



Benemérita Universidad Autónoma De Puebla

Facultad De Ciencias De La Electrónica



“Simulación de pronóstico de re trabajos en la industria automotriz”

Qué Para Obtener El Título De:

Licenciado en Ingeniería en Sistemas Automotrices

Asesor: Roberto Carlos Ambrosio Lázaro

Presidente: Javier Flores Méndez

Secretario: Manuel Zapata y Sánchez

Vocal: Luis Abraham Sánchez Gaspariano

Presenta:

Bernardo Sánchez Torres

Agosto 2019

Con agradecimiento a:

Benemérita Universidad Autónoma De Puebla
Facultad De Ciencias De La Electrónica
Volkswagen De México S.A. De C.V.

Con dedicatoria a:

Dra. Martha Silvia Torres Hidalgo
Ing. Eduardo Rodolfo Sánchez Pares

1. Capítulo I	
1.1. Introducción.....	4
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivo.....	6
1.4. Cronograma de actividades.....	7
1.5. Marco Conceptual.....	8
2. Capítulo II	
2.1. Marco Teórico.....	29
2.2. Metodología.....	40
3. Capítulo III	
3.1. Resultados.....	41
4. Capítulo IV	
4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Referencias.....	48

Capítulo I

1.1 Introducción

Día a día las industrias armadoras compiten en los distintos mercados para mejorar la venta de sus vehículos, dentro de sus ventajas competitivas intentan tener la mejor calidad en sus productos por lo que la innovación en sus procesos se ve exigida constantemente.

En la industria automotriz existen distintos departamentos que se encargan de trabajar en conjunto para llegar a crear nuevos proyectos. Las etapas del proyecto ayudan a tener un control en el proceso de crear un vehículo.

La etapa de desarrollo se ve involucrada en el sentido de definir los componentes y su función en el vehículo, planificar de qué manera se va a obtener dicho componente esto incluye el diseño y manufactura, además a esto se requiere ejecutar pruebas de funcionalidad para comprobar el buen diseño y manufactura del componente, por último, se toma la decisión de introducirlo en la producción en masa y darle su correcto seguimiento.

El personal del área de desarrollo debe estar capacitada en materia de ingeniería debido a los procesos estrictos de seguridad en los vehículos y las normas que rigen la construcción de los mismos.

1.2 Justificación

El proceso existe debido a que la industria automotriz quiere ser más eficiente en sus procesos y de esta manera evitar gastos innecesarios por errores no planeados.

Los tipos de errores más comunes que se presentan en el desarrollo técnico son una ineficiente planeación, una deficiente consulta, errores en las pruebas y la obtención de resultados erróneos. Las fallas antes citadas se ven reflejadas en la etapa de producción en masa que conlleva a la inexacta construcción de vehículos.

La simulación ayuda a pronosticar las posibles fallas en la producción, el movimiento que está causando esta nueva 4° revolución industrial también llamada como industria 4.0 dentro de las fabricas e industrias, se abren áreas de oportunidad para modernizar dentro de los procesos y que mejor manera de hacerlo sin la inversión de grandes cantidades económicas, sino a través del proceso de simulación. (GONZÁLEZ, C. A., CHAPARRO, I. M., & RAMÍREZ, J. 2018)

1.3 Objetivo

General:

- Describir las fases del proceso de simulación para el montaje de piezas en los vehículos, beneficiando la producción en masa con la obtención de un pronóstico de re trabajos.

Específicos:

- Definir un concepto de montaje favorable al departamento de producción.
- Definir Tolerancias adecuadas para las simulaciones.
- Realizar la simulación por computadora.

1.4 Calendario de actividades.

Primer bimestre	Segundo bimestre	Tercer bimestre	Cuarto bimestre	Quinto bimestre	Sexto bimestre
Valoración de diseños	Consultas con proveedores	Acuerdos con otros departamentos	Definición de montaje y tolerancias.	Simulación de montaje	Análisis y presentación de resultados

1.5.1 ¿Qué es Volkswagen de México?

Volkswagen de México con ubicación en Puebla, México es una armadora automotriz y de manufactura que se fundó en 1964. Hoy en día es la planta de producción automotriz más grande de México con un volumen de producción de 2,500 autos por día. En esta armadora, Volkswagen produce el modelo Jetta, Golf, Golf Variant, Tiguan y en 2020 también producirá un nuevo SUV. Adicionalmente participa con una planta en Silao, Guanajuato que manufactura 1,500 motores al día, destinados al sector norteamericano. (Fuente top-employers.com)

Es la segunda planta más importante de Volkswagen a nivel mundial. La calidad e innovación tecnológica permitió que la planta armará durante 2015, 457 mil vehículos. Más del 80 por ciento de este volumen se exporta a los distintos sectores de mercado mundiales.

En la planta se ejecutan diferentes operaciones para el ensamblado de vehículos como:

- Estampado.
- Construcción de Carrocerías.
- Pintura
- Montaje

(Fuente blog.vw.com.mx)

1.5.2 Antecedentes Volkswagen de México.

La marca Volkswagen proveniente de Alemania, tuvo sus comienzos en 1934 cuando el Sr. Ferdinand Porsche diseñó el primer auto de la firma Volkswagen, VW-Käfer o Sedan. En 1936 se produjeron los primeros coches Volkswagen y la firma inicia su desarrollo. Aunque los proyectos de la marca iniciaron a venderse en México desde 1954, no fue hasta 1964 donde comenzó la etapa de manufactura de automóviles en territorio mexicano. Desde entonces la tarea de Volkswagen de México, de acuerdo al orden de Schreiber (1998). En 1955, además de vehículos completos, se importan otros autos desmontados de modelo Sedan, Cambie y Panel. Desde 1958, se empieza a montar automóviles integrando algunas partes manufacturadas por proveedores.

El montaje del Sedan comienza en 1962 en el Estado de México, y en Puebla los proyectos Combi y Panel. Para 1964 se consolida la firma Volkswagen de México y se comienza la construcción de la fábrica en 1965 en el estado de Puebla. Un par de años más tarde, la producción del modelo Sedan inicia en esta fábrica. Desde 1968, la armadora automotriz inicia la producción de algunos componentes para el mercado refaccionario y luego ser exportadas.

En 1970 se arranca con la producción del proyecto Safari en Puebla y el Combi en 1971.

Durante este periodo, Volkswagen de México comienza a exportar autos terminados a América central y el caribe. La producción del Panel inicia en 1973 y se crea la primera exportación de vehículos armados en la planta mexicana a Estados Unidos. En 1977, la producción de Alemania del Sedán oficialmente se traslada a la planta en Puebla, y con ello se inicia las exportaciones de este proyecto a Europa. También

se resalta en este periodo, el inicio de la producción de los motores alimentados por diésel. En 1979 se finaliza la nave 6 para fabricar los motores y inicia la construcción para una nueva línea de ensamble en esta ubicación, arrancando la producción un par de años más tarde.

En el 81, México se consolida como el principal productor mundial del tipo Sedan. Tres años después comienza la exportación de vehículos y refaccionarios a África. Al año siguiente la producción del modelo Corsar. En el 85 se producen los últimos Sedanes con destino al viejo continente, pausando por un tiempo las exportaciones a esta región. El modelo Golf comienza a producirse en 1988 y posteriormente serían exportados a Estados Unidos y Canadá.

Para los años de 1990 la producción del sedán se realizaba en tres turnos. En 1993 se inician medidas de mejora según la norma ISO 9000 y se implementan las mejoras continuas del proceso para el departamento productivo. En el mismo periodo se funda el parque industrial FINSA, orientado a proveedores de la empresa y para entrega de material Justo a Tiempo (Just in Time). Durante este periodo, la armadora es certificada bajo las normas de ISO 9000. En 1995 se inicia en la planta poblana el montaje del modelo Derby y termina la producción de la Combi y Panel en esta planta. En 1996 los proveedores de la empresa se incluyen en las normas de ISO 9000. En este año se inicia la producción del Golf Cabrió. Durante el año de 1997 el New Beetle inicia producción. La importancia de este modelo reside en que es la única fábrica a nivel mundial que produciría este modelo. Esto demuestra la confianza del consorcio con la calidad que demostró entonces la planta de México. Además, en este año también se inició la producción del Jetta A4. De acuerdo a información de la empresa (Volkswagen de México, 2003), en 1999 se reconoce que Volkswagen de México es la armadora automotriz con mayor volumen de producción, además de ocupar el primer lugar en las exportaciones a nivel nacional.

Para el año 2000 se habían creado siete millones de motores en la planta poblana, y en el 2001, cinco millones de vehículos. Durante el 2002 se finaliza la producción del Golf Cabrió. En el 2003 se inicia la fabricación del modelo Beetle Cabriolet, una producción exclusiva en México. En este año se construye la edición final del Sedan, terminando así la producción mundial de este modelo. (Hernandez, F. S. 2004)

1.5.3 Política Volkswagen de México.

Misión:

Somos el mejor productor y proveedor de movilidad en la Región NAR y en el mundo, satisfaciendo siempre las necesidades de nuestros clientes.

Contamos con un equipo altamente competitivo que impulsa la transformación de la compañía, en un entorno que propicia el desarrollo de nuestros colaboradores y alimenta su compromiso, integridad y desempeño excepcional.

Aseguramos el crecimiento sostenible de la empresa y el desarrollo de la sociedad con innovación y pasión fomentando el cuidado del medio ambiente.

Valores:

- Juntos
- Atrevidos
- Orientados al cliente
- Eficientes
- Honestos
- Prudentes

Principios

- Orientación a la mejora continua de nuestros procesos.
- Cumplir con las leyes y normas nacionales, internacionales y del grupo Volkswagen.
- Asegurar la calidad de los productos y servicios, la protección al medio ambiente y la seguridad y salud laboral de los colaboradores.

(Fuente vw.com.mx, 2019)

1.5.4 Desarrollo Técnico

El Departamento de Desarrollo Técnico se ubica dentro de la armadora Volkswagen de México en las naves 54, 62, 70 y 71, éste es uno de los departamentos de más relevancia dentro de la fábrica en México. El principal cargo de este departamento es la innovación. Desarrollo Técnico está conformado por distintos departamentos, todos y cada uno tienen una gran importancia para que esta área sea una de las más relevantes dentro de Volkswagen en México; los departamentos más representativos que la constituyen son:

- 1) Dirección del desarrollo técnico
- 2) Coordinación en general
- 3) Vehículo en completo
- 4) Desarrollo de motores y transmisiones
- 5) Desarrollo del chasis
- 6) Diseños
- 7) Desarrollo Exteriores, Interiores, Asientos y Seguridad Vehicular
- 8) Desarrollo Eléctrico – Electrónico

En Desarrollo Carrocería, Interiores, Chasis y eléctrica - electrónica se coordinan temas de prueba y construcción para nuevos modelos de carrocería e interiores, así como para componentes de la serie (que ya se encuentran en producción), cambios según requerimientos de mercado y nuevas normas internacionales, además de pruebas de duración.

