

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO EN LA INGENIERÍA INVERSA DEL TABLERO FRONTAL DE UN AUTOMÓVIL COMPACTO: APORTES A LA INGENIERÍA MECÁNICA

APPLICATION OF FINITE ELEMENT ANALYSIS IN THE REVERSE ENGINEERING OF THE FRONT PANEL OF A COMPACT CAR: CONTRIBUTIONS TO MECHANICAL ENGINEERING

Pedro Jácome Onofre

Departamento de Ingeniería Mecánica TECNM - México

Ramón Rodolfo Ramírez Rodríguez

Departamento de Ingeniería Mecánica TECNM - México

Christian de Jesús Laureano Acosta

Departamento de Ingeniería Industrial TECNM - México

Guadalupe Márquez Castañeda

Departamento de Ciencias Básicas TECNM - México

Katherine Bravo Ariza

Departamento de Ingeniería Industrial TECNM - México

Aplicación de Análisis de Elemento Finito en la Ingeniería Inversa del Tablero Frontal de un Automóvil Compacto: Aportes a la Ingeniería Mecánica

Pedro Jácome Onofre¹

pedro.jo@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3698-8893>

Departamento de Ingeniería Mecánica TECNM,
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba - México

Christian de Jesús Laureano Acosta

christian.la@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-0662-1755>

Departamento de Ingeniería Industrial TECNM,
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba - México

Katherine Bravo Ariza

katherine.ba@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-5023-896X>

Departamento de Ingeniería Industrial TECNM,
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba - México

Ramón Rodolfo Ramírez Rodríguez

ramon.rr@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2724-3358>

Departamento de Ingeniería Mecánica TECNM,
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba - México

Guadalupe Márquez Castañeda

guadalupe.mc2@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-0662-1755>

Departamento de Ciencias Básicas TECNM,
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba - México

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es demostrar cómo la ingeniería inversa, apoyada en el análisis de elementos finitos (FEA), puede optimizar el diseño y mejorar las características estructurales del tablero frontal de un automóvil compacto. Para lograrlo, se implementaron metodologías que incluyen la digitalización del componente original, la creación de un modelo CAD y su análisis mediante FEA, evaluando aspectos como la resistencia y el comportamiento ante diversas cargas mecánicas. Esta estrategia metodológica permitió identificar posibles mejoras en el diseño original, optimizando el peso del componente sin comprometer su integridad estructural. Entre los principales hallazgos se destaca la viabilidad de reducir el espesor en ciertas áreas, lo que implica una disminución del peso del vehículo y, por ende, un ahorro en el consumo energético. Este estudio aporta a la ingeniería mecánica un enfoque aplicado y práctico del uso de FEA en procesos de ingeniería inversa, favoreciendo el diseño de componentes más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: sustentabilidad, diseño, peso, ingeniería inversa

¹ Autor principal.

Correspondencia: pedro.jo@orizaba.tecnm.mx

Application of Finite Element Analysis in the Reverse Engineering of the Front Panel of a Compact Car: Contributions to Mechanical Engineering

ABSTRACT

The objective of this work is to demonstrate how reverse engineering, supported by finite element analysis (FEA), can optimize the design and improve the structural characteristics of the front panel of a compact car. To achieve this, methodologies were implemented that include the digitalization of the original component, the creation of a CAD model and its analysis using FEA, evaluating aspects such as strength and behavior under various mechanical loads. This methodological strategy allowed identifying possible improvements in the original design, optimizing the weight of the component without compromising its structural integrity. Among the main findings is the feasibility of reducing the thickness in certain areas, which implies a decrease in the weight of the vehicle and, therefore, savings in energy consumption. This study provides mechanical engineering with an applied and practical approach to the use of FEA in reverse engineering processes, favoring the design of more efficient and sustainable components.

Keywords: sustainability, design, weight, reverse engineering

Artículo recibido 15 octubre 2024

Aceptado para publicación: 29 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

El tema que se aborda en este artículo es referente a el “Desarrollo de ingeniería inversa del tablero frontal de automóvil compacto aplicando un análisis de elemento finito”. Por tal razón, la ingeniería inversa es un proceso mediante el cual se toma un objeto por separado de manera única para ver cómo funciona con la intención de mejorarlo o duplicarlo. La ingeniería inversa a nivel investigativo y académico es una disciplina en evolución tecnológica permanente, y a nivel industrial ha crecido su aplicación en consecuencia al estado de madurez alcanzado por los sistemas de captura de información tridimensional y los paquetes de procesamiento computacionales disponibles en la actualidad. Consiste en la captura y procesamiento de la información geométrica en tres dimensiones de un objeto físico. El proceso de captura de información geométrica se conoce como digitalización 3D, y el procesamiento de datos se denomina reconstrucción de superficies. La reconstrucción de superficies toma la información 3D adquirida, y por medio de herramientas CAD genera un modelo computacional tridimensional que puede ser manipulado de acuerdo a las necesidades de diseño, manufactura y análisis. A través de esta ingeniería se llevará a cabo el análisis y diseño del tablero de un automóvil compacto con el fin de innovar y mejorar sus características físicas, aplicando la ingeniería inversa a través del escaneo 3D para digitalizar la pieza y poder estudiarla. A si diseñando un nuevo modelo, aplicando la metodología de la ingeniería inversa, plasmando la pieza en un software CAD. Se implementará un análisis de elemento finito al tablero con el propósito de observar la resistencia que este podría tener a la hora de un impacto a una cierta velocidad para ver qué tipo de daño sufre o que deformación podría ocasionar al tablero, con este análisis se obtendrán resultados específicos que podrían cuestionar el material del tablero.

La problemática a resolver, es dar un nuevo diseño físico al tablero de un automóvil compacto aplicando la metodología de la ingeniería inversa para su estudio, después de a ver realizado el estudio de un impacto se llevará a cabo la digitalización en 3D para poder continuar con el proceso de innovación a través de algún software CAD.

Es importante abordar este tema del proyecto, por su relevancia en la ingeniería mecánica, Y como parte de ingeniería mecánica enfrentandonos en el mundo de la manufactura virtual, es por ello que de esta manera justificamos la razón de realizar este trabajo. Los objetivos que se obtendrán es un



conocimiento total de la ingeniería inversa al explorar un producto, para realizar una modificación a sus características y atributos de ese producto a reconstruir. Las necesidades que se pueden satisfacer, es mejorar el aprendizaje y cultura para fortalecer los programas de estudio de ciertos plan de estudio y preparar mejores estudiantes y poner en alto el Instituto tecnológico de Orizaba,

Los objetivos que marcan el propósito de este estudio es; Aplicar el concepto de ingeniería inversa implementando un análisis de elemento finito a una pieza plástica inyectada a través de la digitalización, post-procesado y reproducción de otra pieza mediante prototipado rápido, con el fin de resolver posibles problemas estructurales o de rendimiento (o problemas ya existentes).

METODOLOGÍA

Con el paso de los años las empresas automotrices diseñadoras y creadoras de sus propios coches a estado innovando sus automóviles para poder darles una mejor comodidad y calidad a sus clientes. En el proyecto actual se decidió estudiar el tablero de un automóvil compacto, enfocándose solo en una de las partes de adentro del automóvil la cual será sometida al estudio de sus propiedades físicas y compuestas, a través de la ingeniería inversa. Se aplicará la ingeniería inversa para el estudio del tablero y así poder conocer cómo y de qué este hecho, para esto será necesario conseguir tablero del coche en buen estado para analizarlo. El tablero es diseñado por la misma empresa automotriz, consta de un material compuesto por (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Los tableros de a bordo rígidos están adoptados inicialmente por la mayoría de los fabricantes de vehículos están fabricados mediante la técnica de inyección, utilizando un sólo tipo de material, generalmente plásticos termoplásticos como el ABS.

