

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado



*Optimización del diseño de un bracket plástico para
sensores de punto ciego montado en la fascia trasera de un
vehículo tipo SUV del segmento D*

TESIS QUE PRESENTA

Ing. Luis Felipe Esparza Hernández
Asesor: M. en C. Iván Juárez Sosa

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Toluca, Estado de México
junio, 2021

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Querétaro, Querétaro, 19 de marzo del 2021.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del Ingeniero Luis Felipe Esparza Hernández, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Optimización del diseño de un bracket plástico para sensores de punto ciego montado en la fascia trasera de un vehículo tipo SUV del segmento D" autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradecemos la atención prestada.

Firma

M. en C. Iván Juárez Sosa
Asesor Académico

Firma

Grado, nombre completo
Asesor en Planta



CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Pachuca, Hidalgo, 31 de mayo del 2021.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno **Luis Felipe Esparza Hernández**, cuyo título es:

"Optimización del diseño de un bracket plástico para sensores de punto ciego montado en la fascia trasera de un vehículo tipo SUV del segmento D"

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

M.M.A. Jorge Adan Romero Guerrero

Manzana 5, Lote 1, Pachuca Ciudad del Conocimiento y la Cultura, CP. 42162, San Agustín Tlaxiaca, Hgo., México.
Tel: +52 (442) 211 26 00 ext. 2900 www.ciateq.mx



DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi esposa Mariana, eres parte fundamental en mi vida y de este trabajo de grado. Eres la persona que siempre soñé y con la cual quiero compartir el resto de la vida. Asimismo, estuviste siempre junto a mí, para enfrentar las adversidades que se presentaron en este camino, por siempre impulsarme a ser mejor y con ello lograr con éxito este trabajo.

También dedico mi trabajo a mi querida madre, hermano y a mi familia Román Casas que como gran familia siempre me apoyan y contribuyen en mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al convenio que existe entre General Motors de México y CIATEQ por oportunidad brindada de cursar la Maestría en Manufactura Avanzada en las instalaciones de la Ciudad de Toluca y hacer uso de los recursos necesarios para completar con éxito cada una de las actividades planteadas; a mi tutor M. en C. Iván Juárez Sosa, por sus recomendaciones y enseñanzas durante el desarrollo del presente proyecto.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Enrique Rueda, gerente del área de Body & Exteriors en el Centro Regional de Ingeniería de General Motors en Toluca (GM TREC) y a Javier Romero Contreras diseñador de la misma área, por todo su soporte técnico, guía y tiempo dedicado para obtener los resultados que beneficiaron a General Motors.

Por último y no por ello menos importante quiero agradecer al CONACYT por haberme becado durante el periodo de estudio.

* * *

RESUMEN

En esta tesis se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ. Los sensores de punto ciego sirven para ayudar al conductor a evaluar la viabilidad de cambiar de carril mientras se conduce. Es importante implementar diseños eficientes de brackets plásticos para sensores de punto ciego acorde al segmento del vehículo. Por ello, se planteó el siguiente objetivo: Optimizar el diseño inicial de un bracket plástico para sensores de punto ciego reduciendo el peso y el desplazamiento, sin exceder el límite permisible de 19.1 MPa en von mises stress a un menor costo en vehículos SUV del segmento D. Resultados: el patrón geométrico utilizado en el bracket plástico permitió reducir el espesor del bracket y el desplazamiento; logrando un diseño de bracket más ligero al diseño inicial o "convencional", utilizando menos resina plástica sin exceder el límite de von mises stress.

Palabras clave: Bracket, Sensor, Punto ciego, Desplazamiento, Von mises stress.

ABSTRACT

This thesis presents the results of an investigation conducted at the CIATEQ Advanced Technology Center. Blind spot sensors are used to help the driver assess the feasibility of changing lanes while driving. It is important to implement efficient designs of plastic brackets for blind spot sensors according to the vehicle segment. Therefore, the following objective was set: Optimize the initial design of a plastic bracket for blind spot sensors reducing weight and displacement, without exceeding the permissible limit of 19.1 MPa in von mises stress at a lower cost in SUV vehicles of the segment D. Results: the geometric pattern used in the plastic bracket allowed to reduce the thickness of the bracket and the displacement; achieving a lighter bracket design than the initial or "conventional" design, using less plastic resin without exceeding the von mises stress limit.

Keywords: Bracket, Sensor, Blind spot, Displacement, Von mises stress.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
GLOSARIO	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN	7
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. HIPÓTESIS.....	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. TEORÍAS DE FALLA BAJO CARGAS ESTÁTICAS.....	10
2.2. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN.....	10
2.3. ÁNGULO DE DESMOLDEO - SLOPE ANALYSIS.....	11
3. PROCEDIMIENTO.....	13
3.1. PROPUESTAS DE DISEÑO	15
3.1.1. Primer diseño modificado	15
3.1.2. Segundo diseño modificado	16
3.1.3. Tercer diseño modificado	16
3.1.4. Cuarto diseño modificado.....	17
3.1.5. Quinto diseño modificado	18
3.1.6. Sexto diseño modificado	18
3.2. ANÁLISIS CAE – ELEMENTO FINITO	19
3.3. OPTIMIZACIÓN – MATRIZ DE DECISIÓN	23
4. RESULTADOS.....	25
4.1. ANÁLISIS CAE DE DESPLAZAMIENTO Y VON MISES STRESS.....	25
4.2. ANÁLISIS DE DRAFT - SLOPE ANALYSIS.....	26

4.3. DISEÑO FINAL – ÓPTIMO	26
4.4. DISCUSIÓN	27
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	29
APORTACIÓN DE LA TESIS	31
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS	32
REFERENCIAS	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de punto ciego del vehículo.....	1
Figura 2. Diseño de bracket plástico para sensor de punto ciego.....	3
Figura 3. Ensamble de Fascia Trasera SUV Segmento D.....	5
Figura 4. Bracket de sensor de punto ciego.....	6
Figura 5. Puntos de sujeción del sensor de punto ciego.....	7
Figura 6. Teoría de la energía de distorsión.....	11
Figura 7. Ángulo de desmoldeo.....	12
Figura 8. División de las zonas de trabajo del diseño del bracket plástico.....	15
Figura 9. 1er. Diseño modificado.....	15
Figura 10. 2do. Diseño modificado.....	16
Figura 11. 3er. Diseño modificado.....	17
Figura 12. 4to. Diseño modificado.....	17
Figura 13. 5to. Diseño modificado.....	18
Figura 14. 6to. Diseño modificado.....	19
Figura 15. Parámetros Iniciales de simulación.....	20
Figura 16. Malla definida para las simulaciones.....	21
Figura 17. Malla para simulación a 1mm.....	21
Figura 18. Puntos de carga aplicada.....	22
Figura 19. Restricciones fijas.....	23
Figura 20. Análisis CAE de desplazamiento.....	25
Figura 21. Análisis CAE de von mises stress.....	25
Figura 22. Slope analysis.....	26
Figura 23. Diseño final.....	26
Figura 24. Análisis de rigidez a nivel ensamble final de una fascia.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de medidas funcionales.....	14
Tabla 2. Método de matriz de decisión.....	24
Tabla 3. Tabla comparativa del diseño inicial vs el diseño final.....	27
Tabla 4. Requerimientos de frecuencia y rigidez a nivel ensamble final de una fascia	29

GLOSARIO

CAD: Computer Aided Design, que en español se traduce como Diseño Asistido por Ordenador. Se refiere a las herramientas que ayudan a los ingenieros en el diseño de partes, permitiendo crear cualquier objeto gráfico usando la computadora.

CAE: Computer Aided Engineering, que en español se traduce como Ingeniería Asistida por Ordenador. El CAE permite a los ingenieros simular en computadora los modelos que se piensan poner en práctica con el objetivo de obtener un resultado preliminar de validez sin incurrir en costos de fabricación.

MPa: El megapascal, se utiliza para definir la tensión plástica permisible en el bracket de sensor de punto ciego.

SUV: Sport Utility Vehicle que en español se traduce como Vehículo Deportivo Utilitario.

TPO: Poliolefina termoplástica, material utilizado en el diseño del bracket plástico de sensor de punto ciego.

Von mises stress: Se refiere a la teoría de la energía de distorsión propuesta por R. Edler von Mises, que en este trabajo se utilizó como análisis que nos indicó las tensiones en el material plástico del bracket del sensor de punto ciego.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Al conducir por la autopista, la decisión de cambiar de carril es fundamental. Los conductores generalmente prefieren mantener su velocidad en la carretera. Por lo tanto, deben cambiar del carril actual por otro que se encuentre vacío. Sin embargo, esto puede resultar en un accidente de tráfico fatal, cuando el carril al que se quiere cambiar no está vacío (Bin-Feng et al., 2012).

En el momento que un conductor desea realizar la maniobra de cambiar de carril con su vehículo y no cuenta con la seguridad de realizar tal maniobra utilizando únicamente los espejos retrovisores laterales y sin tener que voltear la cabeza para mirar directamente al espacio del carril adyacente, suele haber algún error en cuanto a si hay o no otro vehículo en el carril adyacente. Esto recibe el nombre de "Puntos ciegos" que se da a los lados de los vehículos y según su tamaño puede variar de acuerdo con el tipo de vehículo y segmento al que este pertenezca; estos existen debido a las limitaciones de la vista trasera y espejos retrovisores laterales (Figura 1).

