

Análisis estático y frecuencial en el chasis de un camión de 8T utilizando PRFV para reducir el consumo de combustible

Pol Grecia Cosmopolis, Anthony Williams Cotrina Muñoz, Gema Karoline Vallejos Calúa

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Av. San Josemaría Escrivá de Balaguer N° 855, Chiclayo, Perú

Recibido el 2 de enero del 2024. Aceptado el 3 de junio del 2024. Publicado el 10 de enero 2025.

Resumen

Los camiones de carga son esenciales para el transporte y la movilización de una amplia variedad de elementos. Esta diversidad genera una alta demanda en el uso de estos vehículos, los cuales, por su parte, contaminan debido al tipo de combustible que emplean. En consecuencia, resulta necesario reducir el peso estructural del chasis a fin de disminuir el consumo de combustible, todo ello sin perjudicar la rigidez y la resistencia de la estructura. En este sentido, el objetivo principal de la investigación fue la implementación del material compuesto PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio) como componente principal en la construcción del chasis, utilizando una combinación de capas de fibra y matriz. Para lograr este propósito, se empleó el diseño del chasis del camión EICHER Pro-1110, el cual, en su categoría N3 de vehículo pesado, es capaz de soportar cargas de hasta 120 kN, que se considerarán como carga de referencia para el análisis. Por otro lado, haciendo uso del software CES EduPack, se llevaron a cabo la identificación de las propiedades mecánicas y la determinación de la composición química del material compuesto PRFV, así como del acero AISI 4135. Este último se utilizó como material de referencia con el fin de realizar la comparación entre los resultados obtenidos. Partiendo del diseño propuesto y la simulación de la pieza mediante el programa ANSYS, se obtuvieron resultados específicos tanto para el PRFV como para el acero AISI 4135. Los esfuerzos máximos, de acuerdo con el criterio de Von Mises, se cifraron en 392.21 MPa y 465.73 MPa, los desplazamientos máximos en 15.21 mm y 4.53 mm, las deformaciones unitarias $8.88e-3$ y $2.2818e-3$ y el factor de seguridad mínimo en 1.68 y 1.25, respectivamente. Además, el cambio de material propició una disminución del peso en 539.25 kg, lo que se tradujo en un ahorro sustancial de 438.4 litros de combustible que representan 52.19 kg de CO₂ que no son liberados a la atmósfera, generando una disminución de la contaminación y un ahorro económico de S/. 1995.31 por cada 200 000 km recorridos.

Descriptor: *Camiones de carga, material compuesto PRFV, chasis, combustible.*

Abstract

Cargo trucks are essential for transporting and moving a wide variety of items. This diversity generates a high demand in the use of these vehicles, which, in turn, pollute due to the type of fuel they use. Consequently, it is necessary to reduce the structural weight of the chassis to reduce fuel consumption, without compromising the rigidity and strength of the structure. In this sense, the main objective was the implementation of GRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) composite material as the main component in the construction of the chassis, using a combination of fiber and matrix layers. To achieve this purpose, the chassis design of the EICHER Pro-1110 truck was used, which, in its N3 heavy vehicle category, is capable of supporting loads of up to 120 kN, which will be considered as the reference load for the analysis. On the other hand, using the CES EduPack software, the identification of the mechanical properties and the determination of the chemical composition of the FRP composite material, as well as of the AISI 4135 steel, were carried out. The latter was used as a reference material in order to compare the results obtained. Based on the proposed design and the simulation of the part using the ANSYS program, specific results were obtained for both GRP and AISI 4135 steel. The maximum stresses, according to the Von Mises criterion, were 392.21 MPa and 465.73 MPa, the maximum displacements

were 15.21 mm and 4.53 mm, the unitary strains $8.88e-3$ and $2.2818e-3$ and the minimum safety factor was 1.68 and 1.25, respectively. In addition, the change of material resulted in a weight reduction of 539.25 kg, which translated into a substantial saving of 438.4 liters of fuel, which represents 52.19 kg of CO₂ that are not released into the atmosphere generating a decrease in pollution and an economic saving of S/. 1995.31 for every 200 000 km traveled.

