

Análisis de validación estática de un clip recto de presión para aplicación automotriz utilizando herramientas CAD y CAE

Static validation analysis of a straight pressure clip for automotive application using CAD and CAE tools

Eliel Eduardo Montijo Valenzuela¹, Flor Ramírez Torres², Aureliano Cerón Franco³, Hugo Alejandro Casas Luna⁴, Pedro Jancarlo Gómez Vega⁵

¹ eliel.montijo@ues.mx. ORCID: 0000-0001-8538-0767. Universidad Estatal de Sonora.

² flor.ramirez@unison.mx. ORCID: 0000-0003-0391-9357. Universidad de Sonora.

³ aureliano.ceron@unison.mx. ORCID: 0000-0001-5953-1189. Universidad de Sonora.

⁴ hugo.casas@uthermosillo.edu.mx. Universidad Tecnológica de Hermosillo.

⁵ pedro.gomez@unison.mx. ORCID: 0000-0001-5641-872X. Universidad de Sonora.

DOI: <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi38.475>

Recibido 17 de julio 2022.

Aceptado 30 de septiembre 2022

Publicado 27 de noviembre de 2022

Resumen

Entre los materiales utilizados en la industria automotriz, los polímeros pueden considerarse de interés en la fabricación de autopartes, debido a su versatilidad y aplicación. En esta investigación se presenta el modelado y la validación estática mediante simulación de un clip recto de presión de material polimérico poliamida nylon 6,6 de aplicación automotriz. La metodología empleada consiste de 3 etapas. 1) Diseño y modelado a partir de herramientas de dibujo bidimensional, tridimensional y ensamblajes. 2) Análisis de cargas teóricas en el clip y el ensamble. 3) Validación estática a partir de la simulación con elementos finitos. Como resultados se obtuvieron: un modelo tridimensional del clip recto de presión, la distribución de cargas en el ensamble y el clip, los valores simulado de la máxima tensión generados en el clip y el ensamble, la deformación máxima y el factor de seguridad. El diseño cumple con las especificaciones de carga.

Palabras clave: diseño, automotriz, validación estática, CAD, CAE.

Abstract

Among the materials used in the automotive industry, polymers can be considered of interest in the manufacture of auto parts, due to their versatility and application. This research presents the modeling and static validation by simulation of a straight pressure clip made of polyamide nylon 6.6 polymer material for automotive application. The methodology used consists of 3 stages. 1) Design and modeling using two-dimensional and three-dimensional drawing tools and assemblies. 2) Analysis of theoretical loads in the clip and the assembly. 3) Static validation from simulation with finite elements. As results were obtained: a three-dimensional model of the straight pressure clip, the distribution of loads in the assembly and the clip, simulated values of maximum stress generated in the clip and the assembly, maximum deformation and safety factor. The design meets the load specifications.

Keywords: design, automotive, static validation, CAD, CAE.

Introducción

En el último siglo, la industria automotriz ha transformado la sociedad, siendo una de las industrias más complejas, sofisticadas y tecnológicamente avanzadas, con innovaciones que van desde el diseño de autos inteligentes, con tecnología híbrida, eléctricos, autónomos y hasta el desarrollo de automóviles conectados a IoT (internet de las cosas) (Lucas y Hatcher, 2017). Bajo este esquema, esta industria siempre enfrenta nuevos desafíos, nuevas tendencias de diseño y la implementación permanente de tecnologías de última generación que empujan al desarrollo científico a corto plazo, lo que requiere nuevas herramientas o una innovación de las mismas y la generación de nuevos materiales (Leal et al, 2017).

La industria automotriz utiliza una gran cantidad de materiales para fabricar automóviles o sus componentes, que incluyen hierro, aluminio, acero, vidrio, caucho, productos derivados del

petróleo, cobre, acero, polímeros y otros. Estos materiales han evolucionado mucho a lo largo de las décadas, volviéndose más sofisticados, mejor contruidos y más seguros, y han evolucionado a medida que han surgido nuevas tecnologías de fabricación que se utilizan de formas cada vez más innovadoras (Hovorun et al., 2017).