Se compone de ingenieros especialistas en pruebas y especialistas en construcción. La parte de construcción se dedica a desarrollar todos los componentes con que cuenta un producto automotriz, desde metálicos hasta plásticos. En cuanto a pruebas, esta es la parte que se encarga de corroborar que todos los componentes diseñados y manufacturados realicen correctamente la función para la cual han sido creados. (Méndez, R. M., Vázquez, J. A. M., de la Garza, M. N., & Pomposo, S. O. 2012)

1.5.5 Control estadístico de procesos.

La actividad de retroalimentación es respaldada a través de la obtención de datos. Esta actividad es atribuida dentro de la aplicación de estadística y a los métodos y herramientas utilizadas se les conoce como métodos estadísticos.

El término control estadístico de procesos tiene muchos significados, pero en la mayoría de las empresas y sobre todo industrias armadoras se considera como un instrumento de gestión de calidad. Permite mediante la comparación del funcionamiento del proceso con límites fijados, garantizar la obtención de los objetivos fijados estadísticamente bajo la filosofía de la prevención, de tal forma que se logre conseguir, mantener y mejorar procesos estables y capaces ayudando a

conocer la variabilidad de los factores que intervienen en un proceso y a prevenir los defectos que se pueden ocasionar por las variables del mismo.

En particular para este trabajo los defectos se traducen como vehículos con variaciones no aceptables para su venta, es decir que requieren de un re trabajo. (Millán Tinoco, V. 2013)

1.5.6 Objetivos del control estadístico de procesos.

Para cubrir con los objetivos de la calidad, el control estadístico de proceso alcanza las siguientes actividades: obtención de datos, análisis mediante herramientas tales como el histograma, el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa también conocido como diagrama de causa y efecto, diagrama Montecarlo y son aplicadas en el proceso para eliminar las causas principales de variabilidad y recuperar la estabilidad del proceso.

La implementación del control estadístico de procesos ha traído como resultado la comprensión del comportamiento de un proceso y, por consiguiente, la obtención de soluciones acertadas para el control de los procesos de la producción.

A continuación, se exponen los diferentes elementos que se encuentran relacionados en un control estadístico de procesos, a fin de usar de manera efectiva datos de mediciones para control de un proceso en especial, como se ilustra en la Figura 1.

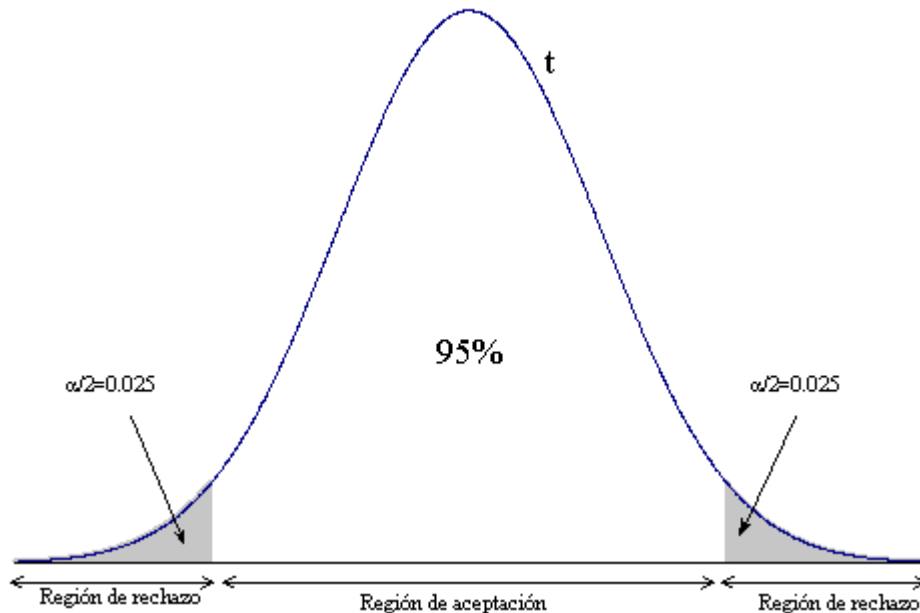


Figura 1 Variación en la medición de los vehículos terminados

1.5.7 Análisis de medidas de asimetría y curtosis.

Son aquellos números que indican la morfología de la distribución de los datos, es decir de la simetría y apuntamiento que tiene el histograma de la variable en estudio.

Para ello requerimos de fórmulas de medidas de tendencia central:

Media:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Formula (1.1)

Mediana = **Md** = Valor de la observación que ocupa la posición o rango.

$$r_{Md} = \frac{n + 1}{2}$$

Formula (1.2)

En caso de que **rMd** no sea entero, **Md** se calcula como la semisuma de los valores anterior y posterior.

Moda = **Mo** = Valor de la variable con mayor frecuencia

Rango:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Formula (1.3)

Varianza:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Formula (1.4)

Desviación típica o estándar:

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

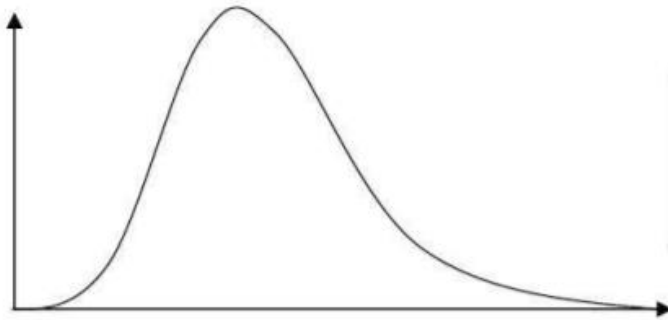
Formula (1.5)

Coeficiente de Variación =

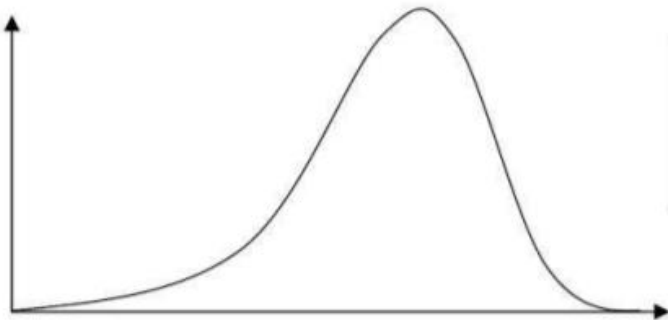
$$CV = \frac{S}{x}(x100)$$

Formula (1.6)

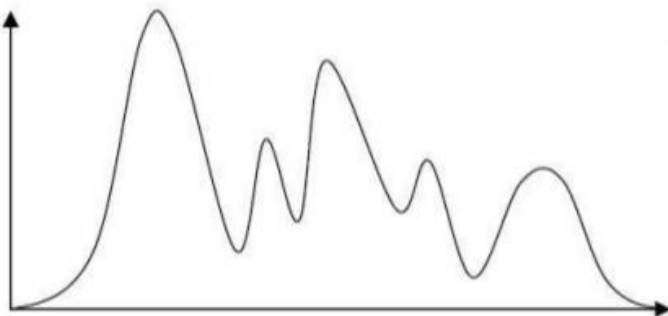
Estos son los tipos de distribuciones de frecuencia más comunes:



Distribución Sesgada hacia la Izquierda: Los datos se concentran hacia la izquierda de la distribución.



Distribución Sesgada hacia la Derecha: Los datos se concentran hacia la derecha de la distribución.



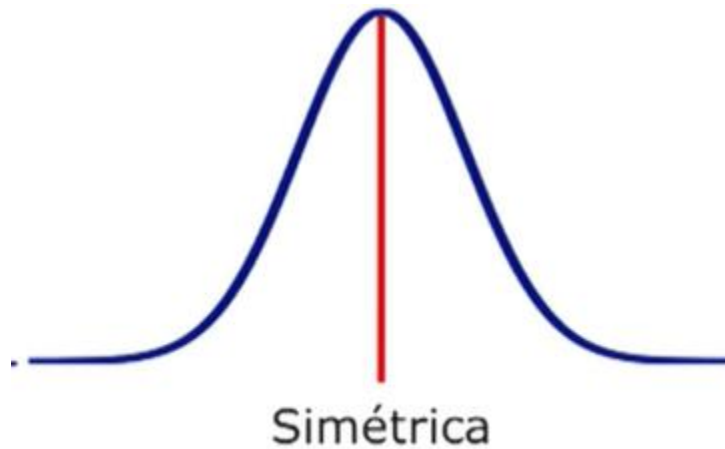
Distribución asimétrica: No presenta uniformidad en la distribución de los datos.

Este análisis es relevante en la relación entre la media, mediana y moda, de esta manera conoceremos cada caso de asimetría para cada distribución.

Primer caso:

$$x = Md = Mo$$

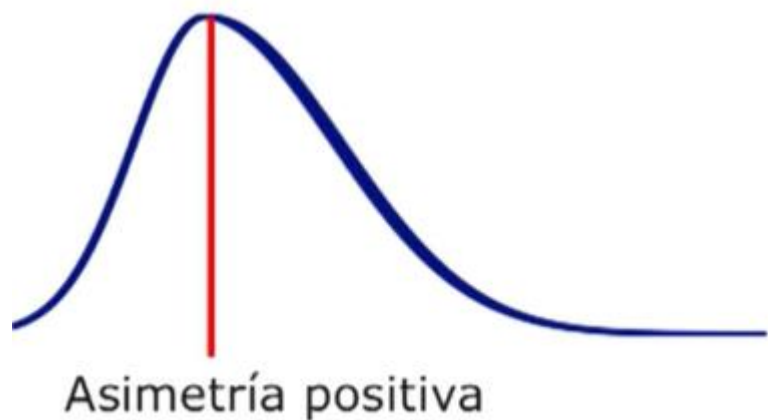
es cuando una distribución de frecuencia es simétrica, la media, mediana y moda coinciden en su valor $x = Md = Mo$ en el caso de una distribución binomial simétrica, es necesario calcular el promedio de las modas.