Keywords: *Cargo tricks, GRP composite material, chassis, fuel.*

1. Introducción

El aumento en el peso de un camión provoca una mayor resistencia, lo que resulta en un mayor consumo de combustible debido a la necesidad de más potencia para la movilización. Se estima que, por cada incremento de 500 kg en el peso del vehículo, el ahorro de combustible disminuye en aproximadamente un 0.5%. Por esta razón, es esencial reducir el peso de los camiones de carga para optimizar la capacidad de carga y, así, lograr un ahorro de combustible durante el proceso [1]. El chasis de un vehículo desempeña el papel fundamental de sostener componentes clave, desde el motor y la suspensión hasta la carga adicional que debe soportar. Este chasis enfrenta diversas fuerzas, como cargas axiales, momentos flectores y vibraciones [2]. Aunque las aleaciones de acero son comúnmente utilizadas para asegurar la resistencia y durabilidad del chasis, el elevado peso de estos materiales contribuye al aumento en el consumo de combustible.

Los estudios utilizados fueron análisis estático y análisis modal, ambos utilizan el método de elementos finitos para dar una solución. El MEF es una técnica numérica que resuelve los problemas de campo describiéndolos mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales. En ingeniería es utilizado para solucionar problemas estructurales, vibracionales y térmicos. Este método ha dominado el mercado de softwares debido a su versatilidad y alta eficiencia. [3] El análisis estático se utilizó para garantizar el correcto diseño de la estructura del chasis, y el análisis modal para garantizar la resistencia a las distintas condiciones, ya sean cargas y/o diversas rutas a enfrentar. El objetivo de la investigación es abordar esta problemática reduciendo el consumo de combustible del camión mediante un cambio en el material del chasis. Para resolver este problema, se empleó el material compuesto Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), conocido por su alta resistencia en comparación con su ligereza. Posteriormente, se llevó a cabo una simulación de análisis estático-frecuencial en el chasis con el nuevo material, generando datos que permitieron calcular el consumo de combustible asociado a este

cambio.

2. Metodología

Primero fue necesario contar con la ficha técnica del camión EICHER PRO-1110 para conocer su capacidad de carga, dimensiones y demás características. Luego se utilizó el software CES Edupack para obtener las propiedades mecánicas del PRFV considerando dos espesores distintos, uno de 6mm para los largueros y uno de 10 mm para los transversales. Para crear la estructura del material se utilizó la herramienta materiales multicapa, aplicando 4 capas para el PRFV de 6 mm y 7 capas para el PRFV de 10 mm [4]. Esta herramienta permite combinar distintos materiales y espesores de capa, suponiendo una unión perfecta entre capas, que la carga se aplica a la superficie superior y que en flexión no se produce una desviación por cizallamiento. Además de las propiedades mecánicas del acero AISI 4135. Posteriormente se llevó a cabo el análisis estático estructural en el chasis con ambos materiales considerando como sujeciones 8 pernos de fundación y una pared virtual además de una carga de 120 kN dividida a lo largo de las vigas, teniendo una carga de 60 kN para cada una. Además del peso de la gravedad; y el análisis modal teniendo en cuenta 5 modos frecuenciales, este nos permitió identificar las frecuencias naturales y modos de vibración del chasis, siendo estos fundamentales para evitar que las vibraciones naturales coincidan con las frecuencias de excitación del vehículo, pues esto podría llevar a resonancias no deseadas, las cuales provocarían fatiga estructural y afectarían la integridad del chasis.

3. Resultados

3.1. Diseño conceptual del chasis

El modelo base de camión utilizado fue el EICHER PRO-1110. En su categoría de camión pesado N3, tiene una capacidad a plena carga de 120 KN [5].