La metodología consta de las siguientes etapas para la elaboración de los tableros:

- Triturar los plásticos hasta obtener un material granulado en una presentación uniforme y fina.
- Dosificar las cargas del material granulado que se va a fundir antes de verterlas en moldes.
- Agregar material granulado al molde (densificado y/o peletizado), procurando que tenga un acomodo uniforme usando para ello un rasero para asegurar la fabricación de un tablero de grosor uniforme.
- Introducir el molde con la carga de material de plástico granulado a un horno de fundición en el



que se funde a una temperatura aproximada de 220°C.

- Retirar del homo de fundición el molde con el material plástico ya fundido y pasarlo a una estación de prensado.
- Someter el material plástico fundido contenido en el molde a compresión con una prensa durante un tiempo menor a aquel al del tiempo de fundición de otro moldé introducido en el horno de fundición.
- Enfriar el material fundido en el molde.

Esta redacción corresponde a una investigación de tipo aplicada y descriptiva-experimental. A continuación, se explica por qué aplicada, El objetivo del tema es resolver un problema práctico o generar mejoras específicas dentro de la Ingeniería Mecánica, aplicando conocimientos y herramientas como el Análisis de Elemento Finito (FEA) y la Ingeniería Inversa. Esto implica que los resultados tienen un propósito concreto, como optimizar diseños o materiales. Las características a destacar de los polipropilenos son una buena resistencia química, unas buenas propiedades mecánicas y eléctricas, además de una mayor resistencia al calor que el polietileno y la aceptación como relleno o refuerzo de materiales como el talco, las fibras, o el negro de humo. Su mezcla con EPDM (caucho etileno propileno dieno) es una de las más utilizadas para la fabricación de paragolpes. Otras aplicaciones donde se pueden encontrar son en guardabarros, carcasas del sistema de calefacción, depósitos de líquidos, alerones, spoilers, tapacubos y aislantes para cables. Los diferentes tipos de poliuretanos (PUR), termoplásticos y reticulados, son utilizados en los sistemas de absorción de energía (absorbedores), juntas, spoilers y cantoneras o como aislantes térmicos y acústicos.

Componentes del ABS

El ABS es un polímero termoplástico que se obtiene mediante la polimerización de estos tres monómeros en condiciones controladas de temperatura y presión. La composición del ABS es de 50% de estireno y el otro 50% se divide entre el butadieno y el acrilonitrilo.

El ABS es un plástico muy popular y económico que se utiliza en múltiples sectores, como la automoción, la industria y para usos domésticos. Sus principales características son:

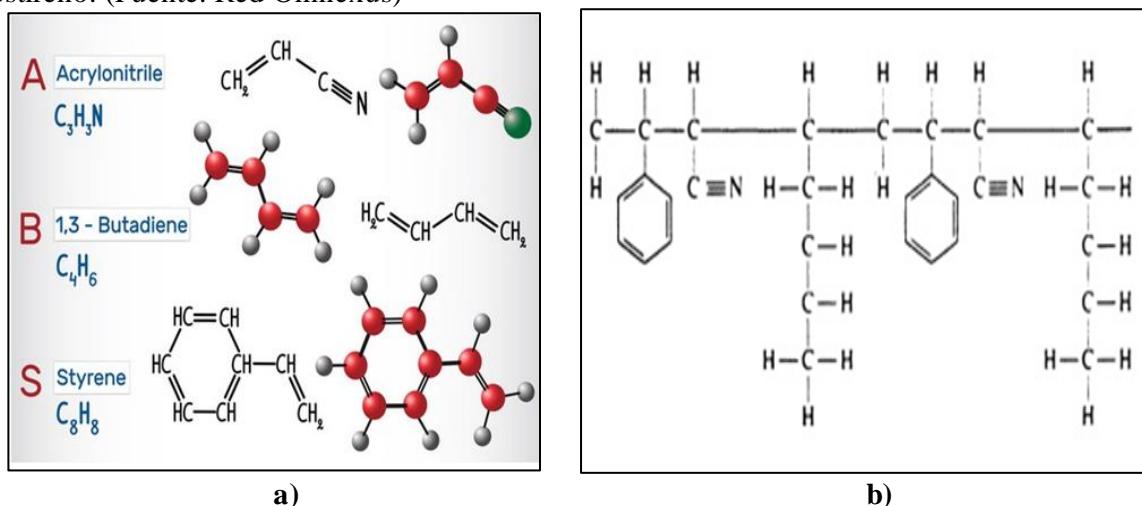
- Alta resistencia al impacto



- Tenacidad
- Resistencia al calor
- Resistencia química
- Resistencia a la radiación UV
- Baja absorción de agua
- Alta resistencia a la abrasión

El ABS se produce mediante la técnica de emulsión o de masa continua. La fórmula química del acrilonitrilo butadieno estireno es $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$. El material natural es de color marfil opaco. Se colorea fácilmente con pigmentos o tintes.

Figura 1. a) Monómeros de Polímeros ABS, **b)** Estructura molecular del acrilonitrilo butadieno estireno. (Fuente: Red Omnexus)



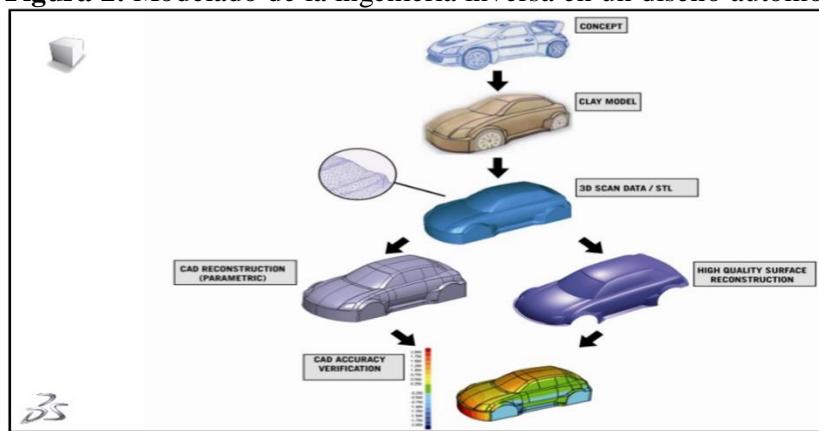
Descripción del Proceso

La ingeniería inversa permite la captura, representación y reproducción de modelos de productos a partir de la manipulación de información tridimensional en un computador. El proceso de ingeniería inversa implica la medición de un objeto físico para describir su geometría con una precisión requerida y así lograr una reproducción del objeto que mantenga en todo momento sus características funcionales. Es posible aplicarla ingeniería inversa usando calibradores y galgas de medición si la geometría no es muy compleja. Sin embargo, la reproducción de un objeto de geometría compleja necesita la aplicación de técnicas de un carácter más avanzado. El proceso de la ingeniería inversa se compone de dos etapas: la digitalización 3D del objeto físico, y la reconstrucción de superficies mediante la aplicación de sistemas



CAD/CAM/CAE especializados para la ingeniería inversa. El modelo CAD obtenido puede ser manipulado de acuerdo a las necesidades del diseño, y generalmente se procede a la manufactura del objeto empleando herramientas CAM, maquinado CNC y sistemas de Prototipado Rápido. La aplicación de la ingeniería inversa en el diseño de producto y mecánico es muy amplia y ha tenido especial incidencia en el diseño automotriz, aeronáutico y en el desarrollo de elementos de máquinas, entre otros. La figura 2. Ingeniería inversa en el diseño automotriz exhibe una de las aplicaciones de la ingeniería inversa en el sector automotriz.(Jimenez Lopez & Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, 2013).

Figura 2. Modelado de la ingeniería inversa en un diseño automotriz



Fuente: Bs SolidWorks

La metodología de ingeniería inversa es especialmente útil cuando se requiere trabajar con precisión, geometrías complejas, disminución de tiempo de desarrollo y evitar ensayo y error como factores incidentes en el desarrollo de un producto.

Digitalización 3D

La digitalización 3D corresponde al proceso de captura de la información geométrica de un objeto físico mediante herramientas tecnológicas de adquisición de datos en masa como escáneres laser, digitalizadores ópticos, brazos de contacto, palpadores, mesas de medición de coordenadas y tomógrafos axiales computarizados.(Rodr & Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, 2011)(pag.48).

