



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Informe de prácticas
profesionales en la empresa
BMW**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Ricardo Tiburcio González

ASESOR(A) DE INFORME

M.I. Antonio Zepeda Sánchez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Agradecimientos

A mis Padres, Alberto y Julieta, por ser mi pilar de apoyo y soporte en mi vida. Sin su amor nada de esto hubiera sido posible.

A mi hermana Diana, por siempre ser una amiga y una guía. Gracias por impulsarme a superarme todos los días.

A Daniela, por acompañarme incondicionalmente en esta última parte de la carrera. Que este sea el inicio de más retos y aventuras juntos.

A Arnold y Fabio, por no solo ser mis amigos. Lo logramos, gracias por convertirse en mis hermanos.

A Frida y Germán, por ser amigos incondicionales durante la carrera y hacer que San Luis Potosí se sintiera como un hogar.

A Poncho, Toño y Gris, Gracias por darle la oportunidad a un estudiante de seguirse enamorando de la ingeniería y la industria automotriz.

A mis profesores, especialmente a Antonio, por otorgarme su guía y consejo, pero sobre todo por desarrollarme como ingeniero y como ser humano.

A BAJA SAE UNAM, por darme los retos, aprendizajes y las aventuras que marcaron lo mejor de mi paso por la universidad.

A la Universidad, por otorgarme risas, conocimiento, amigos y hermanos. Sin duda esta fue la mejor etapa de mi vida.

“Por mi Raza hablara el Espíritu”

ÍNDICE GENERAL

Perfil de la empresa	5
Datos de la empresa	5
Giro de la empresa	5
Breve Historia de la Empresa	5
Fundación	5
Primeros Automóviles	6
Segunda Guerra Mundial	6
Historia Reciente	7
Productos que Maneja	7
Información Técnica.....	7
Organigrama de la Empresa.....	8
Perfil del Puesto	9
Organización del Equipo	9
Habilidades Requeridas	9
Habilidades Técnicas	9
Habilidades Sociohumanísticas	9
Responsabilidades del Puesto	9
Vínculos con Otras Áreas	9
Introducción del Proyecto	10
Delimitación del Tema	10
Definición del problema	10
Objetivos	10
Metodología y procesos	11
Metodología para Definición de Objetivos	11
Metodología para Análisis de Causa Raíz	11
Sistema de Coordenadas SAE	11
Instrumentos de Medición	12
Medidores de Diámetro	12
Escáner 3D	12
Medidor para tubos de escape.....	13

Calificación e Indicadores	13
Dimensionamiento de Tolerancias Geométricas	13
Índice de Evaluación	13
Marco Teórico	14
Conceptos y Principios Estadísticos	14
Media Aritmética	14
DPMO, Distribución Normal y Niveles de Sigma	15
Gráfico de Control	16
Herramientas <i>Core</i>	17
Planeación Avanzada de Calidad de Producto (APQP).....	17
Proceso de Aprobación de Partes de Producción (PPAP)	17
Análisis del Modo y Efecto de Falla (FMEA)	17
Control Estadístico del Proceso (SPC)	18
Análisis de Sistemas de Medición (MSA)	18
Plan de Control (CP)	18
Diagrama <i>Ishikawa</i>	18
Implementación del Proyecto	19
Identificación del Problema	19
Diseño de SBM	19
Recolección y Análisis de Datos	20
Análisis de Causa Raiz	21
Solución del Problema	22
Conclusiones	24
Referencias	25
Anexos	26
Requerimientos del PPAP	26

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Organigrama de la Empresa	8
Figura 2: Sistema de Coordenadas SAE	12
Figura 3: SBM para vehículos con <i>Bumper</i> Estándar	13
Figura 4: Distribución Normal de datos con 3σ	15
Figura 5: 6σ en distribución normal	16
Figura 6: Gráfico de Control	16
Tabla 1: Índice de Evaluación de Fallas	14

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Media Aritmética	15
Ecuación 2: Desviación Estándar.....	15
Ecuación 3: <i>Distribución normal</i>	15

PERFIL DE LA EMPRESA

I. Datos de la empresa

Nombre fiscal: BMW SLP S.A. DE C.V.
Nombre comercial: BMW SLP S.A. DE C.V.
Dirección: BMW Group Plant San Luis Potosí, Boulevard BMW No. 655, Parque Industrial Desarrollo Logistik II, C.P. 79526 Villa de Reyes, San Luis Potosí, México.
++ (52) 444 347 9137

II. Giro de la empresa

De acuerdo con el SCIAN 2018, BMW SLP S.A. DE C.V. tiene el código a la clasificación **468111** Comercio al por menor de automóviles y camionetas nuevos.

46 Comercio al por menor

- 468 Comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes.
 - 4681 Comercio al por menor de automóviles y camionetas.
 - 46811 Comercio al por menor de automóviles y camionetas.
 - 468111 Comercio al por menor de automóviles y camionetas nuevos.

III. Breve historia de la empresa

III.I Fundación

La *Bayerische Motoren Werke* (Fábricas de Motores de Baviera), conocida por su abreviatura como BMW, es una empresa multinacional alemana con sede en Munich que fabrica automóviles y motocicletas de lujo. Fundada en 1913 como *Rapp Motorenwerke GmbH* por Karl Rapp, la empresa inició como un fabricante de motores para aeronaves.

En 1917, el ingeniero Max Friz desarrolla un motor para aeronaves de alta compresión llamado *BMW IIIa*, el cual permitió reducir la pérdida de prestaciones en las alturas. Debido a la innovación de este motor, BMW recibió un pedido por 2000 motores para el ejército prusiano.

Al terminar la Primera Guerra Mundial y formularse el Tratado de Versalles, pareció ser el final de la empresa debido a que su único producto eran los motores de avión y el tratado prohibía por 5 años su fabricación. Para mantenerse en el mercado, la empresa produjo equipos agrícolas, artículos de hogar y frenos de ferrocarril.

En 1922 el principal accionista de la empresa, Camilo Castiglioni, abandona la empresa para irse a *Bayerische Flugzeugwerke AG (BFW)*, llevándose con él los derechos de la marca BMW. La empresa BFW fue fundada el 7 de marzo de 1916 por Gustav Otto, hijo de Nikolaus August Otto, inventor del motor de combustión

interna. La historia corporativa de BMW considera el 7 de marzo de 1916, fecha de fundación de la BFW, el nacimiento oficial de la empresa.

III.II Primeros automóviles

En 1928, una vez levantado el armisticio del Tratado de Versalles, BMW adquiere la empresa *Automobilwerk Eisenach*, fabricante del *DIXI 3/15*, un pequeño vehículo el cual se conocería como *BMW 3/15* después de la compra de *Automobilwerk Eisenach*, convirtiéndose así en el primer vehículo de la marca BMW.

En 1932 se fabricaría el primer vehículo auténtico de la marca denominado *AMI* (acrónimo de *Automobilkonstruktion München Nr. 1*), el cual tenía mayor tamaño que el *3/15* y contaba con tecnología como freno en las 4 llantas, válvulas controladas por arriba y eje pendular delantero. En 1933 se lanza el primer vehículo fabricado totalmente por técnicos propios de la empresa, el *BMW 303*, el cual contaba con un motor en línea de 6 cilindros con una capacidad de 1.2 litros.

La división de vehículos de BMW pasó a ser un negocio menor debido a la ampliación de la construcción de motores de avión, No obstante, los vehículos *326* (1935), *327* (1937) y el *328* (1936) fueron muy populares y tuvieron gran aceptación por parte de los compradores. El *326* fue un éxito en ventas y logró vender 16,000 unidades entre 1936 y 1941 mientras que el *327* y *328* que se fabricaban previo a la Segunda Guerra Mundial. contaban con un motor de 2 litros muy avanzado para su época. El *328* destacó igualmente en los circuitos de carreras, específicamente en *La Mille Miglia* celebrada en Italia en 1940 lo cual consolidó la imagen de BMW como un fabricante de vehículos deportivos la cual se mantiene hasta el día de hoy.

