

Diseño digital en software CATIA de estructura hexagonal para la absorción de impactos laterales en autos de gama baja

Lucatero Amaral, Josué

2024

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6010>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Diseño digital en software CATIA de estructura hexagonal para la absorción de impactos laterales en autos de gama baja

Lucatero Amaral Josué (tercer semestre en Ingeniería Automotriz)¹*, Ángeles Barreto Emmanuel (cuarto semestre en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica)¹, Rábago Valencia Arturo (cuarto semestre en Ingeniería Mecánica)¹, Cacho Pérez Víctor Hugo (cuarto semestre en Ingeniería Industrial)¹, Carrión Gómez María del Carmen (profesor responsable)¹

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México.

Resumen

Al momento de recibir un impacto lateral, la mayoría de los vehículos no están preparados para recibir este impacto, esto afecta gravemente a los vehículos de gama baja, ya que están diseñados para ser económicos y fáciles de adquirir, más no excelentes en temas de seguridad, por lo tanto, se diseñó una estructura hexagonal en el software CATIA para absorber este impacto de una manera más adecuada.

El uso de estructuras hexagonales lleva ya utilizándose desde el siglo XX, principalmente en el área aeroespacial dentro de las alas de los aviones para distribuir adecuadamente las vibraciones que recibe un esta misma, con esto se logró mejorar la estabilidad del avión, la cual también evitó alguna falla drástica dentro del ala.

En el mundo, muchas personas sufren por un accidente, una situación que llega a ser traumática, además de generar ciertos malestares al momento de recibir el impacto en un vehículo que no esté preparado para situaciones similares (dislocaciones, fracturas, desangramiento, entre muchos otros). Al utilizar este tipo de estructuras se tendrá como beneficio el mejorar la resistencia de la estructura al recibir un impacto, reducir la deformidad en las puertas después de recibir esa fuerza de impacto y tener la facilidad de poder instalar esta pieza en las puertas de los vehículos.

Palabras clave: Estructuras, Materiales, Automotriz.

***Autor Corresponsal:** josue.lucatero@iberopuebla.mx

Introducción

Desde el invento del primer vehículo automotriz en 1885, los vehículos han sufrido muchos cambios, principalmente en la seguridad del pasajero dentro del habitáculo, donde se consideró como principal medida de seguridad el cinturón de seguridad, aunque esta medida se implementó en el mismo año de la creación del primer vehículo, no fue hasta 1958 cuando se modificó, trayendo consigo el cinturón de 3 puntos, salvaguardando la integridad de más de 100,000 estadounidenses [1].

Aunque se tuvo intenciones de mejorar la seguridad de los pasajeros, la industria tomó un enfoque donde se busca poder movilizar más personas con menos tiempo, precio y más “comodidad”, pero se ignoró la seguridad, aumentando los riesgos de sufrir algún daño al momento de recibir un impacto, pero con el pasar de los tiempos se enfocó más los esfuerzos en la seguridad, trabajando con la estructura para poder disipar las fuerzas recibidas al momento de recibirla en forma de choque, aumentando así las posibilidades de sobrevivir a un impacto [2].

Según la ANT (Agencia Nacional de Tránsito), el 30% de los siniestros son choques laterales, donde los fabricantes usan materiales como el aluminio y el acero para construir las estructuras, dando ligereza y resistencia dentro de la misma, aunque también se opta por utilizar aleaciones que tengan la combinación de ambos mundos, como podría ser el uso de aluminio con base de magnesio [3].

Aunque se hacen esfuerzos para reducir las muertes de las personas, se reportó en México una cantidad aproximada de 16500 muertes al año [4]. Con estos datos se demostró que los vehículos no están preparados para resistir estos impactos, demostrados por los investigadores Zhu Haitao, Huang Zhigang y Zhang Bin (2023), donde por parte de la

NCAP (New Car Assessment Program o Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos) mostraron que de los 20 modelos probados, el 80% resistieron y aprobaron el primer paso de la evaluación de seguridad, pero todos los demás fallaron al momento de impactarlos lateralmente (u horizontalmente) [5].