Segundo caso:

$$Mo < Md < X$$

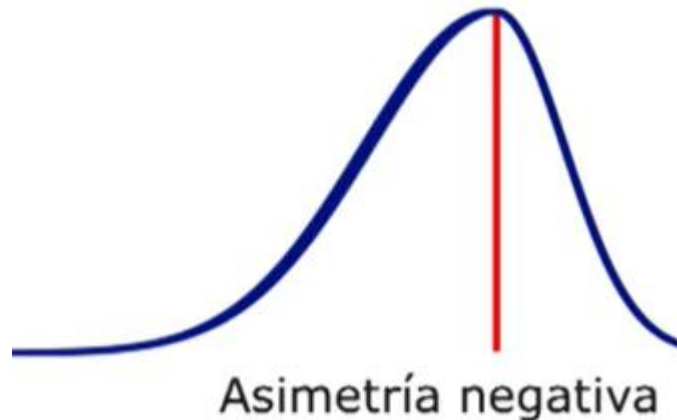
Es cuando una distribución esta sesgada a la izquierda, la moda es menor a la mediana, y esta a su vez menor que la media.



Tercer caso:

$$Mo > Me > X$$

Es cuando una distribución esta sesgada a la derecha y la relación se invierte, la moda es mayor a la mediana, y esta a su vez mayor que la media.



El coeficiente de asimetría mide el grado de asimetría de la distribución con respecto a la media. Un valor positivo de este indicador significa que la distribución se encuentra sesgada hacia la izquierda y un resultado negativo significa que la distribución se sesga a la derecha.

Este resultado lo obtenemos multiplicando por 3 la diferencia de la media y la mediana sobre la desviación estándar:

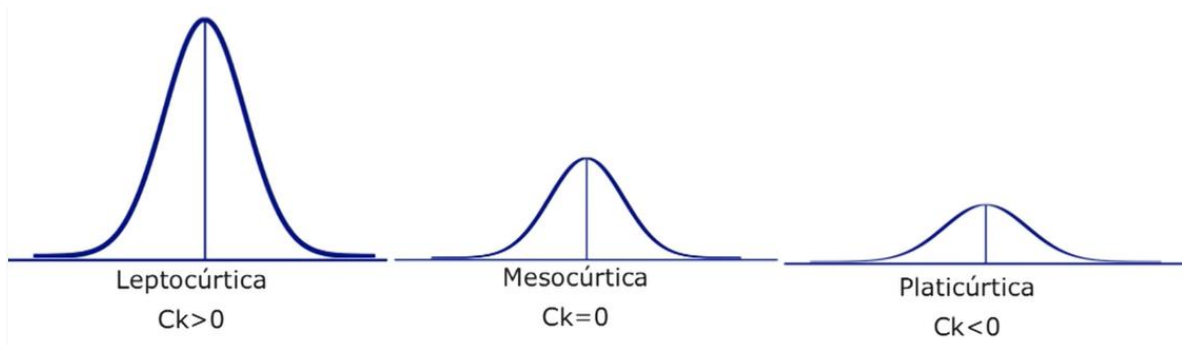
$$Ca = \frac{3(\bar{X} - Md)}{s}$$

Formula (1.7)

Coeficiente de curtosis

Indica que tan apuntada o achatada se encuentra una distribución respecto a una distribución normal. Si los datos están muy concentrados hacia la media, la distribución es leptocúrtica (curtosis mayor a 0). Si los datos están muy dispersos,

la distribución es platicúrtica (curtosis menor a 0). El comportamiento normal exige que la curtosis sea igual a 0 (distribución mesocúrtica).



Para conocer el valor de la curtosis aplicamos la fórmula:

$$g_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} - 3$$

Formula (1.8)

1.5.8 Causas de cambio en procesos.

No hay dos productos o características que sean idénticos, debido a que cualquier proceso tiene distintos factores de variabilidad. Las diferencias entre productos pudieran ser grandes, o estas pueden ser dimensionalmente menores, pero siempre están presentes. El diámetro de una flecha manufacturada, por ejemplo, sería susceptible a variaciones potenciales de una máquina con la que se fabrica o en sus montajes, velocidad de montaje, materiales, operadores y hasta incluso variables no controlables como el clima, la temperatura y la inexactitud de la medición de comprobación.

Algunos principios de variación en el proceso generan diferencias en tiempos reducidos y pieza a pieza, por ejemplo, movimientos lentos con vibraciones dentro de la máquina y sus dispositivos, o la precisión del trabajo de los empleados de la oficina. Estos cambios pueden suceder gradualmente con el herramental o ajustes de la máquina, o paulatinamente en cambios de procedimiento, o irregularidades en cambios del estado del ambiente tales como, sobrecargas de energía. Por lo tanto, el período de tiempo y condiciones sobre las que se hacen las mediciones son críticos, dado que impactan en la cantidad total de variación que se haya observado. (Millán Tinoco, V. 2013)

En cuanto a los valores individuales medidos puede ser todos diferentes, como grupo tienden a formar un patrón que puede escribirse como una distribución. Esta distribución puede caracterizarse por la localización del valor central mejor conocido como nominal, la dispersión como distancia de los valores del más pequeño al más grande y la forma es el patrón de variación.

Desde el punto de vista de requerimientos mínimos, el tema de la variación a menudo es simplificada por partes, de un lado, las que están dentro de las tolerancias de especificación y son aceptables, y de partes fuera de tolerancia y con especificaciones no aceptables. Sin embargo, el objetivo debiera ser mantener la localización en un valor meta y con una mínima variabilidad, es decir definir una tolerancia de aceptación.

Para administrar cualquier proceso y reducir la variación, dicha variación debe ser rastreada hacia sus fuentes. El primer paso es distinguir entre causas de variación comunes y especiales.

Causas comunes:

Define a las tantas fuentes de variación que están afectando permanentemente en un proceso, las causas comunes dentro del proceso crean una distribución estable y reproducible en el tiempo, a esto se le identifica en un estado de control estadístico, las causas comunes crean un sistema estable de causas aleatorias. Si solo causas comunes de variación están presentes y no cambian, los resultados de un proceso son predecibles.

Causas especiales:

Define a cualquier factor generado por variaciones que impactan solo algunos resultados del proceso, estas en común son intermitentes e impredecibles. Son apuntadas por uno o más puntos fuera de los límites de control o por patrones no aleatorios de puntos dentro de los límites de control, a menos que todas las causas especiales de variación se identifiquen y se trabaje sobre ellas, estas pueden continuar impactando los resultados del proceso en formas impredecibles.

(Millán Tinoco, V. 2013)

1.5.9 ¿Qué es simulación?

Simulación es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, a manera que se genere una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo. Por lo tanto, la simulación incluye la creación de una historia artificial del proceso y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental. Nos ayuda a deducir las características operacionales de tal proceso.

Frecuentemente resulta que la simulación es uno de los procesos cuantitativos más ampliamente utilizados en la toma de decisiones, dado que sirve para entender lo relacionado con un sistema real mediante la experimentación con el modelo que lo representa. Así, el objetivo consistirá en crear un entorno en el cual se pueda obtener resultados sobre posibles acciones alternativas a través de la experimentación utilizando la computadora. (Azofeifa, C. E. 2004)

En industria moderna, los modelos matemáticos se crean y se utilizan para comprobar los resultados de decisiones antes de implementar a la realidad.

1.5.10 Simulación Montecarlo

La simulación Monte Carlo es básicamente un muestreo experimental cuyo propósito es calcular las distribuciones de las variables de salida que depende de variables probabilísticas de entrada. Los investigadores definieron este término por su semejanza al muestreo aleatorio en los juegos de ruleta en los casinos de Monte Carlo. Así, por ejemplo, el modelo de Monte Carlo es capaz de simular los resultados que puede asumir el valor actual neto (VAN) de un proyecto.

Pero lo más relevante es que la simulación permite experimentar para observar los resultados que va mostrando dicho VAN. (Azofeifa, C. E. 2004)

1.5.11 Definición de Tolerancias

Los pequeños cambios en las medidas de los eslabones de un ensamble, causadas por errores en la fabricación o el montaje, dan lugar a variaciones en la característica de movimiento del mecanismo ensamblado. Se necesita entonces, un análisis que indique cómo y cuánto un mecanismo puede afectarse por los cambios

dimensionales y de montaje en la ubicación de fijaciones y verificar su sensibilidad a este tipo de ajustes, esto es, qué tan crítico puede ser un error externo frente al funcionamiento final del mecanismo o ensamble. Este análisis dentro del proyecto busca por un lado definir el comportamiento del mecanismo frente a modificaciones externas, y por otro lado llegar a definir las configuraciones de mecanismos menos sensibles a estas variaciones y que por lo tanto generen menos errores frente a las posiciones finales. Rosas, V. R. (2010)

El objetivo de la definición de tolerancias es como su nombre lo indica definir una tolerancia para la manufactura de algún componente del automóvil, como lo menciona en la teoría pasada, no existen piezas idénticas, siempre habrá alguna desviación y esta variación se busca ser controlada por medio de tolerancias. Una vez teniendo un volumen de piezas creadas por un mismo proceso y herramental, la política de aceptación de dichas piezas se regirá por la medición y el cumpliendo en el rango de la tolerancia.

1.5.12 Suma de tolerancias.

El análisis de tolerancias según (*Ríos, A. O. T., Molina, J., Baena, Gómez, M., Saldaña”, 2016*) es una importante herramienta para reducir costos de manufactura mejorando la productividad. La definición correcta de tolerancias dimensionales se ha reconocido por la industria como un elemento clave en los intentos para incrementar la productividad.

Los ingenieros del producto, diseño y manufactura saben que el control de la acumulación en las tolerancias es crítico para definir zonas de claro o interferencia en los ensambles. Sin embargo, los diseñadores frecuentemente asignan tolerancias de manera arbitraria o basada en la experiencia obtenida durante el desarrollo de anteriores productos.

En ocasiones el diseñador cuenta con el total de la tolerancia con el que cuenta un ensamble y esta es replicada entre los componentes de manera racional. Por otro

lado, existen los análisis de tolerancias en los cuales se sabe la tolerancia de cada uno de los componentes del ensamble y en base a esta información se calcula la tolerancia total del ensamble.