Estos sistemas tienen como características fundamentales que pueden medir objetos en tres dimensiones y almacenan la información geométrica capturada en un ordenador para su posterior manipulación. La

selección del sistema de digitalización depende principalmente de los requerimientos de precisión, velocidad, características del material, condiciones de la superficie, tamaño del objeto y condiciones de montaje. Los sistemas de digitalización de acuerdo a sus características tecnológicas tienen variaciones en costo, tamaño, versatilidad y velocidad de captura.

Uso de la Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa suele ser empleada por las empresas, para analizar si el producto de su competencia infringe patentes de sus propios productos. Muchas veces, la ingeniería inversa es utilizada en el área militar para investigar o clonar las tecnologías de otras naciones, sin obtener planos ni detalles de su construcción o desarrollo. En el software y en el hardware, la ingeniería inversa, muchas veces es empleada para desarrollar productos que sean compatibles con otros productos, sin conocer detalles de desarrollo de éstos últimos. En otras palabras, quien desarrolla los nuevos productos, no puede acceder a los detalles de fabricación de los productos de los que intenta ser compatibles. La ingeniería inversa también es empleada para comprobar la seguridad de un producto, generar key gens de aplicaciones , reparación de productos, etc.(Rodr & Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, 2011).

Adquisición de la Geometría

El procesamiento de geometría implica trabajar con una forma, generalmente en 2D o 3D, aunque la forma puede vivir en un espacio de dimensiones arbitrarias. El procesamiento de una forma implica tres etapas, lo que se conoce como su ciclo de vida.

Antecedentes de Ingeniería Concurrente

La ingeniería concurrente (IC) surgió como respuesta a la necesidad de mejorar la comunicación entre los responsables del diseño de un producto, en particular, entre los encargados de especificar las características de un producto, y el resto de los participantes en el proceso de desarrollo y fabricación del mismo. Aunque la IC como paradigma en la dinámica de desarrollo de productos no aparece sino hasta la década de 1980, las técnicas individuales que forman parte de la metodología empezaron a establecerse mucho antes, en el período posterior a la segunda guerra mundial. Evidentemente, la problemática fundamental que la IC busca eliminar tiene orígenes anteriores (Mark Cotteler, n.d.). En el caso del diseño para manufactura, la compatibilidad se logra al hacer una correspondencia entre las características del producto (geometría, tolerancias, materiales, volúmenes de producción) y el proceso



de fabricación primario. Por su parte, la ensamblabilidad de un producto se logra al hacer modificaciones en su geometría para facilitar la manipulación e inserción de los componentes del ensamble y reducir el número de partes del mismo (Mark Cotteleer, n.d.).

Análisis de elemento finito (FEA)

El análisis de elementos finitos consiste en el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el objetivo de encontrar y resolver posibles problemas estructurales o de rendimiento (o problemas ya existentes). El FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que utilizan los ingenieros y científicos para modelar matemáticamente y resolver numéricamente complejos problemas estructurales, de fluidos y multifísica. El software de FEA se puede utilizar en una amplia gama de sectores, pero habitualmente se emplea en el sector de la aeronáutica, la biomecánica y la automoción (Cabo Pérez, 2010). Un modelo de elementos finitos (FE) consta de un sistema de puntos, denominados "nodos", que dibujan la forma del diseño. Conectados a estos nodos se encuentran los propios elementos finitos, que conforman la malla de elementos finitos y que contienen las propiedades estructurales y de material del modelo que definen cómo responderá este ante determinadas condiciones (Cabo Pérez, 2010). La densidad de la malla de elementos finitos puede variar a lo largo del material, en función del cambio anticipado en los niveles de tensión de un área determinada.

Estructura y funciones de un programa de elementos finitos

Un programa de elementos finitos es una pieza compleja de software en la que interactúan numerosas operaciones. Por este motivo suelen estar divididos en segmentos, de los cuales cada uno efectúa una operación determinada. Sin embargo, el programa no solamente se limita al cálculo de algoritmos. La generación de los datos y el análisis de los resultados numéricos, que aparecen como producto del cálculo son esenciales para concluir el análisis satisfactoriamente (Generative Part Structural Analysis (GPS), n.d.).

Así pues, un paquete de cálculo de elementos finitos consta de un post -procesador, un procesador en el cual se incluye la preparación de datos y se generan los archivos de resultado, y finalmente está el post-procesador que facilita el análisis e interpretación de los resultados, generalmente en forma de gráfica mediante el trazado de curvas, gráficos tridimensionales, tablas, etc. (Generative Part Structural Analysis (GPS), n.d.). Uno de los análisis más utilizados es el estático, que permite la determinación de



los componentes de los nodos por efecto de una solicitud estática y, en una segunda fase, la determinación del estado en ciertos puntos característicos de cada elemento. Este tipo de análisis permite acotar la deformación del componente de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o zonas de solicitud baja. El análisis dinámico, que dentro de esta investigación no será utilizado, ya que los amortiguadores únicamente serán analizados por el método estático, será explicado únicamente con la finalidad de que el lector comprenda plenamente todos los tipos de análisis que pueden ser generados a partir del MEF. Los tres tipos de análisis dinámico son los siguientes(Generative Part Structural Analysis (GPS), n.d.):

Dos módulos importantes en el FEA. (Análisis de Elementos Finitos)

- Transferencia de calor: Pueden abordarse problemas de conducción, convección o radiación, en un régimen estacionario. Los resultados son básicamente las distribuciones de temperatura y los fluidos de calor.
- Mecánica de fluidos: Pueden ser problemas en el régimen laminar, turbulento, estacionario o transitorios. Los resultados son básicamente las distribuciones de presión y velocidad.

Simulación de entornos de trabajo del mundo real.

Para simular el efecto de los entornos de trabajo del mundo real en el FEA, se pueden aplicar varios tipos de carga al modelo FE, entre los que se encuentran las cargas nodales (fuerzas, momentos, desplazamientos, velocidades, aceleraciones, temperatura y flujo térmico), las cargas elementales (carga distribuida, presión, temperatura y flujo térmico), así como las cargas de cuerpo de aceleración (gravedad).

Entre los tipos de análisis FE se encuentran las estadísticas lineales, la estática y la dinámica no lineal, los modos normales, la respuesta dinámica, el pandeo y la transferencia de calor. Entre los resultados habituales calculados por el solver se encuentran los desplazamientos nodales, las velocidades y las aceleraciones, así como las fuerzas elementales, las deformaciones y las tensiones (Generative Part Structural Analysis (GPS), n.d.).

Ventajas del FEA

El FEA se puede utilizar en un nuevo diseño de producto o para perfeccionar un producto existente, con el objetivo de garantizar que el diseño sea capaz de ajustarse a las especificaciones antes de la



fabricación. Con el FEA puede:

- Predecir y mejorar el desempeño y la fiabilidad del producto
- Reducir los prototipos físicos y las pruebas
- Evaluar diferentes diseños y materiales
- Optimizar diseños y reducir el uso de material

Desarrollo de ingeniería inversa en la reproducción de una pieza plástica. (Tablero frontal de automóviles

Con el paso de los años las empresas automotrices diseñadoras y creadoras de sus propios coches a estado innovando sus automóviles para poder darles una mejor comodidad y calidad a sus clientes. En el proyecto actual se decidió estudiar el tablero de un automóvil compacto, enfocándose solo en una de las partes de adentro del automóvil la cual será sometida al estudio de sus propiedades físicas y compuestas, a través de la ingeniería inversa. Se aplicará la ingeniería inversa para el estudio del tablero y así poder conocer cómo y de que este hecho, para esto será necesario conseguir tablero del coche en buen estado para analizarlo. El tablero es diseñado por la misma empresa automotriz, consta de un material compuesto por (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Los tableros de a bordo rígidos están adoptados inicialmente por la mayoría de los fabricantes de vehículos están fabricados mediante la técnica de inyección, utilizando un sólo tipo de material, generalmente plásticos termoplásticos como el ABS.