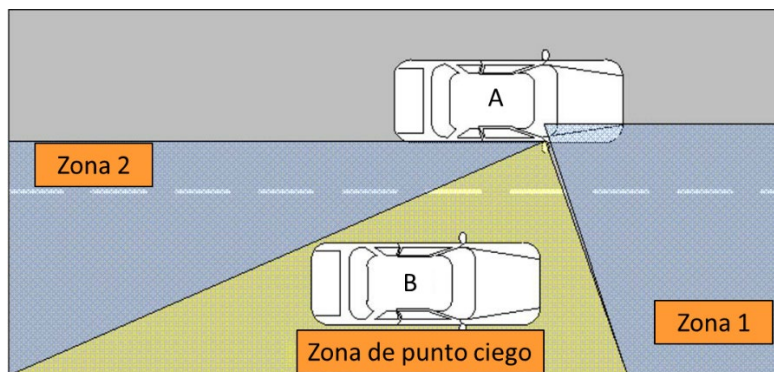


Figura 1. Zona de punto ciego del vehículo.
La zona entre el campo visual del vehículo A (zona 1) y el campo de visión del espejo retrovisor lateral (zona 2) es el llamado "Punto ciego".
Modificada (1).

Para superar estas limitaciones de visibilidad los conductores se ven obligados en muchas situaciones a quitar su atención de la carretera, es decir, tienen que girar la cabeza y comprobar si el carril al que desean cambiarse está despejado de algún otro vehículo.

En situaciones de tráfico pesado, donde el conductor no debe apartar la vista del frente se enfatiza las limitaciones del uso de los espejos retrovisores laterales. Otro factor que limita la visibilidad de un espejo retrovisor lateral es la lluvia durante la noche y el espejo convexo no permite obtener una imagen precisa sobre la distancia que existe entre un vehículo del carril y otro; lo cual hace que su nivel de confianza sea puesto en duda.

Los sensores de punto ciego que en General Motors son conocidos por sus siglas en inglés "SBZA" (side blind zone alert), fueron desarrollados para ayudar al conductor a evaluar la viabilidad de cambiar de carril mientras se conduce.

El sensor y su ubicación de montaje están diseñados para cubrir los "Puntos ciegos" de la plataforma del vehículo. El sensor de punto ciego está montado en la parte lateral del vehículo, tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo y cuya zona de detección se encuentra limitada a detectar ambos lados del carril hacia arriba y abajo (Reed, 1998).

Por ello es muy importante que el montaje del sensor de punto ciego sea asegurado de la mejor manera al vehículo y este se realiza a través del uso de un bracket plástico que fija la posición y evita cualquier movimiento que pueda sufrir el sensor en cualquier situación de manejo.

Ya que el uso de sensores de puntos ciegos los podemos encontrar actualmente en vehículos de una categoría media-alta su uso se torna cada vez más común, por ello para General Motors es de primordial interés implementar diseños de bracket plásticos para sensores de punto ciego que sean eficientes para cada vehículo que planea poner en producción.

Actualmente contamos con el diseño de un bracket plástico que será utilizado para el montaje o instalación de sensores de punto ciego en la fascia plástica trasera de un vehículo del segmento D conocido comúnmente como SUV, clase de vehículo utilitario en la que el problema del punto ciego es mucho más elevado (Qidwai, 2009).

De acuerdo con un comité interno de General Motors se determinó que el diseño actual del bracket plástico no es suficiente óptimo para ser utilizado en el vehículo del segmento D (SUV) que para el año 2024 planea producirse, porque rebasa los estándares internos necesarios en el diseño del bracket plástico para sensores de punto ciego. El diseño del bracket plástico para sensor de punto ciego que actualmente se utiliza (Figura 2), tiene un peso de 75 gr con un espesor de 3.2 mm, desplazamiento de 1.60 mm y von mises stress de 13.24 MPa, siendo el espesor del bracket un factor importante en el incremento del peso (Suhir, 1995). El material utilizado en el diseño del bracket es poliolefina termoplástica o comúnmente conocido por sus siglas en inglés como TPO (Aguirre, Avalos, & Téllez, 2012).

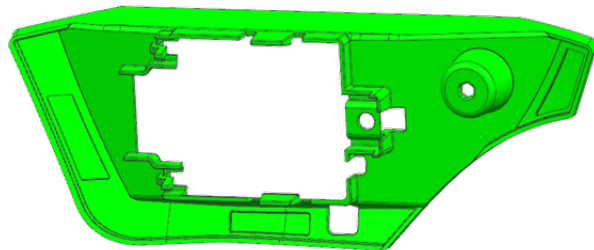


Figura 2. Diseño de bracket plástico para sensor de punto ciego. Muestra el diseño inicial del bracket plástico para el sensor de punto ciego de un SUV del segmento D.

Fuente: elaboración propia.

Estos datos obtenidos del diseño inicial del bracket fueron obtenidos mediante los análisis CAE realizados con el software Unigraphics NX al igual que para el diseño inicial del bracket plástico de sensores de punto ciego se utilizó el software Unigraphics NX y será el mismo que se utilizara para el diseño optimizado y los análisis CAE; este software es el que actualmente se utiliza en General Motors, sin

embargo, cabe resaltar que existen otros softwares de diseño como Catia, SolidWorks entre otros.

Los análisis CAE son de primordial importancia al momento de mejorar los diseños y características de cada componente y/o parte que se diseña con el uso de herramientas CAD, desde bracket plásticos hasta bracket metálicos, así como componentes que se encargan de reducir las vibraciones y que aíslan el ruido del entorno donde circula el vehículo (Su, 2008).

Hoy en día, los métodos de optimización desarrollados para problemas de ingeniería son integrados en distintos softwares CAD/CAE conocidos utilizados y dividiendo el tamaño, forma y categorías de optimización (Morales, Alexandre, & Macedo, 2013).

La optimización estructural es un método de optimización del diseño de la distribución del material dentro de un área específica, bajo las restricciones dadas para lograr un cierto índice de rendimiento, como la disminución del peso. Según los diferentes requisitos, la optimización estructural se puede dividir en: optimización de topología, optimización de tamaño, optimización de forma y optimización de topografía (Xiao, Yang, Wang, Song, & Bai, 2018).

El proceso de optimización de topología elimina y agrega material en el área de diseño mientras intenta alcanzar un diseño óptimo. La optimización del tamaño modifica el grosor del área de diseño cambiando el espesor. La optimización de forma modifica la superficie del área de diseño moviendo los nodos de la superficie. La optimización de la topografía mueve los nodos de los elementos que forman la cubierta o carcasa del área de diseño en la dirección normal de la cubierta. Entre estos métodos, la optimización de la topología es el más adecuado para obtener diseños bajos en peso al tiempo que se reduce el peso manteniendo las propiedades mecánicas (Xiao et al., 2018).

Es importante considerar que para el diseño modificado del bracket plástico se deben utilizar los requerimientos específicos y dimensiones del sensor, así como la forma geométrica de la fascia trasera que está determinada por el diseño del vehículo.

Este bracket plástico se instala por la cara B de la fascia trasera del vehículo y se monta en lado izquierdo y derecho mediante soldadura ultrasónica que permite la unión del plástico de la fascia al bracket asegurando una óptima retención (Figura 3) (Han, 1974)(Berleyoung, 1970).

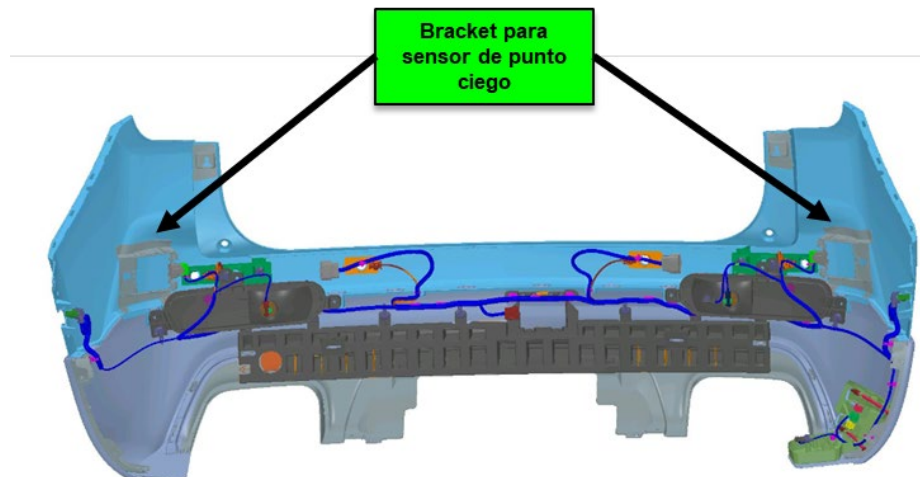


Figura 3. Ensamble de Fascia Trasera SUV Segmento D.
Muestra la localización de los brackets de sensores de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

Como bien se mencionó el bracket plástico es utilizado como pieza base de montaje para el sensor de punto ciego, es decir el diseño del bracket plástico de sensor de punto ciego cuenta con 3 puntos de sujeción que le permiten al sensor de punto ciego poder ser fijado al bracket plástico y asegurar la posición de este y evitar cualquier movimiento (Buckley & Ford, 2008).