Aunque en este proyecto se enfocó esta estructura hexagonal en los vehículos, este ya se utilizó en otros métodos de transporte, como podría ser en la industria aeroespacial, donde esta estructura se encuentra dentro de las alas para distribuir de mejor forma las vibraciones generadas por la turbulencia, además de reducir el posible peso que podría generar una estructura más rígida [6].

Por fortuna esta tecnología se probó dentro de los automóviles, la cual data del siglo XX, pero no fue hasta en 1950 cuando se empezó a investigar y a aplicar activamente en las estructuras automotrices, aunque otros ejemplos donde también se utilizó esta estructura ha sido en bicicletas para reducir peso sin perder resistencia estructural, en embarcaciones marítimas para absorber los posibles impactos recibidos de una embarcación por las olas del mar, en el ferrocarril para obtener el mismo efecto que en las bicicletas, entre muchos otros ejemplos más [7].

Dentro de este proyecto se determinó como objetivo general el diseñar una estructura hexagonal en CATIA para absorber impactos laterales en autos de gama baja, y como objetivos específicos el detectar que aspectos son determinantes durante impactos laterales en vehículos, mediante la consulta de recursos bibliográficos y análisis de datos de accidentes previos, establecer materiales adecuados y técnicas de construcción óptimas para la fabricación de una estructura hexagonal para la absorción de impactos laterales y diseñar virtualmente la estructura hexagonal propuesta, utilizando el software específico.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque cualitativo que se generó con una investigación documental. En su naturaleza, fue exploratoria y descriptiva, centrándose en entender los aspectos determinantes en los impactos laterales en vehículos y en identificar los materiales y procesos de manufactura adecuados para una estructura hexagonal destinada a mitigar estos impactos. Se recurrió a fuentes como el New Car Assessment Program (NCAP) y la IEEE para obtener datos confiables.

Aspectos determinantes en los impactos laterales en vehículos

La seguridad vehicular es un tema de gran relevancia en la sociedad actual, dada la alta incidencia de accidentes de tráfico que resultan en lesiones graves o incluso la pérdida de vidas. Para abordar este problema, se requiere un entendimiento profundo de cómo los vehículos responden en situaciones de choque. En este contexto, el New Car Assessment Program (NCAP) juega un papel crucial, realizando pruebas de colisiones frontales, laterales y volcaduras para identificar las áreas de mejora en la estructura del vehículo, donde esta información fue encontrada al momento de estar buscando pruebas de impactos, donde se extrajo datos de supervivencia dentro del habitáculo, deformación de la estructura y resistencia de los materiales.

Como se nota en la Fig. 1 es importante dedicar más esfuerzos a esta área del vehículo, siendo una zona vulnerable a deformaciones, aquí el uso de hexágonos en su estructura podría ayudar para reducir el posible daño del vehículo al recibir este impacto.



Fig. 1. Impacto lateral de un vehículo

La recopilación de esta información implica un proceso riguroso y sistemático. Se consultaron diversas bases de datos confiables, como IEEE Xplore, Elsevier, Google Scholar, entre otras, siendo un total de 6 bases de datos, que proporcionó de manera distinta (tesis, documentaciones, etc.) información crucial sobre la fabricación adecuada de la estructura del vehículo. Además, se analizó, consultando en las bases de datos de esta institución, los datos de las pruebas de colisión realizadas por NCAP, donde examina la estructura del vehículo, la presencia y eficacia de airbags, sistemas de retención infantil, y tecnologías de asistencia a la conducción, entre otros factores clave. Este proceso de recopilación de datos se realizó en base a otras documentaciones, donde como palabras claves para buscar en bases de datos confiables fue “daños en estructuras

vehiculares”, el resultado de la búsqueda pasada enriqueció nuestra información recopilada. En el marco teórico se habla sobre choques laterales e investigación sobre los aspectos determinantes en los impactos laterales en vehículos se llevó a cabo a lo largo de un período metódico. Aunque el texto original no especifica una fecha exacta, es crucial considerar la actualidad de los datos recopilados. La seguridad vehicular es un campo en constante evolución, y la relevancia de los hallazgos depende en gran medida de la contemporaneidad de la información. Por lo tanto, se realizó un esfuerzo por acceder a fuentes actualizadas y relevantes para garantizar la validez de los resultados.

