

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



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

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Grecia Cosmopolis Pol

ASESOR

Alejandro Segundo Vera Lazaro

<https://orcid.org/0000-0003-0198-338X>

Chiclayo, 2023

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

PRESENTADA POR

Grecia Cosmopolis Pol

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jony Villalobos Cabrera

PRESIDENTE

Elmer Rolando Polo Briceño

SECRETARIO

Alejandro Segundo Vera Lazaro

VOCAL

Dedicatoria

A Dios, por darme vida y capacidad para concluir este hito en mi vida.

A mis padres, Olga y Mario, por su inquebrantable apoyo, dedicación, esfuerzo y amor durante toda mi vida.

A mis amigos de la universidad y futuros colegas, por las risas, lágrimas y las experiencias vividas a lo largo de estos años.

A las futuras generaciones de las carreras STEM, con la esperanza de que mi investigación les motive a seguir creciendo en el mundo de la ciencia, y podamos desarrollar un mundo mejor.

Agradecimientos

A mis asesores de tesis, PhD Alejandro Vera Lázaro y Mg. Juan Carlos Vives Garnique, por su orientación y dirección en la presente investigación.

Al Ing. Iván Sipión Muñoz por su soporte en la investigación y por su mentoría.

A mis amigos Gustavo, Julián y Julio, con los cuales he recorrido esta travesía y siempre me demostraron su respaldo.

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	18% FUENTES DE INTERNET	5% PUBLICACIONES	10% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	vsip.info Fuente de Internet	2%
3	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to 84752 Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Consorcio CIXUG Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%

Índice

Resumen	11
Abstract.....	12
1. Introducción	13
1.1. Situación Problemática.....	13
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
2. Marco teórico	15
2.1. Antecedentes empíricos.....	15
2.2. Bases Teóricas-Científicas	19
2.2.1. Análisis estático estructural.....	19
2.2.2. Análisis vibracional.....	22
3. Justificación.....	25
4. Formulación del problema	25
5. Diseño metodológico.....	26
5.1. Tipo de investigación	26
5.1.1. Enfoque cuantitativo.....	26
5.2. Métodos y materiales	26
5.3. Operacionalización de las variables	32
5.4. Población y muestra	35
6. Resultados	37
6.1. Dimensionamiento y caracterización del chasis PRFV.....	37
6.2. Evaluar las propiedades mecánicas del PRFV	39
6.2.1. Materiales compuestos	39
6.2.2. Fibra.....	39
6.2.3. Matriz	40
6.2.4. PRFV	40
6.2.5. Adhesión mecánica.....	43
6.3. Realizar los análisis estático y frecuencial en el chasis con el PRFV y el AISI 4135	46
6.3.1. Plástico reforzado con fibra de vidrio.....	46
6.3.2. Acero AISI 4135.....	64
6.4. Comparar los resultados de los análisis a los materiales.....	83

6.4.1.	Esfuerzos máximos y mínimos.....	83
6.4.2.	Desplazamientos máximos y mínimos	84
6.4.3.	Deformaciones máximas y mínimas.....	85
6.4.4.	Factor de Seguridad	86
6.5.	Calcular el ahorro de combustible en el camión después del cambio de material en el chasis	90
6.5.1.	Chasis PRFV	91
6.5.2.	Chasis AISI 4135.....	92
7.	Conclusiones	93
8.	Recomendaciones.....	94
9.	Referencias	94

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 ESFUERZO CORTANTE SIMPLE	20
Ilustración 2 ESFUERZO CORTANTE DOBLE	21
Ilustración 3 ESFUERZO CORTANTE MAYOR A DOS.....	21
Ilustración 4 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN	22
Ilustración 5 METODOLOGIA DEL DISEÑO	34
Ilustración 6 PARQUE VEHICULAR A LO LARGO DE LOS AÑOS	35
Ilustración 7 CAMIONES EN LOS DEPARTAMENTOS DEL PERÚ	36
Ilustración 8 TRANSPORTE DE CARGA DE CAMIONES Y SUS PRINCIPALES MARCAS	36
Ilustración 9 CAD CHASIS DEL EICHER PRO- 1110	38
Ilustración 10 DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS DEL EICHER PRO – 1110.....	38
Ilustración 11 MATERIALES MULTICAPA PRFV 6 MM	41
Ilustración 12 MATERIALES MULTICAPA PRFV 10 MM	42
Ilustración 13 MICROGRAFÍA DE LA SUPERFICIE DE LA FIBRA DE VIDRIO "S"	43
Ilustración 14 SELECCION EN LA SUPERFICIE DE REGIONES DE FIBRA DE VIDRIO	44
Ilustración 15 ENSAYO DE MICROSCOPIO A 10 MICRAS	44
Ilustración 16 MEDICION DEL DIAMETRO PROMEDIO DE LA FIBRA DE VIDRIO	45
Ilustración 17 SELECCIÓN EN LA SUPERFICIE TRANSVERSAL	45
Ilustración 18 CARA FRONTAL DEL CHASIS	46
Ilustración 19 ACERCAMIENTO DE LA CARA FRONTAL	46
Ilustración 20 VIGAS CUADRADAS CON PRFV	47
Ilustración 21 VIGAS TIPO "C" CON PRFV.....	47
Ilustración 22 RESULTADOS DE ESFUERZOS 60kN PRFV	51
Ilustración 23 RESULTADOS DE ESFUERZOS 90kN PRFV	52
Ilustración 24 RESULTADOS ESFUERZOS 120kN PRFV	52
Ilustración 25 σ min (N/m ²) PRFV	53
Ilustración 26 σ máx (MN/m ²) PRFV	53
Ilustración 27 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 60kN PRFV	54
Ilustración 28 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 90kN PRFV	54
Ilustración 29 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 120kN PRFV	55
Ilustración 30 DESPLAZAMIENTO MIN (mm) PRFV	55
Ilustración 31 DESPLAZAMIENTO MÁX. (mm) PRFV	56
Ilustración 32 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 60kN PRFV	56
Ilustración 33 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 90kN PRFV	57
Ilustración 34 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 120kN PRFV	57
Ilustración 35 DEFORMACIONES UNITARIAS MIN PRFV	58
Ilustración 36 DEFORMACIONES UNITARIAS MÁX PRFV	58
Ilustración 37 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 60kN PRFV	59
Ilustración 38 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 90kN PRFV	59
Ilustración 39 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 120kN PRFV	60

Ilustración 40 FACTOR DE SEGURIDAD PRFV	60
Ilustración 41 SUJECIONES Y CARGA.....	61
Ilustración 42 AMPLITUD 1	62
Ilustración 43 AMPLITUD 2	62
Ilustración 44 AMPLITUD 3	63
Ilustración 45 AMPLITUD 4	63
Ilustración 46 AMPLITUD 5	64
Ilustración 47 CHASIS CON AISI 4135.....	66
Ilustración 48 RESULTADOS DE ESFUERZOS 60kN AISI 4135.....	69
Ilustración 49 RESULTADOS DE ESFUERZOS 90kN AISI 4135.....	69
Ilustración 50 RESULTADOS DE ESFUERZOS 120kN AISI 4135.....	70
Ilustración 51 σ min (N/m ²) AISI 4135	70
Ilustración 52 σ máx. (MN/m ²) AISI 4135	71
Ilustración 53 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 60kN AISI 4135	72
Ilustración 54 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 90kN AISI 4135	72
Ilustración 55 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 120kN AISI 4135	73
Ilustración 56 DESPLAZAMIENTO MIN (mm) AISI 4135.....	73
Ilustración 57 DESPLAZAMIENTO MÁX AISI 4135	74
Ilustración 58 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 60kN AISI 4135	74
Ilustración 59 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 90kN AISI 4135	75
Ilustración 60 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 120kN AISI 4135 ..	75
Ilustración 61 DEFORMACIÓN MIN AISI 4135	76
Ilustración 62 DEFORMACIÓN MÁX AISI 4135.....	76
Ilustración 63 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 60kN AISI 4135	77
Ilustración 64 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 90kN AISI 4135	77
Ilustración 65 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 120kN AISI 4135	78
Ilustración 66 FACTOR DE SEGURIDAD AISI 4135	78
Ilustración 67 SUJECIONES Y CARGA.....	79
Ilustración 68 AMPLITUD 1	80
Ilustración 69 AMPLITUD 2	80
Ilustración 70 AMPLITUD 3	81
Ilustración 71 AMPLITUD 4	81
Ilustración 72 AMPLITUD 5	82
Ilustración 73 σ Max (MN/m ²) PRFV	83
Ilustración 74 σ min (N/m ²) PRFV	84
Ilustración 75 Desplazamiento máx. (mm) PRFV	84
Ilustración 76 Desplazamiento min (mm) PRFV	85
Ilustración 77 Deformación máx. PRFV	85
Ilustración 78 Deformación min PRFV.....	86
Ilustración 79 Factor de seguridad PRFV.....	86
Ilustración 80 COMPARACIÓN DE DENSIDAD.....	88
Ilustración 81 COMPARACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG.....	88
Ilustración 82 COMPARACIÓN DE MÓDULO ELÁSTICO	89
Ilustración 83 COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE FLEXIÓN.....	89
Ilustración 84 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA.....	90
Ilustración 85 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN 200 000 Km PRFV	91
Ilustración 86 CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN 200 000 Km AISI 4135	92