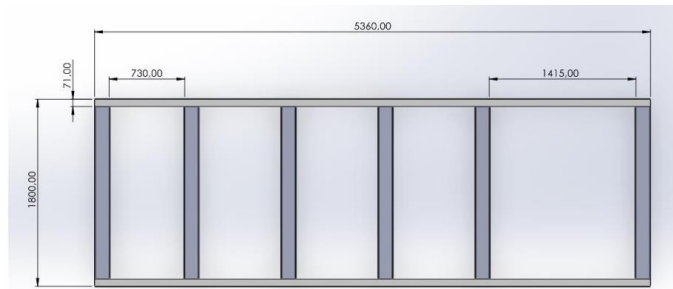


Figura 1: Dimensionamiento del chasis del EICHER PRO-1110

3.2. Composición del acero AISI 4135 y el material compuesto PRFV

Brindado por el Software CES Edupack

3.2.1 PRFV

Tabla 1: Composición química de la fibra de vidrio "S"

Composición Química	
Aluminia (Al2O3)	25%
Magnesia (MgO)	10%
Silicia (SiO2)	65%

Tabla 2: Propiedades mecánicas PRFV 6mm

PRFV	
Densidad (kg/m ³)	2060
Módulo de Young (GPa)	60.6
Límite elástico (MPa)	729
Módulo de flexión	55.7
Resistencia última	1810

Tabla 3: Propiedades mecánicas PRFV 10mm

PRFV	
Densidad (kg/m ³)	1980
Módulo de Young (GPa)	54.9
Límite elástico (MPa)	660
Módulo de flexión	44.8
Resistencia última	369

3.2.2 AISI 4135

Tabla 4: Composición química del AISI 4135

Composición química	
C	0.38 %
Cr	1.10 %
Fe	97.90 %
Mn	0.90 %
Mo	0.25 %
P	0.04 %
S	0.04 %
Si	0.35 %

Tabla 5: Propiedades mecánicas del AISI 4135

AISI 4135	
Densidad (kg/m ³)	7870
Módulo de Young (GPa)	210
Límite elástico (MPa)	586
Módulo de flexión	210
Resistencia última	586

3.2. Simulación estático estructural

A partir del estudio del material PRFV de una composición de capas de fibra y matriz. Se realiza la simulación estático estructural comparándolo con el acero AISI 4135 para una mejor evaluación. Teniendo en cuenta la carga distribuida y las condiciones de frontera como pernos de fundación. Los resultados fueron los siguientes:

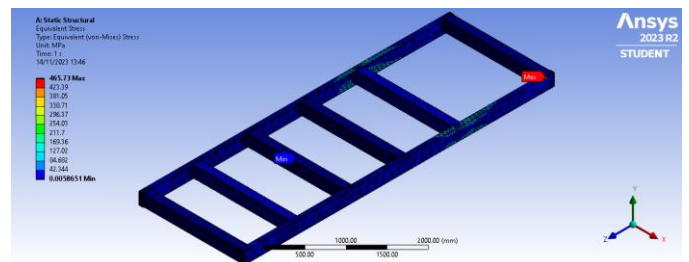


Figura 2: Resultado de esfuerzos equivalentes con el acero AISI 4135 en ANSYS

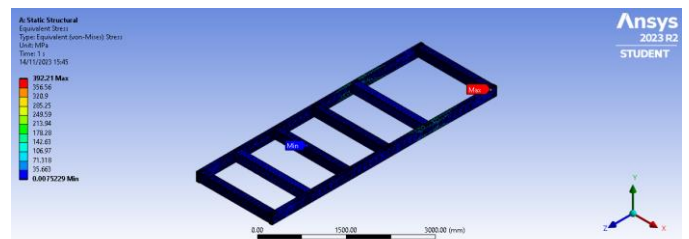


Figura 3: Resultado de esfuerzos equivalentes con PRFV en ANSYS

En las figuras 1 y 2 se observa que los esfuerzos máximos en ambos materiales difieren, llegando a 465 MPa para el acero AISI 3541 y 392 MPa para el PRFV. Teniendo en cuenta la teoría de Von Mises, la cual trabaja con las tensiones principales en un único valor equivalente. Dichos esfuerzos en cada caso no superan el límite de fluencia cumpliendo así con un diseño seguro para la prevención de fallos. Siendo el PRFV más resistente con un menor esfuerzo y asegurando que no fallara bajo estas condiciones.

