



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Resistencia Mecánica de Ballestas Automotriz con Fibra de
Carbono Comparado con Acero Convencional**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Huaccha Chávez, Rosmel Abel (orcid.org/0000-0001-9509-1838)
Quispe Ruiz, Huber Romario (orcid.org/0000-0002-0455-1630)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico a Dios por haberme otorgado una maravillosa familia, quienes han creído en mí para lograr esta meta, dándome el ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorares y sacrificios. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han puesto su apoyo en mí y el deseo de superación y de triunfo en la vida. Dedico este trabajo de investigación a mis madres, quien supo guiarme por el camino correcto enseñándome valores y siempre estar apoyándome en todo momento.

Agradecimiento

Expresamos agradecimiento a Dios por guiarnos durante todo este camino de obstáculos y dificultades logrando concluir nuestros objetivos planteados, en estas líneas queremos agradecer a nuestras familias, padres y demás personas que nos apoyaron en los momentos difíciles, alegres de esta meta. Un agradecimiento especial a los docentes de la universidad César Vallejo y compañeros de la universidad con quienes compartimos muchos años de nuestra carrera, aprendimos muchas enseñanzas que nos guiara en nuestra vida personal y profesional. hacemos presente nuestro gran afecto hacia ustedes

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Índice de contenidos.....	iii
Índice de tablas.....	iv
Índice de gráficos y figuras	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO TEÓRICO	11
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Variables y operacionalización.....	15
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5. Procedimientos	17
3.6. Método de análisis de datos	18
3.7. Aspectos éticos.....	18
IV. RESULTADOS	19
V. DISCUSIÓN	23
VI. CONCLUSIONES.....	25
VII. RECOMENDACIONES	27
REFERENCIAS.....	28
ANEXOS	34

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Técnicas e instrumentos aplicados en la investigación</i>	17
Tabla 2. <i>Propiedades mecánicas del acero estudiado y compuesto de fibra de carbono</i>	20
Tabla 3 <i>Resultados de simulación del acero aleado</i>	21
Tabla 4 <i>Resultados de simulación del compuesto de fibra de carbono</i>	22
Tabla 5 <i>Costo de Ballesta Automotriz</i>	22
Tabla 6 Costo detallado de ballesta de fibra de carbono	23

Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 1 Esquema de diseño de investigación.....</i>	15
<i>Figura 2 Modelado de la hoja principal de una ballesta automotriz modelo picap.....</i>	19
<i>Figura 3 Tensión de Von Misses para el acero aleado.</i>	21
<i>Figura 4 Tensión de Von Misses para la fibra de carbono.</i>	22
<i>Figura 5 Diagrama de cuerpo libre de la viga curva.</i>	43

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la factibilidad de la hoja principal de una ballesta automotriz diseñada en dos materiales diferentes como fibra de carbono y acero AISI 5160. La investigación es de enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, ya que las variables no fueron manipuladas, así mismo de tipo transversal, pues el interés de estudio es conocer cómo se comporta la variable en un solo periodo de tiempo, y de trascendencia descriptiva debido a que se hará un comparativo entre dos materiales para conocer su resistencia mecánica. Se tomó como muestra la hoja principal de la ballesta de suspensión de una camioneta modelo pickup para tomar las medidas y tener un modelo en el software AutoCAD el cual será exportado al software de simulación. Luego se realizó las pruebas de tracción en laboratorio para obtener propiedades mecánicas de ambos materiales las cuales serán usadas en la simulación estática, para ello se fabricó cinco probetas de acuerdo a norma. Se obtuvo como resultado que las propiedades mecánicas que en acero 5160 es mucho mayor a las propiedades mecánicas de fibra de carbono, pero la elongación del material fibra de carbono duplica la elongación del acero. En la simulación se usó el Software Autodesk inventor y solo se consideró un análisis estático usando las propiedades mecánicas obtenidas en laboratorio, así mismo, para la ballesta en fibra de carbono se cambió el espesor de la ballesta para alcanzar un factor de seguridad igual a la ballesta en acero y así se determinó que la ballesta en fibra de carbono no falla y puede soportar las cargas estáticas reales. Para una mejor confiabilidad de resultados se realizó un análisis matemático evitando la perforación central de la hoja de ballesta lo cual explica la diferencia en los resultados. finalmente se concluye que una ballesta en fibra de carbono es factible para el uso en camionetas pickup, ya que ésta no falla a las cargas estáticas reales y se reduce el peso en los elementos de suspensión del vehículo.

Palabras clave. Fibra de Carbono, Acero Convencional, resistencia mecánica, ballesta automotriz.

Abstract

. The objective of this research was to evaluate the feasibility of the main sheet of an automotive leaf spring designed in two different materials such as carbon fiber and AISI 5160 steel. The research is quantitative and non-experimental in design, since the variables were not manipulated. likewise, of a cross-sectional type, since the interest of the study is to know how the variable behaves in a single period of time, and of descriptive importance because a comparison will be made between two materials to know their mechanical resistance. The main sheet of the suspension leaf spring of a pickup truck model was taken as a sample to take the measurements and have a model in the AutoCAD software which will be exported to the simulation software. Then the tensile tests were carried out in the laboratory to obtain mechanical properties of both materials which will be used in the static simulation, for which five test tubes were manufactured according to the standard. It was obtained as a result that the mechanical properties of 5160 steel are much higher than the mechanical properties of carbon fiber, but the elongation of the carbon fiber material doubles the elongation of steel. In the simulation, the Autodesk inventor software was used and only a static analysis was considered using the mechanical properties obtained in the laboratory, likewise, for the carbon fiber leaf spring, the thickness of the leaf spring was changed to achieve a safety factor equal to the steel crossbow and thus it was determined that the carbon fiber crossbow does not fail and can withstand real static loads. For a better reliability of results, a mathematical analysis was carried out avoiding the central perforation of the crossbow blade, which explains the difference in the results. Finally, it is concluded that a carbon fiber leaf spring is feasible for use in pickup trucks, since it does not fail real static loads and the weight of the vehicle's suspension elements is reduced.

Keywords. Carbon Fiber, Conventional Steel, mechanical resistance, automotive spring.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria automotriz exige diseños cada vez más ligeros y eficaces. Para ello, la industria requería un método de fabricación que permita diseñar elementos complicados por su forma, y a su vez realizar un proceso ligero, es por eso que ya se viene desarrollando la fabricación de ballestas con materiales livianos, la cual no solicita las típicas herramientas de moldeo, por ende la importancia de diseñar piezas automotrices con materiales livianos se centra en la reducción del peso del vehículo, además tiene la capacidad de fabricar una pieza automotriz en tiempos cortos (Daminabo et al. 2020) es por ello que la fabricación con fibra de carbono tiene una amplia aplicación en muchos campos de la industria.

Asimismo, se consigue ventajas para los fabricantes automotrices, como son las resistencias mecánicas, las resistencias químicas, y la firmeza ambiental; además son materiales más rápidos de fabricar; de acuerdo con esto se puede reemplazar distintos materiales como aleaciones, volviéndose materiales de grado muy altos en sus distintas aplicaciones, robótica, energía, medicina, lo podemos encontrar en diferentes partes que son trascendentes para la humanidad (Wang et al. 2020).

En la actualidad ya se está trabajando con diferentes materiales polímeros para la fabricación aditiva, pero estos, aún sufren daños ocasionados por la humedad que se debe básicamente a micro fisuras formadas durante el diseño (Afshar y Wood 2020), lo cual genera una baja calidad en cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales; esto no genera buenas expectativas a los fabricantes debido a que aún hay piezas automotrices diseñadas con materiales polímeros que no alcanzan las propiedades deseadas.

Algunos problemas como exceso de peso (Husaini et al. 2019), el tiempo en terminar la fabricación de un elemento mecánico hasta su entrega final, asimismo los costos elevados que se generan por el uso de ciertas herramientas como moldes en algunos procesos de fabricación, como también la mano de obra necesaria (Ahmed et al. 2021). Por otro lado, la cantidad de material desperdiciado en los diferentes procesos por los que tiene que pasar una pieza mecánica hasta obtener la esperada y la necesidad de unir diferentes métodos usados para obtener un solo elemento útil

(Daminabo et al. 2020), son factores que intervienen en la investigación de nuevos materiales métodos de fabricación de elementos mecánicos.