Dentro de la alta gama de materiales que se utilizan en la industria automotriz, los polímeros pueden considerarse de interés para el desarrollo de autopartes por su amplia versatilidad y aplicación (Verma et al., 2022; Raina et al., 2021; Begum et al., 2020; Wiese et al., 2020; Volpe et al., 2019; Ramli et al., 2018; Mărieș y Abrudan, 2018; Patil et al., 2017). Estos materiales se componen por cadenas de moléculas largas y repetidas que le confieren propiedades únicas dependiendo del tipo de moléculas en su composición base y la forma en que estas se unen.

Para la implementación y validación de nuevos materiales dentro de la industria automotriz se utilizan herramientas CAD (diseño asistido por computadora) y CAE (ingeniería asistida por computadora) (Kim, 2021; Chauhan et al., 2021; Lee et al., 2019; Geren et al., 2017), que han venido evolucionando en paralelo con el desarrollo automotriz y de otras áreas como la aeroespacial, por lo que se han creado una variedad de software que facilitan y permiten pruebas rápidas de partes e incluso el montaje completo de un vehículo. La implementación de estas soluciones de software es múltiple, específicamente en la industria automotriz permite entre muchas cosas, determinar esfuerzos máximos, distribuciones térmicas, generación de vibraciones y análisis de fatiga en piezas individuales o ensamblajes. Esto ha permitido que la simulación acelere los procesos de diseño teórico convencional, la ingeniería y la investigación en esta rama, a través de las ciencias matemáticas, la geometría descriptiva, la informática, la mecánica y la electrónica aplicada. Actualmente, el desarrollo de software en la industria automotriz se direcciona en tres vertientes principales: diseño, ingeniería y producción (Vasiljević et al., 2018).

El CAD es la aplicación directa a la vertiente del diseño y aplica el uso de sistemas informáticos para ayudar a la creación, modificación, análisis u optimización de piezas en el área automotriz. La CAE se especializa en la vertiente de la ingeniería y utiliza el potencial de la computación para procesar las tareas de análisis. El CAM (manufactura asistida por computadora) se especializa en la tercera vertiente: el producto.

En el desarrollo de esta investigación se presenta el modelado y validación de un clip recto

de presión de uso comercial: pieza automotriz fabricada con un material polimérico (poliamida) cuya función es la unión de componentes ligeros y delgados, incluidos plásticos, planchas finas de metal, placas de circuitos integrados y materiales aislantes por mencionar algunos. El objetivo de esta investigación es validar con el uso del complemento de SolidWorks Simulation el clip recto a presión de material polimérico manufacturada mediante el proceso de inyección de plástico, a través de un análisis estático para comprobar la funcionalidad de la pieza en su uso para la fijación del panel de revestimiento al armazón interno de la puerta del carro.

La ventaja de utilizar software CAD y CAE como tecnología de validación, permite la realización de pruebas rápidas de los componentes o ensambles de una forma precisa, reduciendo los costos de experimentación y desarrollo, y la aceleración del proceso de documentación técnica y de ingeniería.

Materiales y métodos

Los materiales utilizados para esta investigación son: computadora portátil de gama media, software SolidWorks y SolidWorks Simulation 2018. La metodología aplicada para esta investigación se presenta a continuación y es preciso destacar que la metodología de validación se realizó en dos tiempos distintos: modelado y simulación estática.

Modelado CAD.

La metodología de diseño y modelado del clip recto a presión se realiza con base a la información obtenida en la página web del fabricante (ISCL, 2020). En esta sección, se emplean 3 etapas de forma cronológica, que se pueden apreciar en el diagrama de la Figura 1. En la primera etapa se toman los valores de referencia establecidos por el fabricante para generar las bases iniciales del diseño bidimensional. En la etapa 2 se genera un modelo tridimensional a partir de las bases del diseño 2D aplicando las herramientas de modelado de SolidWorks. En la etapa 3 se realizan los ensambles correspondientes para poder generar las simulaciones estáticas, a partir de una representación esquemática de aplicación de la pieza.