Lista de tablas

Tabla 1 CAPACIDAD DE CARGA	26
Tabla 2 DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS	26
Tabla 3 MATRIZ BIBLIOGRÁFICA	26
Tabla 4 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	27
Tabla 5 MODELO DE RESULTADO ANÁLISIS ESTÁTICO	29
Tabla 6 MODELO DE RESULTADO ANÁLISIS FRECUENCIAL	29
Tabla 7 COMPARACIÓN DE MASA Y PESO	29
Tabla 8 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS	29
Tabla 9 CONSUMO, EMISIONES Y MONTO EN 100 KM	30
Tabla 10 CONSUMO, EMISIONES Y MONTO 200 000 KM.....	30
Tabla 11 AHORRO DE COMBUSTIBLE Y MONTO	31
Tabla 12 MATRIZ DE CONSISTENCIA	32
Tabla 13 COMPOSICIÓN QUIMICA DE LA FIRBA DE VIDRIO "S"	39
Tabla 14 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE VIDRIO "S"	40
Tabla 15 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA POLIESTER	40
Tabla 16 PRFV 6 mm.....	42
Tabla 17 PRFV 10 mm.....	42
Tabla 18 RESULTADOS DE APLICAR 60 kN EN LAS SUJECIONES	47
Tabla 19 RESULTADOS DE APLICAR 90 kN EN LAS SUJECIONES	49
Tabla 20 RESULTADOS DE APLICAR 120 kN EN LAS SUJECIONES	50
Tabla 21 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO	51
Tabla 22 ESFUERZOS POR EL CRITERIO VON MISES PRFV	51
Tabla 23 DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES PRFV	54
Tabla 24 DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE PRFV	56
Tabla 25 Factor de seguridad PRFV	59
Tabla 26 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO	61
Tabla 27 MODOS FRECUENCIALES	64
Tabla 28 PARTICIPACIÓN DE MASA.....	64
Tabla 29 PROPIEDADES MECÁNICAS AISI 4135.....	65
Tabla 30 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AISI 4135	65
Tabla 31 RESULTADOS DE APLICAR 60 kN EN LAS SUJECIONES AISI4135....	66
Tabla 32 RESULTADOS DE APLICAR 90 kN EN LAS SUJECIONES AISI4135....	67
Tabla 33 RESULTADOS DE APLICAR 120 kN EN LAS SUJECIONES	68
Tabla 34 ESFUERZOS POR EL CRITERIO DE VON MISES AISI4135	68
Tabla 35 DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES AISI4135	71
Tabla 36 DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE AISI4135.....	74
Tabla 37 FACTOR DE SEGURIDAD AISI 4135	77
Tabla 38 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO	79
Tabla 39 MODOS FRECUENCIALES	82
Tabla 40 PARTICIPACIÓN DE MASA.....	82
Tabla 41 MASAS Y PESOS DE LOS CHASIS	87
Tabla 42 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS CON RESPECTO AL MATERIAL	87

Tabla 45 CONSUMO, EMISIONES, COSTO EN 200 000Km PRFV	91
Tabla 44 CONSUMO, EMISIONES, COSTO EN 200 000Km AISI 4135	92
Tabla 46 AHORRO DE COMBUSTIBLE EN 200 000 Km	93

Resumen

Es muy probable que hoy en día cualquier objeto que esté a nuestro alrededor haya estado en algún momento de su vida en el interior de un camión de carga, ya que estos son indispensables para el transporte de cualquier tipo de elemento. Desde alimentos, prendas de vestir, muebles, materiales de construcción, hasta maquinaria pesada es transportada por estos vehículos pesados. Por este motivo son considerados parte esencial de la economía mundial, pero al ser sometidos a grandes cargas, estos producen una gran contaminación ambiental, debido al combustible que utilizan.

La presente investigación tuvo como objetivo disminuir el consumo de combustible del camión mediante la implementación del material compuesto PRFV (Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio) como material principal en el chasis en vez de los aceros comúnmente utilizados en su manufactura.

La metodología utilizada inició con el dimensionamiento del chasis y se evaluó las propiedades mecánicas del PRFV, para después proceder a la simulación estático-frecuencial del chasis; los resultados de la simulación fueron comparados con respecto al acero AISI 4135 para finalmente proceder con el cálculo del consumo de combustible del camión con el nuevo material.

Con el cambio de material se logró disminuir el peso del camión en 536 Kg, generando así un ahorro de 438.4 L en el uso de combustible, lo cual da un ahorro económico de S/1995.31.

Palabras clave: Chasis, Análisis estático-frecuencial, Materiales compuestos, PRFV.

Abstract

Its most likely nowadays that any object around us has been at some moment in its life inside a cargo truck, since these are indispensable for the transportation of any type of element. From food, clothing, furniture, construction materials, to heavy machinery is transported by these heavy vehicles. For this reason, they are considered an essential part of the world economy, but when subjected to heavy loads, they produce a great amount of environmental pollution, due to the fuel they use.

The objective of this research is to reduce the fuel consumption of the truck by implementing GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) as the main material in the chassis instead of the Steel commonly used in its manufacture.

The methodology used started with the sizing of the chassis and the mechanical properties of the GFRP were evaluated and then proceeded to the static-frequency simulation of the chassis, the results of the simulations were compared with the Steel alloy AISI 4135, to finally proceed to calculate the fuel consumption of the truck with the new material.

By changing the material, the weight of the truck was reduced by 536Kg, which generated a saving of 438.4 L in fuel consumption, resulting in an economic saving of S/.1995,31.

Keywords: Chassis, Static analysis, Frequential analysis, Composite material, GFRP.

1. Introducción

1.1. Situación Problemática

Según INTERPERU (INTERNACIONAL: Camiones del Perú) mientras mayor peso lleve un camión, creara una mayor resistencia y por ende quemara más combustible ya que aumenta la potencia necesaria para su movilización. Por cada 500 kilogramos de peso adicionales en el vehículo el ahorro de combustible decae en un 0.5% aproximadamente. Este es el principal motivo por el cual se debe reducir el peso del camión de carga, para así poder maximizar la capacidad de la carga útil y ahorrar combustible en el proceso. [1]

El chasis de un vehículo es considerado como el esqueleto que mantiene a todos los componentes importantes como: el motor, la suspensión, el diferencial, hasta la carga extra que debe soportar, todo esto constituye al chasis en sí. Este debe resistir distintas cargas axiales, momentos flectores y vibraciones. [2] Por eso mayormente se utilizan aleaciones de acero para garantizar la resistencia y durabilidad de los chasis, sin embargo, el gran peso de los materiales causa que el camión tenga que gastar más combustible para moverse.

¿Será factible reducir el consumo de combustible del camión modificando el material con el que se va a fabricar el chasis?

La finalidad de esta investigación es reducir el consumo de combustible del camión mediante el cambio de material en el chasis. Para dar solución a la problemática se utilizó el material compuesto Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), el cual tiene como una de sus características la alta resistencia en comparación con su ligero peso, después se procedió a simular un análisis estático-frecuencial en el chasis con el nuevo material, el cual arrojó datos que permitieron calcular el consumo de combustible de este.

Los estudios utilizados fueron análisis estático y análisis frecuencial, 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 frecuencial para garantizar la resistencia a las distintas condiciones, ya sean cargas y/o diversas rutas a enfrentar.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Analizar estática y frecuentemente el chasis de un camión de 8 Toneladas utilizando PRFV para reducir su consumo de combustible

1.2.2. Objetivos específicos

- Dimensionar y caracterizar el chasis del camión de 8 toneladas
- Evaluar las propiedades mecánicas del PRFV
- Analizar estática y frecuentemente el chasis del camión de 8 toneladas con el PRFV y el AISI 4135
- Comparar los resultados de rigidez y frecuencial de ambos materiales
- Calcular el ahorro de combustible en el camión después del cambio de material en el chasis

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes empíricos

Agarwal, A. & Mthembu, L. [4] en su artículo de investigación tuvo como objetivo la realización de un análisis estructural estático y la posterior optimización de un chasis de HMV (camión) tipo escalera utilizando un material compuesto de matriz metálica (MMC) de aluminio unidireccional P100/6061 Al. El objetivo principal de este estudio es explorar las aplicaciones potenciales del MMC para reducir la masa del chasis del HMV. El análisis de elementos finitos (FE) se realiza en el software ANSYS 18.1, utilizando la metodología de optimización de inicialización de malla dispersa del enfoque de superficie de respuesta. La masa actual del chasis construido con material tradicional (St52E) es de 214,64 Kg. Por el contrario, la masa del chasis utilizando material compuesto de matriz metálica (MMC) P100/6061 Al es de 67,922 Kg. En consecuencia, la implementación de la optimización de inicialización de malla dispersa da como resultado una reducción de masa de aproximadamente el 68,4% cuando se emplea material MMC. Por lo tanto, concluyeron, la utilización de compuestos de matriz metálica (MMC) como material para el chasis tiene el potencial de disminuir sustancialmente el peso total del chasis.

C. Vinodbabu, S. Chiranjeeva, M. Vykunta [5] en este artículo los autores han analizado estática y frecuentemente en ANSYS dos chasis con distintos materiales, uno hecho de acero y otro con nano tubos de carbono (CNT) y una matriz de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) para después compararlos con respecto a sus esfuerzos y deformaciones para finalmente elegir el óptimo.

Los resultados concluyeron en que el chasis de CNT con matriz de CFRP posee una menor deformación que el hecho con acero, además de que es más liviano.

D. Singh, A. Tomar [6] en esta investigación los autores cambiaron el material y la topología del chasis para poder optimizarlo. Primeramente, se analizaron estática y vibracionalmente dos chasis uno hecho de acero 52 y el otro hecho de fibra de carbono con resina Epoxy utilizando el software ANSYS. Los primeros resultados arrojaron que el chasis hecho de material compuesto es casi un 80% más liviano que el convencional hecho de acero 52. Después procedieron a la optimización del chasis más eficiente, pero esta no mostro resultados significativos en la investigación.

P. Senthil, A. Vinod, B. Rajadurai, V. Arun, S. Leoni, P. Jayavel, G.R. Anandha [7] en este artículo se eligieron cuatro materiales comúnmente utilizados en la fabricación de chasis (AISI4130, AISI4140, AISI4340 y AMS6373C) y se combinaron entre ellos para posteriormente ser evaluados en una variación de frecuencia de 0-5000 Hz con respecto al estrés y desplazamiento que puedan presentar.

La combinación de estos cuatro materiales dio como resultado dieciséis combinaciones, de las cuales se terminaron seleccionando las cuatro mejores. Dando como resultado que la combinación C22 hecha de AISI4140 y AISI4140 es la mejor en comparación a las demás.

T. Han, R. Abd. Rahman [8] los autores presentan en la siguiente investigación el análisis estático estructural y el análisis dinámico del chasis de un camión mediante el uso de métodos numéricos, los cuales representaran las distintas condiciones de carga a las que será sometido el chasis. Los análisis estático y dinámico muestra que el chasis soporta las cargas a las cuales se le sometió sin ningún problema en dos casos, cuando la carga es uniforme y cuando es asimétrica. Se le hizo una modificación al chasis al agregarle una unión extra entre los dos largueros para hacerlo más firme. Se concluyó que el chasis es resistente a las cargas sometidas.