Existen actualmente un documento interno de uso exclusivo de General Motors, basado en los requerimientos del sensor que sirve de referencia para el diseño de estos brackets plásticos con la finalidad de sujetar y cubrir el cono o zona de lectura

de los sensores de punto ciego (Reed, 1998). Sin embargo, este documento interno te permite utilizar formas, figuras o patrones que no se encuentran definidas dentro del mismo, para ser implementadas en la estructura y superficie; asegurando la optimización en el diseño de un bracket plástico. El bracket plástico debe contar con un orificio de drenaje que permita que el agua que pudiese entrar del exterior por cualquier razón no se quede dentro del bracket plástico y por consiguiente no afecte el funcionamiento del sensor de punto ciego (Yamasaki, Shen, & Fraley, 2014). El orificio de drenaje que tiene el diseño inicial no se modificara en dimensiones ni en ninguna otra característica ya que cumple con las dimensiones mínimas requeridas para cumplir con su función.

En General Motors existen requerimientos internos conocidos como "BP-BFG" que por sus siglas en ingles se define como buenas prácticas en el sistema de barras de Impacto, fascias y parillas. A continuación, se describen los requerimientos necesarios del BP BFG, que son específicos para la unión y falla entre el bracket plástico de sensores de punto ciego y la fascia trasera del vehículo SUV:

1. Definir la posición de los 3 puntos de soldadura ultrasónica (Figura 4).
2. Utilizar una fuerza de 50N para simular una condición de uso de fuerza para el montaje del sensor de punto ciego al bracket plástico.
3. Aplicar la fuerza de 50N de montaje dividida en los 3 puntos de sujeción del sensor de punto ciego en una dirección normal (Figura 5).

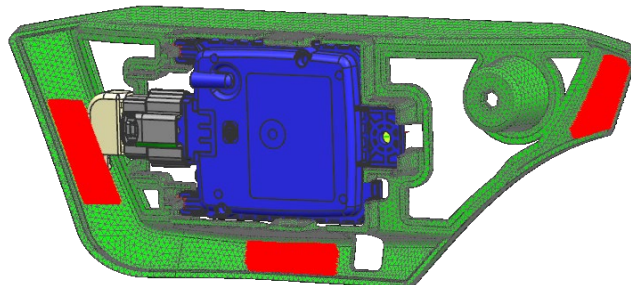


Figura 4. Bracket de sensor de punto ciego.
Describe los 3 puntos de soldadura ultrasónica definidos para la unión del bracket plástico a la fascia trasera del SUV.
Fuente: elaboración propia.

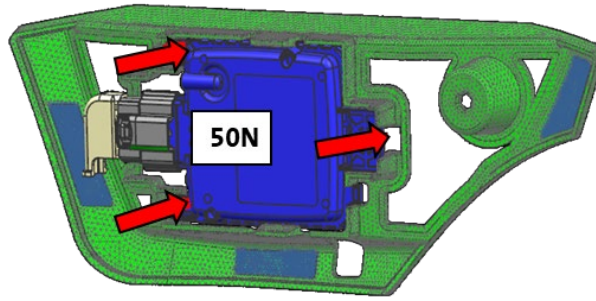


Figura 5. Puntos de sujeción del sensor de punto ciego.
Describe la fuerza dividida entre los 3 puntos de sujeción del sensor de punto ciego, simulando la instalación al bracket plástico.
Fuente: elaboración propia.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el área de Ingeniería de Body & Exteriors de GM Toluca se tenía un diseño de bracket plástico no lo suficientemente óptimo para ser utilizado en el vehículo del segmento D (SUV) que planea ser producido para el año 2024, porque rebasa los estándares internos necesarios en el diseño del bracket plástico para sensores de punto ciego. El diseño del bracket plástico para sensor de punto ciego que se ilustra anteriormente en la Figura 2, es muy pesado para su función, que es la de mantener fijo y en posición al sensor de punto ciego y en gran medida este exceso de peso es debido al espesor de material utilizado, siendo esta una gran área de oportunidad para mejorar sin comprometer el rendimiento estructural del bracket.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Con este trabajo se pretende demostrar que aplicando un patrón definido sobre el diseño inicial del bracket podremos reducir el espesor inicial de 3.2mm y mantener el desempeño estructural dado por su desplazamiento y von mises stress, logrando la reducción del peso del bracket en hasta un 15%. Lo cual se traduce en un diseño más eficiente teniendo un bracket plástico que utilice menor cantidad de resina para su fabricación y que de igual forma se representa un menor impacto ambiental. Esta optimización de diseño representara un beneficio económico para General Motors.

Si implementamos los cambios de diseño en el diseño inicial del bracket plástico para sensores de punto ciego este no afectara la funcionalidad del bracket ni del sensor en ningún aspecto negativo; es decir evitara cualquier posible reclamo de garantía del cliente final por mal funcionamiento de los sensores de punto ciego que pudiese ser causado por el deficiente diseño del bracket plástico, ya que este sirve de punto de fijación y protección del sensor.

Debido a que el vehículo del segmento D que se tiene como objetivo para utilizar el bracket plástico optimo aún no se encuentra en producción; al realizar este cambio de diseño de forma anticipada evitamos que un bracket plástico de sensor de punto ciego ineficiente y con uso de material innecesario sea puesto en producción.

Con este trabajo complementaremos uno de los requerimientos internos de General Motors ya que se establecerá un patrón de diseño recomendado para reducir el peso y desplazamiento de un bracket plástico para sensores de punto ciego; que podrá ser utilizado como referencia para futuros diseños y aplicarse en otros brackets plásticos para sensores de punto ciego que sean utilizados en algún otro SUV incluso diferentes al segmento D.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Optimizar el diseño inicial de un bracket plástico para sensores de punto ciego reduciendo el peso y el desplazamiento, sin exceder el límite plástico permisible del material TPO de 19.1 MPa en von mises stress a un menor costo en vehículos SUV del segmento D.

1.4.2. Objetivos específicos

- 1) Reducir hasta un 15% del peso total del diseño inicial de un bracket plástico para sensores de punto ciego utilizando el material base.

- 2) Implementar un patrón de ribbing en el nuevo diseño del bracket, para reducir el desplazamiento (mm), sin exceder el límite permisible de 19.1 MPa en von mises stress.
- 3) Realizar análisis CAE (método del elemento finito) para seleccionar el diseño optimo del bracket plástico.
- 4) Elaborar mediante manufactura aditiva un prototipo demostrativo del diseño optimizado del bracket plástico para sensores de punto ciego.

1.5. HIPÓTESIS

- 1) La optimización del diseño inicial mediante el análisis del método del elemento finito del bracket para sensores de punto ciego reducirá su desplazamiento permitido de 2 mm y su peso hasta un 15%, sin exceder el límite plástico del material TPO de 19.1 MPa en von mises stress, a un menor costo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. TEORÍAS DE FALLA BAJO CARGAS ESTÁTICAS

La falla es la pérdida de función de un elemento ya sea por deformación (fluencia) o por la separación de sus partes (fractura). Los mecanismos de falla dependen de la estructura microscópica del material y de la forma de sus enlaces atómicos. Para predecir la falla un material bajo cargas estáticas (carga estática a aquella que no varía su magnitud ni dirección en el tiempo) y con ello tener diseños de componentes confiables, se han desarrollado varias teorías para grupos de materiales, basándose en observaciones experimentales (De Castro, 2014).

2.2. TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN

Propuesta por R. Edler von Mises al observar que los materiales bajo esfuerzos hidrostáticos soportan esfuerzos mucho mayores que sus esfuerzos de fluencia bajo otros estados de carga. La teoría establece:

“La falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia”.

(13)

La falla se presentará cuando el punto determinado por los esfuerzos σ^1 y σ^3 se encuentra fuera del área sombreada representada en la Gráfica 1. La línea remarcada en negro representa los puntos donde se presentará la falla de acuerdo con R. von Mises.

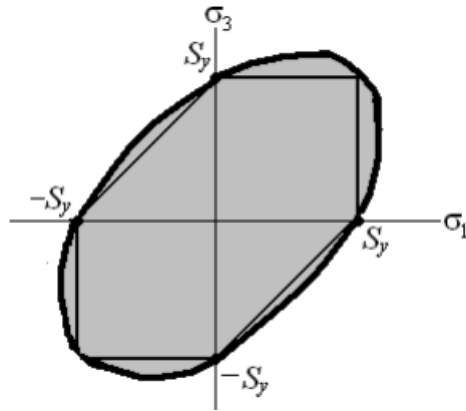


Figura 6. Teoría de la energía de distorsión.
Representa de manera gráfica la teoría de distorsión (13).