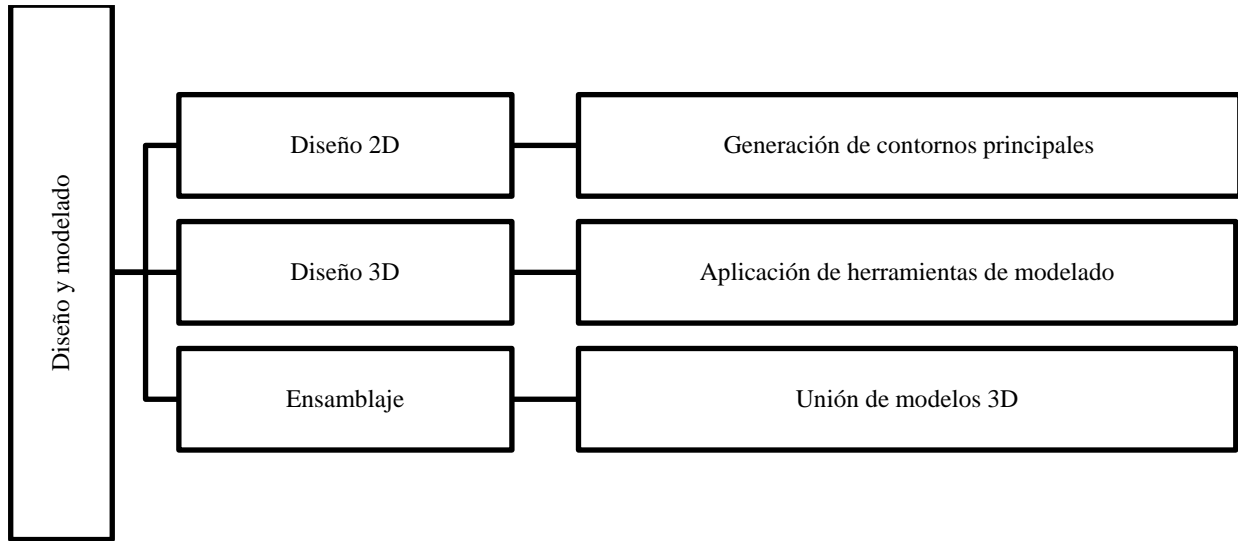


Figura 1. Proceso de diseño y modelado.

Análisis de cargas.

El análisis de carga se realiza a partir de un estudio cuantitativo del promedio de la masa de puerta anterior y el número de fijaciones con clip, de diez modelos distintos de automóviles. Posteriormente se determina una masa promedio y un número determinado de clips para la fijación. A partir del valor promedio de masa se determina el valor de la fuerza neta (Ecuación 1) y la fuerza promedio distribuida para cada uno de los clips (Ecuación 2).

$$F = m \cdot a \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde F indica la fuerza, m equivale a la masa y a es el valor constante de la gravedad terrestre (9.81 m/s²).

$$F_i = F/N$$

(Ecuación 2)

Donde F_i es la fuerza individual por cada clip y N indica el número de clips seleccionados.

Validación.

La metodología de validación se basa en el método del análisis de elemento finito (AEF), una simulación de fenómenos físicos a partir de la aplicación de una técnica matemática conocida como el método de los elementos finitos (MEF), de amplia aplicación en ingeniería mecánica y otras disciplinas. Con la AEF se establecen las deformaciones estáticas a partir de la metodología mostrada en la Figura 2, misma que fue obtenida de (Verma, 2018) y (Abbey, 2018).