C. Chagoyén, C. Álvarez, Y. Brito, J. Moya, E. Chagoyén [9] para la presente investigación se determinó el comportamiento estático y los modos frecuenciales del chasis de un ómnibus modernizado, ya que se realizó una modificación en la estructura sobre la cual se montó este. La nueva estructura presenta un diseño aerodinámico en comparación con el anterior y un mejor aspecto exterior. Se procedió al análisis estructural el cual dio como resultado que los esfuerzos se localizan en la parte trasera y delantera del chasis. El análisis estructural se desarrolló con las primeras cinco frecuencias, confirmando que la parte trasera es más propensa a variaciones de frecuencia.

Siraj, Adem; Babu, N. Ramesh; Reddy, K. Sirinivasa [10] en su artículo tuvieron como objetivo es investigar el comportamiento del chasis del camión cuando se somete a tres escenarios de carga distintos: flexión, torsión y una combinación de cargas de flexión y torsión. El estudio se centra en la respuesta del canal C horizontal del chasis bajo estas condiciones de carga. Este estudio pretende adquirir las dimensiones de un chasis de vehículo pesado para un camión volquete FAW de Bishoftu Automobile Industry. El chasis de material compuesto propuesto se someterá a condiciones de presión o carga

idénticas a las de un chasis de acero, manteniendo las mismas características geométricas. El software utilizado en este estudio es CATIA V5 R19 para el modelado y ANSYS 14.5 para el análisis de elementos finitos. Los resultados indican que los materiales compuestos, en particular el epoxi de carbono, presentan una capacidad de carga mucho mayor y un mejor factor de seguridad en comparación con el epoxi de fibra de vidrio y el acero dulce. Además, la utilización de epoxi de carbono da como resultado una reducción del peso del chasis en un factor de 4,8, mientras que el uso de epoxi de vidrio conduce a una reducción del peso de 3 veces. En general se concluye que la utilización de materiales compuestos para los bastidores de los chasis se considera una práctica segura. La aplicación de la sustitución de materiales representa un enfoque eficaz para mitigar el peso de los vehículos, lo que conlleva una reducción tanto del consumo de combustible como de las emisiones atmosféricas. Esto es especialmente significativo dada la preocupación mundial que rodea a esta cuestión.

Rai, Kailash; Mahadeokar, Supreet; Mehre, Aditi; Patel, Apoorva [11] tuvieron como objetivo de este estudio, evaluar la solidez estructural y la eficacia operativa de cada diseño mediante la utilización del software SOLIDWORKS y el análisis estático. Este estudio investiga el proceso de diseño, que abarca la meticulosa selección de materiales, el desarrollo de modelos tridimensionales y la aplicación del análisis estático mediante la utilización del software ANSYS. Este estudio evalúa el rendimiento de cada diseño en términos de peso, resistencia, coste y fabricabilidad. Los resultados del análisis comparativo ofrecen información significativa sobre el proceso de diseño, las compensaciones y las limitaciones asociadas a cada diseño, lo que permite identificar la opción más óptima para el vehículo en cuestión. Este estudio concluye en la utilización de herramientas de análisis y diseño asistido por ordenador durante el proceso de diseño del chasis, al tiempo que destaca el importante papel que desempeña la selección de materiales en el diseño y el rendimiento del chasis de un camión.

De, S.; Singh, K.; Seo, J.; Kapania, R.K.; Ostergaard, E.; Angelini, N.; Agüero, R. [12] tuvo como objetivo construir un modelo de elementos finitos basado en el armazón de un chasis de camión híbrido de grandes dimensiones. Este modelo se emplea posteriormente para llevar a cabo la optimización de la masa, teniendo en cuenta varios escenarios de carga y diferentes restricciones. La optimización de la forma y el tamaño puede aplicarse a varios componentes del chasis de un camión. Los travesaños del vehículo se simbolizan mediante vigas, mientras que otros componentes como las baterías, el motor y los

depósitos de combustible se representan como masas puntuales. Estos componentes se fijan al raíl mediante diversas restricciones puntuales, estableciéndose así un modelo matemático. Se construyen modelos de elementos finitos de fidelidad media para representar las suspensiones delantera y trasera, que posteriormente se conectan al chasis mediante diversas restricciones puntuales. Este proceso da como resultado un modelo completo de elementos finitos para todo el vehículo. Concluyendo la optimización consiste en considerar un conjunto de cinco circunstancias de carga, cada una de las cuales corresponde a un incidente en carretera. A continuación, se imponen restricciones sobre la tensión de von Mises máxima permitida y la frecuencia de flexión vertical inicial. La optimización de la estructura se consigue mediante la utilización del algoritmo de optimización de enjambre de partículas, que se implementa con técnicas de procesamiento en paralelo. Se consigue una reducción de masa de aproximadamente el 13,25% en comparación con el modelo de referencia.

Rabanal Cotrina, Luis Alberto [13], tuvo como objetivo abordar el problema identificado en el mantenimiento del chasis de los camiones cat 793 con tolvas montadas y elevadas. Específicamente, el objetivo es mejorar la disponibilidad de estos camiones mejorando la eficiencia de los procesos de montaje y desmontaje relacionados con los actuales soportes de retención de tolva. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema de soporte de retención de tolva para un cat msd II de 30 toneladas de capacidad, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa de un camión cat 793 en GUVI Servis EIRL Cajamarca. La implementación del nuevo soporte de retención tiene el potencial de disminuir considerablemente los tiempos de montaje y desmontaje. Los resultados tercero y cuarto consistieron en la ejecución de un análisis estático con el programa de diseño SolidWorks para determinar la composición de los materiales y las dimensiones de grosor y diámetro de los elementos constitutivos del nuevo soporte de retención. Por último, se concluyó llevar a cabo una evaluación económica exhaustiva utilizando las métricas de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para determinar la viabilidad de la empresa.

Aránega-Robledillo, Ismael [14] tuvo como objetivo profundizar en el procedimiento integral necesario para acometer una importante reforma, centrándose específicamente en la transformación de un vehículo industrial clasificado como 22.20, concretamente un camión caja cerrada, en un vehículo de extinción de incendios clasificado como 22.46. El proyecto da como resultado una explicación minuciosa y detallada del proceso de

transformación. Concluyendo que la carrocería existente se sustituye por una nueva, al tiempo que se incorporan componentes adicionales como un cabrestante, un depósito de agua, un carrete de rescate y una bomba de agua.

2.2. Bases Teóricas-Científicas

2.2.1. Análisis estático estructural

La fuerza por unidad de área a través de una sección recibe el nombre de *esfuerzo*, y es representado con la letra griega σ (sigma).

Esfuerzo axial

El esfuerzo en un elemento con área transversal (A) sometido a una carga axial (P) se obtiene al dividir la magnitud P de la carga entre el área A. [15]

FÓRMULA:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

- σ = Esfuerzo axial (Pa)
- P= Fuerza axial (N)
- A= Área de sección transversal (m^2)

Esfuerzo cortante

También conocido como esfuerzo de cizalla, o corte es el esfuerzo resultante de los esfuerzos paralelos a la sección transversal de un prisma mecánico. Es representado con la letra griega τ (tao). [15]

FÓRMULA:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (2)$$

- τ = Esfuerzo cortante (Pa)
- P= Fuerza cortante (N)
- A= Área de sección transversal (m^2)

Este tipo de esfuerzos se encuentra generalmente en pasadores, pernos o remaches, los cuales son utilizados para unir variados tipos de estructuras y elementos.

- a) Esfuerzo cortante simple: Ocurre cuando la fuerza cortante divide al elemento en dos piezas. [15]

FÓRMULA:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

- τ = Esfuerzo cortante (Pa)
- $P=F$ = Fuerza cortante (N)
- A = Área de sección transversal (m^2)

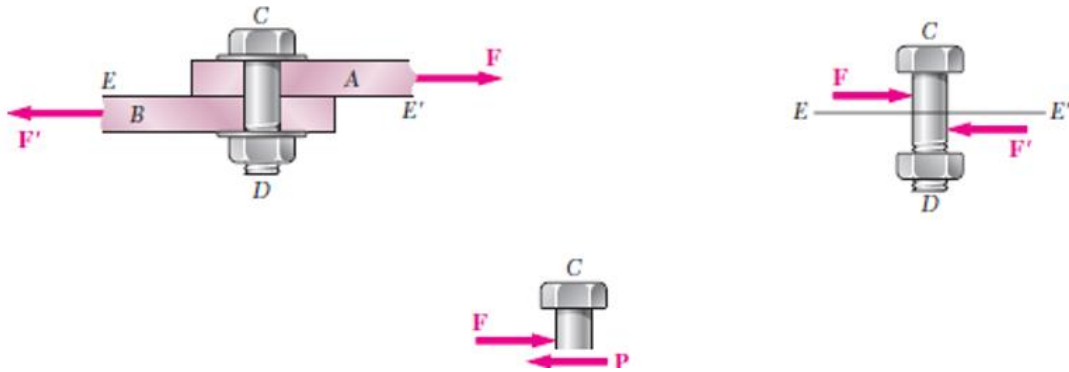


Ilustración 1 ESFUERZO CORTANTE SIMPLE
Fuente: [15]

- b) Esfuerzo cortante doble: El esfuerzo cortante doble divide al elemento en tres piezas. [15]

FÓRMULA:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A} \quad (4)$$

- τ = Esfuerzo cortante (Pa)
- $P=F$ = Fuerza cortante (N)
- A = Área de sección transversal (m^2)