De acuerdo con los acontecimientos que vienen ocurriendo observamos la falta de estudios en nuevos métodos de fabricación, que están ocasionando grandes problemas en componentes automotrices como costos y tiempo (Calantonea et al., 2002). Lastimosamente el poco interés por la investigación de nuevos materiales y métodos de fabricación ocasiona que los problemas encontrados permanezcan en el tiempo y no se encuentre una solución, evaluando rendimientos de los residuos de los materiales compuestos (Pinho, Amaro y Piedade 2020).

En consecuencia, al no realizarse un estudio se cortará una brecha a nuevos conocimientos acerca de las propiedades y los beneficios de la fabricación 3D (Schmitt, Mehta y Kim 2020), por lo tanto, se seguirá usando métodos que requieren de tiempo y elevados costos para producir componentes automotrices. Si no se conocen las propiedades mecánicas (Goh et al. 2010), de ciertos componentes diseñados en impresión 3D que pueden ser muy ventajosos, entonces no habrá alternativas para reemplazarlos por otros altamente eficientes (Kessentini, Ahmed y Madiouli 2019), por lo mismo se detendrá un avance de las nuevas tendencias que pretenden dominar la industria de diseño y fabricación.

Mediante la investigación se espera conocer las propiedades mecánicas (Lim et al. 2022) que puede alcanzar una ballesta automotriz fabricada de material liviano como fibra de carbono, puesto que en últimos acontecimientos transcurridos en las últimas décadas se ha dado paso a mucha variedad de alternativas con el fin de reducir el peso de los vehículos (Lim et al. 2022) es por ello que los polímeros han ocupado un lugar en el diseño de elementos automotrices (Zalohin et al. 2019) la fibra de carbono no se considera un polímero, pero si es un material muy ligero y de alcanzar las propiedades requeridas se espera que pudiera reemplazar al acero para la fabricación de ballestas (Sharma et al. 2020).

Después de revisar diferentes investigaciones y tomando en cuenta la actualidad se plantea como pregunta principal: ¿Cuál es la factibilidad de fabricar la hoja principal de una ballesta automotriz con fibra de carbono en comparación con la ballesta de acero convencional?, asimismo de manera más específica se plantea: ¿Cuál es el

modelo de la hoja principal de una ballesta automotriz? ¿cuál de los dos materiales ofrece mejores propiedades mecánicas para una ballesta automotriz? ¿Cómo realizar la simulación de esfuerzos de la ballesta fabricada con acero y otra con fibra de carbono? ¿Cuál es la diferencia de costos de la hoja principal de una ballesta automotriz utilizando fibra de carbono y acero para realizar las pruebas necesarias?

Por lo tanto, se plantea como objetivo general evaluar la factibilidad de la hoja principal de una ballesta automotriz diseñada en dos materiales diferentes como fibra de carbono y acero, igualmente de manera específica modelar la hoja principal de una ballesta automotriz, Comparar las propiedades mecánicas de la ballesta automotriz diseñada en ambos materiales, Simular la resistencia mecánica de la hoja de ballesta fabricada con acero y otra con fibra de carbono, comparar la inversión para las pruebas de laboratorio de la hoja principal de una ballesta automotriz utilizando fibra de carbono y acero convencional .

II. MARCO TEÓRICO

En investigaciones realizadas en los últimos años a nivel internacional se encontró a (Noronha, Yesudasan y Chacko 2020) quien en su investigación realizada en el sector de la industria automotriz en EE. UU., buscó determinar la capacidad de carga de una ballesta automotriz fabricada en diferentes materiales realizando un análisis estático y dinámico, para esto se estudió una muestra de 4 materiales diferentes como: acero EN 45, carbono/vidrio epoxi, kevlar/epoxi e isotrópico. Para el estudio del análisis de carga estática del modelo de ballesta se realiza en ANSYS Workbench, considerando como dimensiones para su evaluación al análisis estructural estático, análisis modal, análisis de vida a fatiga y comparación en peso. En esta investigación se encontró que el material kevlar/epoxi soportan menor carga que los demás materiales mencionados en cuanto al análisis estructural estático. Se concluyó que el material kevlar/epoxy muestra mayor deformación debido a que presentan un menor módulo de elasticidad (Artículo 2022).

(Nayak, Panigrahi y Nayak 2020) realizaron una investigación enfocada en el sector automotriz en la India, donde busca reducir el peso de los vehículos realizando un estudio de diseño y análisis de ballestas compuestas híbridas para aplicaciones automotrices. para ello se estudió una muestra de tres tipos diferentes de compuestos reforzados con fibra (sintéticos, naturales e híbridos) para material de ballestas. Para el estudio se modeló y utilizó el software ANSYS, considerando como dimensiones la resistencia a esfuerzos combinados, dureza y resistencia a la fatiga. En la investigación se encontró que la ballesta híbrida reforzada con vidrio/carbono es altamente resistente a los esfuerzos combinados. Se concluyó que al utilizar composites se logra reducción de peso, menos deflexión, alta resistencia y un bajo costo de fabricación.

(Kuba et al. 2022) realizaron una investigación basada en el sector automotriz en la ciudad de Tokio – Japón, buscó un método de impresión 3D para conseguir un bajo contenido de huecos con materiales compuestos. Para esto se estudió una

muestra de filamento de polieter-eter-cetona/fibra de carbono (CF/PEEK). Para el estudio se observó la formación de vacíos en la sección transversal mediante SEM, considerando como dimensiones para su evaluación el efecto de la viscosidad y la resistencia a la tracción interlaminar. En esta investigación se encontró que el polímero de viscosidad ultra baja (CF/PEEK 90G) reduce los vacíos en los filamentos en un 92%. Se concluyó que la fibra de carbono como material de núcleo permite utilizar el PEEK 90G un polímero que no podía utilizarse como material de impresión por alta acumulación de vacíos.

En una investigación realizada por (Khatkar y Behera 2020) en la ciudad de Nueva Delhi – India perteneciente al sector de la automoción, buscaron determinar la influencia de la arquitectura de refuerzo en el rendimiento mecánico estático de la ballesta diseñadas de materiales compuestos, para esto se utilizó fibra de E-Glass, tejido unidireccional (UD), tejido bidireccional (2D) y tejido ortogonal 3D para la fabricación de un resorte de hoja. Para el estudio del análisis de esfuerzos se realizó un ensayo con una velocidad de deformación de 1 mm/min con máquina de ensayo universal INSTRON 5982[32], considerando como dimensiones: Tracción, Flexión, Deformación, y Amortiguación. En los resultados se encontró que la ballesta compuesta fabricada por tejidos 3d fue mejor que el picado, Ud, y contrapartes 2d en cuanto a la absorción de energía, velocidad de deformación, histéresis y relajación. Se concluyó que la ballesta compuesta 3d muestra un alto rendimiento para la aplicación de amortiguación automotriz (Yakovleva et al. 2019).

En otras investigaciones se encontró a (Alemu Tadesse y Fatoba 2022) en una investigación desarrollada en el sector Etiopía en África. El objetivo de este trabajo fue perfeccionar el diseño de la ballesta de acero logrando reemplazar por materiales compuestos para ser extendida en la industria automotriz, para esto se estudió una muestra en los tipos de unidades de trabajo. Para el estudio se aplicó los análisis numéricos de los materiales compuestos tanto en el software CATIAVR9 como el ANSYS. Considerando como dimensiones la tensión admisible y deflexión máxima en la investigación se encontró que las dimensiones se presentan en un mayor nivel de frecuencia al desarrollo de la invitación, se concluyó que los materiales son compuestos mejoraron en la reducción de peso en comparación con la hoja de acero.

En la investigación, se encontró a (Jun Keet al 2020) quienes desarrollaron estudios en el sector del país India. El objetivo de este trabajo es analizar los compuestos textiles con refuerzos de epoxi empleado en los modelos de procesos por infusión por resina asistida por vacío. Para esto se estudió una muestra en ballestas de automóviles en comparación con el acero convencional, para el estudio se aplicó análisis numérico de las propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, resistencia a la flexión. Fundamento como dimensiones tracción flexión amortiguación impacto. Se concluyó perfeccionando que las ballestas compuestas en 3D reflejen significativamente superior que el de sus contrapartes cortadas en 2D.