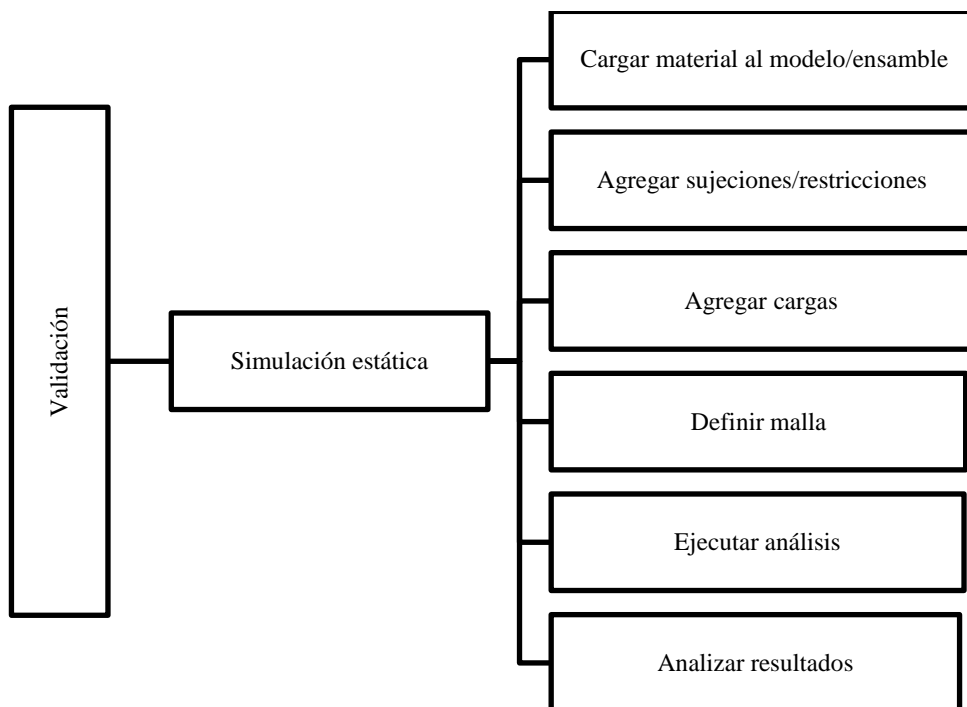


Figura 2. Proceso de validación: simulación estática.

Para el proceso de la simulación estática en el clip se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se crea un ensamble donde se agregan dos placas que simulan las piezas que sostendrá el clip recto.
- 2) Se agrega el material del que será fabricado el clip a los materiales de SolidWorks asignándole las propiedades de la poliamida.
- 3) En el complemento de Simulation se crea un nuevo estudio estático.
- 4) Una vez se ha creado el estudio, en la sección de piezas se asigna el material de cada una de las piezas del ensamblaje. El material se modifica en Aplicar/Editar material dentro del menú de cada pieza.
- 5) Una vez asignado cada uno de los materiales a cada pieza se procede a la sección de conexiones, el contacto global que aparece en esa sección es modificado en el menú de editar definición. El tipo de contacto es cambiado de unión rígida a sin penetración.
- 6) Posteriormente en la sección de sujeciones se asigna una geometría fija a la cara posterior de la placa trasera del ensamblaje.
- 7) Se asigna una geometría de referencia utilizando la cara del orificio de la placa frontal del ensamblaje, se utiliza el plano planta como referencia de dirección y se bloquea la traslación en el eje z y el eje x, para evitar la rotación de la placa.
- 8) Como última sujeción se agrega una geometría de referencia utilizando la cara superior de la cabeza del clip recto, se utiliza el plano planta como referencia de dirección y se bloquea la traslación en el eje z y el eje x para evitar la rotación de la placa.
- 9) Posteriormente en la sección de cargas externas se asigna una carga en la cara inferior de la placa frontal para simular el peso de la pieza a sostener.
- 10) Una vez asignada la carga, se genera el mallado. En este caso se utiliza una malla de configuración estándar.
- 11) Se procede a ejecutar el análisis.

Para el proceso de la simulación estática en el ensamble se siguen los siguientes pasos:

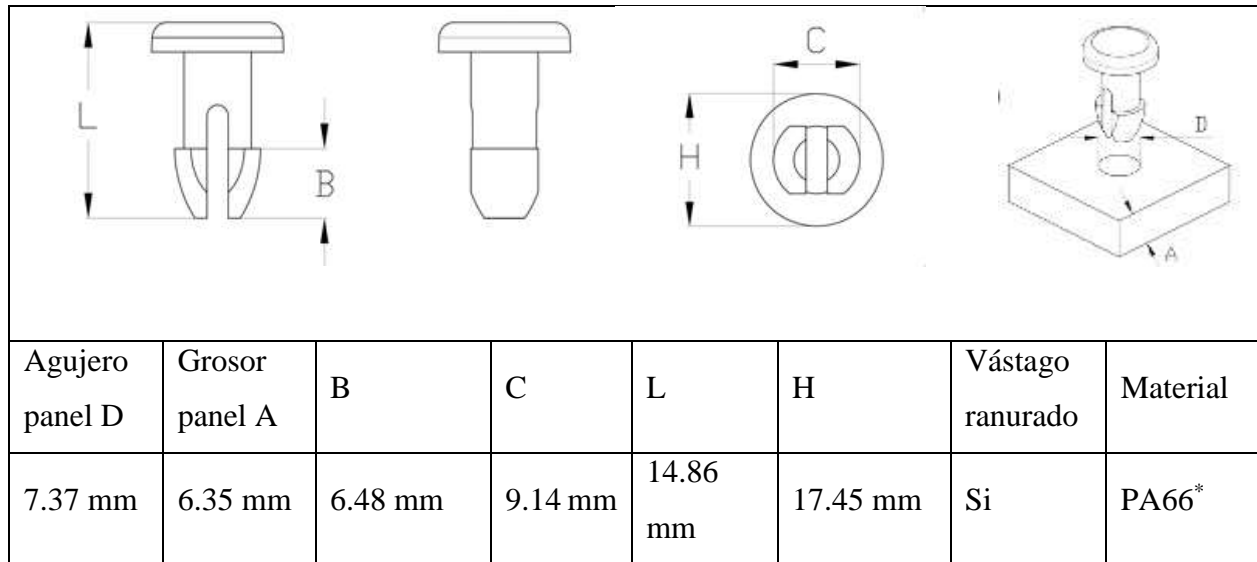
- 12) Se asignan los materiales para las piezas de las placas usando el mismo material generado para el clip.