Materiales y procesos de manufactura adecuados para la fabricación de la estructura hexagonal para impactos laterales

Para lograr este objetivo específico, se llevó a cabo un riguroso proceso de investigación y análisis.

En primer lugar, se emprendió un estudio exhaustivo de los aspectos críticos relacionados con los impactos laterales en vehículos. Este análisis se basó en la consulta de diversas fuentes bibliográficas especializadas, siendo un total de 21 citas, las cuales se enfatizaron las citas número 2, 5, 6 y 10, con una recopilación de datos provenientes de choques previos, teniendo un enfoque particular en la información proporcionada por el New Car Assessment Program (NCAP), obtenida en principalmente de varias pruebas de choques efectuados por esta institución, los cuales fueron buscados gracias a Google Académico. Estas investigaciones proporcionaron una comprensión detallada de cómo los impactos laterales afectan a los vehículos y cuáles son las exigencias de resistencia y absorción de energía que debe cumplir una estructura diseñada para mitigar estos impactos.

En lo que respecta a la selección de materiales y procesos de manufactura, se llevó a cabo un minucioso análisis, donde se buscó en las bibliografías que se obtuvieron anteriormente la información sobre estos materiales, las cuales ofrecieron información detallada sobre las propiedades de resistencia, peso, costo y capacidad de moldeo de una variedad de materiales, incluyendo acero de alta resistencia, aluminio, fibra de carbono y plásticos reforzados con fibra de vidrio. Además, se consideraron aspectos como la adaptabilidad de los materiales a las necesidades específicas de un vehículo de gama baja.

Para el diseño de la estructura hexagonal, se emplearon dos softwares de diseño avanzado: CATIA y NX. Estas herramientas proporcionaron capacidades de modelado tridimensional precisas y flexibles, permitiendo la creación de diseños detallados y la simulación de diferentes escenarios. Se utilizó CATIA para el desarrollo inicial del diseño, aprovechando su amplia gama de herramientas de modelado y su capacidad para generar geometrías complejas. Después, se empleó NX para realizar simulaciones avanzadas que evaluaron la resistencia de la estructura en situaciones de colisión, analizando la deformación y la distribución de fuerzas. Esta combinación de software garantizó un enfoque integral en el diseño y la evaluación de la estructura hexagonal, asegurando su eficacia en la

mitigación de impactos laterales y la protección de los ocupantes del vehículo.

El análisis, la consulta de documentos, las fuentes utilizadas y la información se obtuvieron siguiendo el proceso delineado en el diagrama de flujo adjunto. Este enfoque metodológico garantizó la precisión y la fiabilidad de los datos recopilados, así como la coherencia y la integridad en todo el proceso de investigación. Cada paso del diagrama fue meticulosamente seguido para asegurar que la información obtenida fuera completa y pertinente, proporcionando así una base sólida para nuestro análisis y conclusiones. Como se muestra en la Fig. 2 la disposición proporciona una combinación óptima de resistencia y ligereza, lo que es fundamental para garantizar la seguridad y el rendimiento del vehículo.