En investigaciones realizadas se encontró (Soliman 2019) quienes desarrollaron estudios en el sector del país de Egipto. El objetivo de esta investigación fue lograr obtener un diseño seguro de ballestas compuestas de CFRP con menor peso y una mejor rigidez, que las de acero. Para esto se estudió se realizó una muestra con la ballesta de acero convencional, para el estudio se aplicó un análisis número en los altos factores de seguridad en las tensiones análisis estático análisis modal para ballestas de acero con el compuesto de FEA. Fundamentado como dimensión tracción flexión resistencia a la compresión resistencia al corte. Se concluyó que los CFRP resisten fallas y resonancias en donde tiene un factor muy alto de seguridad. (Manso et al. 2019)

En la investigación realizada, se encontró (Becker et al. 2019) quienes desarrollaron estudios en sector del país de Alemania. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un programa de ensayos que sea capaz de representar el comportamiento de deterioros de fatiga que acontece en compuesto de mecanismos reales, para este estudio se realizó una modelo nacional a nivel de admitir una mejor pronóstico de la vida de la fatiga y la transferibilidad de los resultados de las ensayos a nivel de los mecanismos para el estudio se aplicó un análisis experimental de flexión de tres puntos hechas con materiales impregnado de epoxi reforzados con fibras de vidrio, estableciendo con dimensiones flexión tensión fatiga. Se concluyó como resultado una representación más objetivo del estado de tensión de la ballesta en la experimentación de fatiga con esto se benefició un mayor margen de seguridad en las fases de dicho diseño.

En cuanto a la variable que se estudiara en esta investigación es el rendimiento mecánico de una ballesta automotriz, lo cual es la durabilidad antes de fallar de dicho elemento (Gonçalves et al. 2019), además la microestructura es fundamental, pues de ello depende el tiempo de vida de una ballesta ya que determina la resistencia a desgaste. por su parte (Rathod, et al 2019) afirma que una ballesta automotriz es un elemento importante diseñado para soportar cargas verticales, y este está relacionado con el rendimiento del vehículo.

De acuerdo con los aportes de (Ke et al. 2019) se ha considerado tres dimensiones para analizar la variable rendimiento mecánico como es el diseño de la ballesta el cual consigue una nueva configuración de hoja, pero para el caso comparativo es necesario modelar la hoja para obtener una misma configuración en todas las comparaciones. Así mismo se tiene la dimensión propiedades mecánica, según (Rathod et al. 2019) las propiedades mecánicas se pueden medir con los indicadores como: limite elástico, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y elongación. También se usó la tercera dimensión como reducción de peso, pues este es un factor importante, ya que al reducir el peso en las ballestas se estará mejorando considerablemente el rendimiento del vehículo. (PAPPA,et al 2021) considero la dimensión simulación 3D para realizar un análisis estático y dinámico de hojas de ballesta esto es un muy importante para encontrar el factor de seguridad aplicando cargas reales que soporta el vehículo.

La ballesta automotriz es un elemento estructural del vehículo y una parte fundamental de la suspensión (Aized et al. 2020) esta, desempeña un rol muy importante ya que determina el confort y seguridad en los pasajeros del vehículo. Es por ello por lo que la ballesta es un elemento muy importante que no puede ser ignorado en el diseño automotriz.

En la presente investigación se tendrá en cuenta la norma ISO 6892-1, dicha norma específica las dimensiones de la probeta que se fabricará para el análisis de las propiedades mecánicas en laboratorio, asimismo se considera la normativa del

proceso para las pruebas de laboratorio como también las especificaciones de la calibración de la máquina de ensayos, las cuales se incluyen en anexos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, porque se conoció la resistencia mecánica en las ballestas fabricadas en dos tipos diferentes de materia, resultados que de alguna forma ayudaran a resolver el problema de peso de los vehículos lo cual conlleva a exceso consumo de combustible. (Hema Latha et al., 2019) (Khan et al. 2018).

Diseño de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo y de diseño no experimental ya que las variables no fueron manipuladas, así mismo de tipo transversal, pues el interés de estudió es cómo se comporta la variable en un solo periodo de tiempo, y de trascendencia descriptivo debido a que se hará un comparativo entre dos materiales para conocer su resistencia mecánica.



Figura 1 Esquema de diseño de investigación

Donde:

M_1 = Muestra 1

O_1 = Resistencia mecánica

3.2. Variables y operacionalización

Variable: Rendimiento mecánico

Es la capacidad que presenta un cuerpo para soportar una carga que se aplica antes de que esto falle, para lograr pruebas en el campo de resistencia mecánica, se evalúan varios parámetros de diseño para lograr óptimos resultados en su desempeño

en las pruebas de análisis, así logrando un mayor margen de seguridad en el período de diseño de dicho mecanismo realizando en menor tiempo el ensayo en 3D (Venkatesh et al. 2021).

Operacionalización

Para medir la variable rendimiento mecánico de una ballesta se considera las dimensiones citadas anteriormente en los aportes como: modelamiento de la hoja de ballesta, para ello se tomaron las dimensiones de una ballesta real. Como segunda dimensión se consideró propiedades mecánicas la cual se determinará mediante los indicadores citados anteriormente con el uso de laboratorio. Como tercera dimensión se tiene simulación, esto permitirá obtener el módulo de seguridad mediante uso del software. Finalmente se consideró la dimensión peso, puesto que permite comparar ambos materiales para obtener el más ligero. (Anexo 1)

Variable 2: Costos de fabricación

Según ((Kadir, Yusof y Wahab 2020) El costo de fabricación de un elemento mecánico es la cantidad de dinero a invertir desde el diseño hasta su fabricación, y este es cada vez más importantes ya que la fabricación de piezas mecánicas está evolucionando es por eso por lo que la industria exige mayor investigación en cuanto a costos.

Definición operacional

En la fabricación de elementos mecánicos existen diferentes métodos de estimación de costos (H. Liu, 2021). Para medir la variable costos de fabricación se usará el método de estimación intuitiva en la que el costo se estimará de manera subjetiva por la experiencia del personal. (Anexo 2)

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

Hojas principales de las ballestas de suspensión de camionetas modelo pickup, ubicados en la ciudad de Trujillo.

- **Criterios de inclusión:** Hojas principales de las ballestas de suspensión de camionetas modelo pickup, utilizadas para transporte de carga.

Muestra: 01 hoja principal de la ballesta de suspensión de una camioneta modelo pickup

Muestreo: No probabilístico por conveniencia

Unidad de análisis: 01 hoja principal de la ballesta de suspensión de una camioneta modelo pickup

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Instrumentos de recolección de datos

En la investigación se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

Tabla 1. *Técnicas e instrumentos aplicados en la investigación*

Variable de estudio	Técnicas	Instrumentos
Resistencia mecánica	Análisis documental	Ficha de registro de datos

3.5. Procedimientos

El procedimiento de recolección de información se *estudió* en la revisión de la literatura la recopilación de información se realizó sobre estudios publicados en el periodo 2018-2022, relacionados a las variables, dimensiones y teorías de tipos de sistema de ballestas realizando un registro de observación en las camionetas pickup dónde se conoció que las ballestas fabricadas de acero elevan el peso de los vehículos teniendo como consecuencia consumo de combustible, dando así La necesidad de buscar un material más liviano pero con igual o mayor resistencia, luego para la investigación se tomó la hoja principal del conjunto de muelles para obtener los datos

de resistencia mecánica para ser comparados con un nuevo diseño a base de fibra de carbono (Khan et al. 2018), para así realizar un estudio de las propiedades mecánicas del nueva ballesta fundamentada con información relevantes, de esa manera se obtuvo las dimensiones para la nueva investigación logrando seleccionó el software que ayudará a los procesos de resultados de simulación, en ello se investigó si las ballestas fabricadas en fibra de carbono puede superar a las ballestas de acero en cuanto a sus propiedades mecánicas, material ligero y costos.