O bien como lo representa la siguiente formula:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Siendo la falla

$$\sigma' = S_y$$

2.3. ÁNGULO DE DESMOLDEO - SLOPE ANALYSIS

El draft o ángulo de desmoldeo es un requisito estándar para cualquier tipo de molde de inyección para garantizar una fácil liberación de los componentes del herramental. El draft es un cambio en las dimensiones de la herramienta o un ángulo en una dirección paralela al movimiento de la herramienta, como se ilustra en la Figura 7. El draft debe especificarse para que sea tan grande como lo permita el diseño; sin embargo, se puede tener un mínimo de draft ya que algunos aglutinantes pueden actuar como lubricantes. Como recomendación nominal, deben especificarse 0,5 a 2 grados de draft (Heaney, 2019).

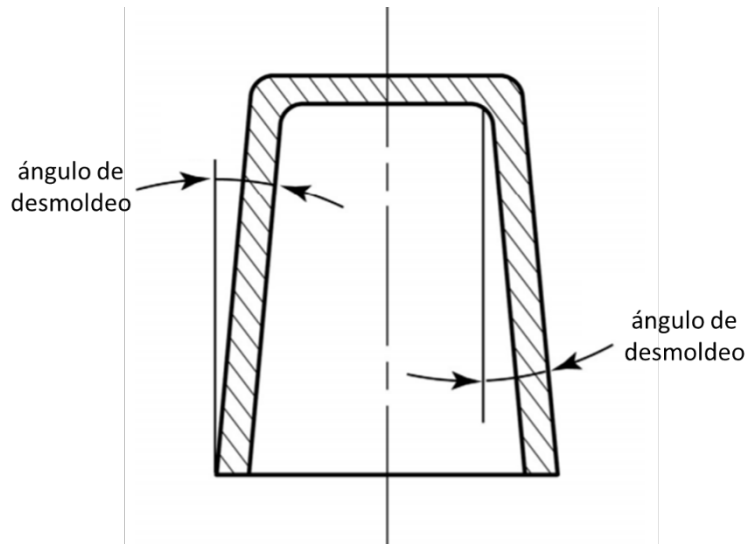


Figura 7. Ángulo de desmoldeo.
Imagen modificada que ilustra el ángulo de desmoldeo interior y exterior para la liberación de una parte plástica (14).

Hay que considerar también que no se puede aplicar un ángulo de desmoldeo único a todos los diseños de piezas. Entran en juego factores como el grosor de la pared, la selección del material, la expulsión, los índices de contracción, el acabado, es decir, si lleva o no textura, la profundidad de la pared y las capacidades de fabricación.

De acuerdo con los requerimientos internos de GM o buenas prácticas, hay algunas reglas que se deben seguir para asegurar el desmoldeo de la parte.

Una regla general es 1 grado de desmoldeo por cada pulgada de profundidad de la cavidad, pero eso puede cambiar con los factores antes mencionados. He aquí algunas pautas generales a seguir:

- Usar 0.5 grados en todas las caras verticales.
- De 1 a 2 grados funciona en la mayoría de las partes sin textura.
- 3 grados es mínimo para un cierre (deslizamiento de metal sobre metal).
- Se requieren 3 grados para una textura ligera.
- Se requieren 5 o más grados para textura gruesa.

3. PROCEDIMIENTO

Se realizó un diagrama de parámetros o diagrama "P" para representar a nuestro sistema, que en este caso es el bracket plástico para sensor de punto ciego y poder distinguir de una manera más clara los parámetros que componen al sistema del bracket plástico, dichos factores serán clasificados de la siguiente manera: (Diagrama 1).

- Señal de entrada
- Factores de control
- Señal de respuesta
- Ruidos del sistema

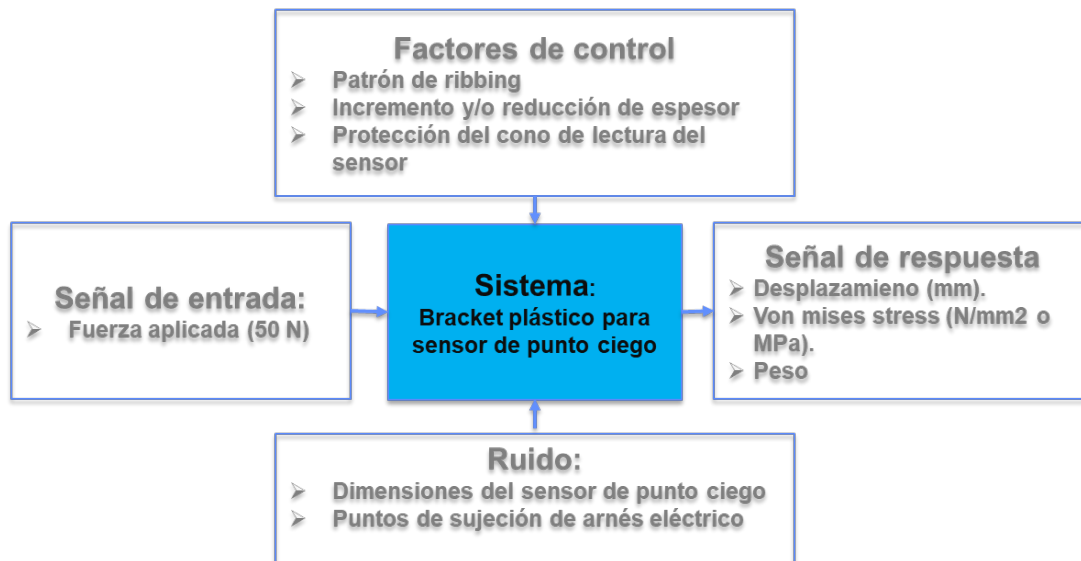


Diagrama 1. Diagrama "P".

Muestra las conexiones entre los diferentes parámetros que componen el sistema del bracket plástico de punto ciego.

Fuente: elaboración propia.

Una vez definidos los parámetros de los 3 factores de control, se realizó una lluvia de ideas con ingenieros expertos en fascias e ingenieros expertos en sensores de punto ciego. El patrón de ribbing, el espesor y la cobertura o protección del cono de lectura del sensor son los principales factores que contribuye para la respuesta de salida.

Finalmente, se acordó que al trabajar en estos 3 factores lograríamos optimizar el diseño inicial del bracket plástico.

Se establecieron los principales requerimientos que se midieron y se especificó su método de evaluación para obtener las mediciones finales (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de medidas funcionales. Muestra los requerimientos que se van a medir y el método de evaluación para cada uno.

Matriz de medidas funcionales

Requerimientos	Objetivo	Medición funcional (unidades)	Método de Evaluación
Desplazamiento	≤2mm	mm	Análisis CAE
Von mises stress	≤19.1	MPa	Análisis CAE
Reducción de Peso	STB	g.	Análisis Virtual
Protección del cono de lectura del sensor de punto ciego	LTB	mm ²	Análisis Virtual

STB = El más bajo mejor
 LTB = El más largo mejor

Fuente: elaboración propia.

Para poder trabajar en los diferentes diseños que mostrarían la eficiencia de los cambios implementados en el diseño inicial del bracket plástico, se procedió a dividir el bracket plástico en 5 zonas de trabajo para su identificación y mencionar específicamente los cambios realizados en cada uno de los diseños modificados en las diferentes zonas (Figura 8).

- Zona-A
- Zona-B
- Zona-C
- Zona-D
- Zona-E

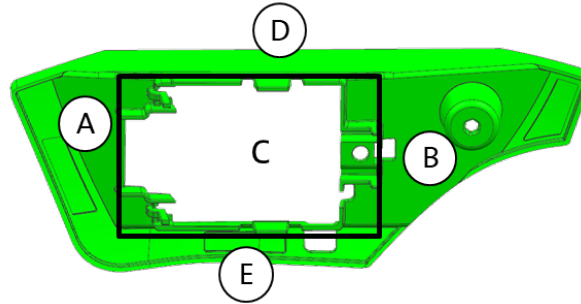


Figura 8. División de las zonas de trabajo del diseño del bracket plástico. Describe las zonas del bracket plástico de sensor de punto ciego que se modificaron en los diseños.

Fuente: elaboración propia.

3.1. PROPUESTAS DE DISEÑO

3.1.1. Primer diseño modificado

En este primero diseño, la principal modificación se realizó en el espesor de la pieza; se redujo el espesor del diseño inicial de 3.2mm a 2.5mm como espesor nominal. Para las zonas A, B, D y E redujeron su espesor sin alterar los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia. Se mantuvo la periferia de la zona C que rodea y sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. Ver Figura 9.

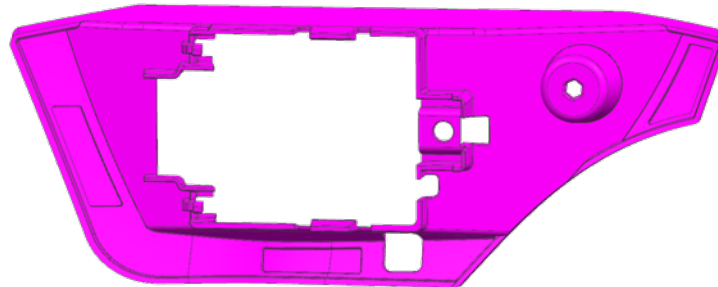


Figura 9. 1er. Diseño modificado.