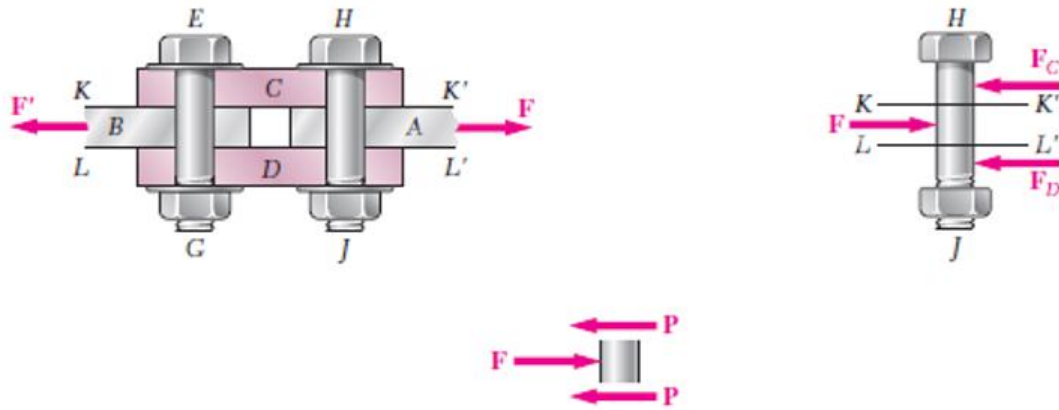


Ilustración 2 ESFUERZO CORTANTE DOBLE

Fuente: [15]

- c) Esfuerzo cortante mayor a dos: El número de piezas siempre es mayor en una unidad al número de cortes. [15]

FÓRMULA:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F/n}{A} = \frac{F}{nA} \quad (5)$$

- τ = Esfuerzo cortante (Pa)
- $P=F$ = Fuerza cortante (N)
- A = Área de sección transversal (m^2)
- n =número de cortes

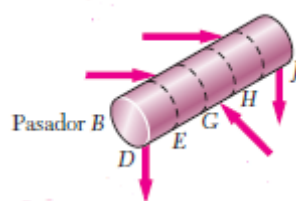


Ilustración 3 ESFUERZO CORTANTE MAYOR A DOS

Fuente: [15]

Factor de seguridad

La carga máxima que puede soportar un elemento estructural o un componente de una maquinaria en condiciones normales de uso es considerablemente más pequeña que la carga última, a esta se le conoce como carga permisible o carga de diseño. De esta manera solo se utiliza una fracción de la capacidad máxima de carga del elemento cuando se aplica la carga permisible. El remanente de la capacidad portadora de carga del elemento se mantiene en reserva para asegurar un seguro desempeño. [15]

$$\text{Factor de Seguridad} = FS = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga permisible}} \quad (6)$$

Una definición alterna del factor de seguridad tiene sus bases en el uso de esfuerzos:

$$\text{Factor de Seguridad} = FS = \frac{\text{Esfuerzo \u00faltimo}}{\text{Esfuerzo permisible}} \quad (7)$$

Deformaci\u00f3n por carga axial

Tambi\u00e9n conocida como deformaci\u00f3n del elemento por unidad de longitud, esta se mide realiza utilizando una m\u00e1quina de ensayo de tensi\u00f3n o compresi\u00f3n. [15]

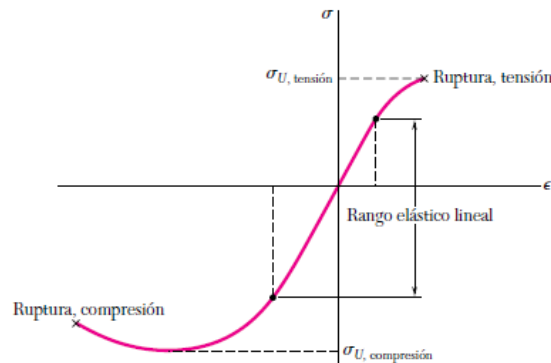
F\u00d3RMULA:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (8)$$

- ϵ = deformaci\u00f3n por carga axial (adimensional)
- δ = deformaci\u00f3n total (adimensional)
- L = longitud (m)

Diagrama esfuerzo-deformaci\u00f3n

Este diagrama nos permite visualizar hasta qu\u00e9 punto resisten diversos materiales antes de su ruptura, ya sea por tensi\u00f3n o compresi\u00f3n.



Ilustraci\u00f3n 4 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACI\u00d3N
Fuente: [15]

2.2.2. An\u00e1lisis vibracional

An\u00e1lisis modal

Proceso en el cual se determinan las caracter\u00edsticas din\u00e1micas inherentes a un sistema mec\u00e1nico y necesarias para la posterior formulaci\u00f3n de un modelo matem\u00e1tico del comportamiento din\u00e1mico de dicho sistema. [16]

Grados de libertad

Son los parámetros independientes que definen la posición y la configuración deformada de dicho sistema. [16]

Frecuencia natural

Es la frecuencia del movimiento armónico que resulta al introducir un desplazamiento y/o una velocidad inicial a un sistema de 1 grado de 1 GDL, el cual se encuentra en posición de equilibrio, y dejarlo vibrar libremente sin amortiguamiento. [16]

FÓRMULA:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

- ω = Frecuencia natural (rad/s)
- k = constante de rigidez
- m = inercia del sistema Kg.m

Régimen estacionario

Un sistema dinámico se dice que está en régimen estacionario cuando su variación con el tiempo reviste un carácter periódico. Todas las variables que caracterizan el problema repiten valore cada T segundos (T= periodo). [16]

Régimen transitorio

Un sistema dinámico se dice que está en régimen transitorio cuando la dependencia temporal de las variables del problema es arbitraria o de carácter periódico. [16]

Amortiguador dinámico

Es un sistema mecánico masa-resorte (amortiguador) que se añade al sistema a estudiar, para diseñarlo de tal forma que las frecuencias naturales del sistema se encuentren alejadas de la frecuencia de excitación. La selección de la masa m_2 y la rigidez k_2 del absorbedor se realiza de forma que: [16]

$$\bar{\omega}^2 = \frac{k_2}{m_2} = \frac{k_1}{m_1} \quad (10)$$

- $\bar{\omega}^2$ = Frecuencia natural (rad/s²)
- k = contante de rigidez
- m = inercia del sistema (Kg.m)

Amortiguamiento critico

Es un parámetro intrínseco de un sistema de un grado de libertad amortiguado. [16]

$$\bar{C} = 2m\varpi \quad (11)$$

- ϖ = Frecuencia natural (rad/s)
- k = contante de rigidez
- m = masa del sistema (Kg)

Amortiguamiento proporcional

Así se le denomina a aquella hipótesis de modelización del amortiguamiento que permite desacoplar las ecuaciones de movimiento de sistemas de n GDL. En este caso, la matriz $[C]$ debe poder ser diagonalizada junto con $[K]$ y $[M]$. [16]

$$[C] = \alpha_0 * [M] + \alpha_1 * [K] \quad (12)$$

Relación de amortiguamiento

Es la relación del amortiguamiento real con el amortiguamiento critico de una estructura. [16]

$$\xi = \frac{C}{\bar{c}} = \frac{C}{2m\varpi} \quad (13)$$

- ξ = Relación de amortiguamiento
- C = amortiguamiento del sistema
- \bar{c} = amortiguamiento critico

3. Justificación

La justificación de este proyecto se enmarca en los siguientes cuatro niveles:

- **SOCIAL:** Beneficia a las personas que están relacionadas al parque automotor, ya que la intención del proyecto es reducir la cantidad de emisiones toxicas producidas por los camiones y que por ende inhalan las personas.
- **ECONÓMICA:** Según la NRCAN (Natural Resources Canada) si se logra disminuir 200Kg en el camión existiría un ahorro de combustible en 200 000 Km de aproximadamente \$1 744. Esto es favorable para el dueño del camión.
- **AMBIENTAL:** Al reducir el peso del camión disminuirá el consumo de combustible, y esto se ve reflejado en una menor emisión de CO2 al ambiente.
- **TECNOLÓGICA:** Para crear el material compuesto PRFV fue necesario utilizar el software CES Edu Pack y su función de sintetizador, además del software SolidWorks para el desarrollo del diseño del chasis y la simulación de los análisis estático y frecuencial.

4. Formulación del problema

¿Será factible reducir el consumo de combustible del camión modificando el material con el que se va a fabricar el chasis?

5. Diseño metodológico

5.1. Tipo de investigación

5.1.1. Enfoque cuantitativo

El enfoque utilizado se basa en la recolección de datos, en los que se incluyen magnitudes medibles, las cuales se pueden representar numéricamente. Además de que las conclusiones de este proyecto están en base a los resultados desarrollados.

5.2. Métodos y materiales

Para el desarrollo del primer objetivo fue necesario contar con la ficha técnica del camión EICHER PRO 1110 para conocer su capacidad de carga, dimensiones y demás características.

De acuerdo con los datos proporcionados por la empresa VE COMMERCIAL VEHICLES se pudo desarrollar la siguiente tabla. [17]

Tabla 1 CAPACIDAD DE CARGA

CAPACIDAD DE CARGA		
Capacidad el camión	78 480N	8 T
Capacidad a plena carga con 1,25% de exceso	98 100 N	10 T
Peso del chasis y motor	19 620 N	2 T
Carga total sobre el chasis	117 720 N	12 T
Carga total en cada larguero	58 860 N	6 T

El diseño del chasis se realizó tomando como base los datos proporcionados por A. Tomar y D. Singh, pero fueron modificados para poder desarrollar este proyecto de investigación. [6]

Tabla 2 DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS

DIMENSIONAMIENTO DEL CHASIS		
Tipo de viga	Tipo C	Cuadrada
Dimensiones (mm)	210 x 76 x 6	150 x 198 x 10
Largo (mm)	5360	1800
Cantidad	2	6
Material	PRFV 6 mm	PRFV 10 mm
Capas del material	4	7

En el segundo objetivo se tomó en cuenta diversas bibliografías para obtener información sobre los materiales utilizados en situaciones similares a las de esta investigación.