Figura 3. Modelo de un tablero de auto compacto



Fuente: Elaboración propia

Es una fotografía tomada a un tablero de automóvil compacto, para ser sometido al análisis de CAD-CAE, y poder conocer su deformación, esta práctica es para darla a conocer a los jóvenes que están estudiando Ingeniería Mecánica en el TecNM y en otras universidades, La ingeniería inversa es el

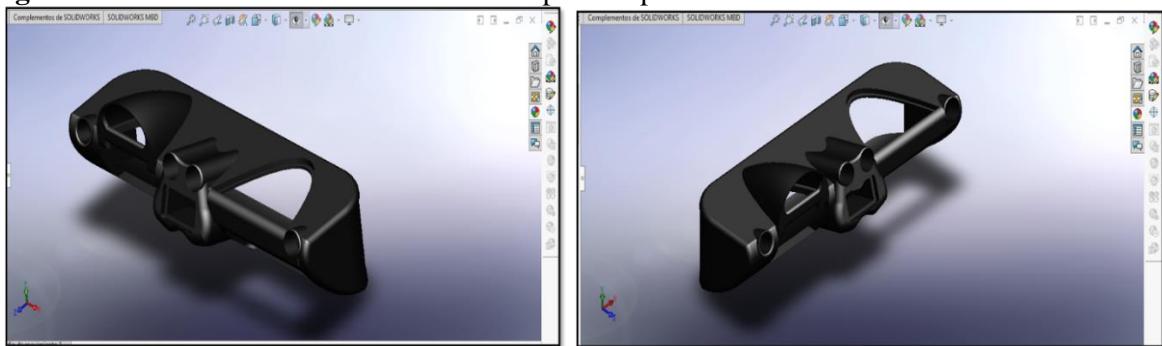
proceso de analizar un objeto existente, descomponerlo en sus componentes principales y medir sus dimensiones críticas para comprender su función y metodología. En la industria de la ingeniería mecánica, esto permite recrear el diseño según una especificación compatible o mejorada.

Modelado 3D del tablero del automóvil compacto en Software Solidwords 2022

Se interactuó con el software SolidWorks para poder modelar el tablero, conocer sus diferentes partes.

A continuación, en la siguiente figura se presentan los diferentes prototipos del tablero.

Figura 4. Modelado en solidworks 2022 de parte superior

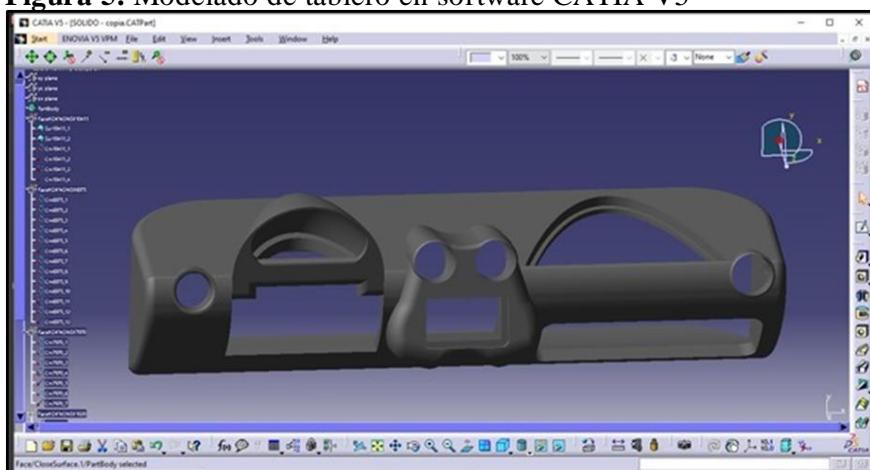


Fuente: Elaboración propia

Modelado 3D del tablero compacto de automóvil en el software Catia

El modelado 3D del tablero de un automóvil compacto, se tiene en el software de SolidWorks 2022, ya que se planteó dibujarlo en este desde un principio, para poder modelarlo en el software de Catia se realizará una emigración del modelo 3D a este software, una vez realizada la emigración del dibujo nos permitirá darle un enfoque diferente en el software Catia, en el cual se recurrirá a realizar un análisis de resistencia de fuerza, este análisis se hace con el fin de estudiar el tablero cuando el auto sufre un impacto y observar todo el tipo de daños que sufre dicha pieza.

Figura 5. Modelado de tablero en software CATIA V5



Fuente: Elaboración propia



Planteamiento del análisis del elemento finito (FEA)

Simplemente en el frenado de un auto, o si no logra frenar, se estrella y entonces se obtiene un impacto brutal, de seguro es un auto que va desde 180 km/h, y logra impactarse a esa velocidad, entonces por tal razón se requiere realizar la composición del tablero para poder modificar sus propiedades o realizar un cambio de los materiales, y la otra opción es innovar por un material compuesto u algo similar, pero esa es la problemática detectada.

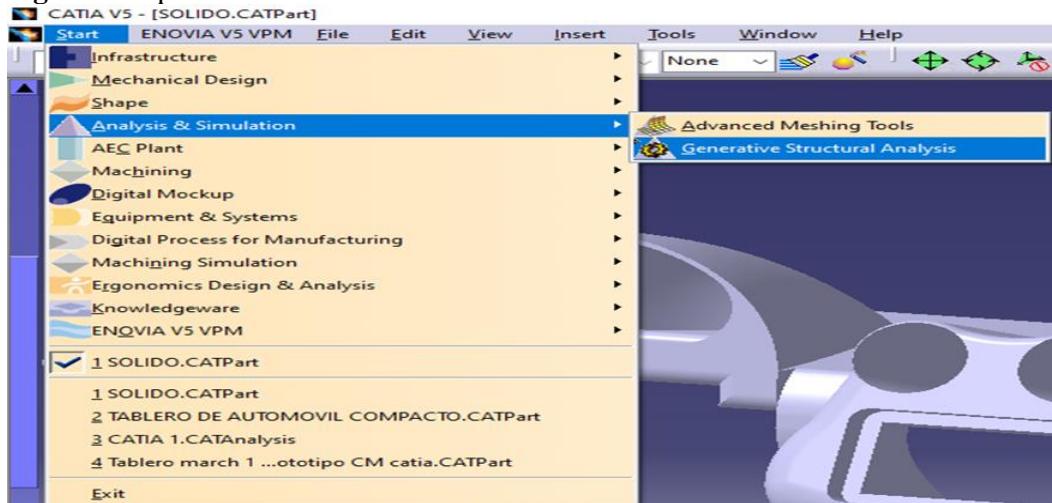
Aplicación del planteamiento FEA en el software Catia

A continuación, se mostrará las herramientas que se ocuparon para llevar a cabo el análisis de elementos finitos en el software **CATIA V5** que es una multi-plataforma **CAD/CAM/CAE**. Su uso en el mercado profesional está ampliamente extendido. Sobre todo, en la industria automovilística y aeroespacial. Permite realizar elementos de ingeniería mecánica tales como moldes, materiales compuestos, forjado...etc. Puede hacer diseños de piezas a partir de un dibujo (“sketch”) en 2D, así como sistemas complejos formados por varias piezas (automóvil, avión, barco...). También puede simular comportamiento de fluidos y diseñar sistemas electrónicos entre otras muchas funciones. Una de ellas es la posibilidad de realizar análisis estructurales de piezas o conjuntos y poder visualizar de una forma gráfica e intuitiva los desplazamientos y tensiones internas del material. En la industria automovilística, vemos que empresas como BMW, McLaren, Audi, Volkswagen, SEAT, Ford, Renault e incluso Tesla Motors se apoyan en la utilización de CATIA V5 para sus desarrollos de producto.