Muestra el primer diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Segundo diseño modificado

En este segundo diseño, se mantuvo el espesor de 3.2mm del diseño inicial, se eliminó la mayor cantidad de material posible de las zonas A y B. Las zonas D y E se cerraron para no permitir el paso de contaminantes por la parte superior, principalmente el agua. Se mantuvieron sin cambios las zonas definidas de los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia, y se mantuvo la periferia de la zona C igual al diseño original; que es la que rodea y sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. Se agregó un patrón de ribbing en las orillas de las zonas A y B para darle mayor rigidez. Ver Figura 10.

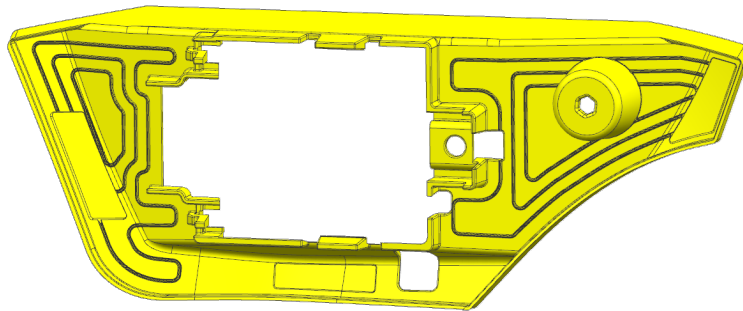


Figura 10. 2do. Diseño modificado.
Muestra el segundo diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Tercer diseño modificado

En el tercer diseño, se redujo el espesor del diseño inicial hasta 2.0mm, no se removió el material de las zonas A, B, D y E. Se mantuvieron sin cambios las zonas definidas de los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia y se mantuvo la periferia de la zona C al diseño original que rodea y sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. Se agregó el patrón de ribbing en las caras de las zonas A y B para comprobar que le da una mayor rigidez al bracket. El punto de sujeción del arnés se mantuvo sin ninguna modificación ya que este ya cumple con las especificaciones externas del grupo de arnés eléctrico. Ver Figura 11.

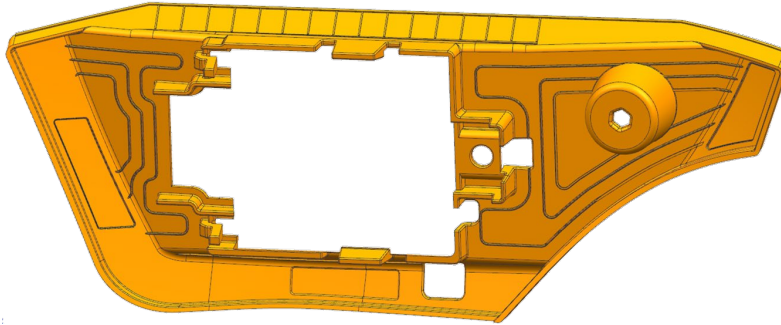


Figura 11. 3er. Diseño modificado.
Muestra el tercer diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Cuarto diseño modificado

En el cuarto diseño, se mantuvo el espesor de 2.0mm en la zona A y B, así como en las zonas D y E; no se removió material de las zonas A, B, D y E. Se mantuvieron sin cambios las zonas definidas de los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia y se mantuvo la periferia de la zona C al diseño original que rodea que sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. Se agregó el patrón de ribbing en las caras de las zonas A, B, D y E para comprobar que le da una mayor rigidez al bracket. El punto de sujeción del arnés se mantuvo sin ninguna modificación ya que este ya cumple con las especificaciones externas del grupo de arnés eléctrico. Ver Figura 12.

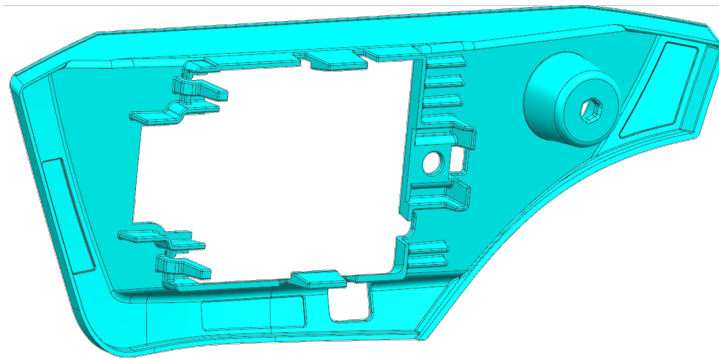


Figura 12. 4to. Diseño modificado.
Muestra el cuarto diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Quinto diseño modificado

En el quinto diseño, se redujo el espesor de 3.2 mm del diseño inicial a 2.00 mm en la zona A, B, D, E y no se removió material de las mismas zonas (Figura 11). Se mantuvieron sin cambios las zonas definidas de los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia. La periferia de la zona C se incrementó el espesor al diseño original que es la que rodea y sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. Se agregó el patrón de ribbing en las caras planas de las zonas A, B, D y E con un mayor espesor sin intervenir la zona de soldadura. El punto de sujeción del arnés se mantuvo sin ninguna modificación ya que este ya cumple con las especificaciones externas del grupo de arnés eléctrico. Ver Figura 13.

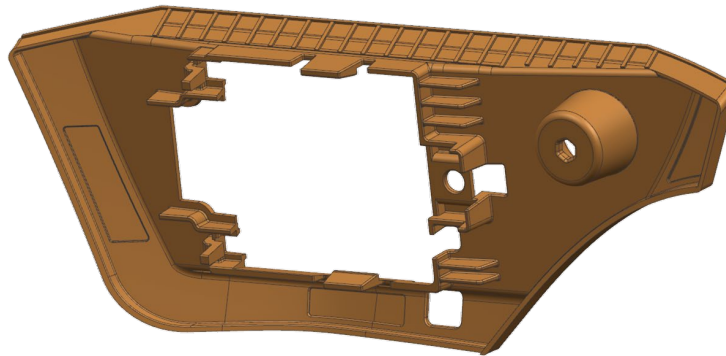


Figura 13. 5to. Diseño modificado.
Muestra el quinto diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

3.1.6. Sexto diseño modificado

En el sexto diseño, utilizamos un espesor de material de 2.00 mm en la zona A, B, D, E y no se removió material de las mismas zonas. Se mantuvieron sin cambios las zonas definidas de los 3 puntos de soldadura ultrasónica para unir el bracket plástico con la fascia. La periferia de la zona C mantuvo el mismo espesor que el 5to. diseño que es la que rodea y sirve como puntos de sujeción del sensor de punto ciego. El patrón de ribbing como se puede apreciar en la Figura 13 se extendió en la zona B tanto es su parte superior como inferior, ya que fue esta parte la que aun presentaba área de oportunidad para ser reforzada. El punto de sujeción del arnés

se mantuvo sin ninguna modificación ya que este ya cumple con las especificaciones externas del grupo de arnés eléctrico. Ver Figura 14.

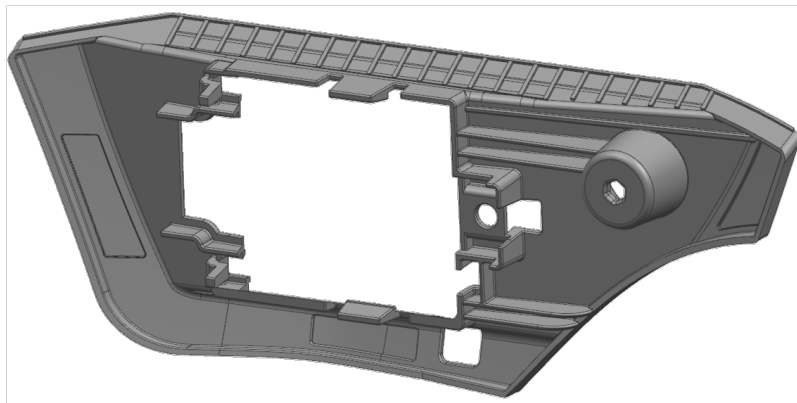


Figura 14. 6to. Diseño modificado.
Muestra el quinto diseño modificado del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

3.2. ANÁLISIS CAE – ELEMENTO FINITO

En este apartado se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para correr el análisis de los diseños modificados haciendo uso del software Unigraphics que nos brindó los valores de desplazamiento y von mises stress de cada uno.

Se estandarizó en el análisis que para cada diseño se ignorara la dependencia de temperatura (Figura 15); ya que se consideró una prueba a temperatura de cuarto como se le conoce internamente ya que es la que definió el desplazamiento y von mises del material base inicialmente.