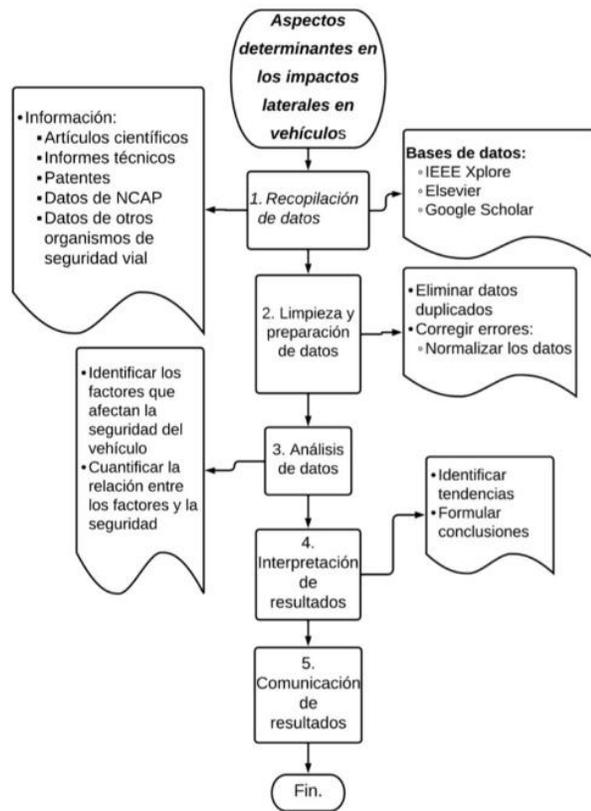


Fig. 2. Diagrama de flujo sobre la obtención de información

La disposición en capas de hexágonos crea una estructura tipo panel que distribuye eficientemente las fuerzas de impacto a lo largo de toda la estructura. Cada capa de hexágonos actúa como una célula individual que absorbe y disipa la energía del impacto, reduciendo así el impacto en la estructura principal del vehículo y en los ocupantes.

Además, esta configuración en capas proporciona una alta relación resistencia-peso, lo que significa que la estructura puede ser lo suficientemente resistente para absorber impactos significativos, pero al mismo tiempo liviana para no aumentar innecesariamente el peso del vehículo, lo que puede afectar su rendimiento y eficiencia energética.

En CATIA, se pueden diseñar estas capas de hexágonos utilizando herramientas de modelado avanzadas para crear

una estructura hexagonal tridimensional que se ajuste a las especificaciones de diseño y los requisitos de rendimiento del vehículo. Mediante la optimización de la geometría y la distribución de las capas de hexágonos, se puede lograr una estructura altamente efectiva en términos de absorción de impactos y resistencia estructural.

Resultados y Discusión

La información encontrada en la construcción de una buena estructura para recibir impactos fue la estructura hexagonal, que ayudaría para que las personas puedan viajar de manera más segura al conducir, además de que esta estructura aportara un mayor soporte.

En vista de la metodología, se obtuvo que la estructura es excelente para este tipo de propósitos; vehículos como los aviones no podrían volar adecuadamente por la falta de soporte a las alas, para resistir mejor cualquier impacto al caer al suelo (usado en bicicletas para senderismo y de competición para reducir su peso sin comprometer su resistencia estructural), entre otras.

En cuanto a los impactos laterales en vehículos, se identificó varios factores clave. Los impactos laterales son una causa importante de muertes y lesiones graves, especialmente en regiones como Europa. A diferencia de los impactos frontales, hay poco espacio en el interior del vehículo para absorber la energía del impacto, lo que a menudo resulta en lesiones graves en la cabeza y el tórax. Las causas comunes de accidentes desde la parte frontal del vehículo hasta la parte trasera de este incluyen maniobras ilegales, violaciones de las señales de tráfico, suposiciones erróneas sobre las intenciones de otros conductores, errores de cálculo de velocidad y falta de atención del conductor. Estos factores son esenciales para entender cómo prevenir los impactos laterales y cómo diseñar los vehículos para minimizar las lesiones en caso de que ocurran. La Fig. 3 muestra los factores de lesiones y la ubicación longitudinal en el vehículo donde cada impacto se centró para los 76 ocupantes del lado cercano sentados en la posición del conductor o del pasajero delantero derecho (para los pasajeros delanteros derechos, el impacto fue en realidad en el lado derecho del vehículo). Treinta de los ocupantes (39%) estaban en choques donde el impacto se centró en la mitad delantera de la puerta delantera (incluido el pilar de la bisagra), en comparación con 25 ocupantes (33%) en choques con el impacto centrado en el pilar B. Los impactos centrados hacia adelante del pilar de la bisagra fueron los más comunes para el factor de lesiones en el desempeño de los sistemas de sujeción. Donde “Other occupant” representa a cualquier persona que no sea el conductor, en este pasajero delantero y trasero; con “Crash dynamics” se refiere a como las personas y el coche se comportan durante un choque; “No SAB” es que no exista alguna bolsa de aire como protección durante el choque; “Restraint performance” es el rendimiento o eficacia de los sistemas de sujeción en un vehículo como cinturones de seguridad y bolsas de aire; “Severity” se traduce como la gravedad del daño causado por el choque.