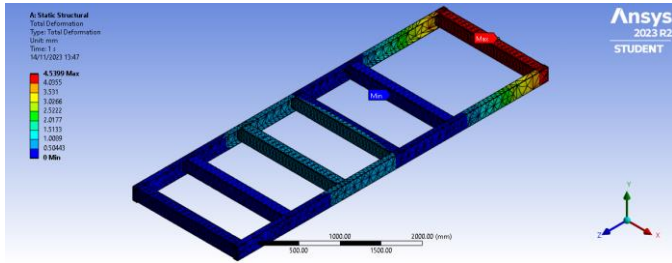


Figura 4: Resultado de desplazamiento con AISI 4135

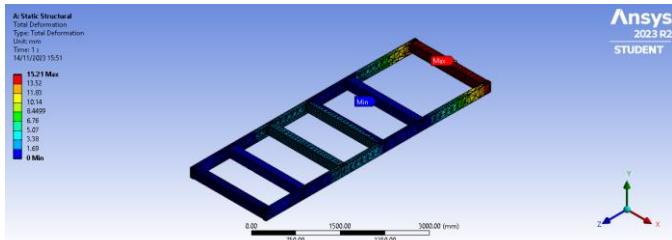


Figura 5: Resultado de desplazamiento con PRFV
 En las figuras 3 y 4 se observa los resultados para los desplazamientos máximos, obteniendo un valor máximo de 15.21 mm cuando se emplea el material PRFV y de 4.53 mm cuando se emplea el acero AISI 4135. Teniendo en cuenta que los desplazamientos se calcularon mediante el método URES el cual define el sistema de fijación para asegurar un centro en entornos cilíndricos. Se observa que los desplazamientos para el PRFV son mayores generador por una mayor deformación, pero son insignificantes con respecto a su límite elástico de 729 MPa.

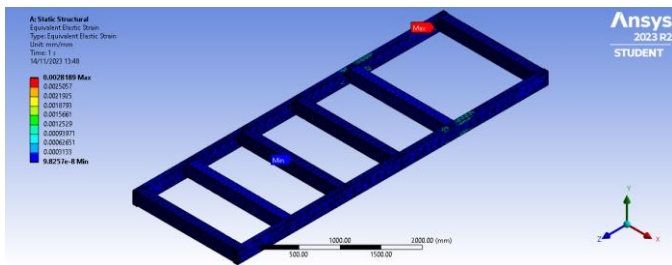


Figura 6: Resultado de deformación unitaria con AISI 4135 en ANSYS usando el método ESTRN

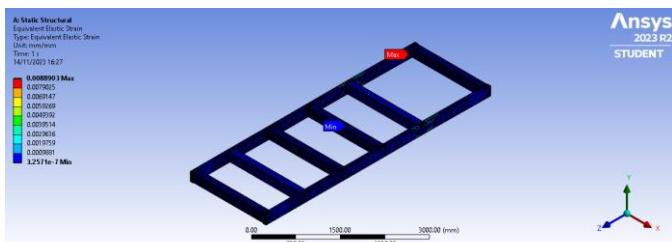


Figura 7: Resultado de deformación unitaria con PRFV en ANSYS usando el método ESTRN
 En las figuras 5 y 6 se observan las deformaciones unitarias equivalentes, obteniendo un valor máximo de 0.00889 cuando se utiliza el material PRFV, esta deformación está ubicada en la junta entre la viga

tipo C y la transversal. Mientras que cuando se utiliza el acero AISI 3541 se obtiene un valor de 0.0028 ubicado en el mismo punto. Esto se debe principalmente a la junta del ensamble, debido a que el parante transversal se encuentra más apartado. Siendo este, un punto muy reducido debido a que la proporción de zonas azules es mayor, porque no presenta mucho cambio de geometría siendo la deformación casi nula.