Tabla 3 MATRIZ BIBLIOGRÁFICA

N°	Origen	Año	Autores	Institución	Título	Material que utilizó	¿Dónde se aplicó?
1	India	2019	Nipun Sinha, Kaushik Kumar.	Birla Institute of Technology	Efficacy of Vehicle Chassis of Polymeric Composite	ST 37	Chasis de un camión TATA LPT 2518 TC
2	India	2017	Dr. Shrishail Kakkeri, Kiran L, Shridhar Deshpande.	College of Engineering Bengaluru	Proposal of Hybrid Composite Material for Light Commercial Vehicle Chassis	Acero A36	Chasis de un camión TATA Ace
3	India	2017	Dr. Shrishail Kakkeri, Kiran L, Shridhar Deshpande.	College of Engineering Bengaluru	Proposal of Hybrid Composite Material for Light Commercial Vehicle Chassis	Fibra de carbón	Chasis de un camión TATA Ace
4	Indonesia	2020	Angga Kengkongan Ary, Aditya Rio Prabowo, Fitriani Imaduddin.	Universitas Sebelas Maret	Structural Assessment of an Energy-Efficient Urban Vehicle Chassis using Finite Element Analysis - A Case Study	Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)	Chasis de un vehículo urbano alternativo
5	India	2020	S. Nandhakumar , S. Seenivasan , A. Mohammed Saalih , Muhammed Saifudheen.	Institute of Technology Coimbatore	Weight Optimization and Structural Analysis of an Electric Bus Chassis Frame	Al 6061 T6	Chasis de un bus eléctrico Sunwin SWB6121 EV57
6	India	2020	S. Nandhakumar , S. Seenivasan , A. Mohammed Saalih , Muhammed Saifudheen.	Institute of Technology Coimbatore	Weight Optimization and Structural Analysis of an Electric Bus Chassis Frame	Acero estructural	Chasis de un bus eléctrico Sunwin SWB6121 EV57
7	India	2020	S. Nandhakumar, S. Seenivasan , A. Mohammed Saalih , Muhammed Saifudheen.	Institute of Technology Coimbatore	Weight Optimization and Structural Analysis of an Electric Bus Chassis Frame	Al 7075 T6	Chasis de un bus eléctrico Sunwin SWB6121 EV57
8	India	2014	Abhishek Sharma, Mr. Pramod Kumar, Abdul Jabbar, Mohammad Mamoon Khan.	Galgotias University	Structural Analysis of a Heavy Vehicle Chassis Made of Different Alloys by Different Cross Sections	AISI 4135	Chasis de un vehículo pesado

Esta investigación bibliográfica dio como resultado una base de datos sobre los materiales utilizados en proyectos similares y sus propiedades mecánicas. En el siguiente cuadro se puede apreciar comparación realizada entre los 10 materiales, los cuales incluyen las dos variaciones realizadas del PRFV, que son de 6 y 10 mm.

Finalmente se eligió el acero aleado AISI 4035 para realizar la comparación con el material compuesto presentado en este proyecto.

Tabla 4 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Materiales	PROPIEDADES MECÁNICAS				
	Resistencia última (Mpa)	Limite elástico (Mpa)	Módulo de Young (GPa)	Densidad (Kg/m ³)	Coefficiente de Poisson
ST37	460	260	210	7850	0,29
Acero A36	500	350	200	7800	0,3
Fibra de carbón	500	400	135	1650	0,3
CFRP	577	300	133	1430	0,39
Al 6061 T6	310	275	69	-	0,33
Acero estructural	450	260	200	-	0,3
AL 7075 T6	570	505	71,7	-	0,33
AISI 4135	586	586	210	7870	0,33
PRFV 6 mm	1810	729	60,6	2060	-
PRFV 10 mm	359	660	54,9	1980	-

Para el tercer objetivo fue necesario establecer un modelo de tablas, con el fin de recolectar y exponer los datos de una manera dinámica. Se utilizaron dos modelos, uno para los resultados del análisis estático y otro para los resultados del análisis frecuencial.

Tabla 5 MODELO DE RESULTADO ANÁLISIS ESTÁTICO

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)				
Fuerza cortante (N)				
Momento flector (N.m)				

Tabla 6 MODELO DE RESULTADO ANÁLISIS FRECUENCIAL

Modo n°.	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
		Sum X =	Sum Y =	Sum Z =

En el cuarto objetivo se utilizaron tablas de comparación para los datos brindados por las simulaciones del PRFV y el AISI 4135 en el objetivo anterior.

Tabla 7 COMPARACIÓN DE MASA Y PESO

Solidos	Chasis PRFV		AISI 4135	
	Masa (Kg)	Peso (N)	Masa (Kg)	peso (N)
Viga cuadrada 1				
Viga cuadrada 2				
Viga cuadrada 3				
Viga cuadrada 4				
Viga cuadrada 5				
Viga cuadrada 6				
Viga tipo C 1				
Viga tipo C 2				
Total				

Tabla 8 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

PROPIEDADES MECÁNICAS	MATERIALES		
	PRFV 6 mm	PRFV 10 mm	AISI 4135
Densidad (kg/m ³)			
Módulo de Young (GPa)			
Límite elástico (MPa)			
Módulo de flexión (GPa)			
Resistencia última (MPa)			

Para el último objetivo se trabajó con modelo matemático de predicción de consumo de combustible y emisiones desarrollado por la empresa española EnerTrans. Este modelo abarca vehículos N2 y N3 los cuales son vehículos destinados al transporte de mercancías, en este caso el utilizado fue el N3, ya que este tipo de vehículos tienen como fin transportar mercancía, además de poseer una masa máxima superior a 12 toneladas. [18]

Ecuación utilizada en el desarrollo del consumo de combustible:

$$CONSUMO = -25.745 + 1 * (11.945 + 4.09 * 10^{-4} * MMA + 6.05 * 10^{-4} * CU) + 0.967 * (51.616 - 0.812 * V + 0.00568 * V^2)$$

Donde:

- MMA: Masa máxima autorizada
- CU: Carga útil
- V: Velocidad

Ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de CO2:

$$Emisiones\ CO2 \left(\frac{g}{Km} \right) = Consumo * 3.175$$

Para la distribución de los datos se utilizaron las siguientes tablas:

Tabla 9 CONSUMO, EMISIONES Y MONTO EN 100 KM

Velocidades	AISI 4135			PRFV		
	Consumo L/100km	Monto gal	Emisiones g/km	Consumo L/100km	Monto gal	Emisiones g/km

Tabla 10 CONSUMO, EMISIONES Y MONTO 200 000 KM

Velocidades	AISI 4135			PRFV		
	Consumo L/2e5 km	Monto gal	Emisiones kg/2e5 km	Consumo L/2e5 km	Monto gal	Emisiones kg/2e5 km

Tabla 11 AHORRO DE COMBUSTIBLE Y MONTO

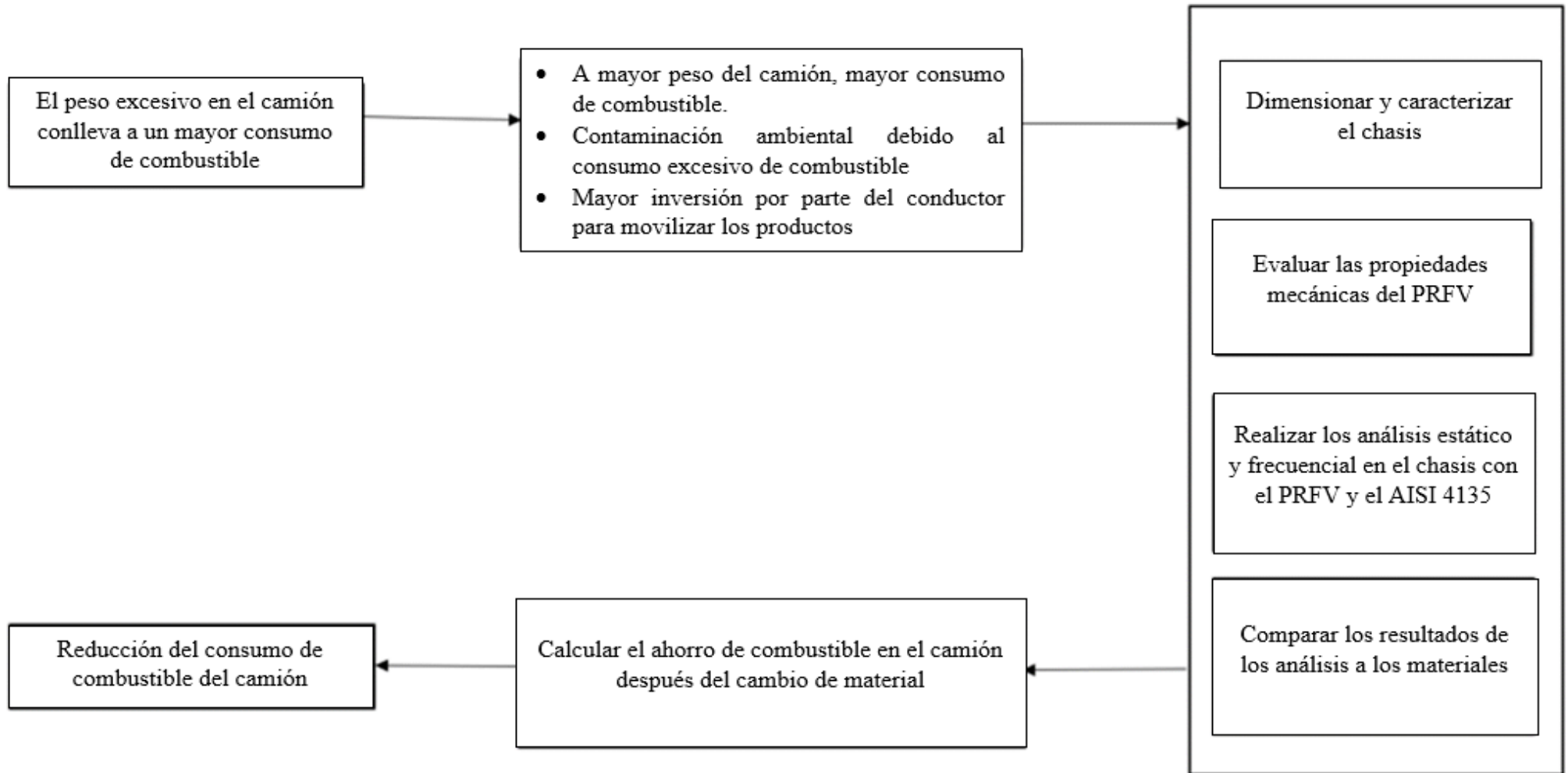
AHORRO			
VELOCIDAD	CONSUMO EN L	CONSUMO EN GAL	MONTO GAL

5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 12 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	
¿SERÁ FACTIBLE REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL CAMIÓN MODIFICANDO EL MATERIAL CON EL QUE SE VA A FABRICAR EL CHASIS?	GENERAL	GENERAL			
	Analizar estática y frecuencialmente el chasis de un camión de 8 T utilizando PRFV para reducir su consumo de combustible	Si se utilizara PRFV en el chasis de un camión, entonces, se reduciría el consumo de combustible del camión al reducir el peso de este			
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS			
	1.- Dimensionar y caracterizar el chasis del camión.	1.- Si se dimensiona y caracteriza el chasis, entonces, se obtendrá un diseño óptimo para su evaluación	VARIABLE INDEPENDIENTE Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio	INDICADORES Esfuerzos Desplazamientos Factor de seguridad	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Aplicada-correlacional TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS En este proyecto de investigación se usará la observación directa a través de archivos audiovisuales
	2.- Evaluar las propiedades mecánicas del PRFV	2.- Si se evalúan las propiedades mecánicas del PRFV, entonces, podrá reemplazar a los chasis con manufactura de metal	VARIABLE DEPENDIENTE Reducción del consumo de combustible	INDICADORES Km/gl	POBLACIÓN Camiones que consumen combustible fósil
3.-Realizar los análisis estático y frecuencial en el chasis con el PRFV y el AISI 4135	3.-Si se realizan los análisis estático y frecuencial en el chasis, entonces, se evaluarán los esfuerzos, desplazamientos, deformaciones y modos frecuenciales			MUESTRA Modelo EICHER PRO-1110	