- 13) Se modifica la conexión existente de contacto entre componente de unión rígida a sin penetración como, posteriormente se agrega un conector tipo pasador en la sección de conexiones.
- 14) Se selecciona la cara de los orificios donde se encontrará el pasador, también se debe asignar el material del pasador y determinar el área de sección transversal del pasador.
- 15) En la sección de sujeción son agregadas de nueva cuenta las mismas sujeciones anteriores pero esta vez se omite la sujeción agregada al clip recto.
- 16) Por último, es agregada la carga a la sección ensamblada.
- 17) Una vez asignada la carga, se genera el mallado. En este caso se utiliza una malla de configuración estándar.
- 18) Se procede a ejecutar el análisis.

Resultados y discusión

A partir de los parámetros de diseño especificados por el fabricante (ver Tabla 1), se generó el modelo tridimensional en SolidWorks (Figura 3). El ensamble del clip recto de presión con las placas de soporte se observa en la Figura 4.

Tabla 1. Especificaciones paramétricas del fabricante. Adaptado de (ISCL, 2020).



* PA66 = Poliamida Nylon 6,6.



Figura 3. Modelo tridimensional del clip diseñado en SolidWorks.

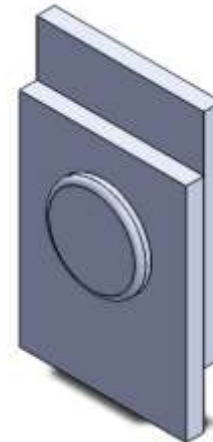


Figura 4. Ensamblaje de clip recto de presión con placas de sujeción.

Los parámetros de carga se calcularon a partir de los datos obtenidos en Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de masa de puerta anterior y número de fijaciones requeridas en diferentes modelos automotrices. Adaptado de (Roca, 2013).

Modelo	Masa de puerta anterior	Numero de fijaciones
Seat Leon (SE370)	3269 g	9 clips
Audi A3 (AU373)	3050 g	8 clips
Volkswagen Golf (VW370)	3088 g	7 clips
Volkswagen Scirocco	3368 g	8 clips
Skodan Octavia	2862.2 g	8 clips
Opel Astra Cosmo	2997.5 g	7 clips
Renault Megane	2996 g	7 clips
Ford Focus Trend	3253.6 g	7 clips
Peugeot 308	3421.5 g	6 clips
Toyota Auris D-CAT	2600 g	8 clips
Promedio	3090.6 g	7.3 clips

De Tabla 2, se escogió una masa de 3100 g y un número de fijaciones equivalente a 8 clips, por lo tanto, aplicando las Ecuaciones 1 y 2, tenemos:

$$F = ma = (3.1 \text{ kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 30.4 \text{ N}$$

$$F_i = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Numero de clips}} = \frac{30.4 \text{ N}}{8 \text{ clips}} = 3.8 \text{ N}$$

Para el análisis estático se eligieron las características del material poliamida nylon 6,6 preestablecidos en el software SolidWorks, mismas que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de la poliamida nylon 6,6.