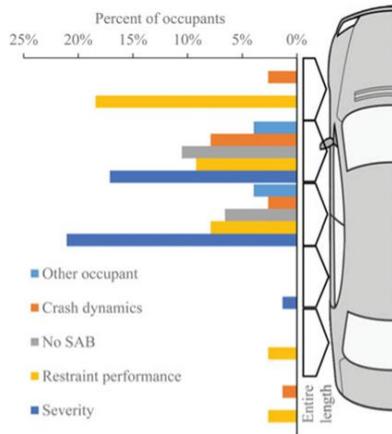


Fig. 2. Factores de lesiones con ubicaciones de impacto.

La ocurrencia de lesiones graves en diferentes regiones del cuerpo también varió según el factor de lesión (Figura 4). En general, el 59% de los ocupantes del lado cercano sufrieron al menos una lesión grave en el pecho, el 33% sufrió una lesión en la pelvis/cadera y el 30% sufrió una lesión en la cabeza. Otras regiones del cuerpo resultaron más comúnmente lesionadas que el pecho cuando los factores de lesión incluyeron la falta de cobertura de airbag lateral (pelvis/cadera), dinámicas de choque únicas (cabeza) o contacto con otro ocupante (cabeza).

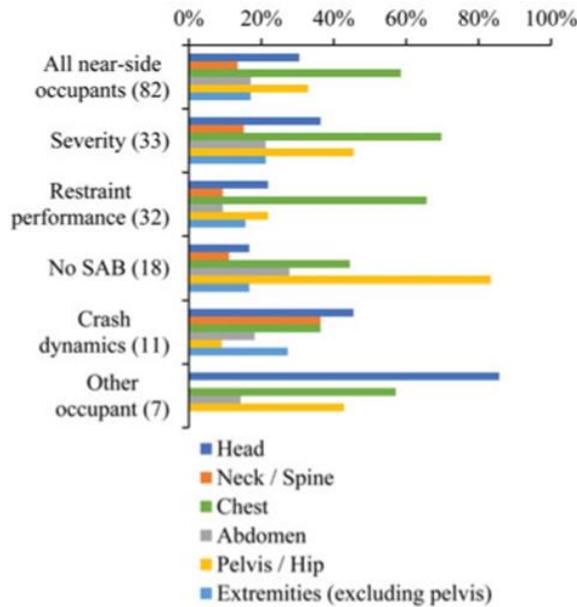


Fig. 3. Regiones del cuerpo lesionadas de ocupantes del lado cercano (lateral), con el número de ocupantes entre paréntesis.

Después de haber investigado dentro de las bases de datos que se mencionaron anteriormente, se obtuvo información sobre los materiales que se han utilizado la forma en la cual son utilizados y que tan viable llegan a ser estos materiales donde se consideran criterios de resistencia, peso y costo, optando por materiales compuestos avanzados para lograr la combinación ideal de resistencia y ligereza para la construcción de una estructura (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales utilizables en la estructura hexagonal del vehículo

Material	Ventajas	Desventajas
Acero de alta resistencia	Resistentes y relativamente baratos.	Pesado y algo complicado de maquinar.
Aluminio	Ligero y perfecto para crear piezas que no estarán bajo mucho estrés.	No muy resistente a impactos y algo caro de obtener.
Fibra de carbono	Material muy ligero y ultrarresistente, capaz de resistir muy bien los impactos.	Muy complicados de maquinar y demasiado costosos, casi exclusivo para categorías de competición o lujo.
Plásticos reforzados con fibra de vidrio	Material flexible, barato y resistente a las deformaciones.	No muy recomendable de utilizar en puntos críticos de resistencia.

Dentro de estos materiales claramente sobresale el acero de alta resistencia debido a que, aunque no sea el mejor material para ahorro de peso, si es muy bueno para la resistencia estructural, considerando también mucho los costos para obtener este mismo, no es caro ni complejo de obtener, por lo tanto, si es una buena alternativa para la construcción de esta estructura.