	<p>4.-Comparar los resultados de los análisis a los materiales</p>	<p>4.-Si se compara los resultados de los análisis estático y frecuencial con respecto a los de los materiales tradicionales, entonces, se apreciará si es efectivo el cambio de material</p>		
	<p>5.-Calcular el ahorro de combustible en el camión después del cambio de material del chasis</p>	<p>5.-Si se ahorra el consumo de combustible en el camión utilizando el PRFV, entonces, se reduciría la contaminación ambiental</p>		

Ilustración 5 *METODOLOGIA DEL DISEÑO*

5.4. Población y muestra

El Perú es un país que ha tenido un crecimiento económico continuo a lo largo de los últimos años, esto ha traído una mayor inversión por parte de las empresas exteriores y por ende el parque automotor del país ha incrementado con la llegada de estas nuevas empresas.

Como se puede apreciar en la Ilustración 6 el parque vehicular de camiones de carga ha ido incrementando su tamaño a lo largo de los años, con un aumento de más de 120 mil unidades en los últimos 11 años.

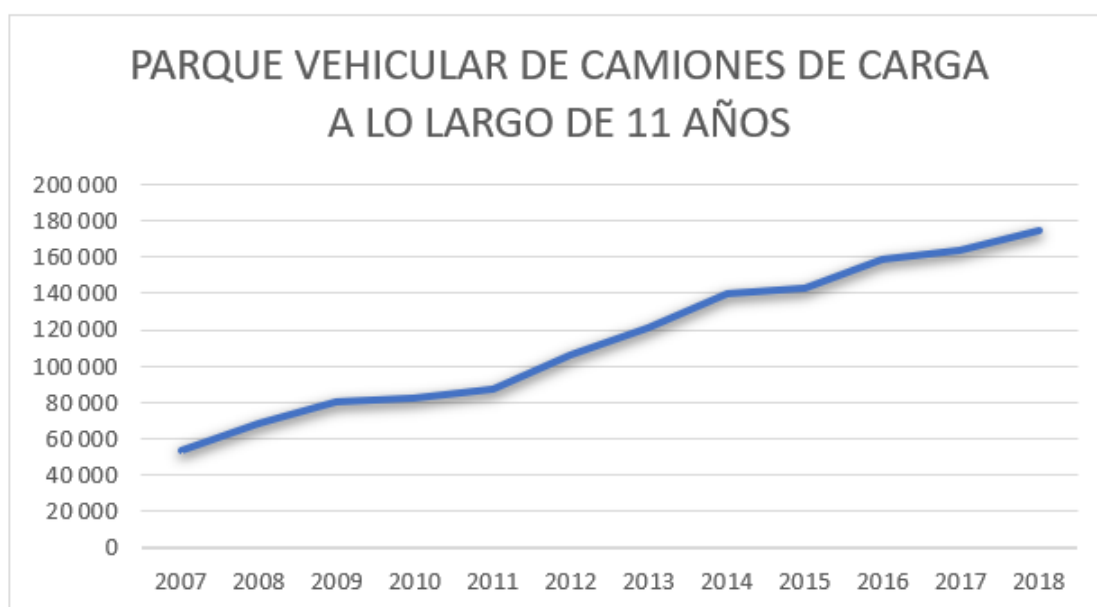


Ilustración 6 PARQUE VEHICULAR A LO LARGO DE LOS AÑOS
Fuente: [19]

La cantidad de camiones a lo largo del territorio peruano varía de acuerdo con la zona, como se observa en la Ilustración 7 el departamento con mayor parque automotor de camiones es Lima, lo cual es de esperarse ya que al ser la capital del país tiene un mayor desarrollo económico.



Ilustración 7 CAMIONES EN LOS DEPARTAMENTOS DEL PERÚ
Fuente: [20]

En la Ilustración 8 se pueden observar las marcas de camiones que dominan el mercado peruano, en este caso el mayor número de camiones en circulación pertenece a la marca sueca VOLVO, siguiéndole de cerca su competidor japonés MITSUBISHI.

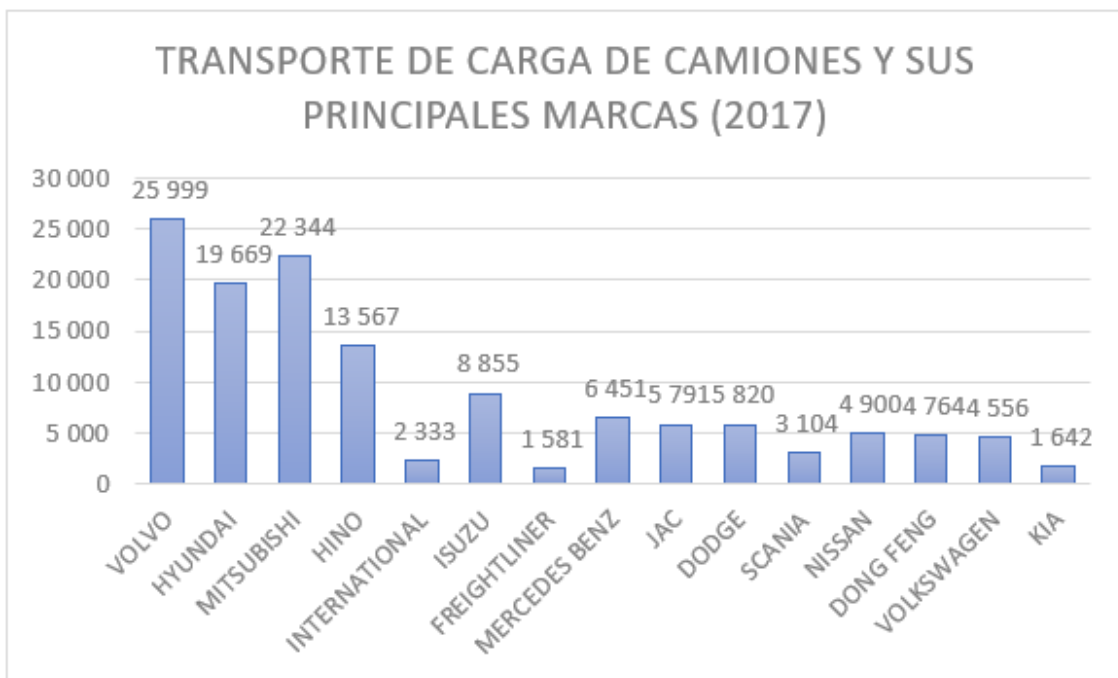


Ilustración 8 TRANSPORTE DE CARGA DE CAMIONES Y SUS PRINCIPALES MARCAS
Fuente: [21]

6. Resultados

6.1. Dimensionamiento y caracterización del chasis PRFV

El camión que se utilizó como modelo base para esta investigación fue el EICHER PRO-1110. Este modelo es fabricado en la India y es considerado como el producto más rentable de la empresa, debido a su alta carga útil y robusta estructura asegura una gran confiabilidad y durabilidad. Con su tanque de combustible de 190 litros se mantienen como el mejor de su tipo en ahorro de combustible. Su uso varía desde el transporte de frutas, vegetales, y pescado, hasta ser capaz de llevar componentes industriales. [17]

Cuenta con las siguientes dimensiones:

- Perfil: tipo C
 - Número de vigas tipo C: 2
 - Dimensiones de las vigas tipo C: 210mm X 76mm X 6mm
 - Largo de las vigas tipo C: 5360 mm
- Perfil: Tipo cuadrado
 - Número de vigas cuadradas: 6
 - Dimensiones de las vigas cuadradas: 150mm X 198mm X 10mm
 - Largo de las vigas cuadradas: 1800 mm
- Voladizo trasero: 1620 mm
- Voladizo delantero: 935 mm

Capacidad de carga del camión EICHER PRO-1110:

- Capacidad del camión: $8 \text{ T} = 8000 \text{ Kg} = 78480 \text{ N}$
- Capacidad del camión a plena carga con un exceso del 1.25%: $1.25 \times 78480 = 98100 \text{ N}$
- Peso del chasis y el motor: $2 \text{ T} = 2000 \text{ Kg} = 19620 \text{ N}$
- Carga total que actúa en el chasis: $98100 \text{ N} + 19620 \text{ N} = 117720 \text{ N}$
- Carga que actúa en cada barra lateral: $117720 \text{ N} / 2 = 58860 \text{ N}$ por barra