Propiedad	Cantidad	Unidad
Modulo elástico	2620000000	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.34	N/A

Módulo cortante	970400000	N/m ²
Densidad de masa	1120	kg/m ³
Esfuerzo de tensión	90000000	N/m ²
Esfuerzo de fluencia	103648886	N/m ²
Conductividad térmica	0.233	W/(m·K)
Calor específico	1601	J/(kg·K)

Las tensiones generadas en simulación para el ensamble y el clip recto de presión son de 2.613 MPa (2613000 N/m²) como valor máximo y 1.651 MPa (1651000 N/m²) como valor mínimo, por lo que para ambos casos no se supera el límite elástico de las piezas (ver Figura 5 y 6). Bajo las condiciones de fuerza estática aplicada, los esfuerzos máximos de Von Mises generados, corresponden a un 9.973% del límite elástico del ensamble y el clip recto de presión.

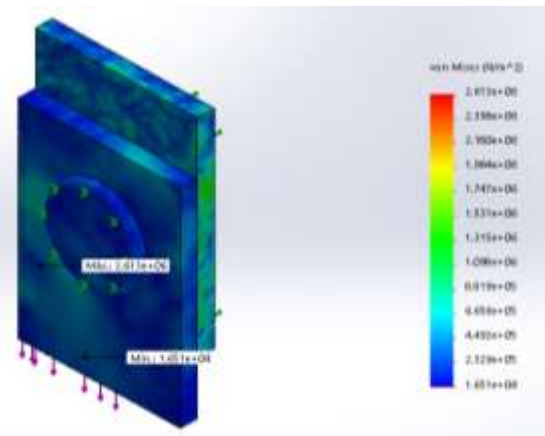


Figura 5. Tensiones de Von Mises generadas en el ensamble.

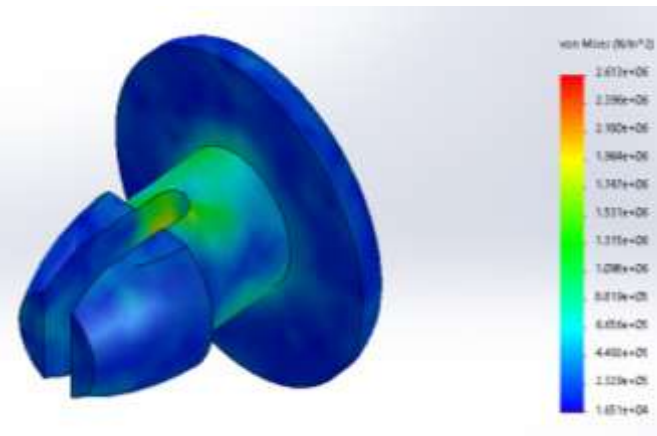


Figura 6. Tensiones de Von Mises generadas en el clip recto de presión.

En los resultados de desplazamiento, la placa trasera no se afectó debido a que la pieza se fijó para estudiar el sistema, presentándose los desplazamientos mayores en la placa frontal debido a que está siendo sometida a la carga de forma directa, por otro lado, el clip recto de presión también presenta un desplazamiento debido a la holgura que hay entre este elemento y el orificio de ambas placas de ensamble (ver Figura 7 y 8). El desplazamiento mayor se concentra en la parte inferior de la placa frontal con 0.1151 mm (ver Figura 7). El clip muestra desplazamientos de 0.02878 a 0.03838 mm (ver Figura 8). Para ambos casos, los desplazamientos generados no sugieren efectos negativos en el diseño del clip recto de presión.

Para especificar las cargas permisibles del análisis se determinó el factor de seguridad (FOS). El FOS se incluyó como parte de un margen contra posibles fallas y deformaciones excesivas que de alguna manera no fueron consideradas (Fellenius, 2019). Para el FOS, la situación límite es alcanzada cuando la tensión supera el valor de resistencia del material. En (Fellenius, 2019) y (Hibbeler, 2006), se establece que el FOS debe de ser mayor a 1 y para situaciones críticas mayor a 5 (Marín, 2008). El valor de FOS que se definió fue de 2, con base a los resultados estáticos y condiciones de seguridad de la pieza. Sin embargo, los resultados obtenidos en simulación para las juntas del ensamblaje y el clip recto de presión fueron superiores a los 465 en junta 1 y los 306 en junta 2 (ver Figura 9).