Dentro de estas se identificaron técnicas de fabricación, como la impresión 3D, que permitan una construcción precisa y eficiente de la estructura hexagonal. El tipo de estructura a realizarse dentro de la industria siempre ha sido de gran importancia, donde gran parte de la industria hace una estructura de tipo independiente, la cual llega a ser interesante para poder hacer diseños más interesantes, pero dejan mucho que desear al momento de recibir impactos, ya que estas tienen varios puntos de unión, reduciendo su resistencia estructural y generando varios puntos de quiebre posibles al momento de chocar. Se diseñó virtualmente la estructura hexagonal propuesta utilizando el software CATIA, la cual se demostró capaz de absorber eficientemente la energía generada por impactos laterales, según las simulaciones de colisión realizadas. La distribución uniforme de la carga a lo largo de la estructura garantiza una protección efectiva en diferentes puntos de la puerta del automóvil, reduciendo significativamente la fuerza transmitida a los ocupantes del vehículo. Además, se encontró que estas estructuras hexagonales son excelentes para disipar fuerzas, como se ha observado en aplicaciones aeronáuticas, donde ayudan a resistir las turbulencias. La combinación de paneles hexagonales en una disposición tipo "sándwich", tal como se muestra en la Fig. 5, con capas huecas para permitir la flexión y puntos de escape de fuerzas,

ha demostrado ser efectiva en la reducción del impacto recibido por el vehículo.

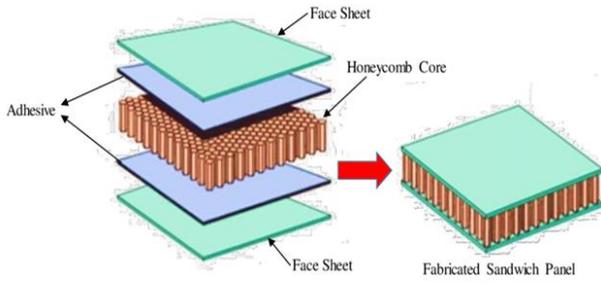


Fig. 4. Honeycomb tipo sándwich

Esta estructura mejora la resistencia a impactos, no aumentaría significativamente el peso del vehículo y sería fácil de adaptar en la puerta, similar a la instalación de almohadillas de insonorización. En contraste, se señala que las estructuras mal preparadas, como las utilizadas en vehículos como el Nissan Tsuru, carecen de la capacidad de resistencia adecuada debido a materiales baratos y falta de apoyo estructural, como evidenciado en pruebas de seguridad donde obtuvieron calificaciones bajas. En resumen, el uso de esta estructura hexagonal promete mejorar la seguridad vehicular sin comprometer excesivamente el peso ni la instalación (Figura 6).

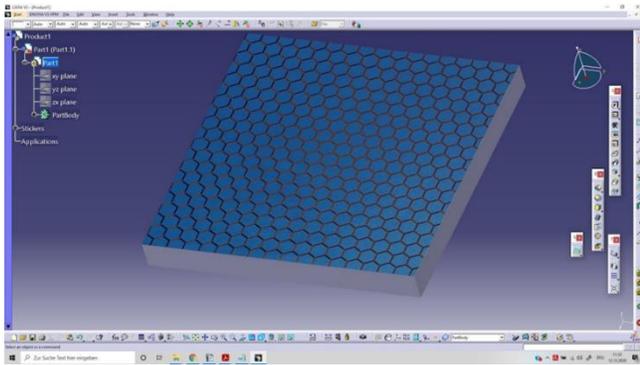


Fig. 5. Diseño de la estructura en CATIA

Los datos obtenidos demuestran que esta estructura si ha cumplido con nuestras expectativas, la cual es capaz de resistir los impactos y las diferentes fuerzas posibles que puedan ocurrir en las partes laterales de un vehículo de gama baja. La pregunta de investigación fue contestada de manera adecuada, fue posible encontrar la estructura con la cual se podrá reducir y resistir ese impacto lateral, además de conocer los materiales ideales a utilizar para la creación de esta. Los objetivos tratados dentro del proyecto de investigación fueron alcanzados, aunque se tuvo ciertos problemas al momento de obtener la información, ya que mucha de esta escaseaba, era algo complicado de obtener una investigación que tuviera partes que fueran necesarias, como ciertos prototipos ya aplicados en la estructura automotriz o que tanto se ha experimentado con esta misma. Mientras que, al momento de ver las posibilidades de maquinar esta pieza,

había varias investigaciones que explicaban que esta era complicada de hacer, mientras que muchas otras mencionaban su facilidad al momento de crearse, por lo cual se obtuvo varias investigaciones que respaldaron nuestra investigación. Las implicaciones de estos resultados son significativas en términos de seguridad vial, ya que la implementación de estructuras hexagonales para la absorción de impactos laterales podría salvar vidas y reducir lesiones en accidentes automovilísticos. La implementación de estas estructuras en la industria automotriz podría tener un impacto positivo en la reducción de lesiones y la prevención de accidentes. Además, se destaca la importancia de considerar aspectos ergonómicos y de accesibilidad durante el diseño e implementación de estas estructuras para garantizar su eficacia y comodidad para los usuarios.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