III.III Segunda Guerra Mundial

Durante la Segunda Guerra Mundial BMW se dedicó principalmente a la fabricación y venta de motores de avión, representando la venta de los motores para aeronaves el 90% de las ventas de la empresa. En 1944 la empresa tenía ventas de 750 millones de Reichsmark (moneda alemana) y contaba con 56,000 empleados. El motor principal de BMW era el *BMW 801*, el cual producía 2000 CV y se instalaba en los aeroplanos *Focke-Wulf Fw 190* y *Junkers Ju 88*.

Después de la guerra, la planta principal de BMW en Munich quedó prácticamente devastada por las bombas aliadas, no obstante, la planta ubicada en Eisenach tenía todas las condiciones para seguir produciendo vehículos. BMW en Múnich no quería que se fabricaran vehículos con el nombre de la marca sin tener control sobre la producción, debido a esto los vehículos producidos en la fábrica de Eisenach se fabricaron bajo el nombre de EMW.

Previo a la guerra no se habían producido automóviles en la planta de Munich y al ser prácticamente destruida la planta de producción, la empresa se mantuvo a flote con la venta de motocicletas, ollas y frenos. Debido a los tratados después de la guerra, BMW no pudo fabricar vehículos por tres años después de concluido el conflicto. Fue en el año 1951 cuando se construyó el primer vehículo de la posguerra, el *BMW 501*. Este era un vehículo de lujo de 8 cilindros configurados en V. A pesar del lujo de este carro, el vehículo era tan costoso que la marca perdía dinero con la venta de cada unidad.

III.IV Historia reciente

Después de años de crisis económicas que casi hacen que la empresa desapareciera y fuera vendida a diferentes postores, entra en 1970 Eberhard von Kuenheim al puesto de consejero delegado. Durante su dirección las ventas de BMW se multiplicaron por 18 debido a la introducción de nuevos modelos de la marca. De igual manera se crearon nuevos centros de producción en Alemania (Ratisbona y Spandau), Austria, Sudáfrica (Rosslyn), y en Estados Unidos (Spartanburg).

En 1973 se inaugura el edificio *BMW-Vierzylinder* (BMW-Cuatro Cilindros) con forma de un motor de cuatro cilindros ubicado en la Ciudad Olímpica de Munich donde actualmente se encuentran las oficinas centrales de la empresa. En 1990 se inaugura el *Forschungs- und Innovationszentrum* (FIZ) o Centro de Investigación e Innovación, también conocido como la ‘Fábrica de Ideas’ de BMW, el cual sigue siendo el punto de investigación y desarrollo más importante de la marca.

En 1994 la marca adquiere al fabricante inglés *Rover* (Rover, MG, Land Rover y Mini). Esta decisión fue desafortunada y generó una pérdida a la marca de 9 mil millones de marcos. En el año 2000, BMW finaliza el proyecto Rover vendiendo por la cantidad simbólica de 10 libras esterlinas las marcas Rover y MG a Phoenix Venture Holdings. La marca Land Rover fue vendida al grupo Ford en el mismo año, dejando únicamente a Mini como parte de BMW, lo cual se mantiene hasta el día de hoy.

Poco a poco, BMW fue introduciendo nuevos modelos al mercado, siendo los principales el *Serie 2*, *Serie 3*, *Serie 5* y *Serie 7*. También se introdujo el modelo deportivo descapotable *Z1* que sería sustituido posteriormente por el *Z3* y por último por el *Z4*. La marca también ha desarrollado vehículos todo terreno como lo es la camioneta *X5* y seguido por los modelos *X3* y *X1* de menores dimensiones. De igual manera se introdujeron vehículos SAC (*Sport Activity Coupe*) también conocidos como *Crossovers* como el *X6*, *X4* y *X2*. Actualmente BMW es una de las empresas pioneras en tecnología automotriz y en la aplicación de innovaciones eléctricas y electrónicas en su vehículo, manteniéndose como una marca premium a nivel mundial.

En 2014 se anunció la inversión para una nueva planta de producción de BMW Group en San Luis Potosí la cual fue inaugurada en 2019. La planta comenzó con el ensamble del *Serie 3* (G20) para más tarde agregar a su línea de producción los totalmente nacidos en México *Serie 2* (G42) y *M2* (G87). Recientemente, la marca anuncio una inversión de 865 millones de dólares para expandir la planta de producción y empezar con la fabricación de vehículos 100% eléctricos en México.

IV. Productos que Maneja

La planta de BMW Group en México ubicada en San Luis Potosí debido a sus excelentes condiciones climáticas y geográficas. En 2019 se inicia con la producción del BMW G20, la nueva generación del *Serie 3* que exportado desde México a todo el mundo. En 2021, se anuncia y se inicia la producción del *BMW G42*, el nuevo modelo del *Serie 2* que se produce de manera exclusiva en México. Por último, en 2022 se anunció la producción y el desarrollo del BMW G87, la versión más deportiva del G42 que empezó su venta a partir del último cuarto de 2022.

IV.I Información Técnica

- BMW G20: 4 cilindros BMW TwinPower Turbo / 1,998 cm³ / 184 hp / 300 Nm

- BMW G42: 4 cilindros BMW TwinPower Turbo / 1,998 cm³ / 184 hp / 300 Nm
- BMW G87: 6 cilindros BMW TwinPower Turbo / 2,998 cm³ / 460 hp / 550 Nm

V. Organigrama de la Empresa

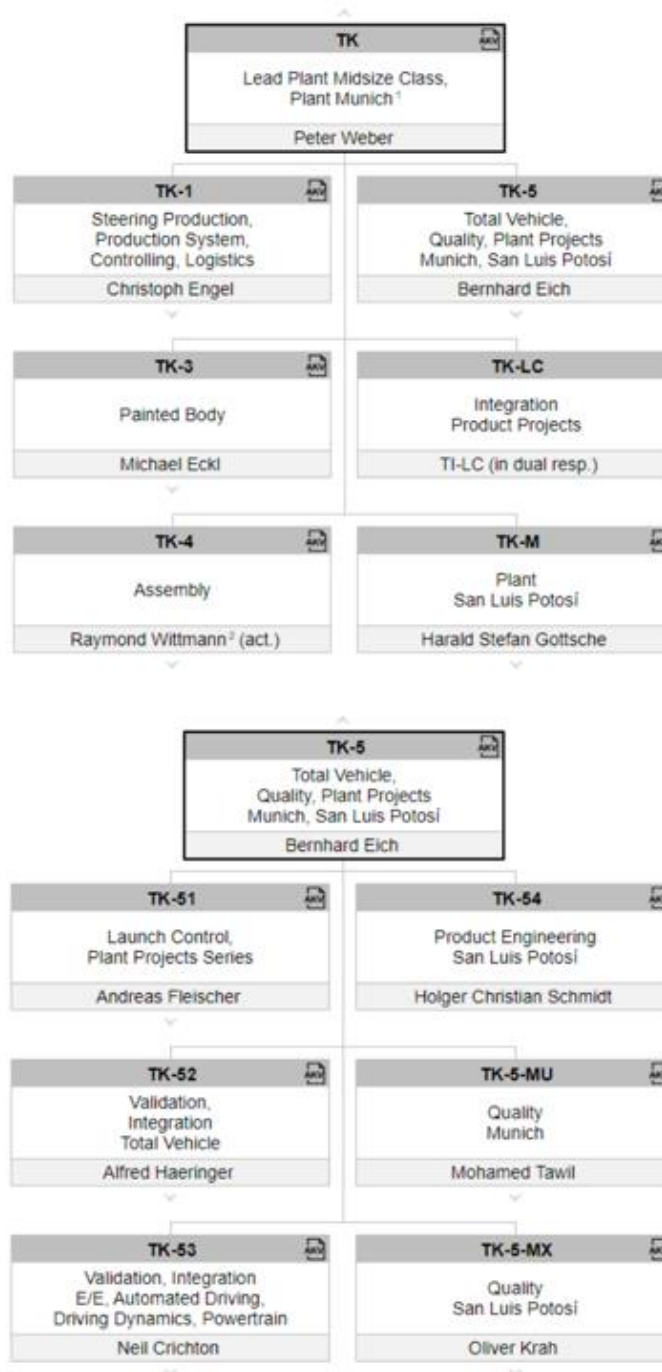


Figura 1: Organigrama de la empresa

Perfil del Puesto

VI. Organización del Equipo

El equipo de Ingeniería de Producto se encuentra dentro del departamento de *Total Vehicle* y se divide en 4 *KIEFAs* o módulos:

- ProKI: Interior y Exterior del Vehículo.
- ProSE: Arnés, ECUs y componentes eléctricos.
- ProFI: Chasis y Dinámica Vehicular.
- ProAn: Tren de Potencia.