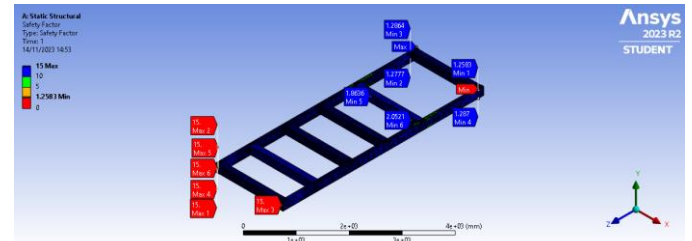


Figura 8: Resultado del FS con AISI 4135

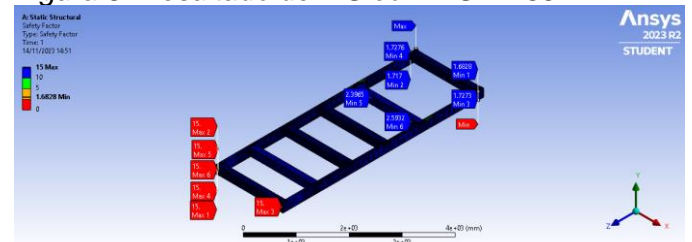


Figura 9: Resultado del FS con PRFV

En la figura 7 y 8 se observa la cuantificación del margen de seguridad utilizando la teoría del factor de seguridad según el criterio de Von Mises. Obteniendo un valor de 1.25 cuando se utiliza el material acero AISI 3541, estando por debajo de los parámetros establecidos por norma. Por otro lado, se tiene un factor de seguridad de 1.68 cuando se utiliza el material compuesto PRFV, lo cual es permitido para un modelo dentro de la práctica.

3.3 Análisis Modal

El análisis modal realizado al chasis cuenta con 5 modos frecuenciales.