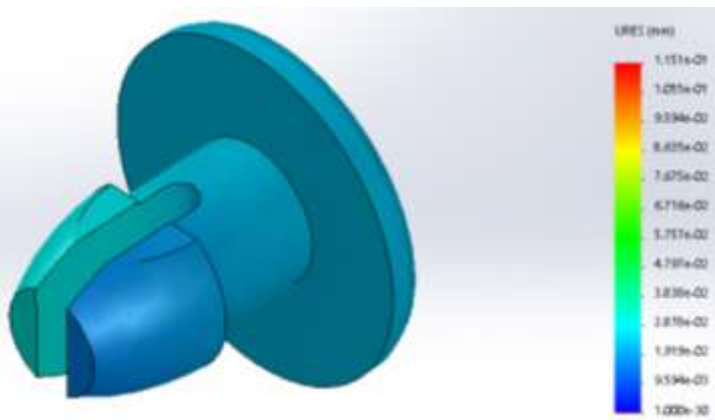
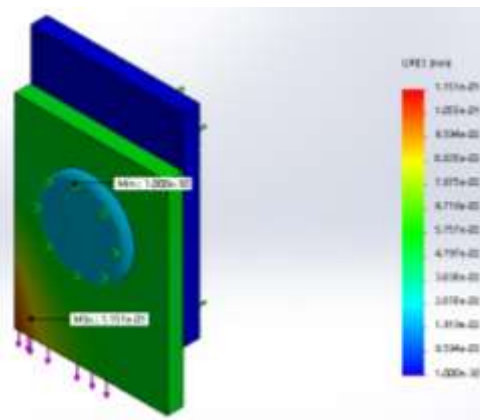


Figura 7. Desplazamientos generados en el ensamblaje.

Figura 8. Desplazamientos generados en el clip recto de presión.

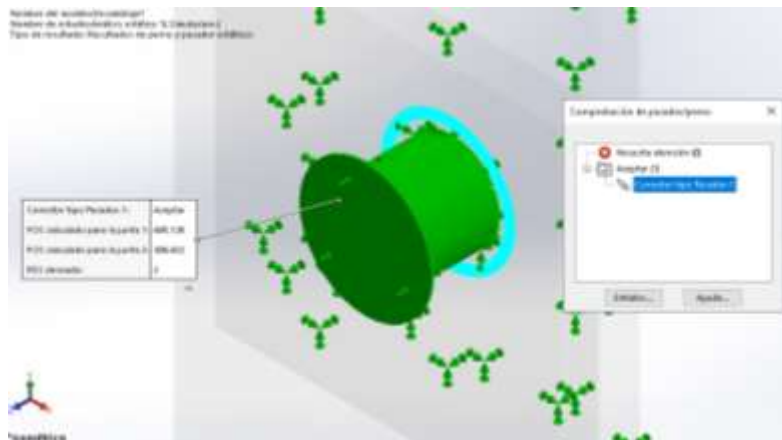


Figura 9. Resultados de simulación del FOS.

Conclusiones

- Utilizando las herramientas CAD de SolidWorks se logró un modelo de clip recto de presión a partir de las geometrías y especificaciones dadas por el fabricante.
- Utilizando el complemento CAE de SolidWorks Simulation, se lograron simulaciones de elemento finito en el ensamblaje y el clip recto de presión para la observación de la distribución de esfuerzos, los desplazamientos máximos y el factor de seguridad.
- Los resultados demuestran que el modelo establecido cumple con las especificaciones de diseño y de carga estática, debido a los siguientes factores:
 - No se sobrepasan los límites elásticos del material.
 - Los desplazamientos generados no afectan el ensamblaje y las partes independientes.

- El factor de seguridad es elevado, incluso mayor al propuesto por Marín (2008), para situaciones críticas.
- La poliamida nylon 6,6 resulta ser un material adecuado para la fabricación de componentes útiles en ensamblaje de autopartes, específicamente para la fijación del panel de revestimiento al armazón interno de la puerta del carro.

Recomendaciones

En trabajos futuros se recomienda investigar los criterios de falla del material y las piezas para ser susceptibles a simulaciones de fatiga mediante las herramientas CAE de SolidWorks.

Referencias

- Abbey, T. (2018). *SOLIDWORKS Simulation: Dynamic Analysis* (1a ed.). lynda.com.
- Begum, S., Rane, A., y Kanny, K. (2020). Applications of compatibilized polymer blends in automobile industry. *Compatibilization Of Polymer Blends*, 563-593. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816006-0.00020-7>
- Chauhan, V., Kärki, T., y Varis, J. (2021). Design of Tooling System and Identifying Crucial Processing Parameters for NFPC Manufacturing in Automotive Applications. *Journal Of Composites Science*, 5(7), 169. <https://doi.org/10.3390/jcs5070169>
- Fellenius, B. (2019). *Bases para el diseño de fundaciones* (1a ed.). Sidney, British Columbia: Pile Buck International, Inc.
- Fraga, P., y Fernandez, T. (2019). A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. *IEEE Access*, 7, 17578-17598. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2895302>.
- Geren, N., Akçalı, O., y Bayramoğlu, M. (2017). Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modelling. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 66, 87-103. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.08.011>
- Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de materiales* (6a ed.). Pearson Educación de México S.A. de C.V.