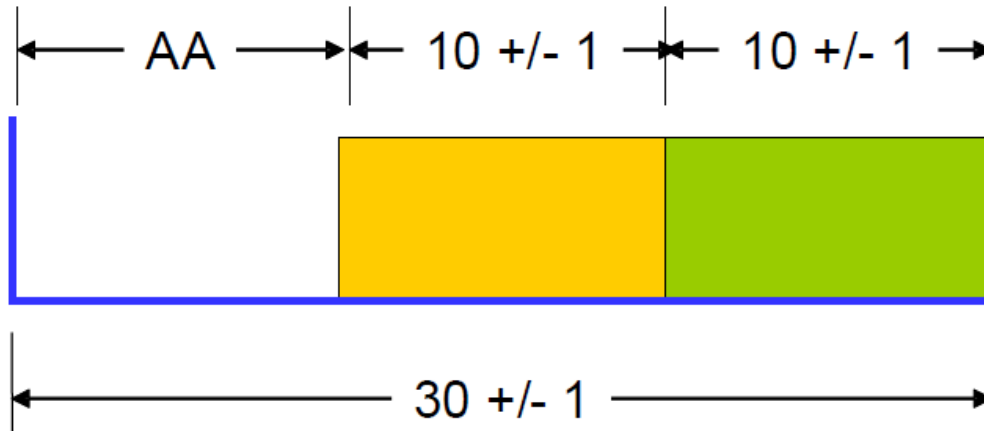
La tolerancia en el armado debe ser definida por un análisis de tolerancias. Durante la manufactura de prototipos para un producto en especial, se han encontrado desviaciones de ensamblaje debido a la modificación de dimensiones y tolerancias de algunos de sus componentes. Aun cuando hay análisis de tolerancias anteriormente realizados en el ensamble, los ajustes creados durante diferentes negociaciones no se consideran para hacer un nuevo análisis de ensamble, como consecuencia de esto otros componentes en el ensamble presentan errores de interferencia entre ellos al momento del ensamble. (*Ríos, A. O. T., Molina, J., Baena, Gómez, M., Saldaña”, 2016*)

Por otro lado, el acceso a los análisis existentes está limitado para el ingeniero de producto, dado que estos se han realizado utilizando el modelo 3D y para los cuales un análisis nuevo requiere el acceso a el software de diseño operado por el ingeniero de diseño, restringiéndolo a la disponibilidad de dicha herramienta.

En base a lo anterior mencionado y debido a la necesidad de tener acceso a los análisis de ensamble y los resultados de los ajustes de una manera rápida es expresada por el área de ingeniería de producto, se plantea el desarrollo de una solución en este ámbito.

El objetivo planteado en este trabajo es desarrollar una herramienta que permita al ingeniero ejecutar análisis de ensamble de una manera rápida. Esta herramienta debe tener la capacidad de recalculan los análisis de ensamblaje al momento de hacer un cambio en las dimensiones y tolerancias.

El procedimiento consiste en hacer un circuito de dimensiones, también podrían verse como vectores por tener magnitud, sentido y dirección, en donde la dimensión a calcular es el inicio y el fin del circuito.



$$AA = (30 \pm 1) - (10 \pm 1) - (10 \pm 1) = 10 \pm 3$$

Figura 2 Suma de tolerancias.

Por ejemplo, si se tiene una caja de 30 +/- 1 mm y se quieren insertar dos cunas de 10 +/- 1 mm el espacio libre entre cunas es de 10 +/- 3mm. Esto es porque la tolerancia del espacio libre es función de las tolerancias de los vectores del circuito, en la figura 2 la tolerancia es igual a 3 por la suma de las tres tolerancias.

1.5.13 Soporte a la manufactura

Cuando un producto es fabricado y tiene una medida fuera de tolerancia, la pieza es analizada por Ingeniería de Diseño para garantizar que cumpla con lo pactado con el cliente, estos parámetros son: vida útil, ensamble, forma, funcionalidad y desempeño de la máquina. El análisis de ensamble es una parte importante en el análisis de una pieza no conforme, porque se tiene que garantizar al cliente que en caso de cambiar la pieza no conforme o una contigua va a poder hacerlo sin tener que modificar el procedimiento de ensamble o sin necesidad de usar alguna herramienta especial para el manejo de la pieza o del ensamble.

(“José Mauricio Vallarta Novo”, 2009)

El análisis de piezas no conformes salva miles de dólares en piezas que se encuentran totalmente maquinadas y que se determina que son útiles y seguras de usar.

Un análisis detallado y preciso puede salvar una pieza de ser desechada o puede evitar realizar un procedimiento de reparación costoso e innecesario. El análisis de ensamble se hace por medio del cálculo de acumulación de tolerancias. Cabe señalar que el desarrollo de este tipo de herramientas y mejores prácticas es fundamental para aumentar la capacidad de trabajo del ingeniero, acortar los tiempos necesarios para el desarrollo del producto y así mejorar la competitividad de la empresa.

1.5.14 Glosario

Variación: Se define como la diferencia de medida entre una pieza y otra, de este modo cuantificar que tanto es una pieza distinta a la otra.

Desviación: Desviación se define que tantas piezas no cumplen la tolerancia y son consideradas no aceptables con respecto a la pieza ideal o pieza nominal.

Simulación: Proceso matemático que pronostica un evento.

Tolerancia de posición: Es el rango de medida aceptable de un barreno, sobre la superficie de una pieza.

Tolerancia dimensional: Es el rango de medida aceptable de la geometría de una pieza.

Tolerancia de medición: Es el rango de la posible variación del equipo de medición para una pieza.

Construcción: Es la actividad relacionada con el diseño de una pieza automotriz.

Pruebas: Es la actividad de comprobación de diseño y manufactura de la pieza automotriz.

Colisión: Es el contacto que pudiera existir entre una pieza y otra.

Capítulo II

Simulación de pronóstico de re trabajos en la industria automotriz

2.1.1 Antecedentes

En este capítulo explico cómo se llevó a cabo el proyecto de simulación de pronóstico de re trabajos en la industria automotriz, por políticas de confidencialidad no se dará información detallada de la herramienta usada para este proyecto, hablando específicamente del software de simulación.

Durante este apartado, se dará información detallada de proceso de simulación y de cómo se interpretan los resultados, abonado a esto se reportará las actividades en las que me vi involucrado y lo que aporté al proyecto.

Como dato inicial, yo Bernardo Sánchez Torres comencé a laborar en Volkswagen de México el día 29 de agosto de 2018, fui seleccionado para cubrir una vacante como practicante en el proceso de análisis de simulación de tolerancias, dentro del departamento de carrocería e interiores en el área de desarrollo técnico, mi horario de labor se encontraba en el turno normal es decir de 8:00 de la mañana a 5:00 de la tarde, mis herramientas de trabajo que me fueron asignadas son: un escritorio, un workstation y manuales de capacitación de distintos temas.

En el área en la que fui asignado, se realizan tareas de desarrollo e innovación enfocadas principalmente al diseño y análisis de nuevos proyectos de carrocería e interiores del vehículo.

Durante este proyecto estuve laborando hasta el día 6 de febrero del 2018 y posteriormente fui ubicado ya como empleado en el área de desarrollo de chasis de

igual manera en el departamento de desarrollo técnico, en donde actualmente estoy laborando.

2.1.2 Pre proceso de simulación.

En el pre proceso se definirán las variables y las condiciones de frontera de la simulación, por lo que para comenzar se necesita del diseño 3D final del ensamble a analizar.

En un proceso analítico, cualquier pieza se puede descomponer en formas elementales sencillas y/o formas elementales complejas.

Conocer la pieza del ensamble como parte automotriz significa poder describir, ubicar y orientar las formas presentes en su composición final en el auto, es decir, poder contestar para cada uno de sus elementos a las preguntas: ¿Cómo está?, ¿Dónde se sitúa?, ¿Cuál es su orientación?

Para definir en el software las coordenadas y los vectores del movimiento de la pieza para ser ensamblada, se debe analizar, como se va a montar en la vida real, es importante realizar este ejercicio ya que se debe ser realista al momento de simular y no definir un montaje imposible.

Existen normas, tales como *ISO 5459* o *ANSI Y14.5.1*, que indican cómo deben alinearse las piezas industriales. La aplicación correcta de estas normas facilita mucho el proceso de inspección.

Estas normas asignan al diseñador de la pieza la responsabilidad de definir el sistema de referencia, mediante características representativas y restricciones sobre éstas, que se van a reflejar en el plano mediante una simbología cuya lectura e interpretación permiten al ingeniero reproducir el razonamiento del diseñador.

A menudo la alineación de la pieza se deriva del conjunto al que pertenece para asegurar un fácil montaje, evitar interferencias o asegurar la funcionalidad.

Algunos componentes o subconjuntos del automóvil se inspeccionan en un sistema de referencia, que puede tener el origen fuera del volumen del área trabajo, es decir, no es realista el método de alineación.

Siempre y cuando exista en el plano alguna información sobre la alineación, se procede a alinear respetando las exigencias marcadas. Si en el plano falta la información relativa a la alineación, se recomienda utilizar el método presentado a continuación.

2.1.3 Método plano, línea, punto

Este método consiste en bloquear los 6 grados de libertad de la pieza, comenzando por escoger la característica más representativa de la pieza para definir el datum primario (A). Con este fin, se pueden utilizar planos definidos por varios puntos o ejes de cilíndricos.

Al obtener así el primer eje Z , la pieza pierde tres grados de libertad: dos giros R_x , R_y y una traslación T_z .

Definir una dirección por varios puntos proyectada sobre el plano perpendicular al primer eje. Este será datum secundario (B). La imposición de esta dirección como segundo eje (X), determina la pérdida de otros dos grados de libertad R_z y T_y de la pieza.

Fijar en un punto representativo de la pieza (borde, centro de un círculo, etc.) el datum terciario (C). Con ello se bloquea el último grado de libertad, T_x de la pieza en inspección. La placa de la figura 3, sirve para ilustrar el uso de este método. Los seis grados de libertad están marcados con T_x , T_y , T_z como traslaciones y R_x , R_y , R_z como giros.