El primer uso de herramientas es en la barra de **start** donde podremos encontrar esta opción, a la hora de dar click nos aparecerá una opción que se llama **análisis y simulation** recurrirremos a bajar a esa opción y nos abrirá dos opciones mas que se llaman, **advanced meshing tools** y **generative structural análisis** de esas dos opciones seleccionaremos **generative structural análisis** para poder pasar a la simulación del tablero des pues nos abrirán herramientas diferentes, recurrirremos a buscar una herramienta que se llama “**restrains**” con el comando **clamp** esta función lo que hace es fijar al espacio la superficie o arista seleccionada. básicamente impide, al soporte seleccionado, cualquier tipo de translación en los 3 ejes coordinados, así como los giros (como si la pieza estuviese empotrada al espacio por esa cara o arista). Se adjunta ejemplo del uso del comando.



Figura 6. Opciones de análisis de elemento finito



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. a) Barra de herramientas Restraints. b) Comando Clamp.

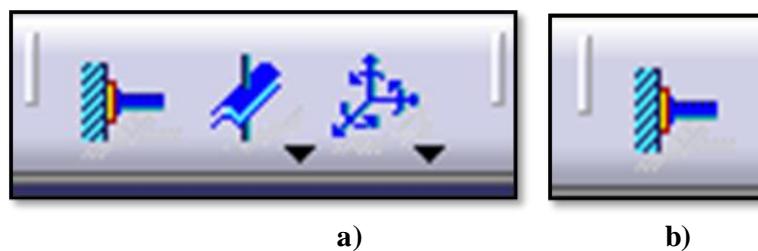
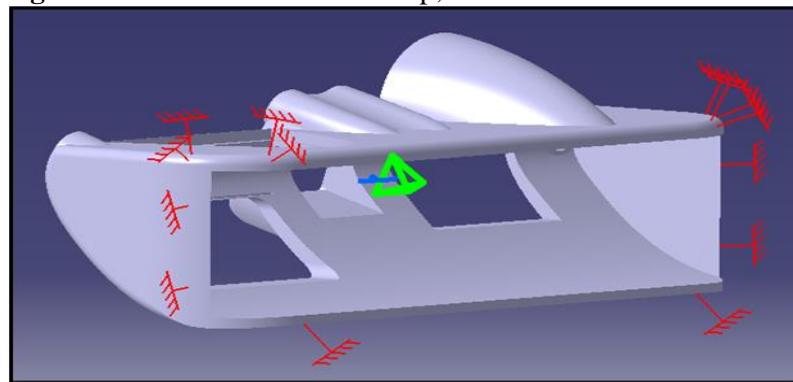


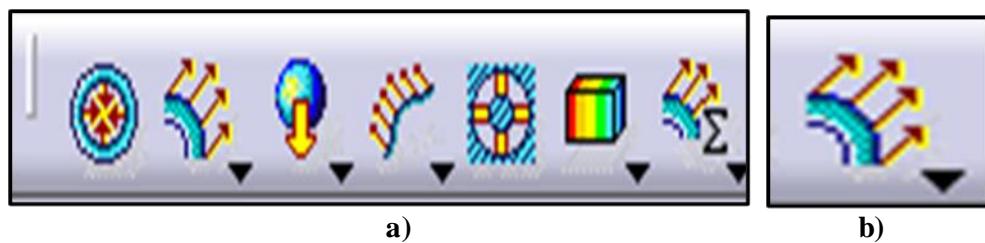
Figura 8. Uso del comando clamp, seleccionando los lados del empotramiento del tablero.



Fuente: Elaboración propia

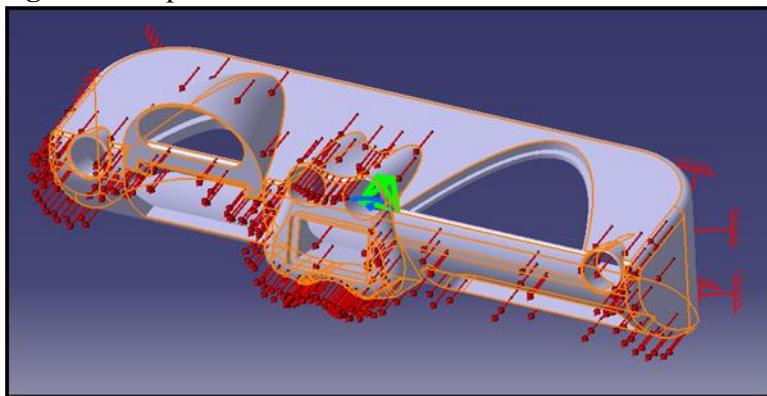
Después de aplicar el empotramiento haremos uso de la siguiente herramienta la cual es “Loads” en este indicaremos cual será la fuerza en el que nuestro modelo será sometido, en este caso usaremos la herramienta de carga distribuida en este lo que se hace es aplicar una fuerza uniformemente distribuida sobre la superficie o arista seleccionada. En el campo **Force Vector** introducimos el vector (dado por sus componentes X, Y y Z) que queremos que tenga la fuerza. Para cambiar el sentido de la fuerza en uno de los ejes se escribe un signo menos (-) delante del valor numérico.

Figura 9. a) Barra de herramientas Loads, b) Usos de comando distributed force.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Aplicación distributed force al tablero del automóvil



Fuente: Elaboración propia

Una vez ya tengamos seleccionado todas las partes donde se aplicará las fuerzas por último utilizaremos la herramienta “compute” que realiza el análisis del sistema por cálculo con elementos finitos. Se trata de una sucesión de procesos en los cuales las entradas de datos (provenientes de un análisis anterior o introducidas por el usuario) se convierten en salidas de datos para usarlas en sucesivas secuencias. De esta forma el proceso tiende a la solución real.

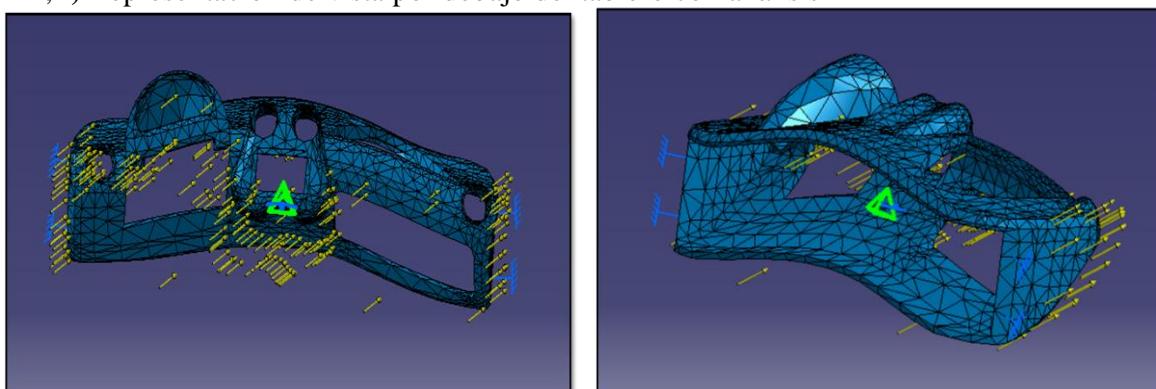
Aplicación del análisis FEA con el software Catia V5

A continuación, se presenta las capturas de la simulación de análisis FEA del diseño con la visualización de “Deformación” donde muestra el resultado del análisis con la pieza o conjunto deformado debido a las fuerzas o cargas a las que se le ejerció. Las deformaciones en cada punto de una pieza están relacionadas con el estado tensional existente en dicho punto a través de las relaciones tensión-deformación.