El estudio ha arrojado resultados significativos en la búsqueda de mejorar la seguridad vehicular, específicamente en la mitigación de impactos laterales.

Los principales resultados del estudio muestran que la estructura hexagonal diseñada virtualmente es capaz de resistir eficientemente los impactos laterales, según las simulaciones realizadas. Además, se ha evidenciado que las estructuras mal preparadas, como las utilizadas en algunos vehículos de gama baja, carecen de la resistencia adecuada, lo que pone en riesgo la seguridad de los ocupantes.

Los beneficios de estos resultados son evidentes en términos de seguridad vial, donde la implementación de estructuras hexagonales en la industria automotriz podría significar una reducción significativa de lesiones y muertes en accidentes de tráfico.

Como recomendación para futuras investigaciones, se sugiere explorar aún más la viabilidad de otros materiales avanzados y técnicas de fabricación, así como realizar pruebas físicas para validar las simulaciones realizadas en software de diseño digital. Además, se recomienda considerar aspectos ergonómicos y de accesibilidad durante el diseño e implementación de estas estructuras para garantizar su efectividad y comodidad para los usuarios.

En este sentido, sería fundamental realizar estudios específicos sobre la experiencia del usuario al interactuar con vehículos equipados con estas nuevas estructuras de seguridad. Evaluar la percepción del confort, la facilidad de acceso a cualquier vehículo y la usabilidad de los controles sería crucial para asegurar que las mejoras en seguridad no comprometan la experiencia general de conducción. Además, considerar aspectos como la adaptación de estas tecnologías para diferentes grupos de usuarios, como personas con discapacidades, sería un paso importante hacia la creación de vehículos más inclusivos y seguros para todos. La retroalimentación de los usuarios debería ser un componente central en el proceso de diseño y desarrollo, permitiendo ajustes y mejoras continuas basadas en las necesidades reales de quienes utilizan estos vehículos a diario.