El puesto que desarrollé fue el de *PowerTrain & Chassis Intern*, por lo que era parte del equipo de ProFi y ProAn, teniendo una participación total como ingeniero de producto en estos módulos.

VII. Habilidades Requeridas

VII.I Habilidades Técnicas

- Ser estudiante de Ingeniería Mecánica, Automotriz, Industrial o afín.
- Conocimientos de CAD y Validación Virtual.
- Inglés Avanzado (C1).
- Buenas habilidades de MS Office.
- Conocimientos de estadística y análisis de datos

VII.II Habilidades Sociohumanísticas

- Gran interés en la industria automotriz
- Buenas habilidades de comunicación
- Pensamiento Analítico
- Aprendizaje Rápido
- Liderazgo

VIII. Responsabilidades del Puesto

- Resolver problemas que necesitan información del lado del desarrollo.
- Brindar soporte mediante el uso de sistemas CAD, planos, estándares y bases de datos.
- Identificar áreas de mejora en el Sistema de Gestión de Calidad de la Ingeniería de Producto e implementar medidas.
- Soporte de análisis de ingeniería y recolección de muestras de datos de producción.

IX. Vínculos con otras áreas

El departamento de ingeniería de producto se relaciona prácticamente con todos los departamentos ligados a producción de la planta. La labor del equipo es identificar la causa raíz de problemas en vehículos de producción y de pre-series, proporcionar una solución de contención para el problema y ser el canal de

comunicación directa con las plantas homólogas en Alemania. De igual manera, el equipo es responsable de asegurar que se implemente de manera correcta la solución a largo plazo que resuelva el problema presentado. Es por esto que Ingeniería de Producto trabaja de la mano de producción, logística, proveedores, ensamble, pintura y calidad general.

Introducción del Proyecto

Durante mi estancia en BMW realice varios proyectos de ingeniería en el área de *Powertrain* y *Chassis*. En este escrito elaboraré sobre el proceso de un análisis y solución de una desalineación estética en las puntas de escape del *Serie 3* (G20), enfocándome en los elementos clave que describen el problema, las metodologías y herramientas implementadas y la solución del problema.

X. Delimitación del Tema

Una forma eficaz de delimitar el tema es pasar de un tema más amplio a un tema más concreto. Para ello, se filtra el problema desde un punto de vista general a uno más particular.

- **Marco Temático:** Control de Calidad en planta ensambladora Automotriz.
 - **Tema General:** Aspecto estético para la satisfacción del cliente.
 - **Tema Específico:** Ajuste dimensional para alineación de puntas de escape dobles en eje X de un vehículo sedán.

XI. Definición del Problema

El problema solucionado por este proyecto fue que la apariencia del *BMW Serie 3* (G20) manufacturado en San Luis Potosí presentaba una desalineación antiestética para ojos del consumidor, específicamente una condición donde una de las dos puntas de escape se encuentra más salida que la otra. La condición se encuentra en cualquiera de los dos lados y se presenta tanto en vehículos con *bumper* regular como en vehículos con el *bumper* deportivo.

El impacto que tiene esta desalineación se puede conocer midiendo la apreciación del cliente con un índice de evaluación y relacionándolo con restricciones dimensionales fuera de especificación. La consecuencia de esta insatisfacción por parte del cliente es una mala reputación para la empresa y una posible queja del propio cliente.

XII. Objetivos

- Definir las condiciones aceptables e inaceptables establecidas de la desalineación del montaje de los tubos de escape con valoración e índices dimensionales especificados.
- Delimitar e investigar la causa raíz del problema relacionado con las restricciones dimensionales y geométricas del producto.
- Proponer y ejecutar los cambios necesarios para eliminar la desalineación estética del sistema de escape con relación al *bumper* trasero.

XIII. Metodología y Procesos

XIII.I Metodología para Definición de Objetivos

Para fijar los objetivos en este proyecto se utilizó la metodología **S.M.A.R.T.** la cual nos permite integrar los 5 elementos indispensables al momento de redactar objetivos eficaces. **S.M.A.R.T** es el acrónimo que significa a *Specific, Measurable, Achievable, Relevant* y *Timed*, el cual responde a preguntas específicas de manera que facilite la construcción de la estrategia de un proyecto.

- **S. Específico:** Mejorar la calidad de los vehículos para que la desalineación esté dentro de las tolerancias otorgadas por diseño
- **M. Medibles:** Esta condición se mide mediante acuerdos objetivo-específicos del índice de evaluación y tolerancias dimensionales discutidos en la subsección Calificación e Indicadores
- **A. Alcanzables:** Otras plantas de BMW Group han tenido éxito en la fabricación de vehículos OK.
- **R. Relevantes:** La relevancia de este proyecto proviene de la marca de calidad propia de la marca que busca entregar un producto de primera calidad al cliente.
- **T. Tiempo:** El proyecto deberá ser finalizado antes de enero 2022.

XIII.II Metodología para Análisis de Causa Raíz (RCA)

Una causa raíz es una causa iniciadora de una cadena causal que conduce a un resultado o efecto de interés. Al ver más allá de la causa y el efecto superficial, el RCA puede mostrar en qué punto los procesos o sistemas fallaron o causaron un problema en primer lugar. Para encontrar la causa raíz, utilice el modelo *5M* que se busca encontrar la causa raíz del problema a partir de 5 componentes clave para la fabricación de un producto. Estos componentes son la de Mano de Obra, los Materiales, el Método, la Maquinaria y el Medio Ambiente.

XIII.III Sistema de Coordenadas SAE

Es una convención referida de acuerdo a la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) de estados unidos, en la cual se establece un sistema de coordenadas para direcciones y momentos que definen totalmente un sistema automotriz. La norma que dicta este sistema de coordenadas es la norma SAE J670.

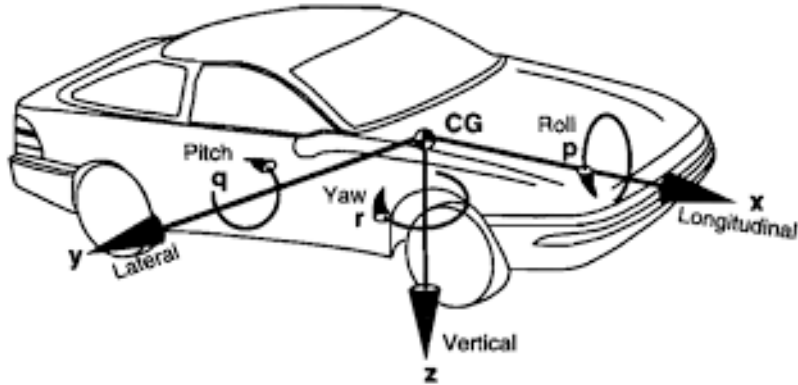


Figura 2: Sistema de Coordenadas SAE

XIV. Instrumentos de Medición:

En esta sección se presentan los recursos de medición disponibles en la planta que se utilizaron en el proyecto.