3.3.1 Modos frecuenciales con PRFV

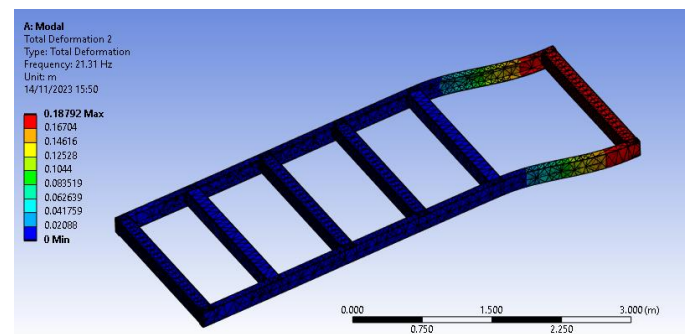


Figura 10: Modo 1

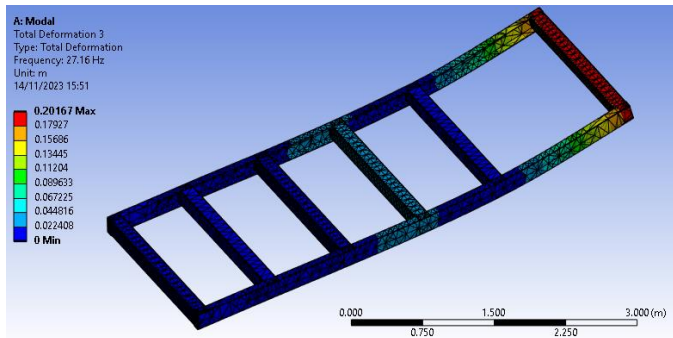


Figura 11: Modo 2

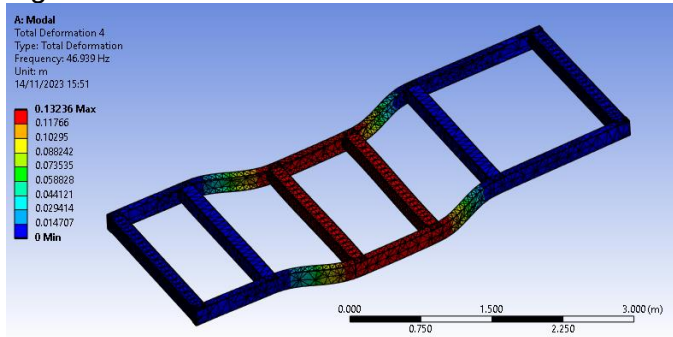


Figura 12: Modo 3

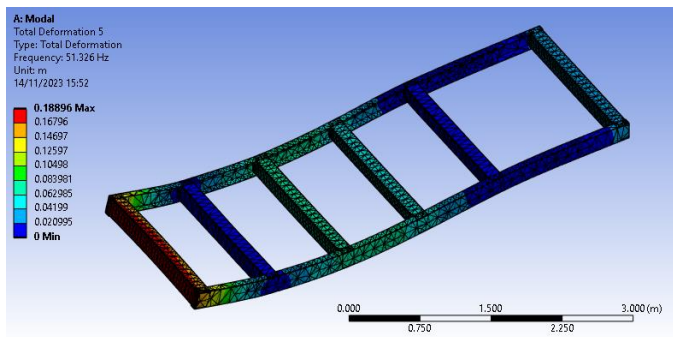


Figura 13: Modo 4

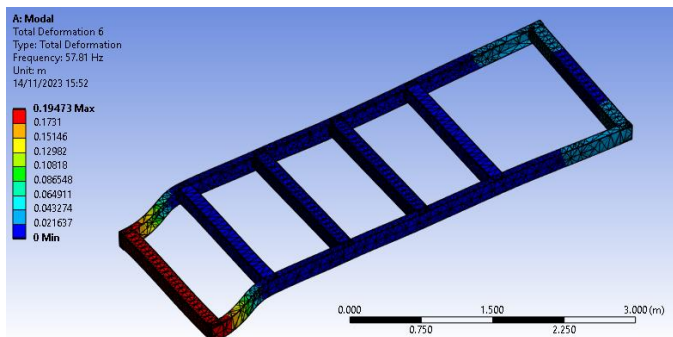


Figura 14: Modo 5

Tabla 7: Modos frecuenciales

Modo N°	Frecuencia (Hz)
1	21.31
2	27.26
3	46.939
4	51.326
5	57.81

Tabla 8: Participación de masa

Mod o N°	Frecuencia	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	21.31	0.1767	2.2122e-007	5.0465e-1
2	27.26	2.774e-007	0.16428	1.2474e-009
3	46.939	0.35599	4.261e-009	6.0214e-012
4	51.326	0.1418	1.0002e-005	7.1035e008
5	57.81	1.4625e-007	2.6139e-007	6.9406e-008
		Sum X = 0.67449	Sum Y = 0.16429	Sum Z = 1.422e-007