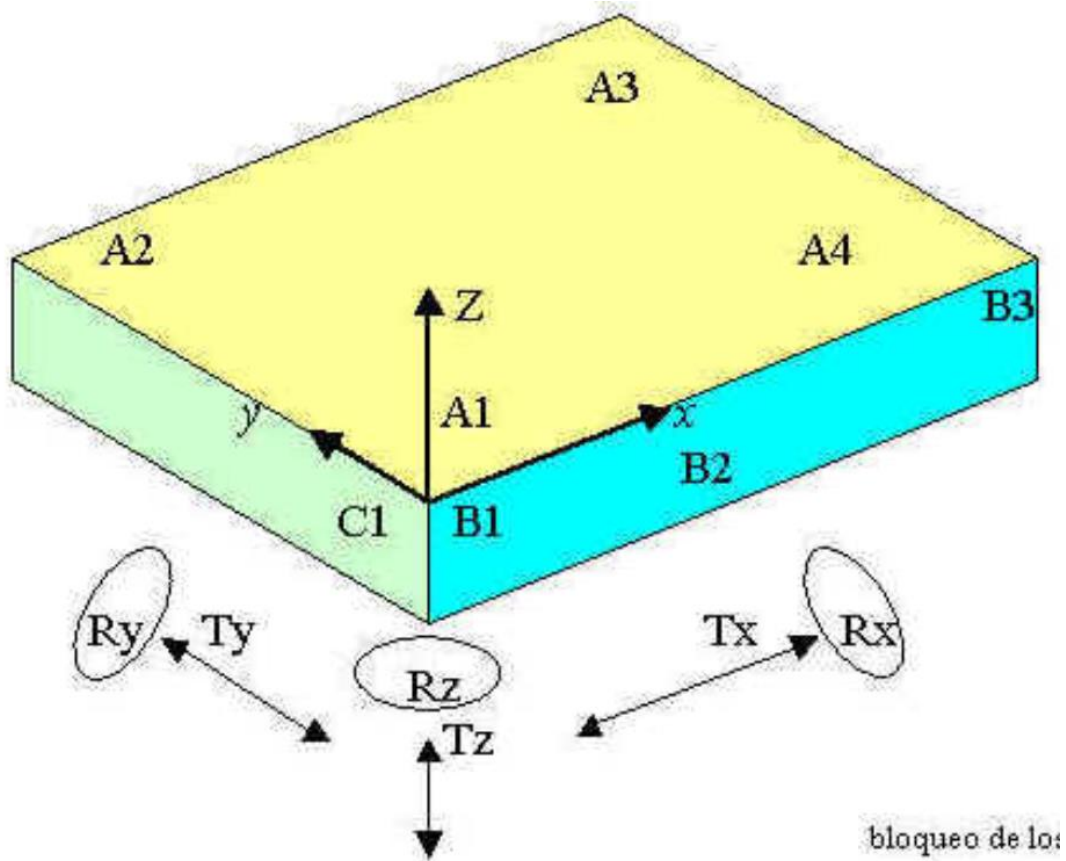


Figura 3 Método plano, línea y punto.

2.1.4 Declaración de puntos.

En este apartado, se mostrará como se colocan los puntos de montaje considerando las reglas anteriores, para un diseño de un vehículo 3D, se busca simular el mejor montaje en masa para evitar los futuros re trabajos que requiera el vehículo, nos enfocaremos en la calidad del armado de carrocería y se considerará un vehículo directo al cual no requiera de re trabajos, para estos se evaluarán las holguras de

la carrocería y se definirá una distancia nominal que debe de tener dichas holguras, en el caso que estas medidas estén fuera de la tolerancia, significará cuantos autos con fallas tendremos respetando el tipo de montaje definido.

Tomando como elemento de estudio el siguiente proyecto de referencia (figura 4):

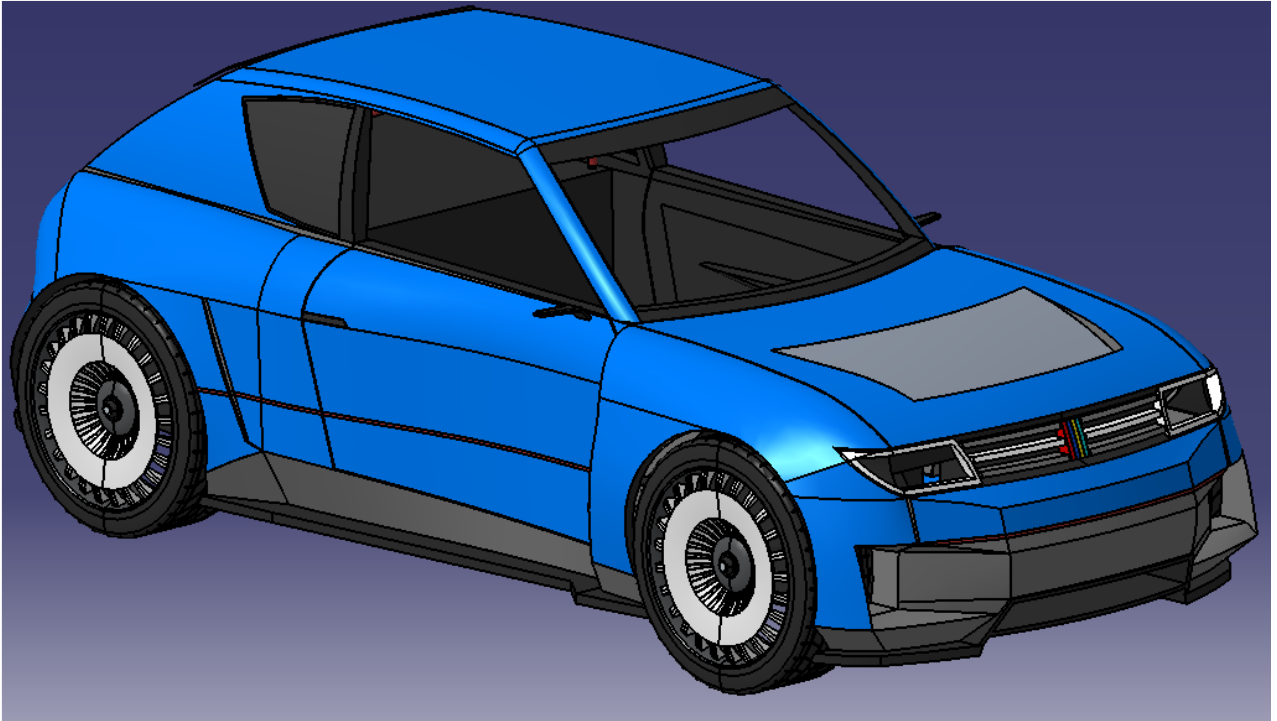


Figura 4 Proyecto ejemplo.

Para este proyecto se analizará el montaje del cofre, por eso, analizaremos el espacio entre el cofre y las salpicaderas, como también el espacio del cofre contra la parrilla y los faros (figura 5). Se espera obtener una gráfica de distribución que nos va indicar si es viable el método definido de montaje. Para esto, se define una medida de holgura nominal de 0.50 mm (figura 6) en las holguras laterales y de 0.50 mm (figura 7) en la holgura frontal. Para estas medidas definiremos una tolerancia de $\pm 0.3 \text{ mm}$.

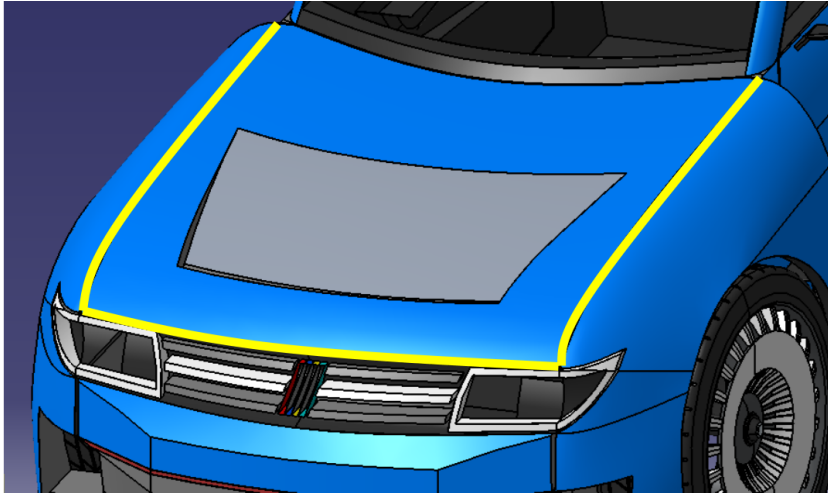


Figura 5 Holguras a analizar.



Figura 6 Medida nominal de holgura contra la salpicadera.

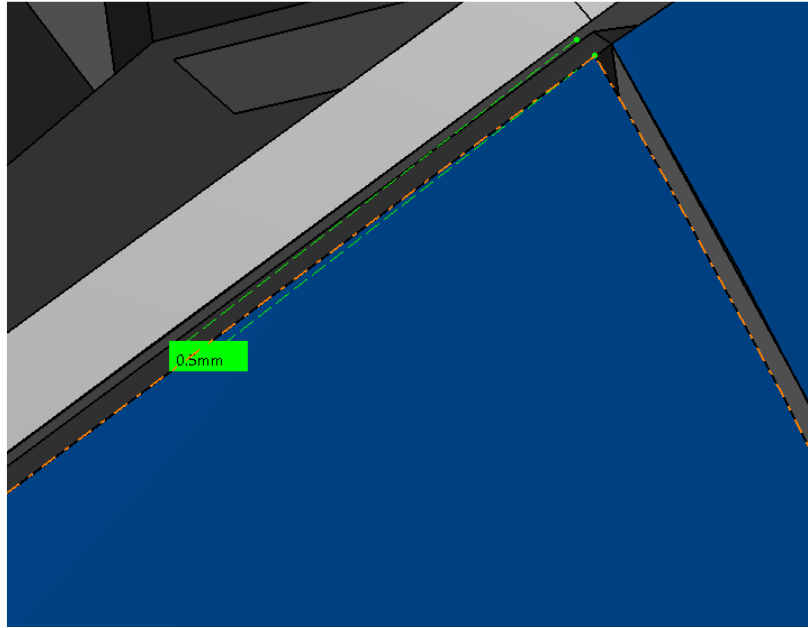


Figura 7 Medida nominal de holgura contra la parrilla y faros.

Una vez definido el elemento de estudio se comienza por separar el cofre y analizarlo como pieza única.

Es importante estudiar la función de dicha pieza, ya que nos ayudará a definir el ciclo de montaje que va tener en la línea de producción en el armado de carrocería.

El cofre está hecho de acero, pero el aluminio ha comenzado a introducirse, en algunos casos están hechos de fibra de vidrio o fibra de carbono que son más ligeros.

En este proyecto se considerará como una pieza laminada de acero.

En este proceso es importante tener la noción o la idea del montaje de esta pieza, y de esta manera crear un movimiento para en el ensamble del cofre. El ensamble de un cofre es en dirección Z comenzando por los extremos de las bisagras paso 1 y 2, y terminando en Z en la chapa de cierre del cofre como paso 3(Figura 8).