XIV.I Medidores de diámetro

Son distintos cilindros fabricados por medio de torno que van desde los 5 mm a los 30 mm en aumentos de 1 mm. Estos pines fabricados son fabricados en plástico para no rayar la carrocería y nos permiten medir de manera rápida y precisa por medio de la sensación de ajuste del cilindro. Otra ventaja que nos proporcionó este tipo de medidores es que podían ser utilizados por los operadores en la línea para poder hacer verificaciones rápidas de tolerancias en el ensamble del vehículo.

XIV.II Escáner 3D

Un escáner 3D puede analizar un objeto físico y recolectar información y datos de su forma. Esta información recolectada se utiliza para compararla con el modelo o ensamble CAD 3D y determinar si la posición se encuentra en las medidas y tolerancias correctas. Para este método de medición, el enfoque general para evitar errores es principalmente la siguiente recomendación:

- La calidad de los datos escaneados depende de la densidad de la nube de puntos, la intensidad de la línea láser proyectada sobre la superficie escaneada, que depende de características como: reflectividad, transparencia, rugosidad, material y color.

Análisis de desviación utilizando un escáner 3D: El análisis de desviación es un método comprobado para evaluar la precisión y la calidad de diversos objetos físicos y cualquier otra cosa que requiera precisión. Cuando se utiliza el análisis de desviación con fines de inspección, los datos de escaneo 3D se capturan mediante un escáner láser. Dependiendo de la razón por la que se realiza la inspección, los datos escaneados pueden compararse con dibujos CAD existentes o con datos previamente escaneados. Este proceso se denomina *Computer-Aided Verification (CAV)* y el resultado del proceso es conocido como mapa de color.

Las desviaciones del mapa de colores otorgadas por el escáner y el análisis del informe que otorga el programa nos proporcionan los datos necesarios para poder saber las partes que están mal en la pieza.

XIV.III Medidor para tubos de escape

Debido a que la medición de los tubos de escape en el eje X nunca se había realizado en ninguna de las plantas de BMW, realice el diseño y manufactura de un medidor o *SBM* mediante el uso de manufactura aditiva de plástico, el cual permitía obtener la distancia de la salida del tubo de escape relativa al *bumper* trasero.

Esta herramienta de medición debía ser compacta y ligera pues debía permitir realizar las mediciones en la línea de ensamble sin necesidad de detenerla ni estorbar a los operadores. El proceso de diseño para estas piezas será abordado más adelante. La resolución de esta herramienta es de 1 mm y permite hacer mediciones rápidas y precisas en la línea de ensamble.

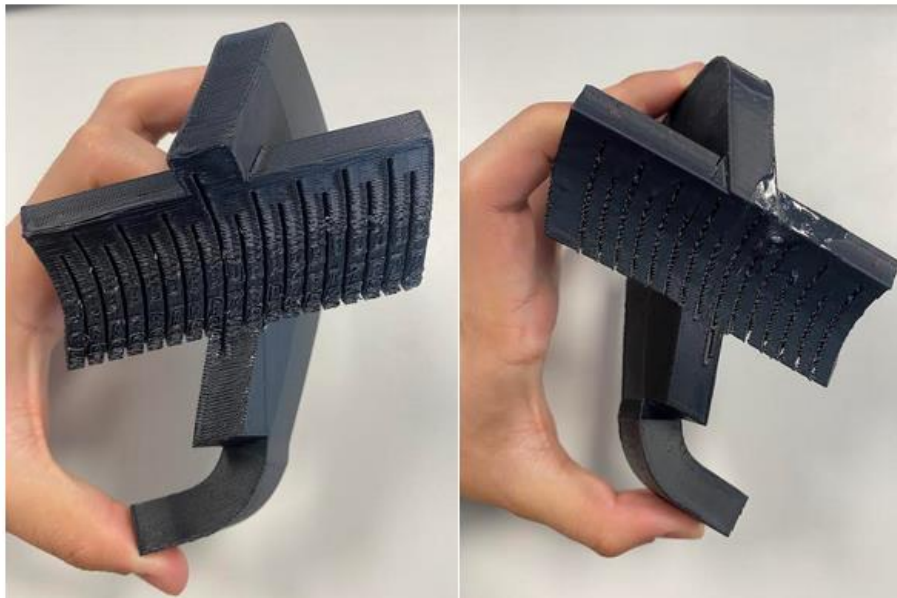


Figura 3: SBM para vehículos con Bumper Estándar

XV. Calificación e Indicadores

XV.I Dimensionamiento de tolerancias geométricas

Las tolerancias geométricas del subensamble de los tubos de escape en el eje de dirección X indican una tolerancia de ± 4 mm de su punto nominal de diseño. El dibujo indica igualmente que el delta en dirección X entre la punta izquierda y la punta derecha del escape tiene una tolerancia geométrica de máximo 5 mm.

XV.II Índice de Evaluación

Este es un índice utilizado en BMW y en otras empresas de carácter automotriz para poder evaluar la reacción del cliente ante características del vehículo, de sus funciones o sus componentes. La evaluación se lleva a cabo desde el punto de vista del cliente en mercados clave y puede contener tanto criterios objetivamente medibles como subjetivos.

Este índice de evaluación separa conceptos y fallas, la escala que delimita este proyecto específico es la de fallas y se puede observar en la siguiente tabla.

BI	Evaluación de Fallas
8	No se encontraron fallas en el auto
7	Se encuentran fallas en el automóvil que se desvían de la especificación prevista.
6	El defecto es detectable por los clientes y les molesta.
5	No Relevante para el proyecto
4	
3	
2	
1	

Tabla 1: Índice de Evaluación de Fallas

Debido a que este proyecto era para solucionar una falla estética, no se podría asignar un BI menor a 6, ya que problemas o fallas con un índice de evaluación de cinco o menor se reserva para defectos que no cumplan con la legislación del país de venta, que comprometan el correcto funcionamiento del vehículo o que pongan en riesgo la seguridad del conductor, pasajeros, peatones o al conductor de algún otro vehículo.

XVI. Marco Teórico

XVI.I Conceptos y principios estadísticos

XVI.I.I Media Aritmética

La media aritmética es un concepto matemático utilizado en estadística la cual se define como el promedio aritmético de un conjunto de valores. La media aritmética \bar{x} de una muestra x_1, x_2, \dots, x_n es la suma de los valores de la muestra dividido entre el número total de sumandos en la muestra.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots Ec(1)$$

XVI.I.II DPMO, Distribución Normal y Niveles de Sigma

El concepto de defectos por millón de oportunidades (DPMO) utiliza la distribución normal estándar como su sistema de medición. De la distribución normal estándar, la media es μ y la desviación estándar se denota por σ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \dots Ec(2)$$

La distribución normal es una distribución con forma de campana donde las desviaciones estándar sucesivas con respecto a la media establecen valores de referencia para estimar el porcentaje de observaciones de los datos. La distribución normal es un modelo teórico capaz de aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria a una situación ideal. En otras palabras, la distribución normal adapta una variable aleatoria a una función que depende de la media y la desviación típica.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots Ec(3)$$

En la Fig.5 se muestra un ejemplo de una distribución normal. Como se puede observar, el 68.2% de la población se encuentra en $\pm 1.0 \sigma$ de la media aritmética, el 95.4% en $\pm 2.0 \sigma$ de la media y el 99.5% de la población se encuentra en $\pm 3.0 \sigma$ de la media.