3.6. Método de análisis de datos

Se fabricaron probetas en dos materiales diferentes teniendo en cuenta la normativa técnica, luego se sometió a pruebas de laboratorio usando una máquina de ensayos para obtener datos y comparar la resistencia mecánica que ofrece cada material. Luego, con una hoja de ballesta automotriz se obtuvo las dimensiones reales para modelar dicho elemento en el software Autodesk Inventor, una vez teniendo el modelado se simuló en el software Autodesk Nastran usando las cargas reales del vehículo (según datos de fabricante de camionetas pick up) para tener como resultado el módulo de seguridad y así determinar si la ballesta se rompe o no. Finalmente se compara los resultados en ambos materiales asimismo el peso con cada material.

3.7. Aspectos éticos

Par este trabajo de investigación, toda la información fue recolectada de artículos de revisión que han sido citada correctamente, se trabajó con las normas ISO 690-1 considerando al autor y año de la investigación, además se respetó el derecho del autor en las diversas investigaciones, asimismo se respetó a las personas que favorecieron en esta investigación durante su perfeccionamiento, tanto en la realidad problemática, antecedentes y marco teórico. Se respetó todas las directivas y lineamientos de la Universidad César Vallejo.

IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Modelamiento de la hoja principal de una ballesta automotriz
Se realizó la toma de medidas y se modelo la ballesta en el Software Autodesk Inventor (Licencia Educativa) como se muestra en la figura.

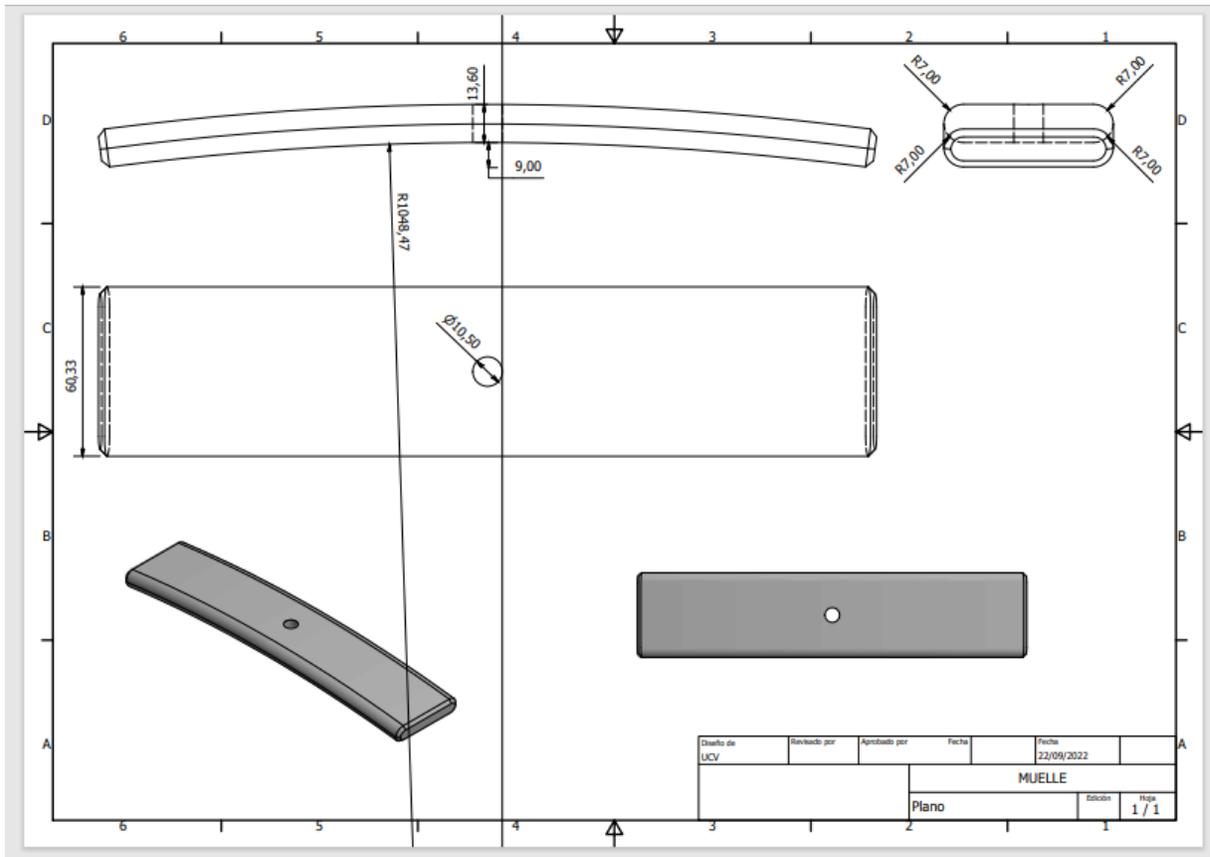


Figura 2 Modelado de la hoja principal de una ballesta automotriz modelo picap.

Interpretación

En la figura 2 se observa las dimensiones reales de la ballesta automotriz que fueron tomadas de una muestra real para que sea tomado en cuenta para ambos materiales.

Objetivo específico 2. Comparar las propiedades mecánicas de la ballesta automotriz diseñada en ambos materiales.

En primer lugar, se tiene que el material del muelle a trabajar es de acero que después de realizar el ensayo de tracción, según la norma ISO 6892-1, se obtienen los datos de la Tabla 02.

Tabla 2. *Propiedades mecánicas del acero estudiado y compuesto de fibra de carbono.*

Propiedad	Acero 5160	Fibra de carbono
Límite elástico (Mpa)	380	55
Resistencia a la tracción (Mpa)	660	329
Módulo de Elasticidad (Gpa)	190	27.5
Elongación	0.21	1.04

Interpretación

En el análisis de la Tabla 2, podemos observar que los resultados obtenidos del valor de la resistencia mecánica del acero es el doble con respecto al compuesto de fibra de carbono, sin embargo, con respecto a la elongación tenemos que el compuesto de fibra de carbono es el doble que la elongación del acero.

Objetivo específico 3. Simular la resistencia mecánica de la hoja de ballesta fabricada con acero y otra con fibra de carbono.

Para el caso de la simulación se tomó en cuenta los siguientes considerandos:

- El análisis fue estático
- La ecuación gobernante del modelo es el criterio de Von Misses para materiales dúctiles.
- Se asumió que la ballesta está simplemente apoyada en sus extremos y con una carga puntual centrada en su longitud.

- El criterio de convergencia a utilizar es el de representar un campo de esfuerzo constante en el elemento.

En primer lugar, se hizo la simulación con acero aleado en el cual se obtuvo un esfuerzo máximo de 210 MPa. El análisis es netamente estático para determinar si la ballesta resiste a las cargas reales del vehículo. Además, es cercano al cálculo analítico que se presenta en los anexos ya que se obtiene un valor de 203 Mpa

Tabla 3 Resultados de simulación del acero aleado.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	214625 mm ³	
Masa	1.65905 kg	
Tensión de Von Mises	3.0515 MPa	210.037 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.12993 mm
Coefficiente de seguridad	1.80921 su	15 su

De igual manera se obtuvieron los gráficos de resultados para el acero aleado.

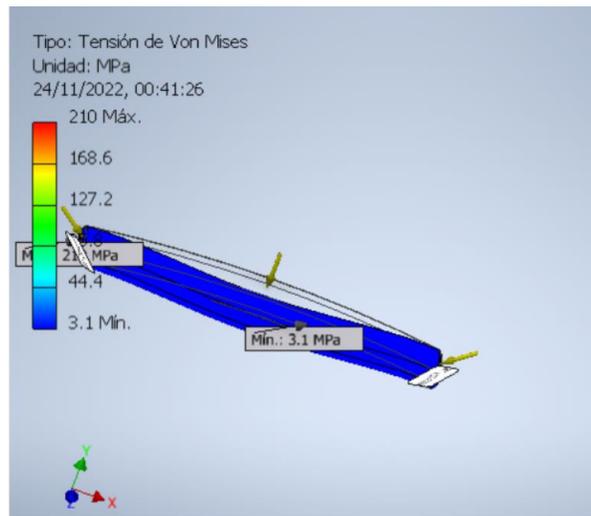


Figura 3 Tensión de Von Misses para el acero aleado.