El parámetro habitualmente empleado para medir el comportamiento a deformación de un cuerpo de forma global es la rigidez, relación entre la fuerza aplicada y la deformación producida. Sin embargo, para poder obtener la rigidez de un cuerpo o sistema mecánico es necesario analizar las deformaciones localmente en cada punto, dependiendo de las solicitudes existentes, y realizar algún tipo de

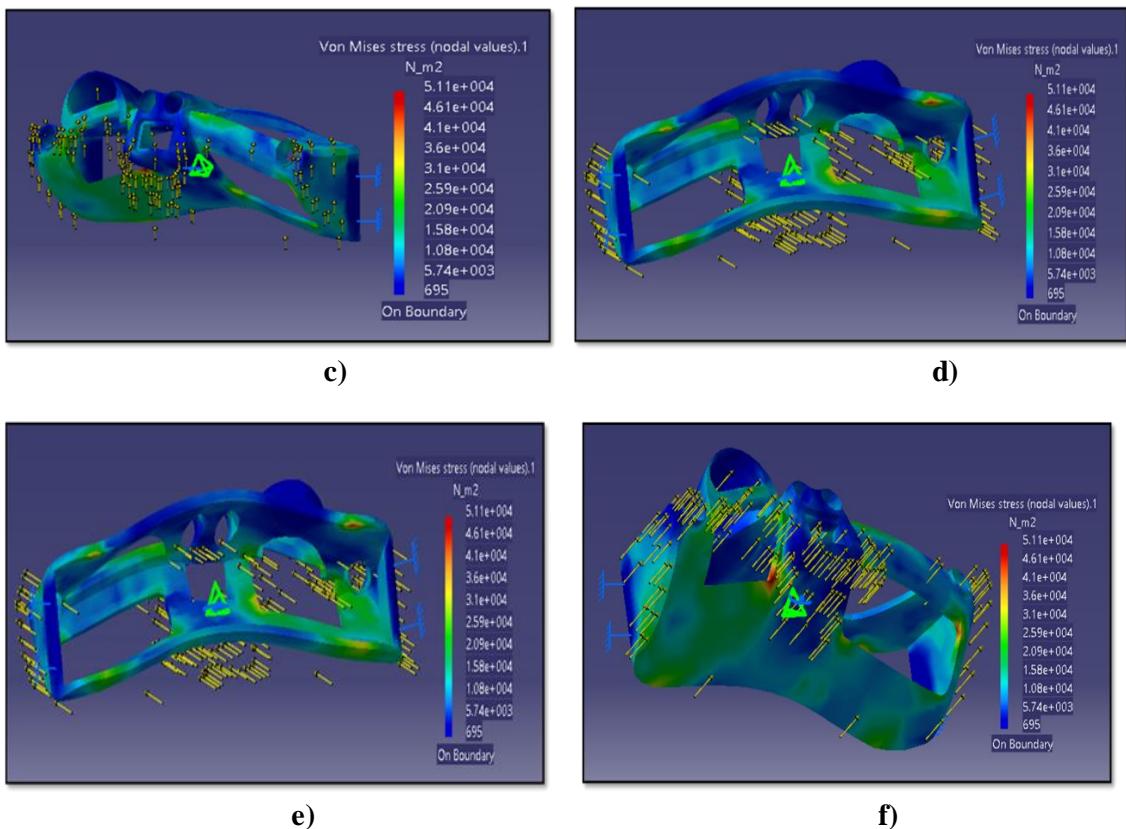
integración gráfica o numérica. También se puede observar la malla de elementos finitos generada. En las imágenes siguientes se observará que el tablero está dividido en figuras triangulares, estas figuras triangulares en cada esquina que se une una con otra hay una interacción entre ellas que las mantiene conectadas que se llaman nodos, estos nodos forman la unión y la interacción de partes del tablero. También en la figura **b**) se observa la concentración de esfuerzos donde representa un campo escalar de la densidad de energía distorsionada y se utiliza para medir el estado de estrés de la pieza, con la ayuda de la gráfica podemos observar que partes del tablero es donde hay un mayor daño en este caso se encuentra en la parte frontal inferior. Esto es uno de los principales problemas al momento de diseñar cualquier tipo de pieza, maquinaria o equipo, debido a que los concentradores de esfuerzos pueden ocasionar que las distintas piezas mecánicas se fracturen y la máquina o equipo pierda sus condiciones de funcionamiento y contribuye a reducir la vida de un componente sometido a la fatiga. Los colores que se notan en la figura anterior tienen un significado, el color azul significa que no hay daño en el modelo 3D, los colores verdes significan que empieza a ver una pequeña tensión en esas partes, el color amarillo significa que la tensión en esas partes empieza a aumentar, el color naranja y rojo significa que esas partes de la pieza ya están sufriendo alguna cuarteadura en esas zonas que son las más tensas y que sufren la mayor carga de fuerza por parte del impacto. En las vistas de las figuras **e**) y **f**) representan la parte de atrás o de adentro del tablero por donde sufre daños a la hora del impacto como se puede observar la parte debajo del tablero sufrió más daño que las partes de arriba.

Figura 11. a) Representación del análisis FEA en el tablero compacto de un automóvil, **b)** Representación del análisis FEA en diferente vista el tablero compacto de un automóvil, **c)** Representación de vista con mayor tensión en las zonas rojas y amarillas de análisis FEA. **d)** Representación de diferente vista del tablero, **e)** Representación de vista por atrás de tablero con análisis FEA, **f)** Representación de vista por debajo del tablero con análisis FEA



a)

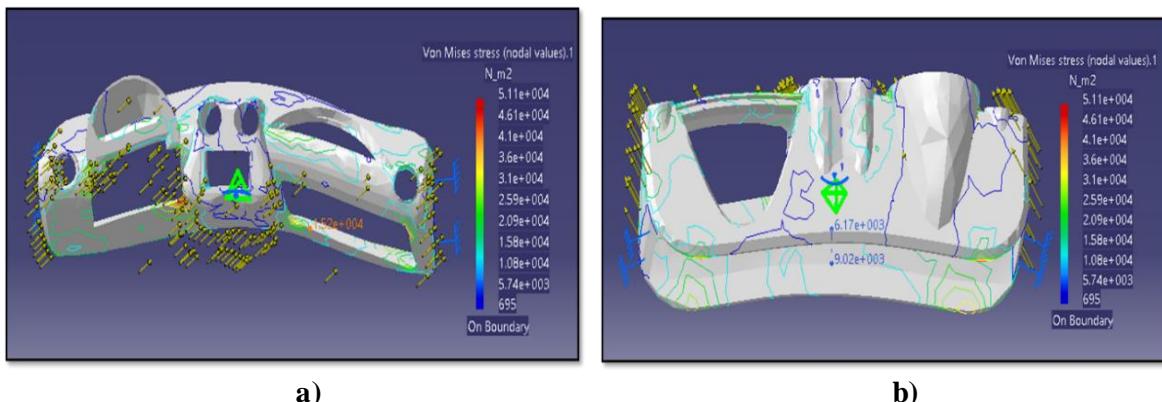
b)

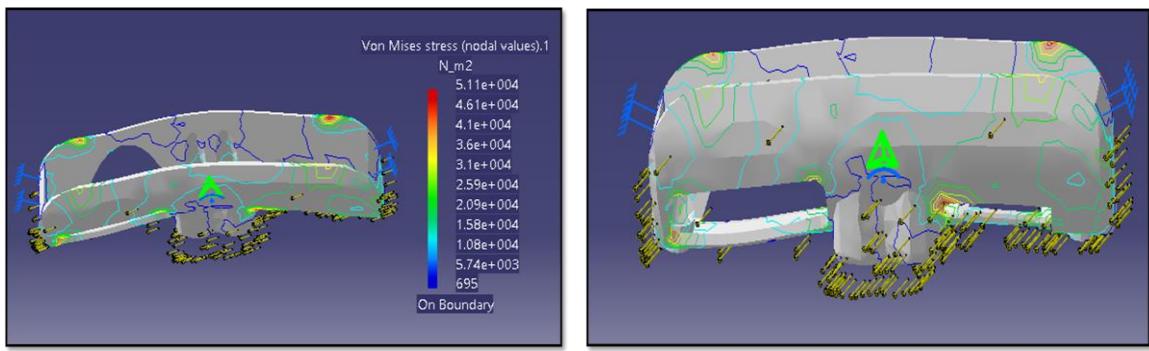


Fuente: propia del Software CATIA V5

En la figura 12 que viene a continuación, se muestra otro tipo de visualización de las concentraciones de esfuerzos, pero está más apegado a las bretaduras que sufriría como se puede observar trae las grietas que serían ocasionadas por el impacto provocado por cierta fuerza aplicada a él. Estas son zonas de concentración de deformaciones (máximas) y estas se consideran como las principales causantes de la promoción de la iniciación y crecimiento de grietas por fatiga con carga repetitiva