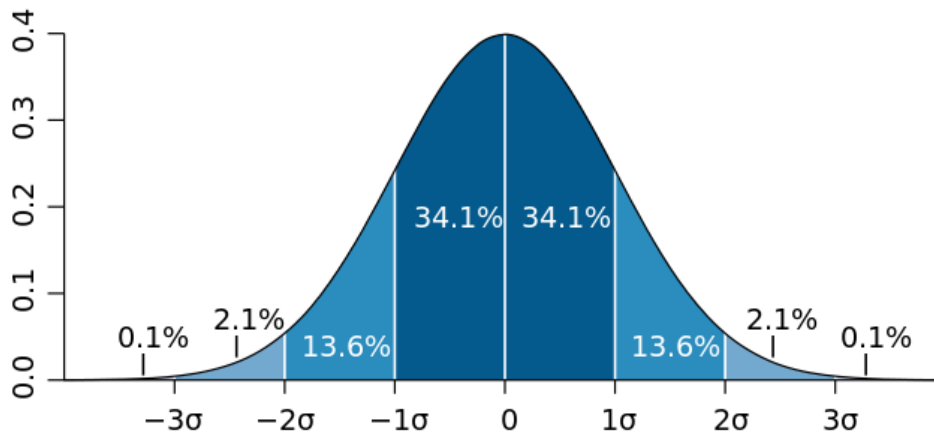


Figura 4: Distribución Normal de datos con 3σ

DPMO significa defectos por millón de oportunidades y nos da una cifra aproximada de los defectos que tendremos en una alta producción. El nivel DPMO de un proceso se utiliza para generar un nivel Sigma del procesora el proceso. La idea de un nivel Sigma es que compara la variación en el rendimiento del proceso con los niveles aceptables establecidos por el cliente, cuanto más alto sea el nivel Sigma, mejor; un

rendimiento. Seis Sigma indica 3.4 DPMO a cada lado de la distribución normal como se puede observar en la fig. 6.

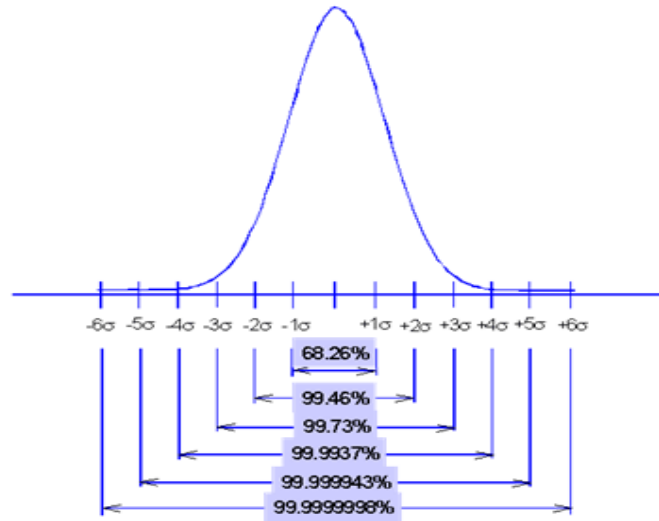


Figura 5: 6 σ en distribución normal

XVI.II Gráfico de Control

Un gráfico de control es una herramienta estadística utilizada para distinguir entre la variación en un proceso que resulta de causas comunes y la variación que resulta de causas especiales. Presenta una visualización gráfica que sirve para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para asegurar que se mantenga en esa condición.

La estructura de las gráficas de control contiene un “límite central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LCS), y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LCI). Los puntos contienen información sobre las lecturas hechas. Los límites de control marcan el intervalo de confianza en el cual se espera que caigan los datos estadísticos de un proceso.

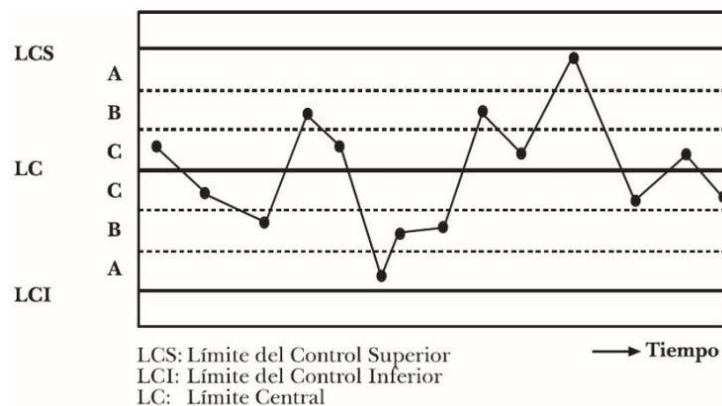


Figura 6: Gráfico de Control

XVI.III Herramientas Core

Las herramientas *Core* son un conjunto de herramientas desarrolladas originalmente en la industria automotriz para diseñar, desarrollar, medir, controlar, registrar, analizar y aprobar productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente.

Las herramientas *Core* son las siguientes:

- APQP (Planeación Avanzada de la Calidad de Producto):
- PPAP (Proceso de Aprobación de Partes de Producción):
- FMEA (Análisis del Modo y Efecto de Falla):
- SPC (Control Estadístico del Proceso):
- MSA (Análisis de Sistemas de Medición):
- CP (Plan de Control)

XVI.III.I Planeación avanzada de Calidad de Producto (APQP)

Proceso del sistema de Gestión de calidad que asegure que antes de entregar un producto terminado al cliente se han seguido todos los pasos y establecidos los controles para asegurar a tiempo un producto de calidad al más bajo costo posible. Esta herramienta facilita la comunicación entre todas las partes involucradas en el problema.

XVI.III.II Proceso de Aprobación de Partes de Producción (PPAP)

Define los requerimientos necesarios para la aprobación de partes para producción y describe la documentación de soporte necesaria para demostrar al cliente lo siguiente:

- El proceso de manufactura tiene el potencial para producir en masa de manera consistente el producto.
- La producción cumple con los volúmenes demandados.
- Se cumplen los requerimientos durante una corrida de producción real.

La emisión de un PPAP es necesario cuando existe una parte o producto nuevo, existen cambios en el proceso, se hace alguna corrección de una discrepancia en una parte emitida anteriormente, se hace algún cambio de proveedor o se hace un cambio en el producto derivado de un cambio de ingeniería referente al diseño.

El PPAP está compuesto por 18 requerimientos los cuales deben ser implementados a través de un equipo multidisciplinario.

XVI.III.III Análisis del Modo y Efecto de Falla (FMEA)

Es una herramienta utilizada durante el desarrollo del APQP que se utiliza para asegurar que se han considerado los problemas potenciales que se puedan presentar en el producto que puedan afectar al producto y su desempeño. Los tipos de FMEA existentes son el FMEA de Diseño (DFMEA) y el FMEA de proceso (PFMEA).

XVI.III.IV Control Estadístico del Proceso (SPC)

Es una herramienta que se utiliza para entender la variación de un proceso y posteriormente distinguir lo que es una variación natural del proceso y lo que es una variación especial. Por medio de la utilización de métodos gráficos nos ayuda a identificar cuándo debemos ajustar un proceso. De igual manera, el control estadístico de proceso nos permite medir la capacidad de los procesos para cumplir especificaciones.

XVI.III.V Análisis de Sistemas de Medición (MSA)

El MSA es un experimento que identifica los componentes de variación en mediciones, el método de prueba, el instrumento de medición y el proceso completo de obtención de mediciones las utilizadas para el análisis y la toma de decisiones. Esta herramienta asegura la integridad de los datos en el proceso. El experimento se compone de los siguientes estudios:

- Estudio de Estabilidad
- Estudio de Bias
- Estudio de Linealidad
- Análisis de Repetibilidad y Reproducibilidad (GR&R)

XVI.III.VI Plan de Control (CP)

Es una descripción escrita resumida de los sistemas que se utilizan para disminuir la variación en los procesos y productos. El Plan de control es una parte fundamental del APQP para asegurar que los productos cumplen con los requerimientos y las expectativas del cliente.

El plan de control no reemplaza la información contenida en las instrucciones detalladas del operador, pero permite establecer controles que agreguen valor al sistema total del producto o proceso.