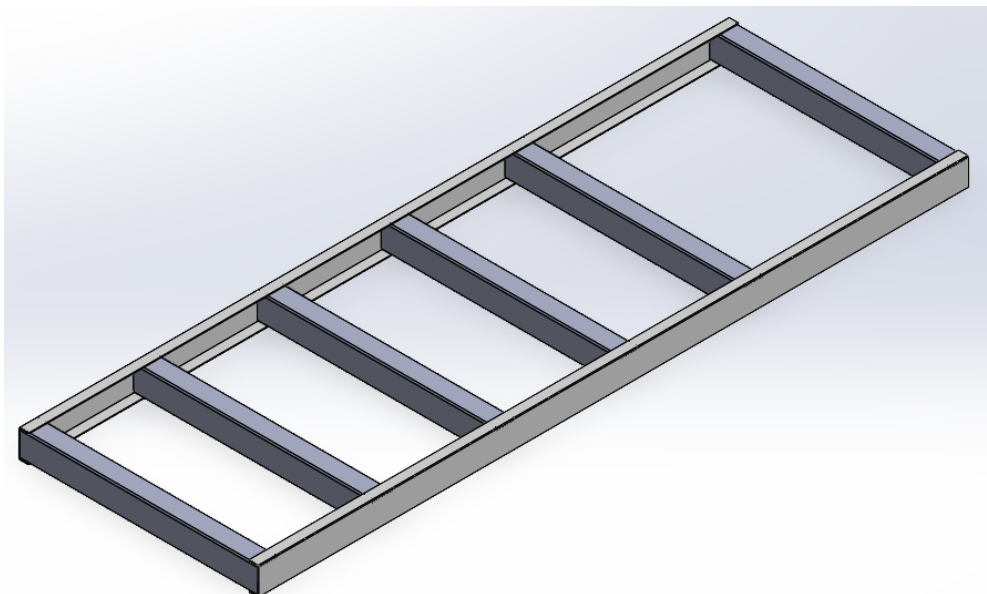


Ilustración 9 CAD CHASIS DEL EICHER PRO- 1110

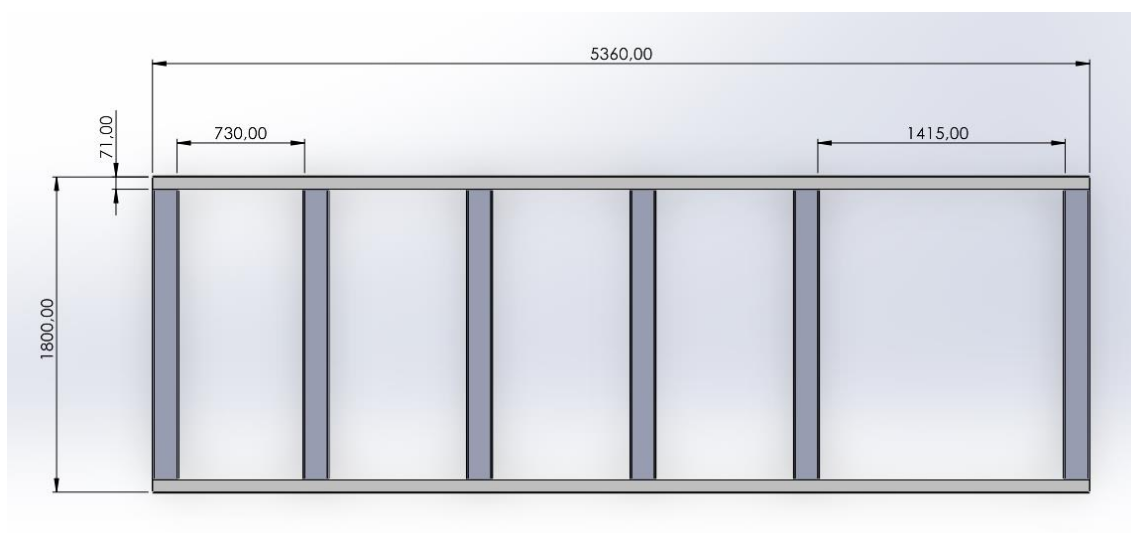


Ilustración 10 DIMESIONAMIENTO DEL CHASIS DEL EICHER PRO – 1110

El resto de las medidas y características del CAD del chasis del camión EICHER PRO-1110 se explican a detalle en el anexo N° 02.

El EICHER-PRO 1110 se encuentra en la categoría de vehículos pesados N3, ya que esta considera vehículos con una masa máxima igual o superior a 12 toneladas, en este caso como el camión cuenta con 117 720 N (12 Toneladas) que actúan sobre el chasis, sin considerar el peso de este último, entraría en esta categoría. Los vehículos N3 tienen como masa máxima autorizada 18 toneladas. [22]

6.2. Evaluar las propiedades mecánicas del PRFV

El material compuesto a utilizar en el chasis para después proceder a simularlo es el Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio o PRFV, pero para evaluar sus propiedades mecánicas primero se debe tener conocimiento de los siguientes conceptos.

6.2.1. Materiales compuestos

Son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes, los cuales poseen una interfase reconocible que los separa. Son heterogéneos es decir que no poseen las mismas propiedades a lo largo de todo su volumen. [23] Están formados por una fase discontinua (refuerzo), de la cual dependen sus propiedades mecánicas y una fase continua (matriz), de la cual depende su resistencia térmica y ambiental, la matriz engloba al refuerzo y lo convierte en una estructura monolítica. [24]

Los materiales compuestos tienen dos componentes principales para poder crearse, la fibra y la matriz.

6.2.2. Fibra

La fibra de un material compuesto es considerada el elemento reforzante por excelencia, ya que las propiedades mecánicas de cualquier material que se utilice son de mejor calidad cuando este material está en forma de fibra. [24]

Para esta investigación se utilizará una fibra artificial de vidrio tipo S, ya que cuenta con la mayor resistencia a la tracción en comparación con los otros tipos de fibra.

6.2.2.1. Composición química

Tabla 13 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FIRBA DE VIDRIO "S"

COMPOSICIÓN QUÍMICA	
Aluminia (Al ₂ O ₃)	25%
Magnesia (MgO)	10%
Silica (SiO ₂)	65%

6.2.2.2. Propiedades mecánicas

Tabla 14 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE VIDRIO "S"

FIBRA DE VIDRIO TIPO S	
Densidad (Kg/m ³)	2500
Módulo de Young (GPa)	93
Límite elástico (MPa)	4090
Módulo de flexión (GPa)	93
Resistencia última (MPa)	4900

Este tipo de fibra en específico tiene la capacidad de soportar grades cargas, pero solo a tracción, por eso es necesario que este recubierta con una matriz. [24]

6.2.3. Matriz

La matriz es la encargada de mantener cada fibra en su lugar y así se desarrolla su capacidad estructural, la cual varía de acuerdo con la orientación de las fibras interiores.

En esta investigación la matriz utilizada para la creación de este material compuesto fue resina poliéster con las siguientes características técnicas:

Tabla 15 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA POLIESTER

RESINA DE POLIESTER	
Densidad (Kg/m ³)	1400
Módulo de Young (GPa)	4,41
Límite elástico (MPa)	40
Módulo de flexión (GPa)	4,19
Resistencia última (MPa)	159

6.2.4. PRFV

Con el software CES Edu Pack y su herramienta de sintetizador se creó el materia compuesto PRFV considerando dos espesores distintos, uno de 6 mm 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. 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.

Para el PRFV de 6 mm se utilizaron 4 capas 2 de polyester de 1 mm de espesor y 2 de fibra de vidrio tipo S de 2 mm de espesor.

Registros utilizados		
Capa 4 (superior)	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 3	<input type="text" value="Glass, S grade (10 micron monofilament, f)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 2	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 1 (inferior)	<input type="text" value="Glass, S grade (10 micron monofilament, f)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Parámetros del modelo		
Capa de espesor 4 (superior)	<input type="text" value="1"/> mm	
Capa de espesor 3	<input type="text" value="2"/> mm	
Capa de espesor 2	<input type="text" value="1"/> mm	
Capa de espesor 1 (inferior)	<input type="text" value="2"/> mm	

Ilustración 11 MATERIALES MULTICAPA PRFV 6 MM

En el caso del PRFV de 10 mm se utilizaron 7 capas, 4 de polyester con 1 mm de espesor cada una y 3 de fibra de vidrio tipo S con 2 mm de espesor.

7 capas		
Capa 7 (superior)	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 6	<input type="text" value="Glass, S grade (10 micron monofilament, f)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 5	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 4	<input type="text" value="Glass, S grade (10 micron monofilament, f)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 3	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 2	<input type="text" value="Glass, S grade (10 micron monofilament, f)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>
Capa 1 (inferior)	<input type="text" value="Polyester (cast, rigid)"/>	<input type="button" value="Buscar..."/>

Parámetros del modelo		
Capa de espesor 7 (superior)	<input type="text" value="1"/> mm	
Capa de espesor 6	<input type="text" value="2"/> mm	
Capa de espesor 5	<input type="text" value="1"/> mm	
Capa de espesor 4	<input type="text" value="2"/> mm	
Capa de espesor 3	<input type="text" value="1"/> mm	
Capa de espesor 2	<input type="text" value="2"/> mm	
Capa de espesor 1 (inferior)	<input type="text" value="1"/> mm	

Ilustración 12 MATERIALES MULTICAPA PRFV 10 MM

En las tablas 16 y 17 se explican las propiedades mecánicas del PRFV en sus dos espesores.

Tabla 16 PRFV 6 mm

PRFV 6mm	
Densidad (Kg/m ³)	2060
Módulo de Young (GPa)	60,6
Límite elástico (MPa)	729
Módulo de flexión (GPa)	55,7
Resistencia última (MPa)	1810

Tabla 17 PRFV 10 mm

PRFV 10mm	
Densidad (Kg/m ³)	1980
Módulo de Young (GPa)	54,9
Límite elástico (MPa)	660
Módulo de flexión (GPa)	44,8
Resistencia última (MPa)	359

6.2.5. Adhesión mecánica

Para casos prácticos en los que no se utiliza un software, es necesario tener en cuenta la adhesión mecánica para corroborar que el material este correctamente elaborado, esto implica que la superficie de la fibra y la matriz al estar en estado viscoelástico presentan irregularidades a lo largo del diseño, pero es posible reducir estas irregularidades si el grado de fluidez y mojabilidad de la matriz polimérica es elevado. [25]

La siguiente ilustracion es una micrografia de la superficie del material compuesto de fibra de vidrio tipo "S" y de la matriz de resina poliester, en una vizualizacion longitudinal de la orientacion de la fibra.