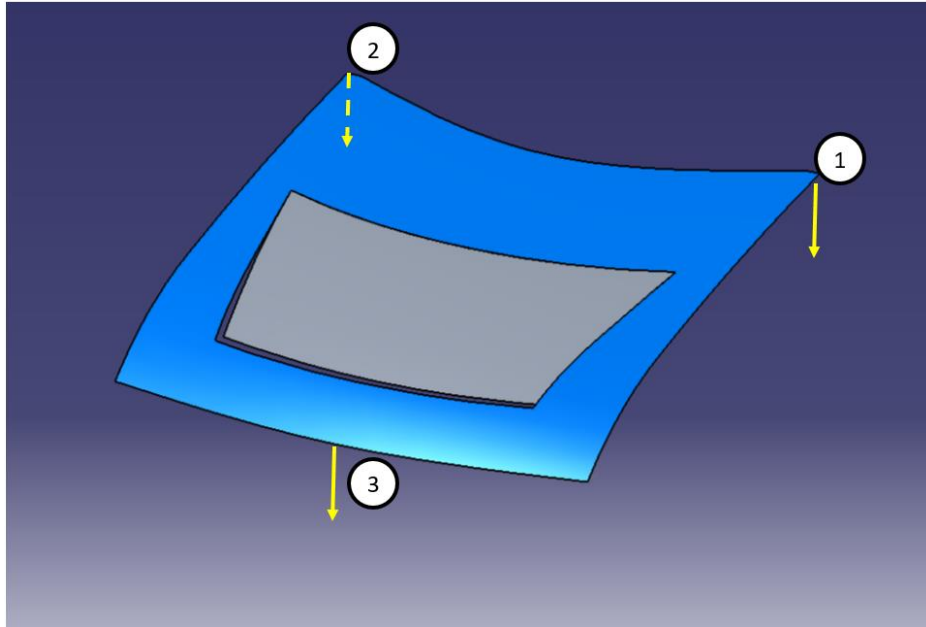


Figura 8 Secuencia de montaje del cofre.

Teniendo definida la secuencia, podemos comenzar a definir los 6 puntos de fijación para bloquear el movimiento de la pieza.

La carrocería tiene instalado un dispositivo muy importante para colocación de un cofre, a este se le conoce como bisagra.

La bisagra nos da la posibilidad de montar en todos los ejes y así bloquear todos los grados de libertad del cofre, el método de fijación es el siguientes (Figura 9 y 10).

- Dos atornillados en la bisagra derecha para bloquear el movimiento el Z.
- Un atornillado en la bisagra izquierda para bloquear el movimiento en Z.
- Un atornillado en la bisagra derecha para bloquear el movimiento en X.
- Un atornillado en la bisagra izquierda para bloquear el movimiento en X.
- Un bloqueo de contacto en la bisagra derecha para bloquear en Y.

Este método nos da los 6 puntos de fijación con la siguiente secuencia:

Z + Z + Z + X + X + Y

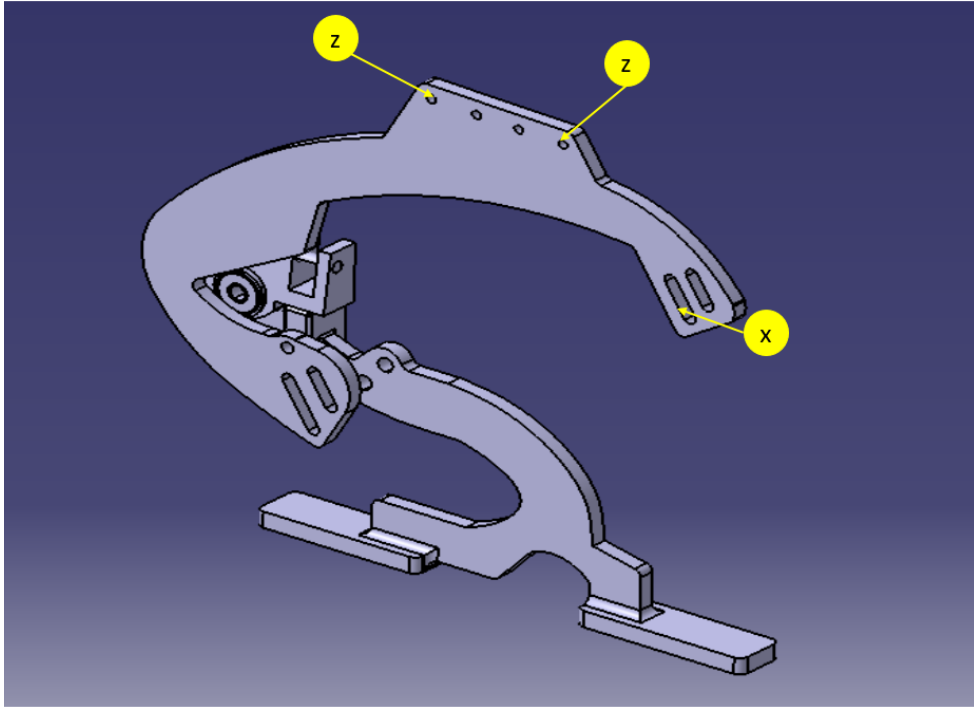


Figura 9 Puntos de fijación bisagra derecha.

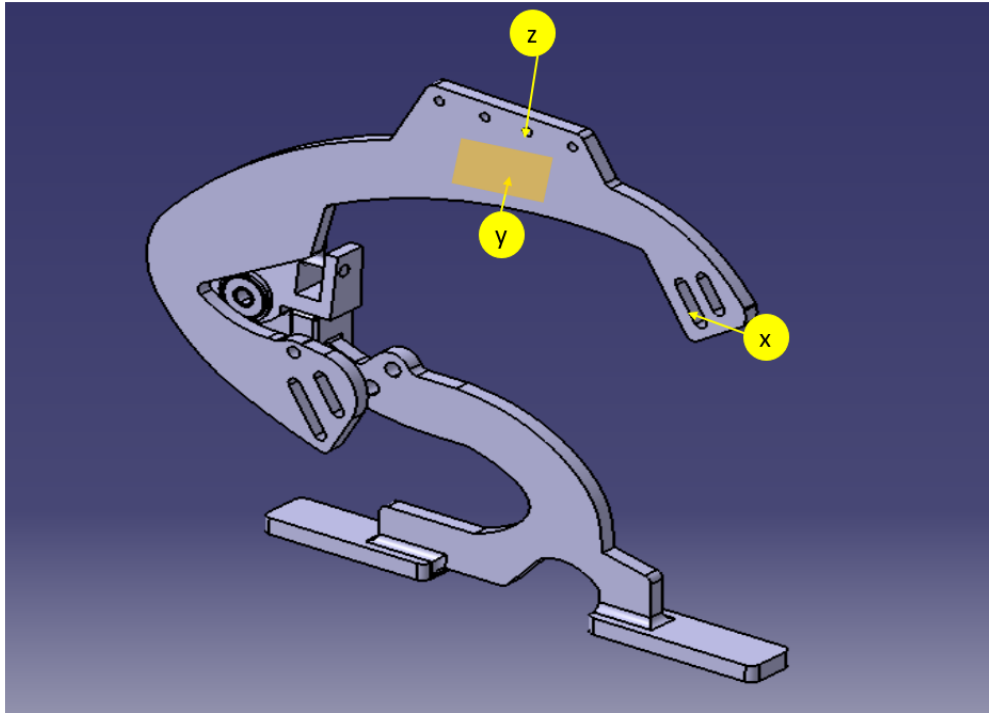


Figura 9 Puntos de fijación bisagra izquierda.

Teniendo ajustada la secuencia de montaje, definiremos las tolerancias geométricas en cada punto:

Los puntos en Z son atornillados, por lo tanto, se les definirá una tolerancia geométrica, que será el rango en el que podría variar la manufactura de estos barrenos y cómo afecta en el ensamble atornillado.

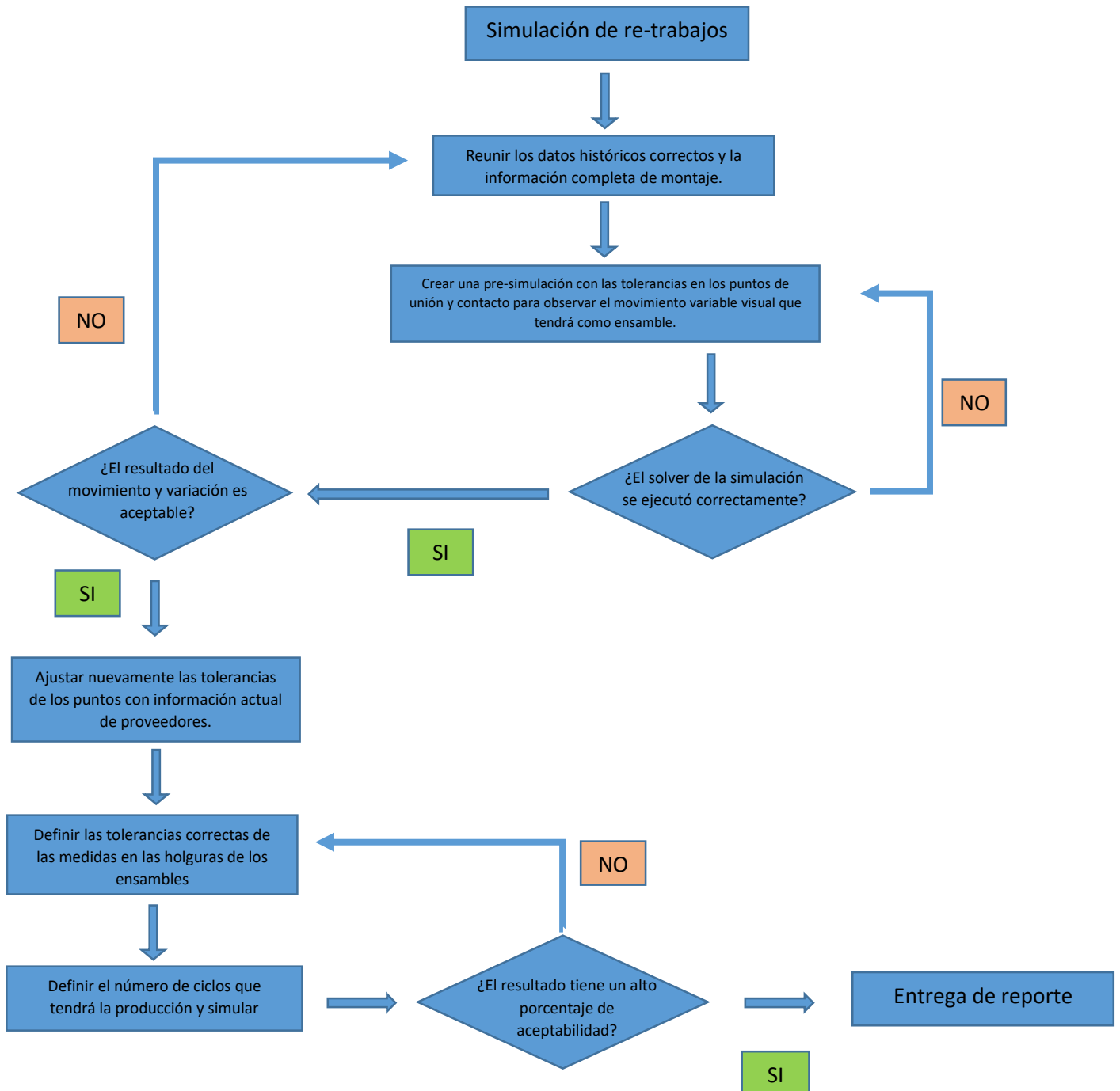
- Diámetro del barreno para $Z = 8.00 \text{ mm}$ con una tolerancia de $\pm 0.3 \text{ mm}$
- Los barrenos en X se tomarán de la misma manera.
- Diámetro del barreno para $X = 8.00 \text{ mm}$ con una tolerancia de $\pm 0.3 \text{ mm}$
- En la fijación en Y , al tratarse únicamente de un bloqueo por contacto de superficie, se tomará una tolerancia de $\pm 0.2 \text{ mm}$, que será la variación de la lámina en su manufactura.