- Hovorun, T., Berladir, K., Pererva, P., Rudenko S. y Martynov, A. (2017). Modern materials for automotive industry, *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES*, 4(2), 8-18.
- ISCSL. (2020). *Clip recto - ISC Plastic Parts*. Isctl.es. Revisado 25 diciembre 2021, en <https://www.isctl.es/clip-recto/MCPR/filter/00100300087/>.
- Kim, K. (2021). Light-weight design and fatigue characteristics of automotive knuckle by using finite element analysis. *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 35(7), 2989-2995. <https://doi.org/10.1007/s12206-021-0622-0>
- Leal, R., Barreiros, F., Alves, L., Romeiro, F., Vasco, J., Santos, M., y Marto, C. (2017). Additive manufacturing tooling for the automotive industry. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 92(5-8), 1671-1676. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0239-8>.
- Lee, J., Min, B., Park, J., Kim, D., Kim, B., y Ko, D. (2019). Design of Lightweight CFRP Automotive Part as an Alternative for Steel Part by Thickness and Lay-Up Optimization. *Materials*, 12(14), 2309. <https://doi.org/10.3390/ma12142309>
- Mărieș, G., y Abrudan, A. (2018). Thermoplastic polymers in product design. *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 393, 012118. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/393/1/012118>
- Marín, J. (2008). *Apuntes de diseño de máquinas* (2a ed.). Club Universitario.
- Patil, A., Patel, A., y Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3807-3815. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>
- Raina, A., Haq, M., Javaid, M., Rab, S., y Haleem, A. (2021). 4D Printing for Automotive Industry Applications. *Journal Of The Institution Of Engineers (India): Series D*, 102(2), 521-529. <https://doi.org/10.1007/s40033-021-00284-z>
- Ramli, N., Mazlan, N., Ando, Y., Leman, Z., Abdan, K., Aziz, A., y Sairy, N. (2018). Natural fiber for green technology in automotive industry: A brief review. *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 368, 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/368/1/012012>
- Roca, D. (2013). "Soluciones técnicas en la construcción de revestimientos internos de puerta", *Upcommons.upc.edu*. Revisado el 20 de enero de 2022 en <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21537>

Vasiljević, S., Aleksić, N., Rajković, D., Đukić, R., Šarenac, M., y Banković, N. (2018). The benefits of application of CAD/CAE technology in the development of vehicles in the automotive industry", *Acta technica corviniensis*, 18(11), 83-88.

Verma, D., Sharma, M., y Jain, S. (2022). An introduction to high-performance advanced polymers composites, their types, processing, and applications in automotive industries. *Sustainable Biopolymer Composites*, 3-26. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822291-1.00004-x>.

Verma, G. (2018). *SOLIDWORKS SIMULATION 2018 BLACK BOOK* (1a ed.). CAD CAM CAE WORKS.

Volpe, V., Lanzillo, S., Affinita, G., Villacci, B., Macchiarolo, I., y Pantani, R. (2019). Lightweight High-Performance Polymer Composite for Automotive Applications. *Polymers*, 11(2), 326. <https://doi.org/10.3390/polym11020326>

Wiese, M., Thiede, S., y Herrmann, C. (2020). Rapid manufacturing of automotive polymer series parts: A systematic review of processes, materials and challenges. *Additive Manufacturing*, 36, 101582. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101582>

CÓMO CITAR

MONTIJO-VALENZUELA, E. E., Ramírez Torres, F., Cerón Franco, A., Casas Luna, H. A., & Gómez Vega, P. J. . (2022). Análisis de validación estática de un clip recto de presión para aplicación automotriz utilizando herramientas CAD y CAE. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: División De Ciencias Económicas Y Sociales*, (38). <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi38.475>



[Neliti - Indonesia's Research Repository](https://www.neliti.com/)



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International