Referencias

- [1] Infinity (a Kemper company). “Un recorrido por la historia de la seguridad de los autos”. Accedido el 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.infinityauto.com/es/centro-de-conocimiento/aprendiendo-sobre-seguros/historia-de-seguridad-en-los-auto0073>.
- [2] Á. Sánchez. “Diseño optimizado de elementos estructurales para absorción de energía en choques. viga biapoyada sometida a flexión”. <https://oa.upm.es/>. Accedido el 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23141/TFG_Alvaro_Elvira_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] R. Salazar. “Selección de materiales mediante métodos multicriterio (MCDM) aplicado a la parte lateral de una estructura autoportante para vehículos livianos, verificación mediante simulación FEM”. <https://repositorio.uisek.edu.ec/>. Accedido el 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/chromeextension://efaidnbmnnnibpajpglefindmkaj/https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3109/1/TESIS%20RODGER%20SALAZAR%20FINAL.pdf>.
- [4] “Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte”. Instituto Mexicano del Transporte | Gobierno | gob.mx. Accedido el 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=417&IdBoletin=156#:~:text=Cada%20año%20en%20promedio%20mueren,alguna%20discapacidad,%20>.
- [5] Z. Haitao, H. Zhigang y Z. Bin. “Research on Collision Compatibility of Vehicle Frontend Structures”. IEEE Xplore. Accedido el 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10257990>
- [6] Montero, M. (2023, 10 de marzo). Propiedades Elásticas Efectivas de Estructuras de Panales Hexagonales Periódicos. Universidad de Sevilla. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94642/fichero/TFG-4642+Montero+Fdz.-Cavada.pdf>
- [7] J. Smith, “Historical Applications of Hexagonal Structures in Vehicles”, Accedido el 7 de marzo de 2024. Rev. Eng. Veh. Des., vol. 8, no. 2, pp. 45-59, 2023.
- [8] “The Nissan Tsuru has been involved in over 4,000 deaths in between 2007 and 2012”. Latín NCAP – para autos más seguros. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.latinncap.com/en/media-area/new/85703d749aec92/the-nissan-tsuru-has-been-involved-in-over-4000-deaths-in-between-2007-and-2012>
- [9] Motorpasión para Marcas. “La espectacular forma que tiene un coche para absorber impactos”. Motorpasión - Coches y actualidad del motor. Vehículos, marcas y modelos. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/la-espectacular-forma-que-tiene-un-coche-para-absorber-impactos>
- [10] Ruta 401. “Los materiales para carrocerías de automóviles actuales”. Ruta 401, El blog de los Entusiastas del Taller. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/articulo-tecnico-que-materiales-se-utilizan-en-la-fabricacion-de-las-carrocerias>
- [11] D. Plaza. “Chasis autoportante o monocasco: qué es y qué ventajas aporta”. Motor.es. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.motor.es/que-es/chasis-autoportante-monocasco>
- [12] “Chasis autoportante o monocasco: qué es y qué ventajas aporta”. Mundo Tuerca. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://mundotuerca.cl/chasis-autoportante-o-monocasco-que-es-y-que-ventajas-aporta/>
- [13] “¿Qué es el chasis? | Volkswagen”. Volkswagen México | Autos, Camionetas y SUV en Venta. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.vw.com.mx/es/experiencia/tips/chasis-volkswagen.html>
- [14] J. G. Paredes Salinas, C. F. Pérez Salinas y C. B. Castro Miniguano. “Analysis of the mechanical properties of the composite of polyester matrix reinforced with glass fiber 375 and cabuya applied to the automotive industry”. Enfoqueute. Accedido el 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/163/169>
- [15] Tensión y deformación: Resistencia de los materiales en el diseño. (s.f.). ideasDi.com | Revista digital de diseño, interiorismo y moda. <https://ideasdi.com/recursos/tension-y-deformacion/>
- [16] García, C. (2018, 20 de octubre). análisis de la influencia del grado previo de deformación plástica en frío sobre el comportamiento en servicio de los aceros inoxidables austeníticos tipo AISI 304 frente a los modos de corrosión intergranular y bajo tensión. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=297051>
- [17] Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Análisis del proceso de curvado de perfiles para determinar las deformaciones y esfuerzos en secciones del cerchado en la fabricación de bus tipo en la Empresa Carrocerías Paper’s en la ciudad de Ambato. (2015, 13 de mayo). Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Página de inicio. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13422>
- [18] Meka 3, "Honeycomb, la herencia de las abejas", Meka 3, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.meka3.com/honeycomb-herencia-abejas/>. [Accedido el: 12 de marzo de 2024].
- [19] DuPont. (2024). "Kevlar® for Aerospace". [En línea]. Disponible en: <https://www.dupont.mx/fabrics-fibers-and-nonwovens/kevlar-for-aerospace.html#:~:text=Las%20estructuras%20de%20panel%20de,logren%20construir%20aeronaves%20m%C3%A1s%20eficientes.> [Accedido el: 12 de marzo de 2024].

- [20] Nido de Abeja. (s/f). "Automóvil". [En línea]. Disponible en: <https://www.nidodeabeja.com/es/automovil#:~:text=El%20panal%20es%20un%20material,el%20caso%20de%20un%20impacto>. [Accedido el: 12 de marzo de 2024].
- [21] “Análisis Biomecánico de la Seguridad de los Pasajeros durante Impactos Frontales y Laterales en Vehículos Compactos y de Chasis por el Método de FEM”. Universidad Politécnica Salesiana. Accedido el 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22536/1/UPS-CT009755.pdf>
- [22] M. L. Brumbelow, B. C. Mueller, and R. A. Arbelaez, “Occurrence of Serious Injury in Real-World Side Impacts of Vehicles with Good Side-Impact Protection Ratings,” *Traffic Injury Prevention (Online)/Traffic Injury Prevention*, vol. 16, no. supl, pp. S125–S132, Jun. 2015, doi: 10.1080/15389588.2015.1020112.