XVI.IV Diagrama Ishikawa

El diagrama *Ishikawa* o diagrama de Causa-Efecto es una representación gráfica que ayuda a identificar la relación hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado. Este diagrama puede ser usado para la solución de problemas, para prevenir o planificar errores en el desarrollo de un producto o para encontrar puntos de mejora en un producto.

Para la identificación y clasificación de las causas del problema se pueden definir categorías generales específicas del problema o se pueden utilizar las siguientes categorías comunes:

- Las 5 M 's
- Las 5 W 's
- Las 5 P 's
- Las 2 E 's
- Alguna combinación de las 4 anteriores

Para efectos de este estudio, se realizó un Diagrama *Ishikawa* utilizando la categoría de las 5 M 's (Máquinas, Mano de Obra, Método, Materiales y Medio Ambiente).

Implementación del Proyecto

XVII. Identificación del Problema

Lo primero que hice fue realizar un análisis visual para ver la cantidad de productos que presentarían la condición de desalineación del escape desde un punto de vista de cliente, debido a que el problema fue inicialmente encontrado por el equipo de *Wide Sample Audit*. Este equipo se dedica a ver el vehículo terminado desde la perspectiva del cliente, identificando y anticipándose a las potenciales quejas que se podrían presentar al momento que el automóvil llega a su destinatario final.

Utilizando una muestra de 30 unidades con configuración de *bumper* regular y 30 unidades con *bumper* deportivo, se determinó en colaboración con este equipo que el 60% de los vehículos con *bumper* regular y el 75% de los vehículos con *bumper* deportivo no presentaban un problema para cliente.

Para poder medir y cuantificar el impacto real del problema, revise y analice las especificaciones y tolerancias geométricas de simetría entre los tubos de escape en el dibujo técnico de la pieza y en el modelo 3D del ensamble del *bumper* y el sistema de escape. Las tolerancias de la pieza marcaban que el escape no debía tener una desviación mayor a 4 mm de su punto de diseño y que el delta de simetría en el eje X no debía ser mayor a 5 mm.

Para poder medir este delta no se podían utilizar herramientas de medición convencionales, por lo que fue necesario utilizar una herramienta de medición específica.

XVIII. Diseño de SBM

Debido a que la simetría en el eje X de los escapes es un tema que no se había detectado ni controlado en ninguna de las otras plantas homologas de BMW, diseñe por medio de modelado 3D un *SBM* que me permitiera poder tomar de manera eficaz, exacta y precisa la posición de la punta del escape con respecto al *bumper*.

Para diseñar esta pieza utilice como base el ensamble del modelo 3D del *bumper* y el sistema de escape de un vehículo con *bumper* regular enfocándome primero en crear el instrumento de medición para el lado derecho del vehículo. El primer paso fue generar una superficie trabajable con la forma del *bumper*. Esto fue especialmente difícil debido a que este cuenta con geometrías complejas, por lo que para lograrlo realice en un plano de trabajo YZ ligeramente separado de la cara exterior del *bumper* una pieza de extrusión que llegará hasta la superficie del *bumper* en dirección del eje X. Hecho esto, eliminé la interferencia entre mi pieza extruida y el *bumper*, generando así una superficie trabajable que tuviera la misma geometría que la cara del *bumper*. El siguiente paso fue realizar una ligera extrusión en dirección -X de la superficie, para que se volviera un sólido trabajable.

Para poder tomar mediciones del escape cuando variara en dirección X o -X construí un sólido que cupiera en el espacio entre el *bumper* y la punta del tubo de escape y que siguiera la geometría del arco del *bumper*. Hecho esto, uní ambos sólidos y me di cuenta de que la pieza era muy grande, por lo que sería muy difícil de usar de manera eficaz en la línea de ensamble. Tomando esto en consideración, realice un corte eliminando la mitad de la pieza en el plano XZ, reduciendo así el tamaño de la pieza y a su vez facilitando el uso de la herramienta debido a que sería más fácil tomar la medición desde el lateral del escape y no necesariamente desde abajo del vehículo.

Una vez teniendo este nuevo sólido, procedí a poner las marcas que me permitieran realizar la medición del escape. Para la posición de 0 pieza, realice una marca de 1 mm de ancho, 45 mm de largo y 2 mm de profundidad en la geometría que se encontraba entre el *bumper* y el tubo de escape. A continuación, realice marcas con medidas similares a 1 mm de distancia en dirección *X* y *-X*. Después de discutirlo con más personas del equipo de Ingeniería de Producto, decidí realizar un ligero cambio en estas marcas, alternando la dimensión de largo de las mismas a 35 y 40 mm. Con ello, logré poner una ayuda visual en el *SBM* que permitiera mediciones más rápidas. Como característica del diseño, la resolución final del dispositivo de medición era de 1 mm.

El siguiente paso de diseño que realicé fue poner un pequeño sólido en la parte inferior del *SBM* que, al momento de utilizar la herramienta, hiciera contacto con la parte inferior del *bumper* dando soporte al instrumento de medición. Para poder facilitar aún más el uso de la herramienta, con ayuda de más extrusiones geométricas añadí una especie de gancho en este sólido inferior, lo cual permitió que el *SBM* se auto posicionara. Debido a que el *SBM* tenía la propiedad de que solo podía ser posicionado de una manera, este instrumento era a prueba de errores, volviéndose así un *Poka Yoke*.

El último paso para la creación del *SBM* fue redondear los vértices y las aristas que quedarán en contacto con el vehículo, esto para evitar que al momento de utilizarlo se pudiera lastimar la pintura del *bumper* o rayar el sistema de escape. Hecho esto quedó terminado el instrumento de medición para el lado derecho del vehículo.

Finalmente, para la creación del instrumento de medición del lado izquierdo, realice una copia simétrica a manera de espejo de la pieza del lado derecho, utilizando el plano *XZ* como plano de simetría.

Una vez diseñados estos instrumentos de medición, los manufacture por medio de manufactura aditiva de plástico. Para ello utilicé una impresora 3D de alta fidelidad que me permitió la creación de estos instrumentos. Para la impresión se agregaron puntos de soporte al *SBM* y tuvo un tiempo total de impresión de 6 horas por *SBM*.

Debido a que el *bumper* regular y el *bumper* deportivo tienen diferentes geometrías, era necesario diseñar otro instrumento de medición para el *bumper* deportivo. Para ello se realizaron los mismos pasos mencionados arriba, pero con diferencia que se utilice la geometría del *bumper* deportivo en vez del *bumper* regular al momento de generar la primera superficie de trabajo.

XIX. Recolección y Análisis de datos

Una vez diseñado y manufacturado el dispositivo de medición, el siguiente paso fue validar que el *SBM* era apto para tomar mediciones. El *SBM* tenía que ser Preciso y Exacto. Para poder validar que el dispositivo era preciso, realice un análisis de repetibilidad y reproducibilidad (R&R). Para este análisis 4 personas tomaron mediciones de 5 vehículos sin conocer los resultados de los demás. Con los resultados de estas mediciones y con ayuda del software *MiniTab*, realice el estudio R&R obteniendo como resultado un porcentaje de variación en el proceso menor a 10%, indicando que el dispositivo de medición era aceptable para tomar las medidas.

Para la validación de la exactitud del dispositivo, se seleccionaron 3 vehículos que no presentaban ningún delta visual en las puntas de escape en dirección del eje *X*. Estos vehículos fueron medidos por 3 personas diferentes y los resultados obtenidos indicaron que el dispositivo de medición era exacto.

Una vez validado que el *SBM* era apto para tomar mediciones, realice mediciones en línea de producción de 60 vehículos con *bumper* regular y de 30 vehículos con *bumper* deportivo. Durante la toma de mediciones se encontraron 5 unidades con un delta de dimensión en el eje *X* de más de 7 mm, de las cuales 3 se presentaron en vehículos con *bumper* regular y 2 en vehículos con *bumper* deportivo.