3.3.2 Modos frecuenciales con AISI 4135

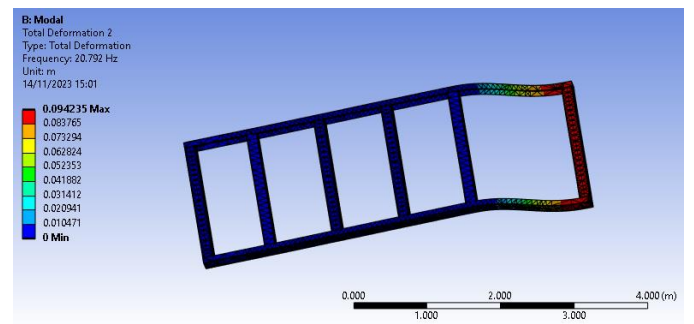


Figura 15: Modo 1

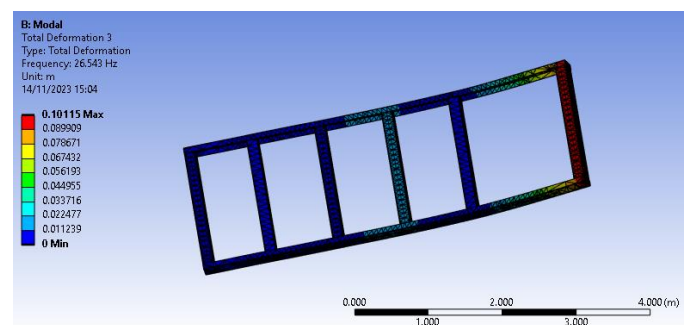


Figura 16: Modo 2

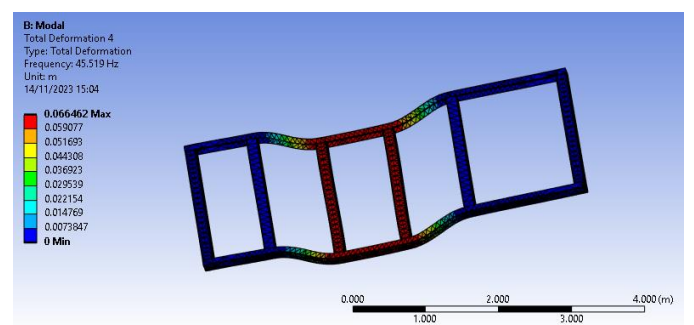


Figura 17: Modo 3

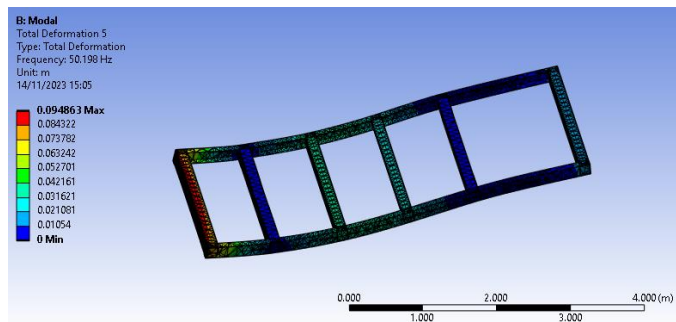


Figura 18: Modo 4

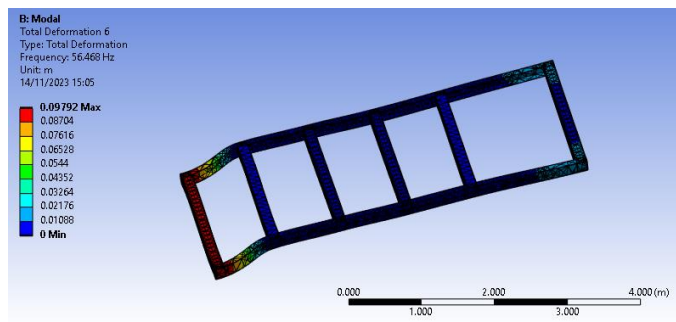


Figura 19: Modo 5

Tabla 9: Modos frecuenciales

Modo N°	Frecuencia (Hz)
1	20.792
2	26.543
3	45.519
4	50.198
5	56.468

Tabla 10: Participación de masa

Mod o N°	Frecuencia a	Direcció n X	Direcció n Y	Direcció n Z
1	20.792	0.1678	3.2571e-007	2.1712e-010
2	26.543	5.7675e-007	0.10992	5.4528e-004
3	45.519	0.3281	1.9562e-006	8.3239e-009
4	50.198	1.1634e-005	5.3379e-004	3.5203e-003
5	56.468	0.17869	1.4513e-005	4.8976e-007
		Sum X = 0.6746	Sum Y = 0.11047	Sum Z = 4.0661e-003

3.4. Ahorro de combustible y emisiones

Tabla 11: Consumo de combustible

Material	PRFV	AISI 3541
----------	------	-----------

Consumo en L	40 089	40 528
--------------	--------	--------

El consumo de combustible del camión con el chasis hecho del material compuesto PRFV a una velocidad de 70km/h por cada 200 000km es de 40 089L y con 127kg de emisiones de CO2. Por otro lado, bajo las mismas condiciones el chasis hecho de acero aleado AISI 3541 es de 40 528L y con 128kg de emisiones de CO2. Logrando una disminución de 438L de combustible, que con un precio comercial llega a los S/.1995.31.