Para el caso del compuesto de fibra de carbono y resina epóxica el modelo obtiene un

valor 39.7 Mpa el cual es cercano al cálculo analítico que se obtiene un valor de 38.3 Mpa realizando un análisis estático

Tabla 4 Resultados de simulación del compuesto de fibra de carbono.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	322321 mm ³	
Masa	0.115157 kg	
Tensión de Von Mises	1.50351 MPa	39.7294 MPa
Desplazamiento	0 mm	1.389725 mm
Coefficiente de seguridad	1.1 su	15 su

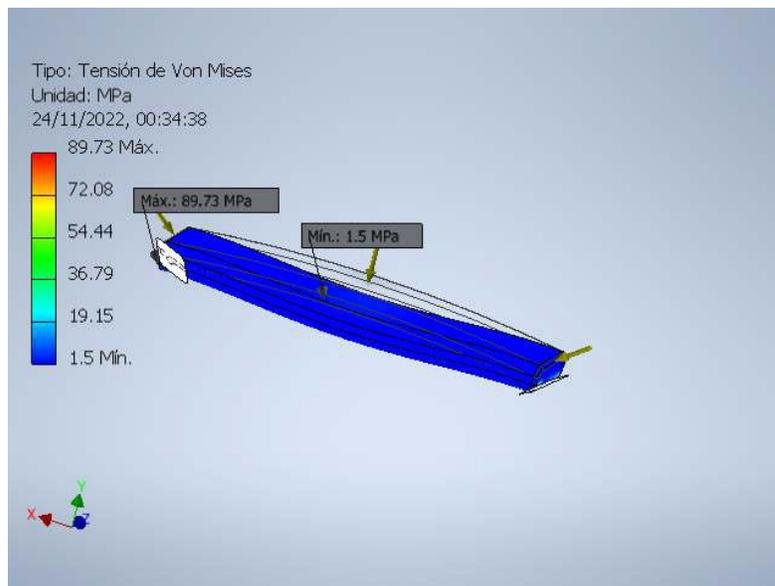


Figura 4 Tensión de Von Misses para la fibra de carbono.

Objetivo específico 4. Comparar el presupuesto invertido en la hoja principal de una ballesta automotriz utilizando fibra de carbono y acero convencional.

Tabla 5 Costo de Ballesta Automotriz.

Acero 5160	Fibra de carbono
S/.1200	S/. 625

Tabla 6 Costo detallado de ballesta de fibra de carbono.

Ítem	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Resina Epóxica	kg	2.5	S/. 100	S/. 250
Fibra de carbono	m	1.5	S/. 150	S/. 225
Mano de Obra	und	1	S/. 150	S/. 150
TOTAL				S/. 625

A pesar de tener un detalle de costos no se puede hacer un comparativo debido a que la ballesta de acero es un costo de venta y en el caso de la ballesta fabricada es un costo de fabricación.

V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo específico el modelamiento de la hoja principal de una ballesta automotriz. Según Kong Y, et al (2019) el modelamiento de una pieza mecánica es un proceso que simplifica el diseño, especialmente de componentes que requiere de mucho tiempo e inversión. Para la obtención de los resultados de la investigación se inició con el primer objetivo específico que consiste en el Modelado de la hoja principal de la ballesta, para ello se utilizó un software de modelado 3D. Por el contrario, en el caso de la investigación de (Elnashar et al 2019) quienes hicieron un modelado de un acoplamiento de vehículo y analizar el efecto de la carretera sobre él, pero para este caso no utilizaron un modelado 3D sino hicieron un análisis de 2D a través de ecuaciones diferenciales ya que su objetivo era analizar la frecuencia de vibración que se tenía en su desarrollo a través del tiempo.

Para el segundo objetivo específico que consiste en comparar las propiedades mecánicas de ambos materiales se trabajó con análisis de laboratorio y poder obtener su resistencia a la tracción y su límite de fluencia. En el caso de (Lee et al. 2018)

también realizaron análisis de laboratorio con un total de 10 probetas a diferencia de nuestra investigación que realizamos 5 repeticiones por cada material. Además, hicieron un modelado en el software ABAQUS para analizar la plasticidad y lo compararon con los resultados experimentales para poder validar su simulado.

Para el tercer objetivo específico que consistía en simular ambos materiales para la carga que brinda la unidad móvil, en nuestro caso los resultados dados por el software Autodesk Inventor fueron de Factores de seguridad de 15 para ambos casos por lo que está dentro de nuestro análisis. En el caso (Can Çiçek 2022) realizó también un análisis por elementos finitos para analizar el vehículo completo y pudo asegurar la viabilidad de los modelos matemáticos discretos que luego se utilizaron en cada uno de los procesos. En lo diferente a nuestra investigación se tiene que el utilizó un análisis dinámico a diferencia de nuestro análisis estático debido a que, si incluyen el efecto de la frecuencia natural, parámetro que no estamos considerando en nuestro modelado.

En el anexo 7 se incluye un análisis matemático realizado con la finalidad de comprobar la simulación estática en donde obtenemos un factor de seguridad mayor a uno por lo cual nos da un grado de confiabilidad ya que esto nos indica que la ballesta no falla y puede resistir a las cargas aplicadas sobre dicho elemento. Las cargas usadas para el cálculo son cargas reales obtenidas del peso bruto del vehículo.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó que fabricar una ballesta automotriz con fibra de carbono es factible en comparación con la ballesta de acero convencional, a pesar de que muestra propiedades mecánicas inferiores a las propiedades mecánicas de acero, pero la ballesta en fibra de carbono presenta una elongación mayor a la de acero, así mismo tenemos un factor de seguridad equivalente al factor de seguridad del acero, por otro lado, el peso es factible. Así mismo consideramos que la ballesta en fibra de carbono es factible porque los resultados del análisis estático en fibra de carbono se acercan a los resultados del análisis estático en acero.
2. Se logró modelar la hoja principal de una ballesta automotriz usando el software AUTO CAD, para ello se obtuvo una ballesta real de la cual se tomó las medidas de longitud, ancho y espesor con una cinta métrica, para la curvatura se usó una superficie plana para encontrar el punto más alto que se da en el extremo de la hoja, con estos datos se realiza el diseño en el programa cada aplicando arco tres puntos.
3. Se identificó que la ballesta automotriz diseñada en acero supera ampliamente a la ballesta diseñada en fibra de carbono en cuanto al límite de elasticidad donde la ballesta de acero alcanza 380 Mpa mientras que la ballesta en fibra de carbono alcanza 55 MPa. Con respecto a la resistencia a la tracción el acero logra 660 MPa mientras que la fibra de carbono solo 320 MPa. En cuanto al módulo elástico la ballesta de acero alcanza 190 Gpa mientras que la ballesta en fibra de carbono alcanza 27. 5 Gpa. finalmente, se obtuvo la elongación en donde la ballesta de acero alcanza 0,21 y la ballesta de fibra de carbono alcanza 1.04.
4. Se identificó en la simulación que la ballesta fabricada en fibra de carbono y la ballesta fabricada en acero alcanza un factor de seguridad superior a uno lo que significa que estas no se rompen. También se tiene que la masa en fibra de carbono es igual a 0.115 kg, mientras que el acero tiene una masa de 1.659 kg.
5. Se identificó que el costo de fabricación de una ballesta en fibra de carbono es de S/. 625 mientras que el costo de fabricación de una ballesta en acero es de

S/.1200, estos costos son de inversión para la investigación lo cual no se relaciona con la parte comercial.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar diferentes aleaciones de fibra de carbono con diferentes materiales termoestables para obtener propiedades que puedan alcanzar o superar las propiedades mecánicas del acero obtenidas en las pruebas realizadas en laboratorio, para así alcanzar datos extraordinarios donde lograremos reducir peso y costos de materiales con nuevas materiales que alcancen propiedades optimas en nuevos materiales para ballesta automotriz.

Se recomienda realizar un análisis dinámico para obtener resultados más precisos que ayuden a confirmar que la ballesta en fibra de carbono puede reemplazar a la ballesta en acero. Pues una ballesta está sometida a cargas dinámicas y al realizar un análisis dinámico los resultados pueden ayudar a determinar si la ballesta en carbono resiste y no falla a las cargas dinámicas.