En las unidades con *bumper* regular, el delta de 7 mm se presentó dos veces con la punta de escape derecha más salida que la izquierda y una vez con la punta izquierda más salida que la derecha. En las unidades con *bumper* deportivo, el delta de 7 mm se presentó una vez con el lado izquierdo del escape más salido que el derecho y una vez con la condición contraria. Estas unidades se separaron para análisis debido a que fueron las que presentaban la peor condición o *Worst of Worst (WoW)*.

El resultado del análisis de los datos obtenidos de vehículos con *bumper* regular indicó que el promedio del delta de dimensiones en eje *X* era muy cercano a cero, no obstante, las mediciones tenían una desviación estándar de 3.007 mm, la cual es muy elevada considerando las tolerancias geométricas de diseño. Del mismo modo, los vehículos presentaban deltas de 5 o más milímetros tanto con la punta izquierda del escape más salida que la derecha como con la punta derecha más salida que la izquierda. Debido a la variabilidad de los datos, realice una prueba de normalidad de los datos haciendo uso del software *MiniTab*, encontrando que los datos seguían una distribución normal con una confiabilidad de 90%.

Realice el mismo análisis a los datos obtenidos de vehículos con *bumper* deportivo, lo cual me indico que el promedio del delta entre las dimensiones de las puntas de escape en el eje *X* era cercano a 0.8 mm con el lado izquierdo más salido que el derecho. No obstante, la desviación estándar de estos datos era de 3.340 mm, más alta que la desviación en *bumper* regular. De igual manera, los vehículos presentaban deltas mayores a 5 mm con la punta izquierda del escape más salida que la derecha y viceversa. Por último, realicé una prueba de normalidad de los datos utilizando el software *MiniTab* y encontré que, a diferencia del caso anterior, los datos obtenidos no seguían una distribución normal.

XX. Análisis de Causa Raíz

Una vez hecho el análisis de los datos obtenidos, el siguiente paso fue encontrar o determinar las posibles causas raíz del problema. Para ello realice un diagrama *Ishikawa*, utilizando las *5M* 's como categorías específicas del problema. Este diagrama me permitió encontrar diversos posibles motivos de falla del sistema.

La primera categoría que investigué fue la de Medio Ambiente. Para ello recorrí junto con los Líderes de Proceso de la línea de ensamble el punto de ensamble del *bumper*, del sistema de escape y de las puntas del escape. Durante este recorrido se hizo la inspección de las condiciones de la línea y se determinó en equipo que no había un agente externo o contaminación que afectara el proceso de ensamble de estas piezas. El siguiente paso fue hacer una inspección en el área de almacén junto con las personas de logística y manejo de material. En esta inspección no se encontró ningún elemento que pudiera estar dañando ninguno de los componentes involucrados en la investigación (*Bumper*, escape y puntas de escape). Como paso final, se solicitó al laboratorio de materiales un análisis de la afectación de las condiciones de temperatura del almacén en las piezas mencionadas, Con la información obtenida de este análisis, se descartó que las condiciones tuvieran un efecto negativo en las piezas. Con base en los análisis previamente mencionados, concluí que la causa raíz del problema no estaba relacionada con el Medio Ambiente.

La segunda categoría que analice fue la de Mano de Obra. De manera similar al punto anterior, se hizo una inspección de línea con apoyo de los Líderes de Proceso y con el equipo de Ensamble General. Durante esta

revisión pudimos ver que las operaciones por parte de los operadores eran realizadas de acuerdo con la Orden de Trabajo que estaba en su estación de ensamble. De igual manera, la desalineación estética de los tubos de escape se mantenía incluso después de cambiar a los operadores. Por estos motivos se determinó con apoyo del equipo de Ensamble General que la causa raíz no era debido a la Mano de Obra.

Para la validación de Materiales realice en conjunto con el equipo de Calidad de Proveedores una solicitud de Registros de Pruebas de Materiales y de desempeño al proveedor de *bumpers*, al del sistema de escape y al de las puntas de escape. Para validar el *Bumper* solicite piezas muestra y con ayuda del equipo de laboratorio de materiales se realizaron las pruebas que marcaba el dibujo técnico para estas piezas. El resultado de las pruebas realizadas fue coincidente con la información que entregó el proveedor, por lo que se definió que los materiales de esta pieza no era la causa raíz del problema. El mismo procedimiento se realizó para la validación del escape y de las puntas del sistema de escape y los resultados de igual manera fueron satisfactorios. Debido a esto descarte que la causa raíz de la falla fuera debido a los materiales.

El Método fue validado pidiendo a los proveedores de las partes mencionadas anteriormente el plan de control. En estos planes de control no se encontraron anomalías en lo acordado entre BMW y el proveedor. Los proveedores de igual manera entregaron toda la evidencia necesaria para demostrar que las operaciones incluidas en el plan de control relacionadas a método fueron realizadas correctamente.

Por último, para la validación de Máquinas, utilicé los mismos planes de control mencionados en el párrafo previo. En ellos se detectaron dos puntos importantes, uno en el CP del proveedor de *bumpers* y uno en el CP del proveedor del sistema de escape. El proveedor del sistema de *bumpers* tenía un punto de inspección en la longitud en dirección del eje *X* de las puntas de escape, no obstante, los registros de los resultados dimensionales en esa zona indicaban que la punta derecha del sistema de escape se encontraba en el límite inferior de la tolerancia (-4 mm en dirección *X*).

El segundo punto que se notó es que el proveedor de *bumper* había realizado un cambio que no había sido notificado en los soportes para secado y curado del *bumper*. Este cambio consistía en quitar elementos de fijación en los soportes utilizados para el secado y curado del *bumper*. Debido a este cambio, el *bumper* podía llegar a tener ligeras deformaciones plásticas al momento de secarse.

Estos dos puntos fueron los que podían estar afectando la alineación estética de los escapes. Debido a ello, realice una investigación más a profundidad sobre el impacto que tenían estas condiciones en el vehículo completo.

XXI. Solución del problema

Una vez realizado el análisis de los datos y de definir posibles causas raíz del problema, el siguiente paso que realice fue hacer mediciones y experimentos para poder identificar la causa raíz real.

El primer paso fue realizar un experimento utilizando una unidad con *bumper* estándar y una unidad con *bumper* deportivo de las *WoW* que había separado durante las mediciones y recolección de datos. El experimento consistió en intercambiar el *bumper* entre una unidad *WoW* y una unidad con los escapes en su punto nominal de diseño, la cual sería nuestra mejor unidad o *Best of Best (BoB)*. Este experimento fue realizado primero en los vehículos con *bumper* estándar.

Los resultados de este experimento mostraron que al momento de intercambiar el *bumper* de la unidad *WoW* al vehículo *BoB*, este presentaba un efecto negativo en el cual ahora se presentaba un delta de simetría entre

las dos puntas de escape. De manera contraria, al momento de poner el *bumper* de la unidad *BoB* al vehículo *WoW*, la condición de simetría en las puntas del sistema de escape mejoraba considerablemente.

De manera similar, al momento de realizar el experimento en vehículos con *bumper* deportivo, los resultados mostraron que, al poner el *bumper* de la unidad *BoB* en el vehículo *WoW*, este presentó una mejora considerable en la simetría visual de las puntas de escape. Al ensamblar el *bumper* *WoW* en el vehículo *BoB*, este presentó una condición peor en la simetría del escape. Gracias a este experimento, pude definir como principal componente sospechoso al *bumper*.

Para hacer una segunda confirmación de esto, solicite apoyo del equipo de metrología que hicieran una medición utilizando un escáner 3D a las otras dos unidades *WoW* que había separado. El primer resultado de este análisis fue que el sistema de escape estaba dentro de la especificación de diseño, no obstante, la punta izquierda del escape estaba en el límite inferior de la tolerancia. De igual manera, la punta derecha del escape estaba 2 mm en dirección del eje *X* más adelante que la punta izquierda.