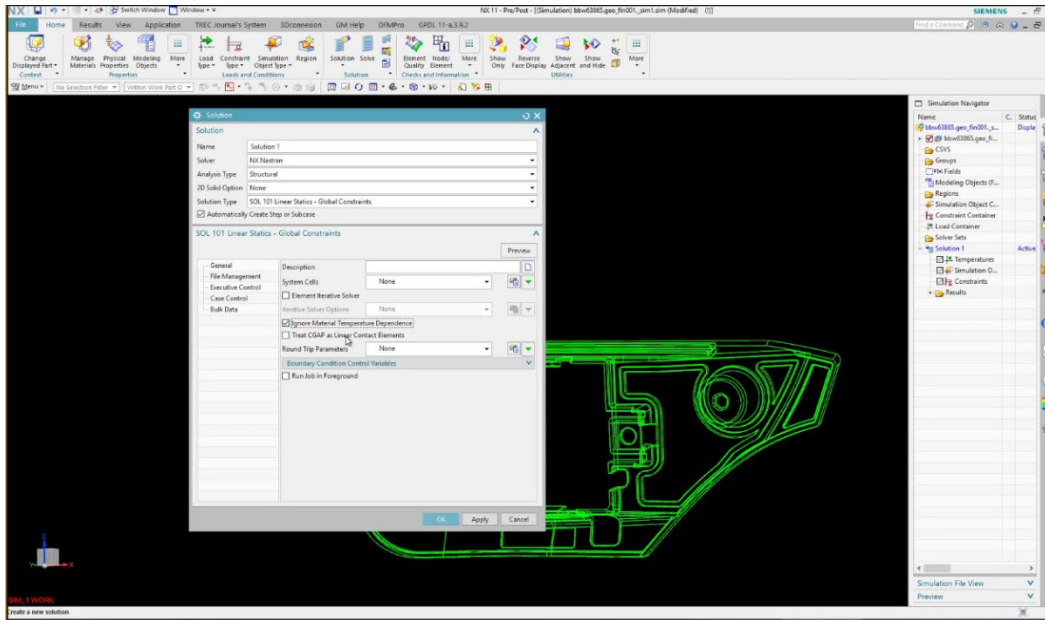


Figura 15. Parámetros Iniciales de simulación. Muestra el parámetro "ignorar dependencia de temperatura del material" en el software Unigraphics.

Fuente: elaboración propia.

Otro valor que se estandarizo durante las simulaciones de los diseños modificados fue el uso de una malla de 1mm para todos los diseños (Figura 16 y 17), con la finalidad de tener un valor mínimo de error relativo, siendo con ello más confiable.

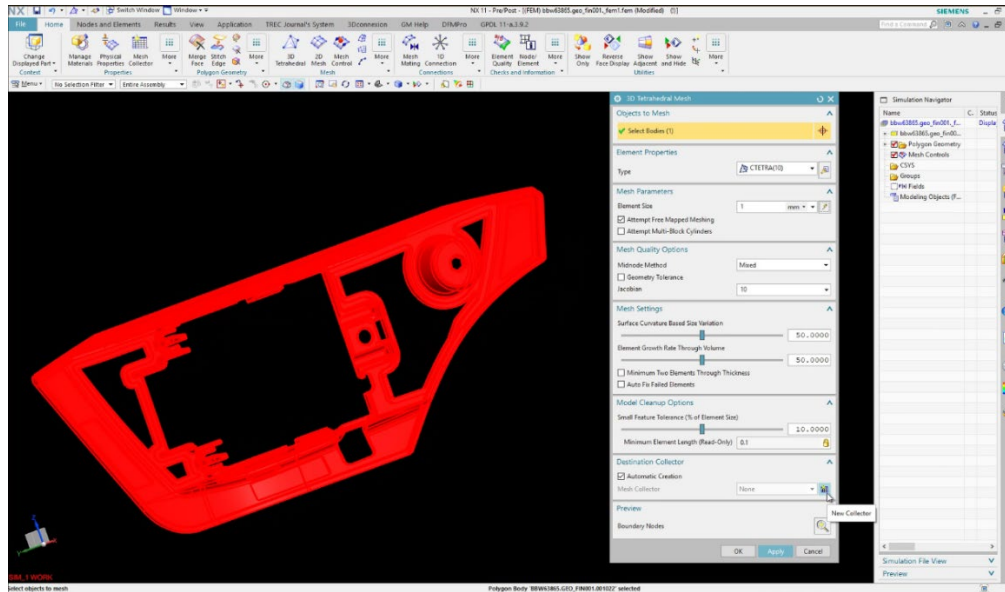


Figura 16. Malla definida para las simulaciones.
Muestra cómo se estableció el valor definido de la malla a 1 mm para las simulaciones de los diseños modificados.
Fuente: elaboración propia.

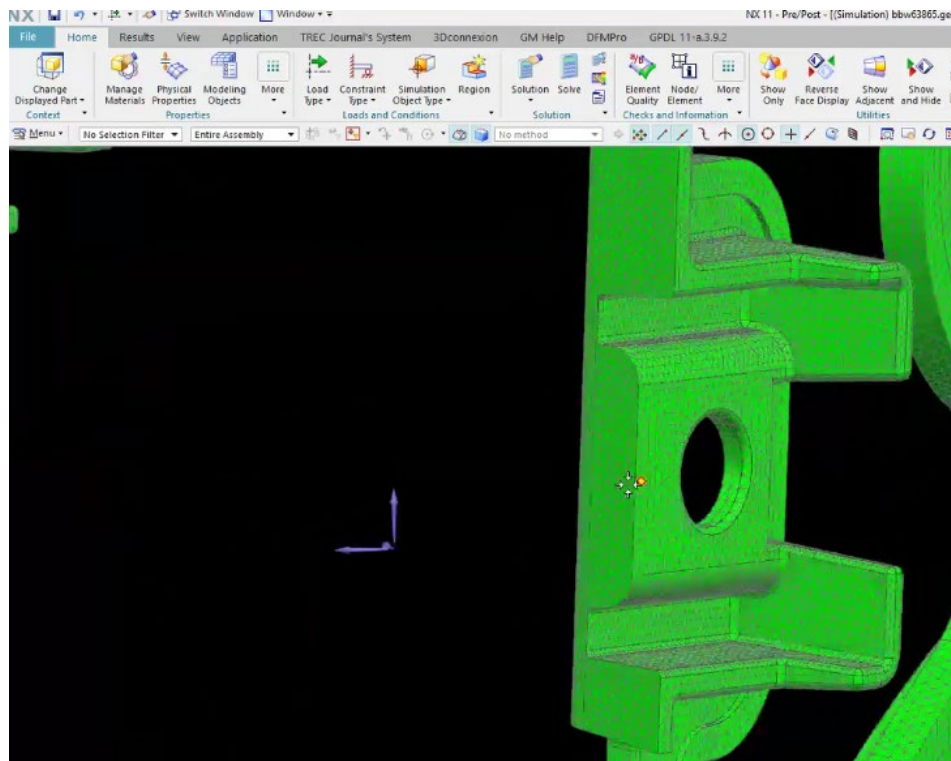


Figura 17. Malla para simulación a 1 mm.
Muestra la imagen de la malla definida a 1 mm en los diseños modificados.
Fuente: elaboración propia.

Se aplicó la carga definida de 50N en los puntos que se pueden apreciar en la Figura 18, que representa el punto de sujeción e instalación del sensor de punto ciego. Establecimos nuestras restricciones fijas, que están dados por nuestros tres puntos de soldadura del bracket plástico a la fascia del vehículo como se aprecia en la Figura 19.

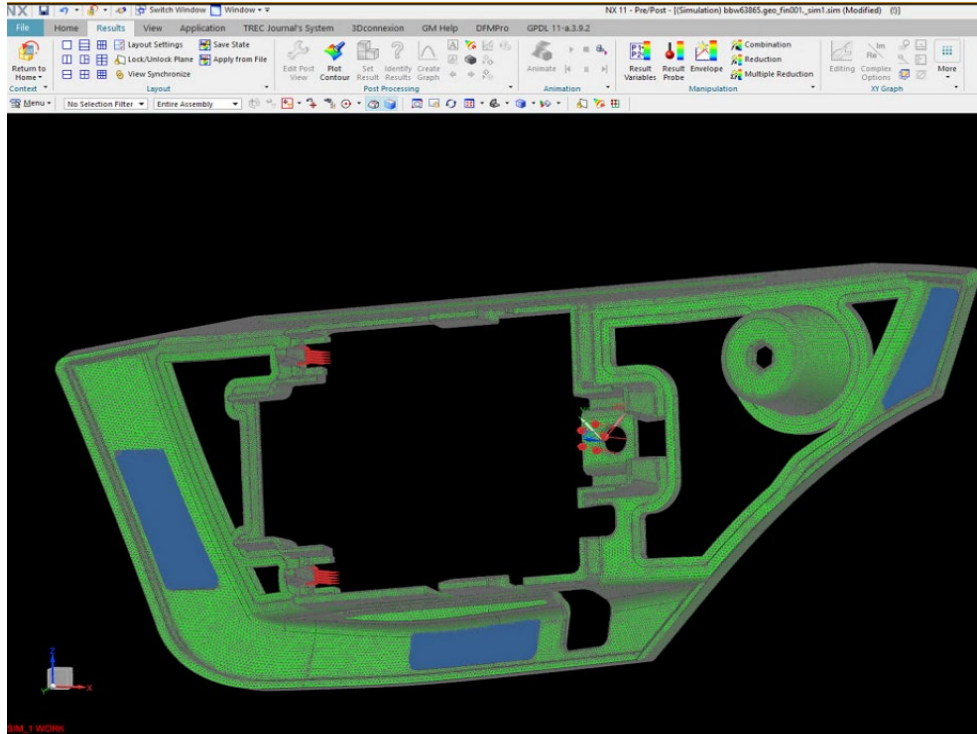


Figura 18. Puntos de carga aplicada. Muestra la imagen donde se aplicó la carga definida de 50N.
Fuente: elaboración propia.