BIBLIOGRAFÍA

AFSHAR, A. y WOOD, R., 2020. Development of weather-resistant 3d printed structures by multi-material additive manufacturing. *Journal of Composites Science*, vol. 4, no. 3. ISSN 2504477X. DOI 10.3390/jcs4030094.

AHMED, H., HUSSAIN, G., GOHAR, S., ALI, A. y ALKAHTANI, M., 2021. Impact toughness of hybrid carbon fiber-PLA/ABS laminar composite produced through fused filament fabrication. *Polymers*, vol. 13, no. 18. ISSN 20734360. DOI 10.3390/polym13183057.

AIZED, T., AHMAD, M., JAMAL, M.H., MAHMOOD, A., UBAID UR REHMAN, S. y SRAI, J.S., 2020. Automotive leaf spring design and manufacturing process improvement using failure mode and effects analysis (FMEA). *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 12. ISSN 18479790. DOI 10.1177/1847979020942438.

ALEMU TADESSE, B. y FATOBA, O., 2022. Design optimization and numerical analyses of composite leaf spring in a heavy-duty truck vehicle. *Materials Today: Proceedings*, vol. 62. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2022.02.367.

BECKER, F., HOPMANN, C., ITALIANO, F. y GIRELLI, A., 2019. Fatigue testing of GFRP materials for the application in automotive leaf springs. *Procedia Structural Integrity*. S.l.: s.n., DOI 10.1016/j.prostr.2019.12.070.

CAN ÇIÇEK, B., 2022. Modelling and Dynamic Analysis of a Vehicle. [en línea]. S.l.: Disponible en: www.intechopen.com.

DAMINABO, S.C., GOEL, S., GRAMMATIKOS, S.A., NEZHAD, H.Y. y THAKUR, V.K., 2020. *Fused deposition modeling-based additive manufacturing (3D printing): techniques for polymer material systems*. 2020.

ELNASHAR, G., BHAT, R.B. y SEDAGHATI, R., 2019. Modeling and dynamic analysis of a vehicle-flexible pavement coupled system subjected to road surface excitation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 33, no. 7, pp. 3115-3125. ISSN 19763824. DOI 10.1007/s12206-019-0606-5

.

GOH, C.S., GUPTA, M., JARFORS, A.E.W., TAN, M.J. y WEI, J., 2010. Magnesium and Aluminium carbon nanotube composites. *Key Engineering Materials*, vol. 425. ISSN 16629795. DOI 10.4028/www.scientific.net.

GONÇALVES, V.R.M., PODGORNIK, B., LESKOVŠEK, V., TOTTEN, G.E. y CANALE, L. de C.F., 2019. Influence of Deep Cryogenic Treatment on the Mechanical Properties of Spring Steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 28, no. 2. ISSN 15441024. DOI 10.1007/s11665-019-3864-6.

HUSAINI, RIANTONI, R., ALI, N. y PUTRA, T.E., 2019. Failure Analysis of the Leaf Spring of Truck Colt Diesel Using Finite Element Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. S.l.: s.n., DOI 10.1088/1757-899X/547/1/012017.

KADIR, A.Z.A., YUSOF, Y. y WAHAB, M.S., 2020. *Additive manufacturing cost estimation models—a classification review*. 2020. S.l.: s.n.

KE, J., WU, Z. yu, CHEN, X. ying y YING, Z. ping, 2019. *A review on material selection, design method and performance investigation of composite leaf springs*. 2019. S.l.: s.n.

KESSENTINI, A., AHMED, G.M.S. y MADIOULI, J., 2019. Design optimization and FE analysis of 3D printed carbon PEEK based mono leaf spring. *Micromachines*, vol. 10, no. 5. ISSN 2072666X. DOI 10.3390/mi10050279.

KHAN, T.I., OMI, M.I.W.R., HOSSAIN, M.J., HAQUE, M.M. y RAHMAN, F., 2018.

Stress, Deformation and Failure Analysis of Parabolic Leaf Spring by Finite Element Analysis with Material Optimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 438, no. 1. ISSN 1757899X. DOI 10.1088/1757-899X/438/1/012023.

KHATKAR, V. y BEHERA, B.K., 2020. Experimental investigation of composite leaf spring reinforced with various fiber architecture. *Advanced Composite Materials*, vol. 29, no. 2. ISSN 15685519. DOI 10.1080/09243046.2019.1649952.

KUBA, D., MATSUZAKI, R., OCHI, S. y OGIHARA, S., 2022. 3D printing of composite materials using ultralow-melt-viscosity polymer and continuous carbon fiber. *Composites Part C: Open Access*, vol. 8. ISSN 26666820. DOI 10.1016/j.jcomc.2022.100250.

LEE, J., KIM, S.J., PARK, H., BONG, H.J. y KIM, D., 2018. Metal plasticity and ductile fracture modeling for cast aluminum alloy parts. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 255. ISSN 09240136. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2017.12.040.

LIM, S., MISAWA, R., FURUTA, K., MARUYAMA, S., IZUI, K. y NISHIWAKI, S., 2022. Weight reduction design of multi-material vehicle components using level set-based topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 65, no. 3. ISSN 16151488. DOI 10.1007/s00158-022-03193-1.

NORONHA, B., YESUDASAN, S. y CHACKO, S., 2020. Static and Dynamic Analysis of Automotive Leaf Spring: A Comparative Study of Various Materials Using ANSYS. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 20, no. 3. ISSN 18641245. DOI 10.1007/s11668-020-00877-y.

PINHO, A.C., AMARO, A.M. y PIEDADE, A.P., 2020. 3D printing goes greener: Study of the properties of post-consumer recycled polymers for the manufacturing of engineering components. *Waste Management*, vol. 118. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2020.09.003.

RATHOD, R.S.B., GOEL, M.D., CHAKRABORTY, T., MATSAGAR, V., GUÉGAN, P. y BINETRUY, C., 2019. Experimental and numerical investigations on dynamic behavior of CFRP laminates. *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 7. ISSN 25233971. DOI 10.1007/s42452-019-0732-9.

SCHMITT, M., MEHTA, R.M. y KIM, I.Y., 2020. Additive manufacturing infill optimization for automotive 3D-printed ABS components. *Rapid Prototyping Journal*, vol. 26, no. 1. ISSN 13552546. DOI 10.1108/RPJ-01-2019-0007.

SHARMA, K.K., SHRIVASTAVA, Y., NEHA, E., JAIN, A. y SINGH, B., 2020. Evaluation of flexural strength of hybrid FRP composites having three distinct laminates. *Materials Today: Proceedings*. S.l.: s.n., DOI 10.1016/j.matpr.2020.07.599.

SOLIMAN, E.S.M.M., 2019. Static and Vibration Analysis of CFRP Composite Mono Leaf Spring. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 19, no. 1. ISSN 15477029. DOI 10.1007/s11668-019-00597-y.

VENKATESH, A.P., PADMANABHAN, S., ALLEN RUFUS, C., MOHAMMED LUKMAAN, H. y ABDUL RAHMAN, A.R., 2021. Exploration of fatigue and modal analysis on mono leaf suspension made by natural composite materials. *Materials Today: Proceedings*. S.l.: s.n., DOI 10.1016/j.matpr.2021.04.568.

WANG, B., ZHANG, Z., PEI, Z., QIU, J. y WANG, S., 2020. *Current progress on the 3D printing of thermosets*. 2020. S.l.: s.n.

ZALOHIN, M.Yu., SKLIAROV, V. v., DOVZHENKO, Ja.S. y BREGA, D.A., 2019. Experimental Determination and Comparative Analysis of the PPH030GP, ABS and PLA Polymer Strength Characteristics at Different Strain Rates. *Science & Technique*, vol. 18, no. 3. ISSN 2227-1031. DOI 10.21122/2227-1031-2019-18-3-233-239.

ARTÍCULO, Información D E L, 2022. Machine Translated by Google Estructuras de ingeniería Machine Translated by Google. **256**, 332–346.

NAYAK, Esmaranika, [b.r.]. Diseño y análisis de ballestas compuestas híbridas para aplicaciones automotrices : un estudio extenso. 127–132.