4. Conclusiones

Las dimensiones del chasis tuvieron una base investigativa, la cual fue modificada a lo largo del proyecto para lograr realizar los estudios estático y frecuencial. Además, los datos de la capacidad de carga que actúa en cada barra lateral del camión EICHER PRO-1110 fueron aumentados a 120KN para garantizar la seguridad y resistencia del chasis. Para la creación y evaluación del material compuesto PRFV se utilizó el software CES Edu Pack. En la primera etapa se creó el material utilizando una combinación de capas entre fibra y matriz, dando como resultado la creación del PRFV de 6 mm de espesor y el PRFV de 10 mm de espesor. Cada uno cuenta con 4 y 7 capas respectivamente.

Se simuló estáticamente el chasis con acero aleado AISI 4135 y con PRFV, en una situación de sobre carga de 120 KN. Se obtuvieron resultados específicos tanto para el PRFV como para el acero AISI 4135. Los esfuerzos máximos, de acuerdo con el criterio de Von Mises, se cifraron en 392.21 MPa y 465.73 MPa, los desplazamientos máximos en 15.21 mm y 4.53 mm, las deformaciones unitarias 8.88e-3 y 2.2818e-3 y el factor de seguridad mínimo en 1.68 y 1.25, respectivamente

Se realizó el análisis modal del chasis para ambos materiales, obteniendo 5 modos de vibración para cada uno en los cuales sirven para facilitar el diseño eficiente del chasis al permitir ajustes para minimizar las resonancias no deseadas y mejorar la capacidad de carga, durabilidad y rendimiento del vehículo.

El chasis hecho con PRFV es 539 Kg más liviano que con el acero AISI 3541. Esto se debe a que la densidad del material compuesto es menor. Teniendo un límite elástico y resistencia última mayor. En los desplazamientos y deformaciones se observó que el acero AISI 3541 es superior, pero eso no afecta al rendimiento o resistencia del chasis con material compuesto.

Por último, el peso que se disminuyó permitió un ahorro de combustible de 438.4 litros de combustible que representan 52.19 kg de CO₂ por cada 200 000 KM de recorrido, traducido en un ahorro económico de S/. 1995.

Agradecimientos

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo cuyo generoso apoyo y provisión de recursos y herramientas han sido fundamentales para la realización de nuestra investigación. Además, expresamos nuestra profunda gratitud al Dr. Ing. Alejandro Segundo Vera Lázaro, cuya guía fue fundamental para la realización de la investigación

Referencias

- [1] I. C. D. PERÚ (2018, Jan 25). El impacto del peso de tu camión en la economía de tu combustible. [Online]. Available: <https://www.interperu.pe/blog/impacto-peso-camion-ahorro-combustible/>.
- [2] D.S.A Tomar, Modelling and Analysis of a Chassis Frame by Using Carbon Fiber and E-Glass epoxy as Composite Material: A Comparative Study, 2nd ed. (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989), vol.3, n°4, p.5, 2016.
- [3] C. G. A. L. O. González. Introducción al método del elemento finito: SolidWorks y Matlab. Ideas en ciencia de la ingeniería, p. 22, 2019.
- [4] D. S. A. Tomar, Static Analysis, Modal Analysis and Design Modification in Chassis Frame ti Optimize Weight by Using Composite Material. International Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 5, n° 1, p. 8, 2016.
- [5] V.E Commercial Vehicles Limited. Iniamart.com [Online]. Available: Eicher Pro 1110 Truck, 6 Wheeler, 11.99 Tonne GVW - PDF Catalogue (indiamart.com)