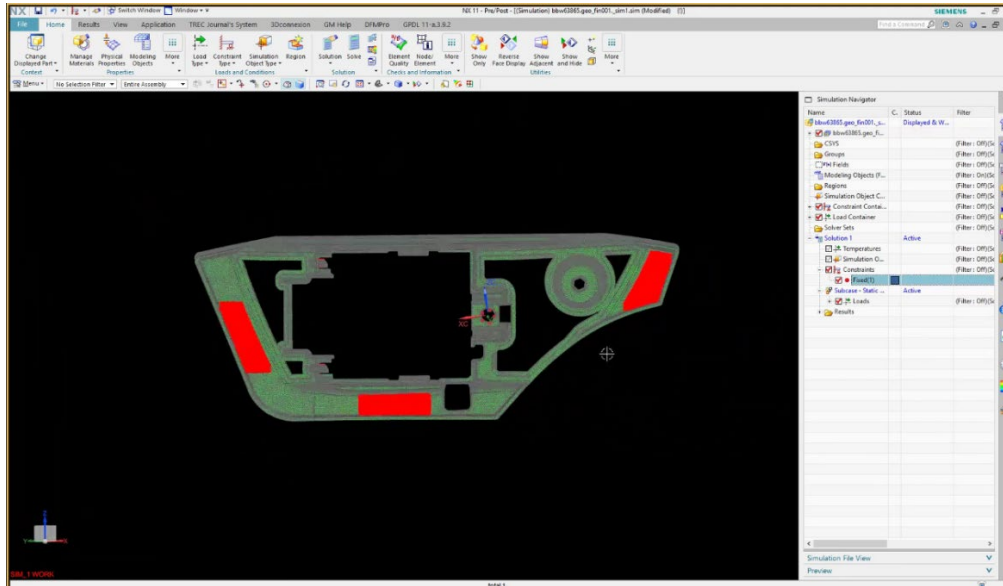


Figura 19. Restricciones fijas.
 Muestra la imagen de las restricciones fijas definidas para la simulación de los diseños.
 Fuente: elaboración propia.

3.3. OPTIMIZACIÓN – MATRIZ DE DECISIÓN

Al tener ya 6 propuestas de diseño modificados, pasamos a una fase de optimización utilizando el Método Pugh o Matriz de decisión, como se aprecia en la Tabla 2.

El Método Pugh inventado por Stuart Pugh es una de las técnicas de toma de decisión más simples. Es una técnica cuantitativa que se utiliza para evaluar, comparar y clasificar las alternativas técnicas multidimensionales de un conjunto de soluciones. La metodología de matriz de decisiones contempla una evaluación de la definición de atributos asignándole un ranking de importancia y un cálculo de puntajes a las consideradas soluciones técnicas. Las filas y columnas de la tabla corresponden a criterios de juicio y opciones, respectivamente. Es posible ampliar aún más las opciones mediante un ejercicio de lluvia de ideas. Los criterios de selección para juzgar las opciones pueden ser de varios tipos como impactos en costos, así como en nuestro estudio es el desempeño estructural del bracket. La importancia relativa de cada criterio se pondera en función de lo acordado con

el equipo. Un análisis de Matriz de Decisión permite identificar componentes y factores con mayor influencia en los resultados (Navas & Braga, 2011).

Tabla 2. Método de matriz de decisión. Compara y muestra el diseño óptimo de acuerdo con los requerimientos previamente descritos del bracket plástico.

Método Pugh

Criterio Concepto	Diseño Inicial	1er. Diseño	2do. Diseño	3er. Diseño	4to. Diseño	5to. Diseño	6to. Diseño
Puntos de soldadura							
Desplazamiento		-	-	-	-	-	+
Von mises stress		-	-	-	-	+	-
Peso		+	+	+	+	+	+
Espesor		+	+	+	+	+	+
Protección del cono de lectura del sensor de punto ciego		+	+	+	+	+	+
S+ (Sum de positivos)		3	3	3	3	4	4
S- (Sum de negativos)		2	2	2	2	1	1
SS (Sum de "iguales")		1	1	1	1	1	1
Total		3	3	3	3	4	4

Simbología: + = Mejor, - = Peor, | = Igual

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS CAE DE DESPLAZAMIENTO Y VON MISES STRESS

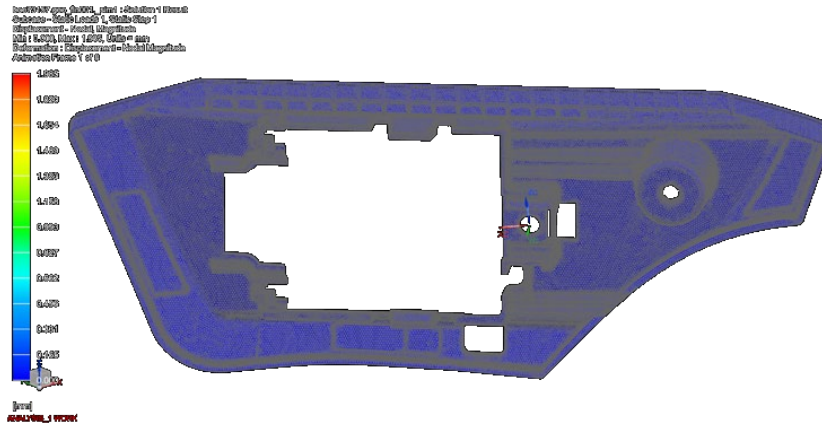


Figura 20. Análisis CAE de desplazamiento.
Muestra el desplazamiento del diseño final o ganador.
Fuente: elaboración propia.

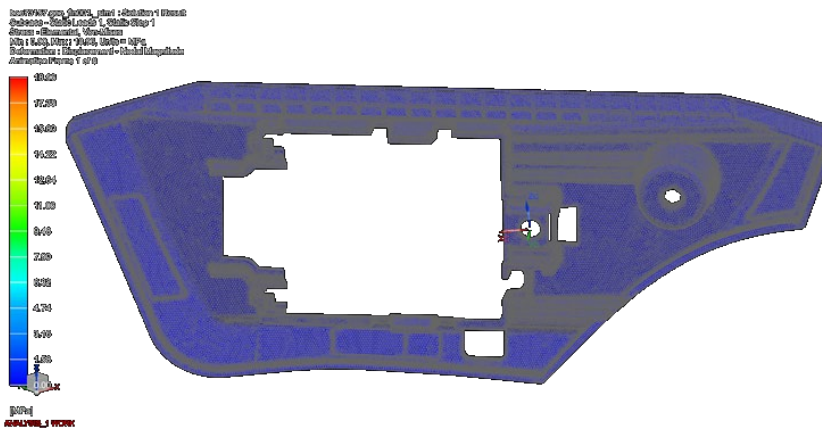


Figura 21. Análisis CAE de von mises stress.
Muestra el resultado de von mises stress del diseño final o ganador.
Fuente: elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS DE DRAFT - SLOPE ANALYSIS

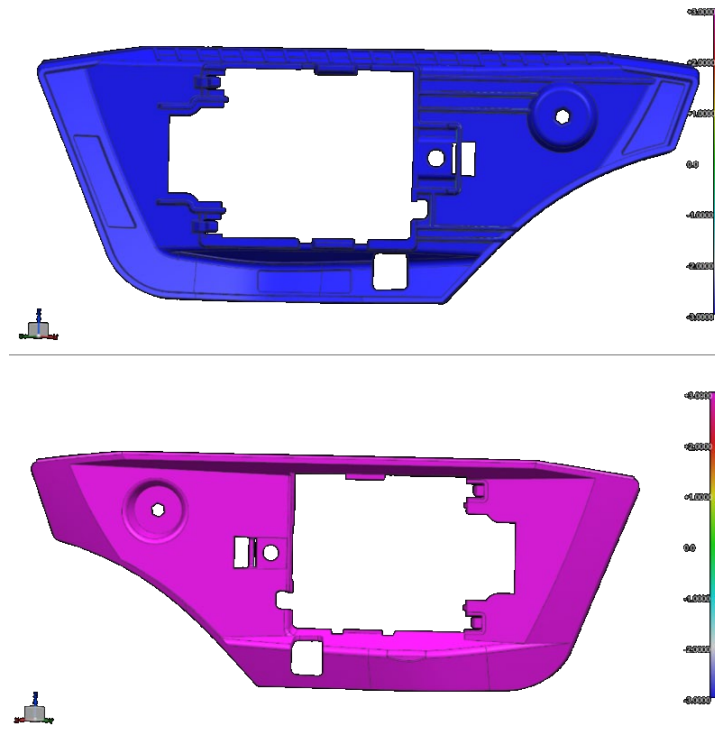


Figura 22. Slope analysis.
Muestra el resultado del análisis de draft del diseño final del bracket plástico para sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