YAKOVLEVA, S. P., I. I. BUSLAEVA, S. N. MAKHAROVA a A. I. LEVIN, 2019. Influence of Structural Changes on the Brittle Fracture Strength in Metal Springs of Kamaz Trucks Used in a Northern Environment. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 48(3), 243–249. ISSN 19349394. Dostupné z: doi:10.3103/S1052618819030154

MANSO, Richieri, Bojan PODGORNIK, Vojteh LESKOVŠEK, George EDWARD, Lauralice De CAMPOS a Franceschini CANALE, 2019. Machine Translated by Google Influencia del Tratamiento Criogénico Profundo en la Mecánica Propiedades de los Aceros para Muelles Machine Translated by Google.

HEMA LATHA, K., Kamran Ahmed KHAN, Syed Asim MINHAJ a Mohd Shais KHAN, 2019. Design and fatigue analysis of shot peened leaf spring. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* [online]. **9**(1), 1120–1126. ISSN 22783075. Dostupné z: doi:10.35940/ijitee.A3897.119119

CALANTONEA, Roger J, S Tamer CAVUSGILA a Yushan ZHAOB, 2002. Machine Translated by Google Machine Translated by Google. Artículo De Investigación Científica. 31, 515–524.

KHATKAR, Vikas, B K BEHERA a R N MANJUNATH, 2019. Compuestos Parte B.

H. Liu, W. Shi, R. Gao, Z. Chen y H. Chen, "Predicción y análisis de la rigidez de ballestas compuestas", en *IEEE Access* , vol. 9, págs. 54888-54899, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070440.

PAPPA, Maria, SAVAYDIS, Georgios and MICHAILIDIS, Nikolaos, 2021. Análisis de materiales de ballestas de hojas granalladas bajo tensión mediante nano y microindentaciones. doi.org/10.3390/ma14174795

Jun Ke, Zhen-yu Wu, Xiao-ying Chen, Zhi-ping Ying, A review on material selection, design method and performance investigation of composite leaf springs, Composite Structures, doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111277.

Rathod, RSB, Goel, MD, Chakraborty, T. et al. (2019) Investigaciones experimentales y Numerica sobre el comportamiento dinámico de los laminados CFRP. SN. doi.org/10.1007/s42452-019-0732-9

Y.S. Kong, S. Abdullah, D. Schramm, M.Z. Omar, S.M. Haris, Development of multiple linear regression-based models for fatigue life evaluation of automotive coil springs, Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 118, 2019, Pages 675-695, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.09.007>.

ANEXOS

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Rendimiento mecánico	Es la capacidad que presenta un cuerpo para soportar una carga que se aplica antes de que esto falle evaluando varios parámetros de diseño para lograr óptimos resultados en su desempeño en las pruebas de análisis, (Venkatesh et al., 2021).	Para medir la variable resistencia mecánica se dimensionó por sus propiedades, y para ello se tomarán datos en relación a los indicadores designados para medir cada dimensión.	Límite elástico (Mpa)	Límite elástico	Razón
			Resistencia a la tracción (Mpa)	Resistencia a la tracción	Razón
			Módulo de Elasticidad (Gpa)	Módulo de Elasticidad	Razón
			Elongación	Elongación	Razón

Anexo 02

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Costos de fabricación	Según Kadir, AZA, Yusof, Y. & Wahab (2020) El costo de fabricación de un elemento mecánico es la cantidad de dinero a invertir desde el diseño hasta su fabricación.	Para medir la variable costos de fabricación se dimensionó por los materiales usados incluyendo la mano de obra para la fabricación de muestras utilizadas en el laboratorio.	Resina epoxica	Cantidad	Razón
				Costo	
			Fibra de carbono	Cantidad	Razón
				Costo	
			Mano de obra	Cantidad	Razón
				Costo	

Anexo 03

Dimensiones de Probeta según norma ISO 6892-1

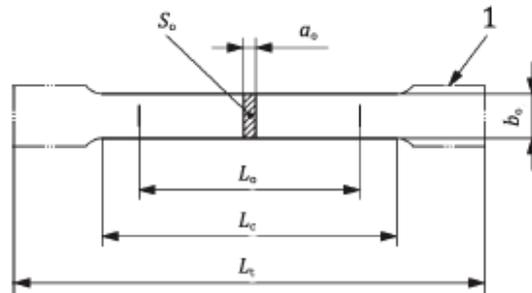


Table B.1 — Dimensions of test pieces

Dimensions in millimetres

Test piece type	Width b_0	Original gauge length L_0	Parallel length L_c		Free length between the grips for parallel sided test piece
			Minimum	Recommended	
1	$12,5 \pm 1$	50	57	75	87,5
2	20 ± 1	80	90	120	140
3	25 ± 1	50^a	60^a	—	Not defined

^a The ratio L_0/b_0 and L_c/b_0 of a type 3 test piece in comparison to one of types 1 and 2 is very low. As a result, the properties, especially the elongation after fracture (absolute value and scatter range), measured with this test piece, will be different from the other test piece types.

Anexo 04

VALIDACIÓN DE CONTENIDO DE FICHA DE REGISTRO PARA LA VARIABLE COSTO DE FABRICACION

INSTRUCCIÓN: A continuación, se le hace llegar el instrumento de recolección de datos (Ficha de registro) que permitirá recoger la información en la presente investigación: Por lo que se le solicita que tenga a bien evaluar el instrumento, haciendo, de ser caso, las sugerencias para realizar las correcciones pertinentes. Los criterios de validación de contenido son:

Criterios	Detalle	Calificación
Suficiencia	El elemento pertenece a la dimensión y basta para obtener la medición de esta	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Claridad	El elemento se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Coherencia	El elemento tiene relación lógica con el indicador que está midiendo	1: de acuerdo 0: en desacuerdo
Relevancia	El elemento es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	1: de acuerdo 0: en desacuerdo

Nota. Criterios adaptados de la propuesta de Escobar y Cuervo (2008).

MATRIZ DE VALIDACIÓN DE FICHA DE REGISTRO DE LA VARIABLE COSTO DE FABRICACION

Definición de la variable: Costos de fabricación

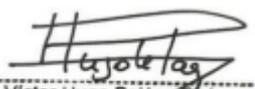
Dimensión	Indicador	Elemento	Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observación

Ficha de registro para la variable Costos de fabricación

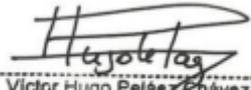
Ficha para ser llenada por investigador.

Elemento	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Simulación en software					
Elemento 1					
Elemento 2					
Costo por kg					
Elemento 3					
Elemento 4					
Método de fabricación					
Mano de obra					

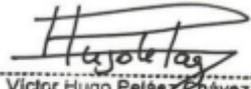
FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Máquina de ensayos
Objetivo del instrumento	Comparar las propiedades mecánicas en ambos materiales
Nombres y apellidos del experto	Víctor Hugo Peláez Chévez
Documento de identidad	47026994
Años de experiencia en el área	8 años
Máximo Grado Académico	Master en Ciencia e Ingeniería de Materiales
Nacionalidad	Peruano
Institución	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	951603668
Firma	 Víctor Hugo Peláez Chévez ING. MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha	13 /09 / 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro de datos
Objetivo del instrumento	Simular la resistencia mecánica en ambos materiales
Nombres y apellidos del experto	Víctor Hugo Peláez Chévez
Documento de identidad	47026994
Años de experiencia en el área	8 años
Máximo Grado Académico	Master en Ciencia e Ingeniería de Materiales
Nacionalidad	Peruano
Institución	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	951603668
Firma	 Víctor Hugo Peláez Chévez ING. MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha	13/09/ 2022

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro de datos
Objetivo del instrumento	Comparar presupuesto de fabricación en ambos materiales
Nombres y apellidos del experto	Víctor Hugo Peláez Chévez
Documento de identidad	47026994
Años de experiencia en el área	8 años
Máximo Grado Académico	Master en Ciencia e Ingeniería de Materiales
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número telefónico	951603668
Firma	 Víctor Hugo Peláez Chévez ING. MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha	13 /09/ 2022

Anexo 05

INFORME DE ENSAYO Nº 005 – 2022

Cliente : Huber Quispe
Laboratorio : Laboratorio de Resistencia de Materiales – Universidad Nacional de Trujillo
Material : Muestra de ballesta de acero aleado
Procedencia : Producto enviado por el cliente

Tabla Nº 1
Identificación de la muestra

Nº de Muestras	Identificación de la muestra	Peso muestra (kg)	Espesor de la muestra (mm)	Largo barra (m)	Tipo producto
5	00153	0.562	6	0.15	platina

Ensayo: Se realizaron ensayos de tracción a las probetas indicadas en la Tabla Nº 1.