El segundo resultado del análisis fue que los *bumpers*, tanto el estándar como el deportivo, estaban fuera de especificación en la parte inferior, precisamente en la zona donde salen las puntas del sistema de escape. Debido a que proveedor había realizado un cambio en los soportes para secado y curado del *bumper*, la pieza se deformaba en esta zona causando que saliera de las tolerancias de diseño definidas en el dibujo.

En base al experimento que realicé y a la segunda confirmación por parte del análisis hecho por el equipo de metrología, definí que la causa raíz de la desalineación estética era el *bumper* y no el sistema de escape. Esto aplicaba tanto en los vehículos con *bumper* estándar como en los vehículos con *bumper* regular. De igual manera, esta conclusión explica por qué los datos recolectados tenían tanta variación, ya que el *bumper* tenía un secado inconsistente que generaba geometrías diferentes en la parte inferior.

El siguiente paso para darle cierre a este problema fue reportar el hallazgo a las personas de calidad de proveedores e ingresar el problema al sistema de administración de problemas de calidad de BMW. Hecho esto, se solicitó al proveedor de *bumpers* que volviera a instalar los puntos de fijación que habían retirado de los soportes de secado de los *bumpers*.

Finalmente, se solicitó al proveedor de los *bumper* que se incluyera en el plan de control una revisión periódica de la parte inferior de los *bumpers* para evitar que se llegara a repetir este problema.

Adicionalmente, se hizo una solicitud de mejora continua al proveedor del sistema de escape que ajustara sus máquinas soldadoras para asegurar que las puntas del sistema de escape estuvieran en nominal, ya que incluso si el sistema de escape estaba dentro de tolerancia, su condición podía mejorar.

Conclusiones

Haber trabajado para una empresa automotriz como BMW Group fue una experiencia totalmente revolucionaria en mi carrera y mis inicios como profesionista. Al ser una planta armadora tuve la oportunidad de conocer todo el vehículo, tanto en sus componentes individuales como en la integración de un producto completo y terminado. Además, siendo BMW una empresa de vehículos premium de carácter mundial, pude aplicar herramientas y estrategias de calidad del más alto nivel, buscando una calidad de cero defectos para mantener el prestigio de la marca.

Trabajar en la posición de Ingeniería de producto fue muy educativa y enriquecedora, pues por la gran versatilidad del puesto pude aplicar conocimientos de calidad, de diseño y de análisis de datos. Adicionalmente, tuve la oportunidad de trabajar con distintos departamentos durante mi proyecto, lo cual me ayudó a comprender cómo se relacionan distintas áreas de la ingeniería en una industria de primer nivel.

Gracias a la formación que adquirí en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, pude desarrollar un proyecto de alta complejidad obteniendo resultados satisfactorios. Las materias que todos los ingenieros cursamos en ciencias básicas fueron críticas para el desarrollo de este proyecto, principalmente materias como Probabilidad (1436) y Estadística (1569). De igual manera, las materias que tuve la oportunidad de cursar en el campo de profundización de diseño fueron de alta importancia para mi desarrollo profesional. Materias como Diseño del Producto (0971) y Diseño y Manufactura Asistido por Computadora (0972) hicieron que desarrollara mi proyecto enfocándome en las bases del diseño para poder desarrollar herramientas que me permitieran llegar a la causa raíz del problema que se me presentó. Finalmente, cursar materias del área de Ciencias Sociales y Humanidades tales como Redacción y Exposición de Temas de Ingeniería y Ética Profesional fueron fundamentales para mi formación no solo como ingeniero, sino también como persona y profesional.

Durante mis estudios en la Facultad de Ingeniería, tuve la oportunidad de participar en BAJA SAE UNAM, uno de los proyectos extracurriculares que ofrece la Facultad donde tuve la oportunidad de ser parte del diseño y manufactura de un vehículo todo terreno tipo Mini BAJA. Sin duda participar en este proyecto fue una de las mejores experiencias que me otorgó la Universidad, teniendo la oportunidad de aplicar los conocimientos que adquirí en las aulas en un proyecto visible que representará a la universidad frente a otras universidades del país y del mundo.

Mi recomendación a la Facultad de Ingeniería es seguir apoyando este tipo de proyectos extracurriculares, pues es una de las mejores formas de los estudiantes de seguir desarrollando y aplicando los conocimientos adquiridos en la escuela. De igual manera me gustaría invitar a más estudiantes de la facultad a realizar prácticas y estudios profesionales, pues tener un primer acercamiento a la industria es muy enriquecedor.

Estoy extremadamente satisfecho con mi trayectoria en la Facultad de Ingeniería, pues adquirí los conocimientos que me van a permitir seguir desarrollándome como profesional. Por último, estoy muy agradecido con la universidad pues me permitió conocer compañeros que se convirtieron en amigos, a amigos que se convirtieron en hermanos y a profesores que se convirtieron en mentores. A todos los que formaron parte de mi desarrollo como Ingeniero de la Máxima Casa de Estudios, Gracias.

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Referencias

BMW. (2022). *Ficha Técnica BMW 220i Coupé 2022*. BMW de México.

Recuperado de:

https://www.bmw.com.mx/content/dam/bmw/marketMX/bmw_com_mx/Descargas/fichas-tecnicas-2022/noviembre/serie-2/Ficha%20T%C3%A9cnica%20BMW%20220i%20Coup%C3%A9%202022.pdf.asset.1635543562917.pdf

BMW. (2022). *Ficha Técnica BMW 320i 2022*. BMW de México.

Recuperado de:

https://www.bmw.com.mx/content/dam/bmw/marketMX/bmw_com_mx/Descargas/fichas-tecnicas-2022/enero-2022/serie-3/Ficha%20T%C3%A9cnica%20BMW%20320i%202022.pdf.asset.1640878478648.pdf

Tableau. (s.f.). *El análisis de la causa raíz, explicado con ejemplos y métodos*.

Recuperado de: <https://www.tableau.com/es-mx/learn/articles/root-cause-analysis>

Panama engineering. (s.f.). *Measuring Pins*. Panama Engineering Enterprise.

Recuperado de: <https://www.panamaengg.com/Measuring-Pins.htm>

Rodó, Paula. (2019). *Distribución Normal*. Economipedia.

Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/distribucion-normal.html>

López, José Francisco. (2017). *Desviación estándar o típica*. Economipedia.

Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/desviacion-tipica.html>

SPC Consulting Group. (2013). *Gráficas de control*. SPC Consulting Group.

Recuperado de: <https://spcgroup.com.mx/grafica-de-control/>

Rodriguez, Jaime. (2019). *Las herramientas de Core Tools - ¿Qué son, cuales son y para que se utilizan?* SPC Consulting Group.

Recuperado de: <https://spcgroup.com.mx/las-herramientas-core-tools/>

Minitab. (s.f.) *¿Qué es un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) del sistema de medición?* Minitab Statistical Software.

Recuperado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/>

AIAG. (2010). *Measurement Systems Analysis Reference Manual, 4th edition*. Automotive Industry Action Group.

SAE International. (2022). *J670_202206: Vehicle dynamics terminology*. Society of Automotive Engineers.

Recuperado de: https://www.sae.org/standards/content/j670_202206/

Anexos

Requerimientos del PPAP

1. Registros de diseño
2. Documentos autorizados de cambios de ingeniería
3. Aprobación de ingeniería del cliente
4. FMEA de diseño
5. Diagrama de flujo del proceso
6. FMEA del Proceso
7. Plan de Control
8. Estudios MSA
9. Resultados Dimensionales
10. Registros de resultados de pruebas de materiales/desempeño
11. Estudios iniciales de proceso
12. Documentación de laboratorio calificado
13. Reporte de aprobación de apariencia (AAR)
14. Muestras de Partes de Producción
15. Muestra Máster
16. Ayudas para Verificación
17. Requerimientos específicos del cliente
18. Certificado de emisión de partes