instituciones, generalmente privadas, y los egresados de la UNAM somos minoría por este el simple hecho de no poder llevar a cabo una entrevista en inglés.

En cuanto a la formación técnica y humanística, estoy muy agradecido. Tuve la fortuna de involucrarme en proyectos extra escolares desde mis primeros semestres, viajando en un par de ocasiones a Estados Unidos representando a mi Universidad. Esto ayuda a reforzar la parte teórica y tener un entendimiento holístico de la ingeniería, su aplicación, interacción con la sociedad, y responsabilidades como ingeniero. Todo esto sin duda alguna marcó mi carrera profesional inclinándome al ramo automotriz.

En mi opinión, otro aspecto a mejorar es la experiencia de los profesores en la industria, debe haber un equilibrio en la docencia entre la teoría y la práctica para materias de los últimos semestres.

En términos generales, la formación recibida en las aulas es muy buena, pero depende casi en la totalidad de la disposición del alumno por aprender, interesarse, ir más allá y abundar en el conocimiento. Se puede cursar una carrera tan superficial como se desee, pero mientras más se involucre el alumno en las actividades, proyectos, pláticas, y cualquier oportunidad para inculcar el amor a la ingeniería, mayor será la satisfacción en haber cursado esta carrera y aplicarla en la vida profesional.

9. Referencias

- AIAG. (2005). *STATISTICAL PROCESS CONTROL*. Estados Unidos: Automotive Industry Action Group. Recuperado el 06 de Mayo de 2017
- AIAG. (2010). *MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS. REFERENCE MANUAL* (Cuarta Edición ed.). Automotive Industry Action Group.
- Autozone. (s.f.). *Master Cylinder*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Autozone: http://www.autozone.com/repairguides/Mazda-Car-2002-04/Clutch/Master-Cylinder/_/P-0996b43f8037ce3e
- Detroit Institute of Arts. (s.f.). *Rivera Court*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Detroit Institute of Arts: <http://www.dia.org/art/rivera-court.aspx>
- Domm, R. W. (2009). *Míchigan Ayer & Hoy*. Voyageur Press.
- Excelsior. (17 de Abril de 2015). *Peña Nieto encabeza anuncio de inversión de Ford Company*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Excelsior: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2015/04/17/1019279>
- Forbes. (21 de Octubre de 2014). *Forbes México*. Recuperado el 08 de May de 2016, de <https://www.forbes.com.mx/mexico-reina-inversiones-automotrices-de-eu/#gs.2rI5xGM>
- Ford. (24 de Junio de 2015). *Ford Media - Sala de prensa*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Ford Media: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/mx/es/news/2015/06/24/ford-celebra-90-anos-yendo-mas-lejos-de-la-mano-de-mexico.html>
- Ford. (2016). *Manufacturing Footprint*. México: Ford Motor Company.
- Ford. (2017). *Ford*. Recuperado el 24 de Abril de 2017, de Ford Motor Company: <http://corporate.ford.com/history.html>
- Ford de México. (s.f.). *Compañía*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de Ford: <http://www.ford.mx/acerca/compania>
- Ford. (s.f.). *Ford History*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Ford: <https://corporate.ford.com/history.html>
- Funding Universe. (s.f.). *History of Ford Motor Company, S.A. de C.V.* Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Funding Universe: <http://www.fundinguniverse.com/company-histories/ford-motor-company-s-a-de-c-v-history/>
- Guzmán, A. (2 de Julio de 2013). *El logo de Ford a lo largo de historia*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Atraccion360: <http://www.atraccion360.com/el-logo-de-ford-lo-largo-de-historia>
- INEGI/AMIA. (15 de Enero de 2016). *AMIA*. Recuperado el 23 de Junio de 2016, de Asociación Mexiana de la Industria Automotriz: <http://www.amia.com.mx/archivos/amiaia.zip>

- iSix Sigma. (s.f.). *Process Capability (Cp, Cpk) and Process Performance (Pp, Ppk) – What is the Difference?* Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de iSix Sigma: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/capability-indices-process-capability/process-capability-cp-cpk-and-process-performance-pp-ppk-what-difference/>
- Minitab. (2016). *Diseño de un experimento*. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de Support Minitab: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/getting-started/designing-an-experiment/>
- Minitab. (2016). *The Anderson-Darling statistic*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Minitab Support: <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/data-concepts/anderson-darling/>
- Oropeza, A. (23 de Abril de 2015). *Inversiones de Ford y Toyota, imán para empresas proveedoras*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de El Financiero: <http://www.elfinanciero.com.mx/bajio/inversiones-de-ford-y-toyota-iman-para-empresas-proveedoras.html>
- Rodríguez, E. (18 de Abril de 2015). *El Financiero*. Recuperado el Febrero de 2016, de El Financiero: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/cinco-graficas-que-explica-la-produccion-automotriz-de-mexico.html>
- Roy, C. (23 de Junio de 2010). *Cumple Ford México sus primeros 85 años de vida*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Al Volante: <http://www.alvolante.info/nacionales/cumple-ford-mexico-sus-primeros-85-anos-de-vida/>
- Ruidias, T. T. (06 de Septiembre de 2010). *Importancia de la normalidad de los datos*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Blogspot: <http://torresruidias.blogspot.mx/2010/09/importancia-de-la-normalidad-de-los.html>
- Schaeffler Group. (s.f.). *Diaphragm clutch details*. Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de Schaeffler Products: http://www.schaeffler.us/content.schaeffler.us/us/products_services/lukproducts/clutch_systems_new/clutch_pressure_plates_new/diaphragm_clutch_new/diaphragm_clutch_lv_new/diaphragm_clutch_lv_new.jsp
- Six Sigma Academy. (2002). *The Black Belt Memory Jogger* (Primera Edición ed.). Estados Unidos: GOAL/QPC.
- Talukdar, A. (27 de Agosto de 2015). *Quality management and quality planning*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de SlideShare: <https://www.slideshare.net/AmartyaTalukdar/quality-management-and-quality-planning>
- Wikipedia. (19 de Octubre de 2013). *Prueba de Anderson-Darling*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Anderson-Darling
- Wikipedia. (27 de Abril de 2017). *Defects per million opportunities*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Defects_per_million_opportunities

Wikipedia. (3 de Abril de 2017). *History of Ford Motor Company*. Recuperado el 24 de Abril de 2017, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Ford_Motor_Company

Wikipedia. (06 de Abril de 2017). *Línea de ensamble*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_ensamble

Wikipedia. (01 de Mayo de 2017). *Standard deviation*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_deviation_diagram.svg