Una vez terminado el pre-proceso, es decir, la definición de condiciones de frontera a las que someterá el modelo, será momento de iniciar el proceso de simulación.

Como dato importante, se ejecuta la simulación para un ciclo de 5 días de fabricación es decir un aproximado de 642 autos.

En esta parte, todo el trabajo es de la computadora, que mediante algoritmos numéricos generará un resultado y posteriormente nosotros interpretaremos.

2.2 Metodología.



Capítulo III

3.1 Resultados.

Al término de la simulación, automáticamente el programa nos arroja, una serie de graficas en donde por cada zona definida para medición (lado izquierdo, lado derecho y frontal), obtendremos una gráfica de aceptación, regido por la tolerancia inicial, estos son los resultados:

Medida de holgura en lado derecho del cofre:

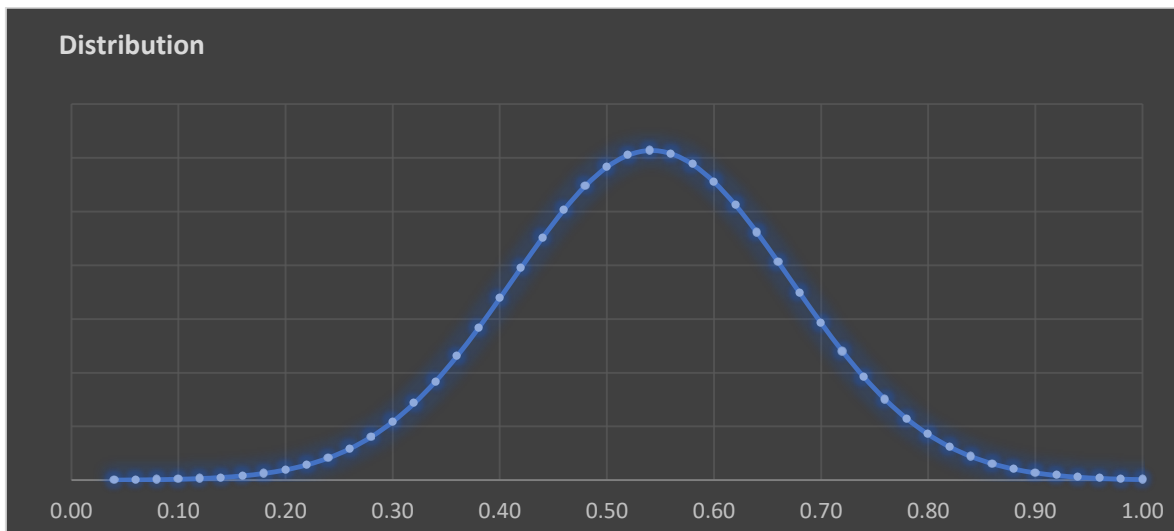


Figura 10 Distribución holgura derecha.

En este primer resultado tenemos la distribución de los resultados de las medidas. (Figura 10). Recordaremos que los límites de acuerdo a las tolerancias de aceptación de holgura son de 0.20 mm hasta 0.80 mm. Los valores que estén fuera de este rango se considerará como vehículo defectuoso en el armado y requerirá de un re trabajo para modificar el ajuste.

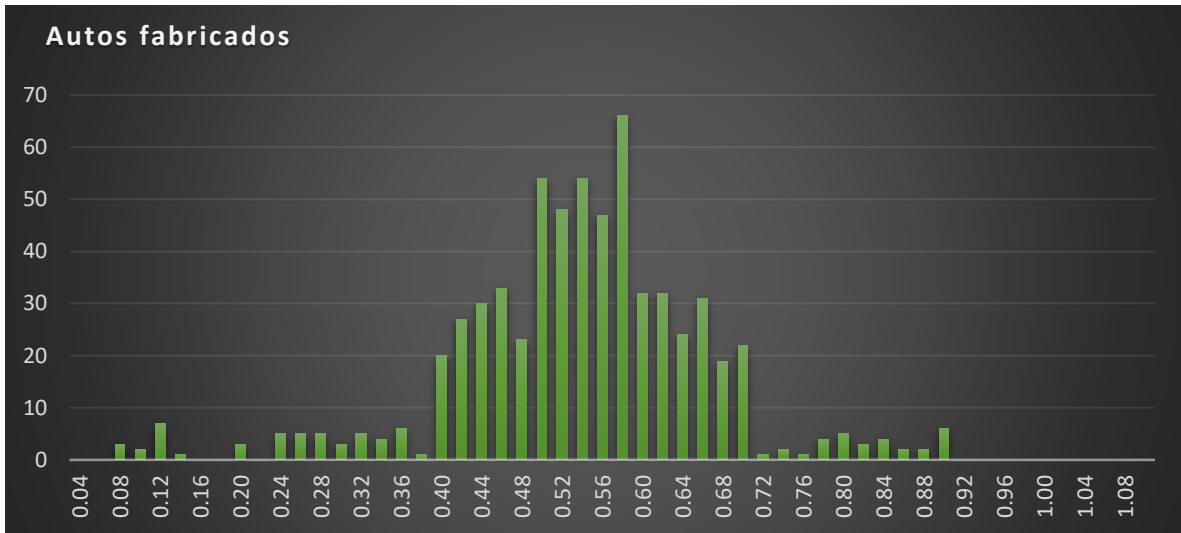


Figura 11 Distribución numérica de autos fabricados.

En esta grafica obtenemos, de igual forma, una distribución de las medidas, pero en este caso podemos observar el error que en un futuro pudiera representar la fabricación de autos. (Figura 11)

El resultado son 30 autos con error en la medida derecha del cofre, este valor representa el 4.6% del total de la fabricación semanal.

En cuanto a la medida frontal e izquierda estos fueron los resultados:

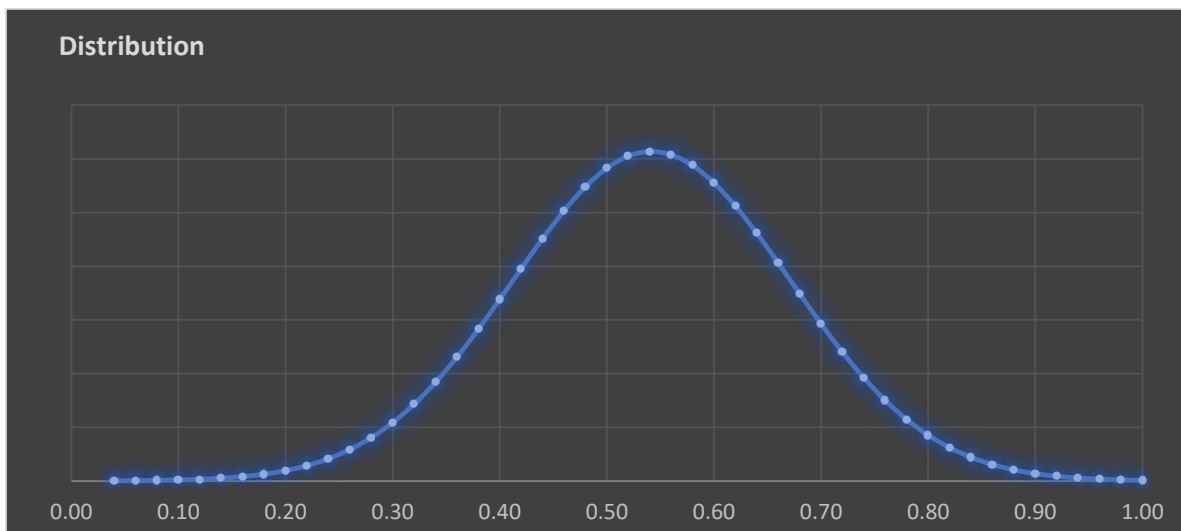


Figura 12 Distribución holgura frontal.