Figura 12. a) Representación del análisis FEA con ilustraciones de posibles cuarteaduras en el tablero, b) Representación del análisis FEA con ilustraciones trazeras de posibles cuarteaduras en el tablero, c) Representación del análisis FEA parte inferior con ilustraciones de posibles cuarteaduras en el tablero, d) Representación del análisis FEA parte inferior con ilustraciones de posibles cuarteaduras en el tablero.





c)

d)

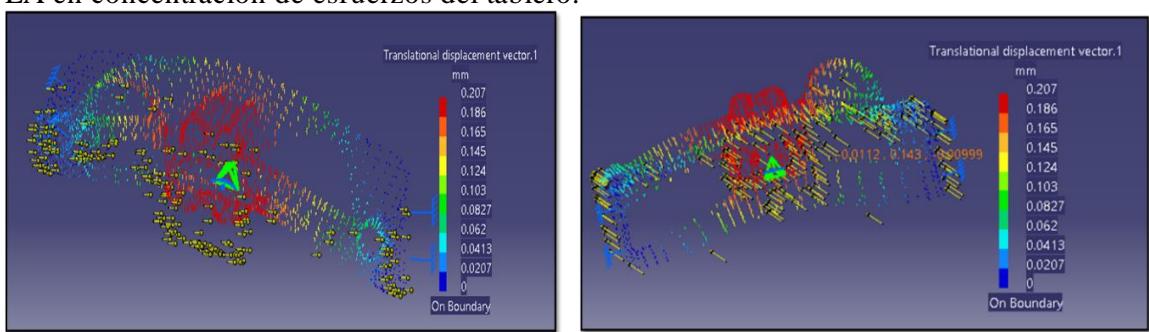
Fuente: propia del Software CATIA V5

En la figura anterior se muestra la deformada de la pieza como consecuencia de las fuerzas aplicadas.

Como se puede observar, y se ha comentado anteriormente, parece lógico pensar que la pieza se retorcerá, debido a las fuerzas. En las siguientes figuras se muestran las distintas posibilidades de análisis que ofrece Catia, al final de todas ellas se hará un pequeño comentario y se resolverá si plastifica algún punto de la pieza.

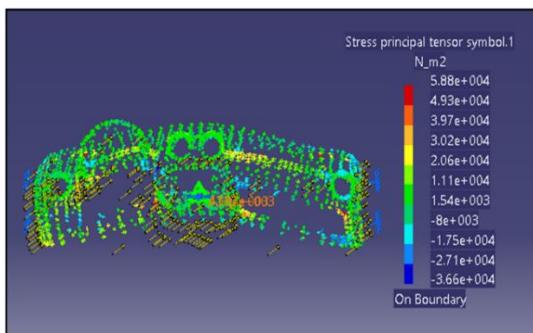
A continuación, en los siguientes esquemas a) y b) de la figura 13 se muestran los desplazamientos donde se usa para visualizar el campo de vectores de desplazamientos. Cada vector representa la dirección del desplazamiento producido y el módulo de la deformación en una escala de colores de cada nodo.

Figura 13. a) Representación de análisis FEA con vectores de desplazamiento de partes del tablero, b) Representación de análisis FEA parte trasera con vectores de desplazamiento de partes del tablero, c) Representación de análisis FEA en concentración de esfuerzos del tablero, d) Representación de análisis FEA en concentración de esfuerzos del tablero.

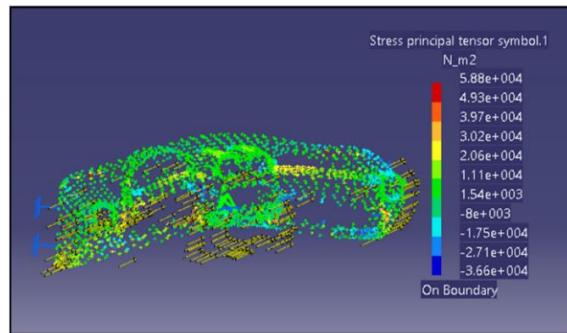


a)

b)



c)



d)

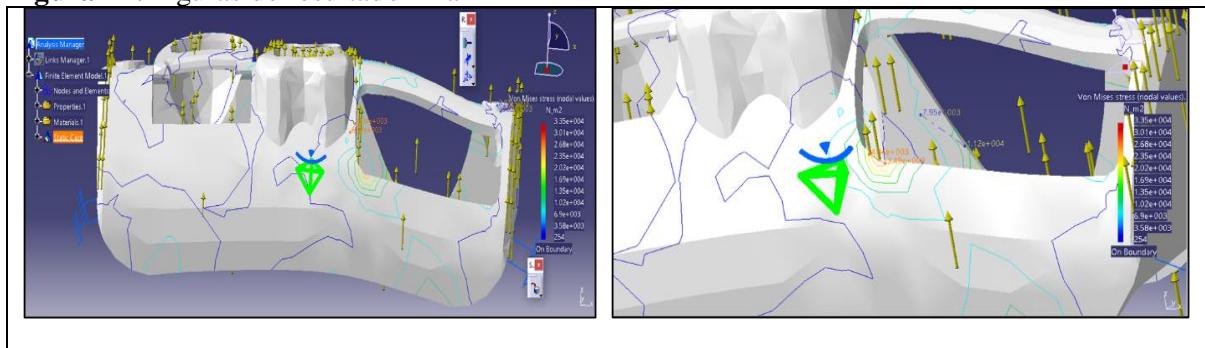
Fuente: Propia de Software CATIA V5

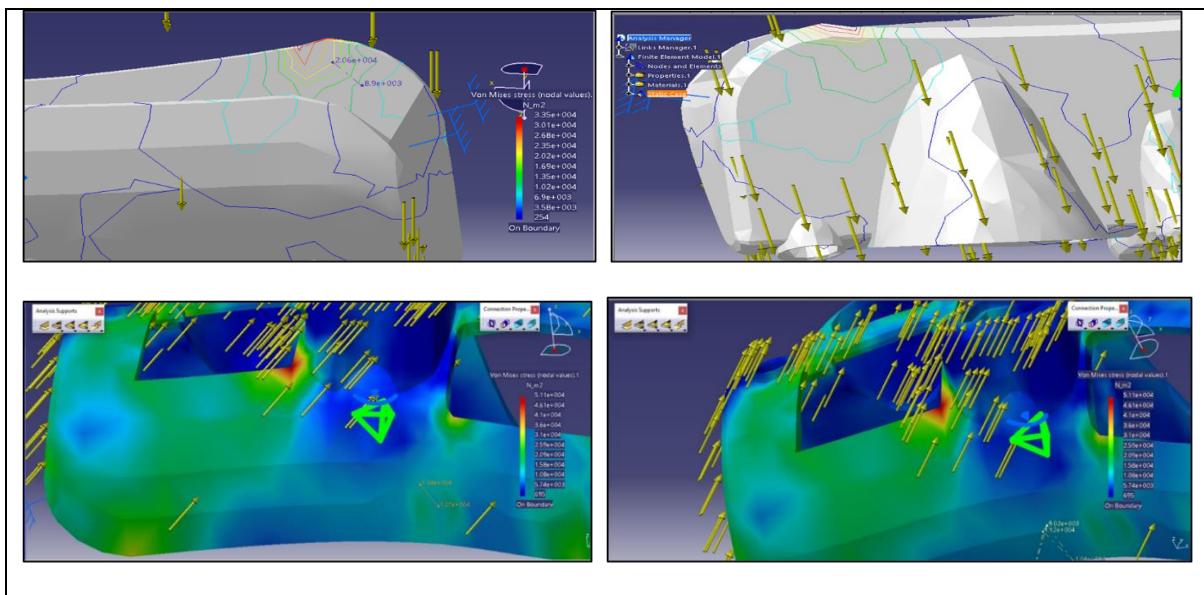
Y por último en las figuras **c)** y **d)** son de concentración de esfuerzos, muestra donde se producen tracciones y donde compresiones mediante una representación de tensor de tensiones. En las opciones de visualización del árbol de especificaciones podemos especificar si queremos que los esfuerzos sean normales, cortantes o combinados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los siguientes resultados muestran las pruebas del análisis FEA donde se determinan los daños que sufrió el tablero obteniendo como resultados las siguientes imágenes donde se muestran todas las partes dañadas de la pieza, el análisis aplicado al tablero fue congruente ya que el tablero logró resistir la fuerza de un impacto viajando a 144 km/hr ya que el tablero no sufrió muchos daños inesperados es apto y seguro para el usuario viajar a la velocidad que se estimó ya que si le ocurriera un accidente no sufrirían daños con esta velocidad, aclarando que con una velocidad más alta no sabríamos que ocurriría y no agregando otros factores a la hora del impacto. En la figura de anexo a los resultados se exponen lo expresado en la simulación de CATIA V5, en el tablero que es impactado a 144 km/h.