Procedimiento: El ensayo de tracción, se realizó de acuerdo con el procedimiento interno según norma ISO 6892

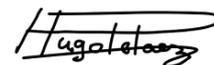
Resultados: En la tabla Nº 2 se indican los valores obtenidos en los ensayos de tracción

Tabla Nº 2
Resultado de los ensayos de tracción

Probeta Nº	Tensión Fluencia Sy (MPa)	Tensión máxima Su (MPa)	Porcentaje de elongación
1	380	660	0.21
2	382	665	0.18
3	379	662	0.20
4	381	660	0.22
5	380	660	0.21

Temperatura ensayo de tracción : 20 °C
Desviación a normas de ensayo : No hay.
Tipo de máquina utilizada en el ensayo : INSTRON

Fecha Ensayo: 14 de octubre de 2022
Fecha Informe: 24 de noviembre de 2022



Ms. Víctor H. Peláez Chávez

INFORME DE ENSAYO Nº 006 – 2022

Cliente : Huber Quispe

Laboratorio : Laboratorio de Resistencia de Materiales - Universidad Nacional de Trujillo

Material : Muestra de ballesta de material compuesto

Procedencia : Producto enviado por el cliente

Tabla Nª 1
Identificación de la muestra

Nº de Muestras	Identificación de la muestra	Peso muestra (kg)	Espesor de la muestra (mm)	Largo barra (m)	Tipo producto
5	00154	-	6	0.15	platina

Ensayo: Se realizaron ensayos de tracción a las probetas indicadas en la Tabla Nº 1.

Procedimiento: El ensayo de tracción, se realizó de acuerdo con el procedimiento interno según norma ASTM D639

Resultados: En la tabla Nº 2 se indican los valores obtenidos en los ensayos de tracción

Tabla Nª 2
Resultado de los ensayos de tracción

Probeta Nº	Tensión Fluencia Sy (MPa)	Tensión máxima Su (MPa)	Porcentaje de elongación
1	55	329	1.04
2	56	330	1.05
3	55	331	1.05
4	54	328	1.03
5	55	328	1.04

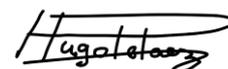
Temperatura ensayo de tracción : 20 °C

Desviación a normas de ensayo : No hay.

Tipo de máquina utilizada en el ensayo : INSTRON

Fecha Ensayo: 14 de octubre de 2022

Fecha Informe: 24 de noviembre de 2022



Ms. Víctor H. Peláez Chávez

Anexo 06

Dimensiones de la Ballesta

NOMBRE	ballesta automotriz
descripción	
software	AutoCAD
	Medidas (mm)
Largo	269.21
Ancho	60.33
Espesor	13.6
altura punto más alto	9
ángulo	14.76°
redondeado	r 7
perforación central	d 10.50

Anexo 07

Diseño Analítico de la Ballesta (Budynas 2008)

Hipótesis:

- La sección transversal tiene un eje de simetría en un plano a lo largo de la longitud de la viga.
- Las secciones transversales planas permanecen planas después de la flexión.
- El módulo de elasticidad es igual en tensión que en compresión.
- La ballesta a analizar es de una longitud de 1200 mm de longitud la cual estaría soportando la carga de la móvil dividido entre las 4 llantas y a su vez dividido entre el número de ballestas dando el valor de 450 N
- Se asume una flexión pura cuyo momento flector está dado por la fuerza puntual multiplicado por la mitad de la longitud.

El análisis se realiza a través de la Teoría de vigas curvas con una carga puntual la cual genera un momento tal como se muestra en la figura

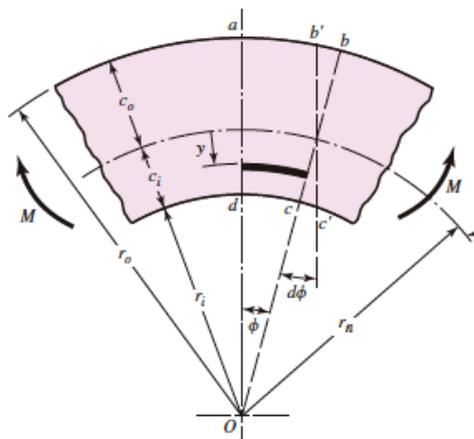


Figura 5 Diagrama de cuerpo libre de la viga curva.

Al ser una viga rectangular se tiene:

$$r_n = \frac{A}{\int \frac{dA}{r}} = \frac{bh}{\int_{r_i}^{r_o} \frac{b}{r} dr} = \frac{h}{\ln \frac{r_o}{r_i}}$$

$$\sigma_o = \frac{Mc_o}{Aer_o}$$

$$\sigma_i = \frac{Mc_i}{Aer_i}$$

En primer lugar, se analizará la ballesta de acero cuyos datos, según plano son:

$$r_i = 1048.47 \text{ mm}$$

$$r_o = 1062.07 \text{ mm}$$

$$h = 13.6 \text{ mm}$$

$$b = 60.33 \text{ mm}$$

Por lo que se tiene:

$$r_n = \frac{13.6}{\ln \frac{1062.07}{1048.47}} = 1055.26 \text{ mm}$$

$$e = r_c - r_n = 1055.27 - 1055.26 = 0.01 \text{ mm}$$

$$c_o = r_o - r_n = 1062.07 - 1055.26 = 6.81 \text{ mm}$$

$$c_i = r_n - r_i = 1055.26 - 1048.47 = 6.79 \text{ mm}$$

Finalmente podemos obtener:

$$\sigma_o = \frac{450 \text{ N} \times 600 \text{ mm} \times 6.81 \text{ mm}}{60.33 \text{ mm} \times 13.6 \text{ mm} \times 0.01 \text{ mm} \times 1062.07 \text{ mm}} = 211 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_i = \frac{450 \text{ N} \times 600 \text{ mm} \times 6.79 \text{ mm}}{60.33 \text{ mm} \times 13.6 \text{ mm} \times 0.01 \text{ mm} \times 1048.47 \text{ mm}} = 213.11 \text{ Mpa}$$

Para el factor de seguridad se tiene:

$$n = \frac{380}{213.11} = 1.78$$

En segundo lugar, se analizará la ballesta de acero cuyos datos, según plano son:

$$r_i = 1048.47 \text{ mm}$$

$$r_o = 1078.47 \text{ mm}$$

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$b = 60.33 \text{ mm}$$

Por lo que se tiene:

$$r_n = \frac{30}{\ln \frac{1078.47}{1048.47}} = 1063.40 \text{ mm}$$

$$e = r_c - r_n = 1063.47 - 1063.40 = 0.07 \text{ mm}$$

$$c_o = r_o - r_n = 1078.47 - 1063.40 = 15.07 \text{ mm}$$

$$c_i = r_n - r_i = 1063.40 - 1048.47 = 14.93 \text{ mm}$$

Finalmente podemos obtener:

$$\sigma_o = \frac{450 \text{ N} \times 600 \text{ mm} \times 15.07 \text{ mm}}{60.33 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 0.07 \text{ mm} \times 1078.47 \text{ mm}} = 29.78 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_i = \frac{450 \text{ N} \times 600 \text{ mm} \times 14.93 \text{ mm}}{60.33 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 0.07 \text{ mm} \times 1048.47 \text{ mm}} = 30.34 \text{ Mpa}$$

Para el factor de seguridad se tiene:

$$n = \frac{55}{30.34} = 1.81$$



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis Completa titulada: "Resistencia mecánica de ballestas automotriz con fibra de carbono comparado con acero convencional", cuyos autores son QUISPE RUIZ HUBER ROMARIO, HUACCHA CHAVEZ ROSMEL ABEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
JORGE EDUARDO LUJÁN LÓPEZ DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 15-12- 2022 08:37:16

Código documento Trilce: TRI - 0475680