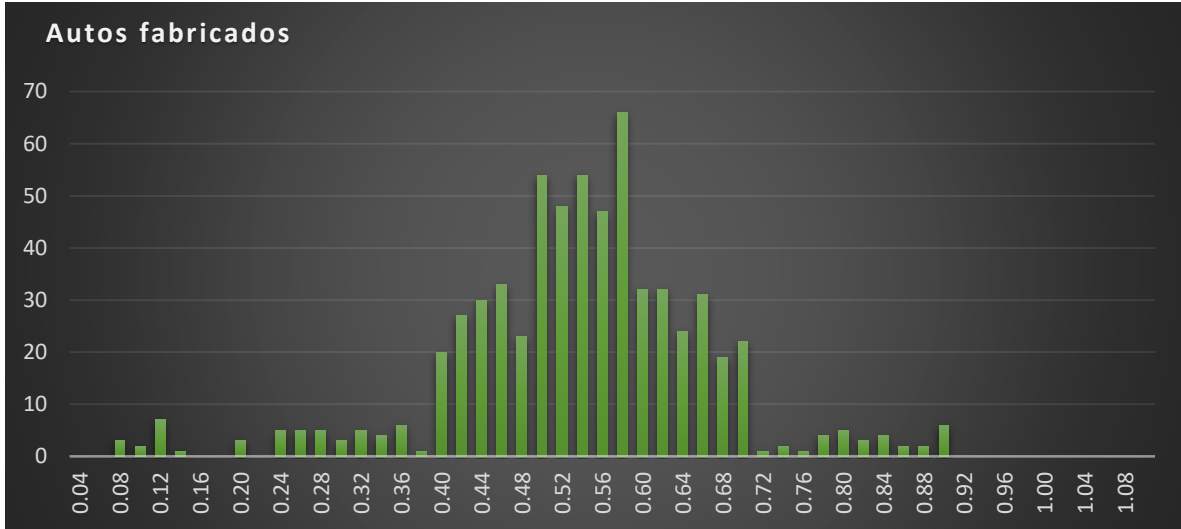


Figura 13 Distribución numérica de autos fabricados.

En el caso de la medida de la holgura frontal del cofre, se tiene un mejor resultado ya que solo se obtiene 2.8% de error.

Por último, se analiza el resultado de la medida de holgura para el lado izquierdo:

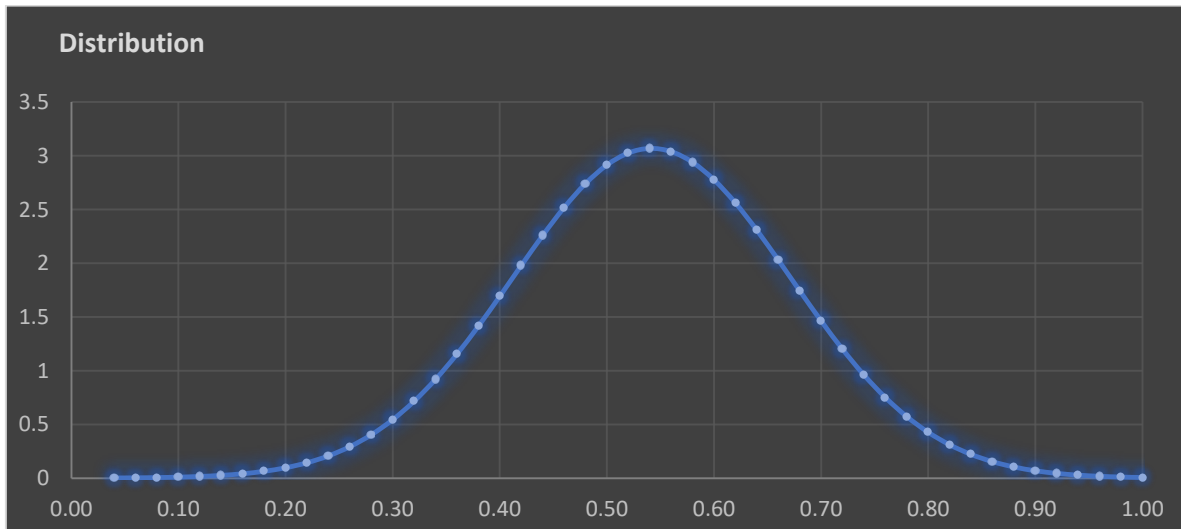


Figura 14 Distribución holgura izquierda.

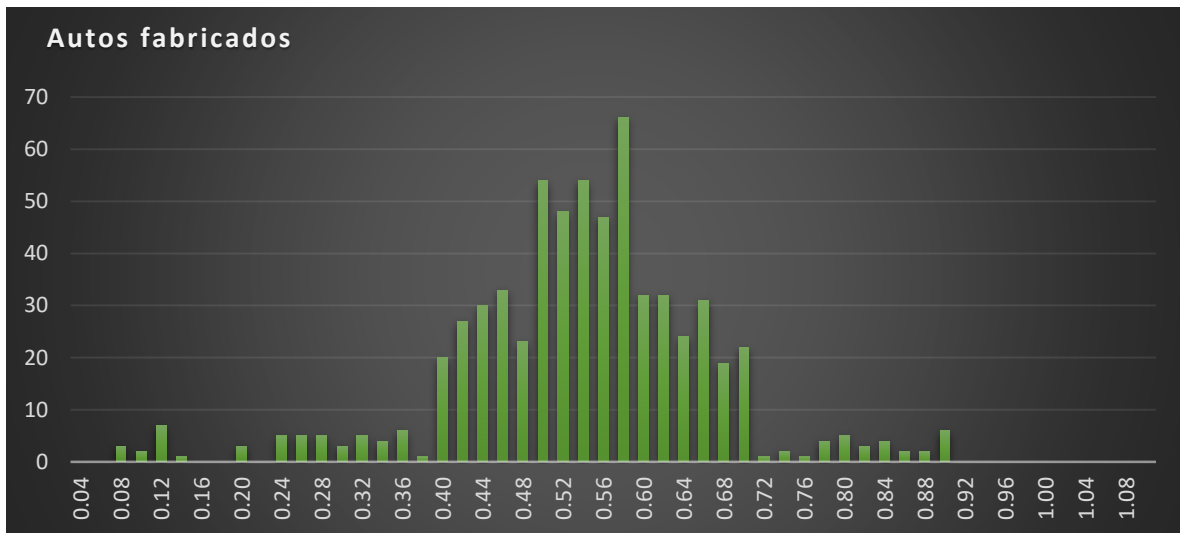


Figura 15 Distribución numérica de autos fabricados.

En este último resultado, se obtiene un porcentaje de error aceptable de 3.27%, se observa que el resultado en medidas es parecido al anterior, en la zona frontal.

Los datos de cada distribución fueron los siguientes:

	Holgura Derecha	Holgura Frontal	Holgura Izquierda
Media	0.54182243	0.544392523	0.54376947
Mediana	0.55	0.55	0.55
Moda	0.59	0.59	0.59
Asimetría	-0.520809655	-0.356369986	-0.380726079
Curtosis	1.999806637	1.579523506	1.885738869
Desviación estándar	0.129989606	0.119226662	0.12301388
Varianza	0.016897298	0.014214997	0.015132415

Tabla 1 Datos estadísticos.

La distribución en los tres casos se vio sesgada a la derecha, es decir, con una asimetría negativa, esto se debe a que bajo este concepto de montaje y su respectiva suma de tolerancias acumuladas, tenemos una ligera tendencia a una cerrada holgura, es decir, en su mayoría, este vehículo tendrá un poco más reducidas las holguras, pero respetando la tolerancia.

El tipo de distribución dado el coeficiente de curtosis en los tres casos es leptocúrtica.

Al tratarse de un caso de distribución leptocúrtica, entendemos que los datos están más cercanos a la medida, este es un excelente resultado, dado que se busca tener la misma medida de holgura para todas las corridas, además que se respeta el diseño original del desarrollo.

En conclusión, podemos diagnosticar un buen concepto de montaje. Aunque se tienen errores, lo consideramos una cifra aceptable para estos niveles de producción.

Como se pudo analizar, encontramos que en el lado derecho tenemos el mayor porcentaje de error con 4.6%, esto se debe a que la desviación de la pieza como ensamble se está descontrolando en mayor concentración en el lado derecho.

Al no ser un porcentaje tan distante, comparando al de las otras medidas, se puede ajustar la tolerancia del diseño de las bisagras, para tener un mayor control y disminuir ese porcentaje.

Por ultimo podemos pronosticar un problema de re trabajos en producción de 18 hasta 30 autos por cada 642 autos construidos.

Completando la información del resultado de simulación, en este trabajo se expone un ejemplo de la interfaz real de resultados en el programa:

Capítulo IV

4.1 Conclusiones.

Como se platicó al inicio de este trabajo, la industria está creciendo en tecnología y ya no solo basta con vender el mejor automóvil si no también contar con el mejor proceso para llegar a ello.

Este trabajo tiene áreas de oportunidad para llegar a ser una herramienta indispensable en el futuro. Para ello es importante seguir conociendo el comportamiento de cada uno de los elementos que se ven involucrados en la construcción de un vehículo.

El potencial que tiene la simulación es significativo para el avance en los procesos de una industria, la inversión es mínima a comparación del ahorro que obtendremos por un pronóstico.

El siguiente paso esta en relacionarse con los desarrolladores de estas herramientas de simulación y obtener el conocimiento mediante capacitaciones y cursos.

Estamos ante una nueva transformación empresarial y las industrias debemos seguir creciendo y adaptándonos a los cambios. Estas nuevas herramientas hay que adoptarlas con compromiso, para lograr un firme desarrollo. Igualmente, por parte de la cultura interna de cualquier empresa, es una oportunidad para que todos innovemos en áreas que beneficien a todos como empresa.

4.2 Referencias.

González, C. A., Chaparro, I. M., & Ramírez, J. (2018). Importancia De La Simulación En Procesos Productivos. *Alineación De Los Procedimientos De Calidad De La Iso 9001: 2008 A La Iso 9001: 2015 Del Instituto Tecnológico D E*, 24.

Hernandez, F. S. (2004). Propuesta para el proceso de ensamble de motor con caja de transmisión para el modelo de automóvil Volkswagen A5.

Méndez, R. M., Vázquez, J. A. M., De La Garza, M. N., & Pomposo, S. O. (2012). El Inventario De Bar-On En El Departamento De Asientos De Desarrollo Técnico De Volkswagen De México. *Issn 1931-0285 Cd Issn 1941-9589 Online*, 1048.

Millán Tinoco, V. (2013). Aplicación del control estadístico en las líneas de producción de Volkswagen.

Azofeifa, C. E. (2004). Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. *Tecnología en Marcha*, 17(1), 97-109.

Rosas, V. R. (2010). Definición de tolerancias dimensionales en ensambles móviles a partir de índices de sensibilidad. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 1(12), 77-82.

Ríos, A. O. T., Molina, J., Baena, N. A., Gómez, M., Saldaña, N. N., & Hernandez, A. L. P. (2016). Desarrollo de herramienta para identificar el impacto del cambio de tolerancias y dimensiones en un ensamble. *Cultura Científica y Tecnológica*, (56)

José Mauricio Vallarta Novo. Procedimiento De Análisis De Ensamble De Tres Bidas, (2009)