Figura 14. Figuras de resultado final





Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, el proyecto Ingeniería Inversa aplicada al tablero de un automóvil compacto se planteó con la idea de alcanzar unos objetivos asequibles, debido a la dificultad que podía presentar el proceso completo. Posteriormente, una vez alcanzado el objetivo principal, se pensó la posibilidad de llegar a la modificación del objeto, para que se viera aún más claro una de las actuales utilidades de dicho proceso. Debido a que ha sido severamente difícil encontrar una máquina de impresión 3D de Sinterizado por Láser (SLS), con impresión de bajo coste para mostrar los resultados obtenidos, complementando el objetivo principal que se propuso al comienzo de éste, desarrollar el proceso completo de ingeniería inversa, obteniendo unos resultados satisfactorios. Para concluir se aplicará el estudio del método de análisis de elemento finito que se desarrolló en el presente trabajo.

DISCUSIÓN

En lo referente al tema de discusión, no hay en sí algo en que centrarse, ya que Catia no es el único programa capaz de realizar análisis mediante el método de elementos finitos (FEA), existen variedad de software, como por ejemplo Nastran, Abaqus, o Ansys. Que nos pueden permitir llegar al mismo resultado.

La interpretación que aportamos los autores de este artículo es que se ha llevado a cabo con Catia V5 el programa más utilizado por diferentes docentes de la licenciatura de Ingeniera Mecánica hay una u otras asignaturas obligatorias para mostrar al alumno diferentes software (CAE), donde el programa usado es Catia V5, y ANSYS, por lo tanto como los alumnos de la asignatura de Mecánica



Computacional, que ya tienen unos conocimientos previos del programa, se aprovecha esta situación y se escoge el uso de este programa para así ahorrarse el tiempo que deberían dedicar los alumnos a familiarizarse con un entorno de simulación nuevo. Tiene un peso bastante fuerte en casi todos los ámbitos de la industria. El módulo con el que se ha realizado este proyecto no se imparte como docencia en la escuela, por lo que se ha tenido que estudiar y aprender a manejar específicamente para este trabajo. Pero en sí es aportar ciertos conocimientos para alumnos que se van inscursionando a la Ingeniería Mecánica, como dice el nombre de este artículo titulado así; *Aplicación de Análisis de Elemento Finito en la Ingeniería Inversa del Tablero Frontal de un Automóvil Compacto: Aportes a la Ingeniería Mecánica*.

CONCLUSIONES

La siguiente conclusión es basada en los rasgos más importantes que esta técnica aporta al campo de la ingeniería, se consideró el comportamiento de la estructura del tablero bajo fuerzas distribuidas, sin embargo, existen otros casos en donde se requiere la respuesta del tablero bajo acción de fuerza real. Aplicando el análisis realizado mediante el Método de los Elementos Finitos, permite estudiar la iniciación y la posterior propagación de las grietas del despegue, que avanza por la interfase del tablero. Dicha iniciación y propagación de la grieta ha sido evaluada para dos casos diferentes. En el primero, despreciando el efecto de la fricción entre las caras de la grieta y en el segundo caso, incluyendo tal efecto en el análisis. De manera más específica y en referencia al proceso de análisis para conocer el comportamiento del tablero de automóvil compacto se observó que sufre deformaciones y grietas, para esta investigación de tesis se llegó a la conclusión que el tablero resiste al tomar un impacto de 140 km/h sin dañar al usuario la zona en la que recibe mayor daño es en la parte central como se mostró en las imágenes anteriores, este análisis permitirá a las empresas automotrices tener un dato más a su favor de la estabilidad y resistencia necesaria de un impacto. En fin, entendiendo todo lo anterior, se puede concluir que el método del elemento finito puede ser vista como una herramienta de análisis eficiente y versátil con la que se pueden atacar problemas de ingeniería de manera interactiva con las distintas ramas del conocimiento. Como conclusiones se puede decir que Catia V5 es un programa único, completo y que permite estudiar toda la vida de una pieza, desde su creación hasta su vida en servicio. Los resultados que ofrece Catia son buenos siempre y cuando se acote el error que se permite cometer.



Además son más que aceptables y la representación de ellos se realiza de la forma más intuitiva que existe en el mercado. Por esto y por poner en práctica lo aprendido hasta ahora durante el grado, se decidió realizarlo con Catia V5.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Rodr, B., & Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de C. A. D. (2011).

Ingeniería Inversa Aplicada: metodología y aplicaciones industriales

<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/cd5a22a0-9e4a-4159-94ac-5c86089765c7/content>

Jimenez Lopez, E., & Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. (2013). Algunas consideraciones sobre la integración de la ingeniería inversa, el CAD y los prototipos rápidos

www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6450/tesis.pdf?sequence=1

Rodr, Betancur. Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Arded Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el conto, almacenados como dibujos tridimensionales

<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/cd5a22a0-9e4a-4159-94ac-5c86089765c7/content>

Riquelme, R. (n.d.). Manufactura aditiva, la gran apuesta de la industria 4.0 en México | El Economista. 2019. Retrieved November 4, 2020, from.

<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Manufactura-aditiva-la-gran-apuesta-de-la-industria-4.0-en-Mexico-20191012-0014.html>

Ingenieria Industrial Online. (n.d.). Retrieved November 4, 2020, from

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/que-es-la-ingenieria-concurrente/>

D. Sol Sánchez, A. Laca Pérez, A. Laca Pérez, P. Simón Andreu, M. Abellán Soler, D. GutierrezGarcia,



P. Pérez Sanchez, A. Rancaño Pérez, M. D. F. (n.d.). Sistemas de moleo y moldes para el automóvil - Plástico. Retrieved November 4, 2020, from.

<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/5242-Sistemas-de-moleo-y-moldes-para-el-automovil.html>

Mariano. (n.d.). ABS | Tecnología de los Plásticos. Retrieved November 5, 2020, from

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.htm>

Cabo Pérez, J. M. (2010). Aplicación del análisis por elementos finitos en la Ingeniería Naval. *Universidad de Cádiz.*

<https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/9463/b34687142.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Gipuzkoa, R. (2017). Fabricación Aditiva: Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa. In *Orain Ekonomia.* <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Manufactura-aditiva-la-gran-apuesta-de-la-industria-4.0-en-Mexico-20191012-0014.html>.

Generative Part Structural Analysis (GPS). (n.d.). *Practica 5: analisis estructral (fem).* <https://www.metalmechanica.com/temas/Manufactura-aditiva,-una-tecnologia-revolucionaria-para-la-fabricacion-de-herramientas+105380#:~:text=Manufactura%20aditiva%2C%20una%20tecnologia%20revolucionaria%20para%20la%20fabricacion%20de%20herramientas&text=La%20historia%20de%20la%20impresion%203D%20aditiva%20en%20la%20industria%204.0%20en%20Mexico%2020191012-0014.html>