4.3. DISEÑO FINAL – ÓPTIMO

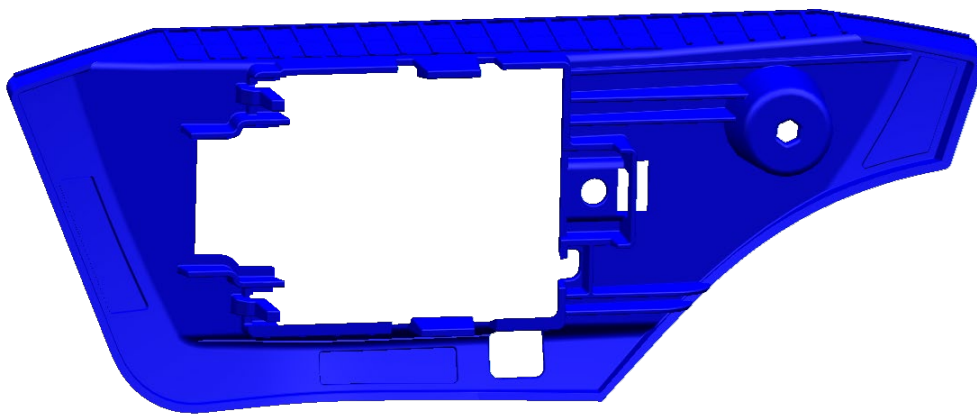


Figura 23. Diseño final.
Muestra el diseño final del bracket plástico de sensor de punto ciego.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Tabla comparativa del diseño inicial vs el diseño final. Muestra los resultados obtenidos en desplazamiento, von mises stress, peso y eficiencia en porcentaje (%) del diseño inicial vs diseño final.

Diseño de bracket	Desplazamiento (mm)	Von Mises Stress (MPa)	Peso (g.)	Mejora (%)
Diseño Inicial	1.60	13.24	75.0	-
Diseño Final	1.98	18.96	65.5	12.7

Fuente: elaboración propia.

4.4. DISCUSIÓN

En los resultados CAE de desplazamiento obtenidos podemos observar que las mayores zonas que presenta área de oportunidad para reforzar y mejorar en el diseño son las que se definieron como zona “D” y “B”; bien se observa que al implementar el patrón geométrico de costillas en esta zona ayuda a reducir el desplazamiento. Cabe resaltar que tanto el límite superior de von mises stress de 19.1 MPa y el desplazamiento de 2.00mm del bracket de punto ciego con material base de “poliolefina termoplástica”; estuvo siempre definido por el área interna de General Motors, que en comparación con otros estudios realizados en brackets de acero, hierro y aluminio fundido es mucho menor.

Si bien el diseño final presenta valores superiores en von mises stress y desplazamiento comparado al diseño inicial, no excede los rangos definidos. Este diseño final se traduce en un bracket plástico más eficiente, es decir su espesor inicial de 3.2mm pasó a ser de 2.4mm en el diseño final y su peso resulto ser 9.5 gramos más ligero.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos del patrón geométrico de ribbing empleado en el diseño final del bracket plástico de sensor de punto ciego contribuyo con el objetivo de obtener un modelo que no excede el límite permisible del material base en desplazamiento (2 mm) y von mises stress (19.1 MPa); este patrón geométrico permitió reducir el espesor inicial en 0.8mm logrando así reducir el peso del bracket inicial que se utilizara para el sensor de punto ciego en los vehículos del segmento D próximo a ser lanzado en 2024, el cual tendrá un menor impacto ambiental y reducción de costo debido a que requiere menor cantidad de resina plástica para su producción.

RECOMENDACIONES

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían enfocarse en diseñar nuevos modelos de brackets plásticos utilizados en otros segmentos, por ejemplo, vehículos compactos del segmento B o C, ya que estos son vendidos en mayor volumen en países en desarrollo; lo que podría favorecer a las empresas mediante la disminución de costos en los componentes del vehículo, además de reducir el impacto ambiental.

Otros análisis CAE que los investigadores podrían utilizar para optimizar los diseños de brackets no necesariamente plásticos, es el análisis modal, el cual determina las frecuencias naturales de resonancia de dichos brackets y que está dado en Hertz. En mi caso este análisis se efectúa por otra área externa al grupo de ingeniería al que pertenezco.

En este trabajo no se realiza el análisis de Modal ya que este se ejecuta con relación al ensamble final de la fascia plástica que contiene todos los componentes y brackets plásticos y es realizado por otra área, sin embargo, se agrega el dato obtenido en Modal para todo el ensamble y comparándolo con el requerimiento interno mínimo que hay que cumplir (Tabla 4); al igual que el resultado final obtenido de rigidez del mismo ensamble final y comparándolo con el requerimiento interno mínimo establecido (Figura 24).

Tabla 4. Requerimientos de frecuencia y rigidez a nivel ensamble final de una fascia. Muestra y compara los requerimientos internos de frecuencia y rigidez del ensamble final de la fascia.

Title	Performance Target	Actual Performance Range Expected	Current Perf. Status	RISK
Rear Bumper Subsystem Performance - Single Exhaust				
Rear End System_Rear Fascia Assembly Modal - FASCIA	≥ 22.5Hz	22.7 Hz	●	●
Rear Fascia Surface Stiffness	≥20.0 N/mm	Min Stiffness is 12.9 N/mm at location 31 BFO brought off stiffness target	●	●

Fuente: elaboración propia.



Figura 24. Análisis de rigidez a nivel ensamble final de una fascia.
Muestra una imagen de referencia de las mediciones finales de rigidez del ensamble final de la fascia en la zona del bracket plástico
Fuente: elaboración propia.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Con la elaboración de este trabajo obtuvimos un diseño más eficiente de bracket plástico para sensores de punto ciego, lo que representa un beneficio económico para General Motors, evitando poner en producción un diseño que no se apega a las guías internas de diseño, y al mismo tiempo no impactar en la masa total del vehículo SUV.

Otro beneficio importante para General Motors que aporta la realización de este trabajo, es ser una guía de uso para los próximos ingenieros de diseño que se integren al área de Body & Exteriors que desarrollaran nuevos brackets plásticos para sensores de punto ciego de nuevos modelos SUV de otros segmentos.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

Con este trabajo pudimos obtener un diseño eficiente de bracket plástico, el cual requerirá de un menor uso de resina plástica por consiguiente representa un menor impacto ambiental para la sociedad.

REFERENCIAS

- Aguirre, R., Avalos, F., & Téllez, M. (2012). Desarrollo de elastómeros termoplásticos en la primera década del siglo XXI. In Repositorio Institucional de CIQA (pp. 375–396).
- Berleyoung, W. J. (1970). Method of sonic welding. United States patent US 3,506,511.
- Bin-Feng, L., Yi-Ming, C., Li-Chen, F., Pei-Yung, H., Li-An, C., Shin-Shinh, H., & Min-Fang, L. (2012). Integrating appearance and edge features for sedan vehicle detection in the blind-spot area. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(2), 737–747.
- Buckley, S. J., & Ford, S. L. (2008). Vehicle blind spot radar sensor mount. United State patent US 2008/0315050 A1.
- De Castro, C. A. (2014). Teorías de falla bajo cargas estáticas. *Revista Cubana de Ingeniería*, 1–11.
- Han, G. J. (1974). Method of sonic welding of plastics United States Patent US 3,783,061.
- Heaney, D. (2019). Designing for metal injection molding (MIM). In *Handbook of Metal Injection Molding* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102152-1.00003-9>
- Morales, E., Alexandre, S., & Macedo, L. (2013). Optimization methods applied to development of vehicle structures. *SAE Technical Paper*, 13, 15.
- Navas, H., & Braga, D. (2011). Selection of a Stirrer Drive Configuration Using Pugh Decision Matrix Methodology. *Científica*, 15(3), 139–143.
- Qidwai, U. (2009). Fuzzy blind-spot scanner for automobiles. 2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA 2009), 758–763. <https://doi.org/10.1109/ISIEA.2009.5356356>
- Reed, J. C. (1998). Side zone automotive radar. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 186–190. <https://doi.org/10.1109/62.683721>
- Su, H. (2008). CAE virtual durability tests of automotive products in the frequency domain. In *SAE Technical Papers*, 1(1), 165–174. <https://doi.org/10.4271/2008-01-0240>
- Suhir, E. (1995). Predicted failure criterion (von-Mises stress) for moisture-sensitive plastic packages. *Proceedings - Electronic Components and Technology Conference*, 266–284. <https://doi.org/10.1109/ectc.1995.514396>
- Xiao, Z., Yang, Y., Wang, D., Song, C., & Bai, Y. (2018). "Structural optimization design for antenna bracket manufactured by selective laser melting." *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), 539–547.

Yamasaki, B. E., Shen, M. F., & Fraley, J. D. (2014). Integrated stone and water shield for blind spot monitor. United States Patent US 8,690,206 B1.