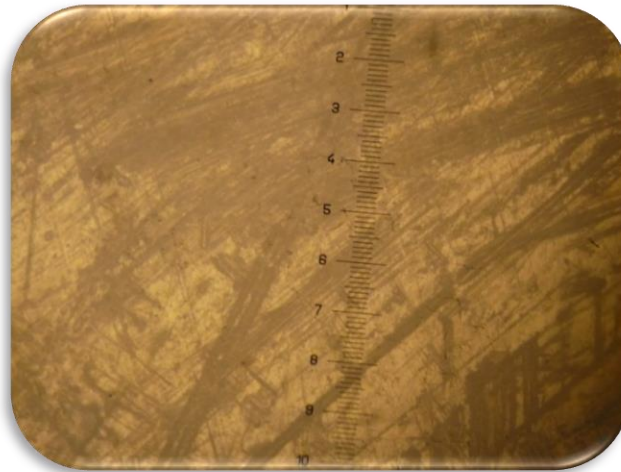


Ilustración 13 MICROGRAFÍA DE LA SUPERFICIE DE LA FIBRA DE VIDRIO "S"

En la siguiente ilustración se puede apreciar la selección en la superficie de regiones de fibra de vidrio con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 91,89% en escala 100X.

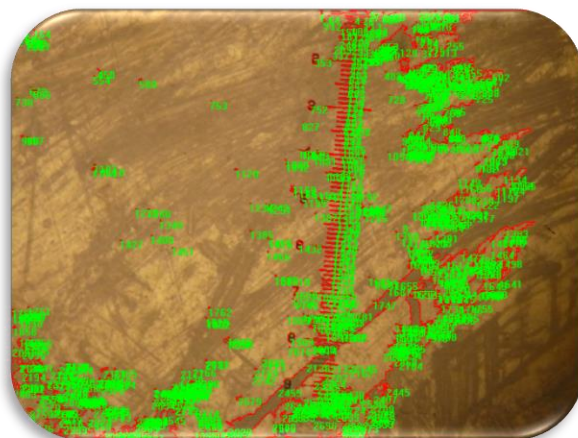


Ilustración 14 SELECCION EN LA SUPERFICIE DE REGIONES DE FIBRA DE VIDRIO

La siguiente ilustración es un ensayo de microscopio con un aumento de 1000, lo que equivale a $10\mu\text{m}$. Los puntos blancos son la fibra de vidrio tipo “S” y lo demás es la matriz de resina de poliéster.

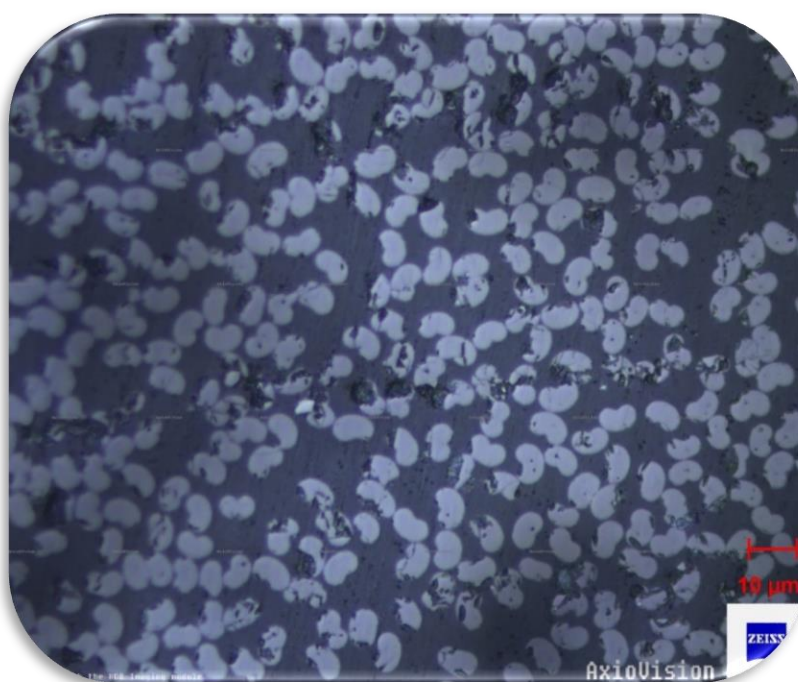


Ilustración 15 ENSAYO DE MICROSCOPIO A 10 MICRAS

En la presente ilustración se puede apreciar la medición del diámetro promedio de la fibra de vidrio apreciado en un corte transversal obteniéndose el diámetro más corto (D1): $5,91\mu\text{m}$ y el diámetro más largo (D2): $7,65\mu\text{m}$. Obteniendo como diámetro promedio: $6,78\mu\text{m}$.

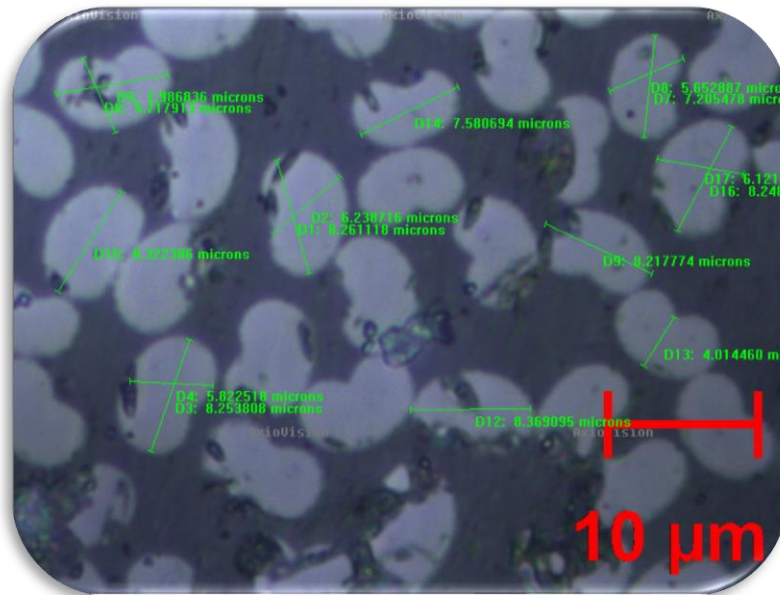


Ilustración 16 MEDICION DEL DIAMETRO PROMEDIO DE LA FIBRA DE VIDRIO

Se puede apreciar la selección en la superficie transversal de regiones de fibra de vidrio “S” con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 98,94%

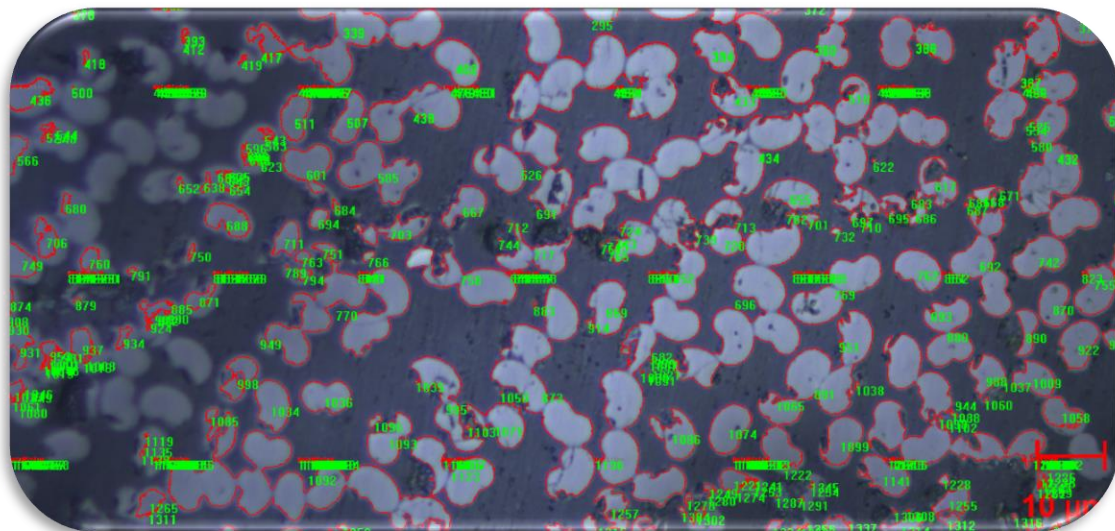


Ilustración 17 SELECCIÓN EN LA SUPERFICIE TRANSVERSAL

6.3. Realizar los análisis estático y frecuencial en el chasis con el PRFV y el AISI 4135

6.3.1. Plástico reforzado con fibra de vidrio

6.3.1.1. Análisis estático

Después de dimensionar el chasis y explicar las propiedades mecánicas del material compuesto se procede a aplicar el PRFV de distintos espesores en el chasis.

Para los largueros creados con vigas tipo C se utilizó una combinación de PRFV de 4 capas con 6mm de espesor. Y para los transversales creados con vigas cuadradas se utilizó una combinación de 7 capas con 10 mm de espesor.

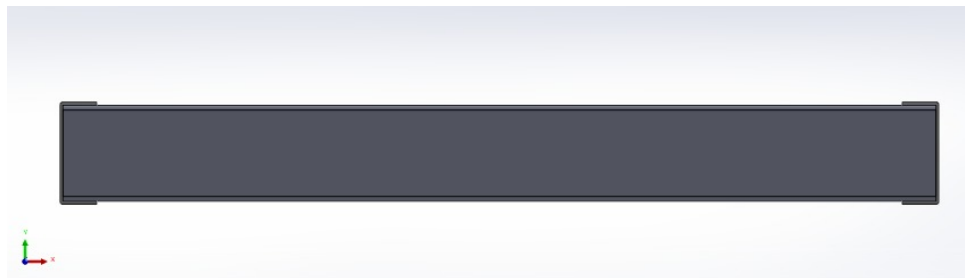


Ilustración 18 CARA FRONTAL DEL CHASIS

En la ilustración 18 se puede apreciar que la viga cuadrada encaja dentro de la viga tipo C, y es esta ultima la que va a recibir la carga a lo largo, esto se aprecia en las ilustraciones 19 y 20.



Ilustración 19 ACERCAMIENTO DE LA CARA FRONTAL

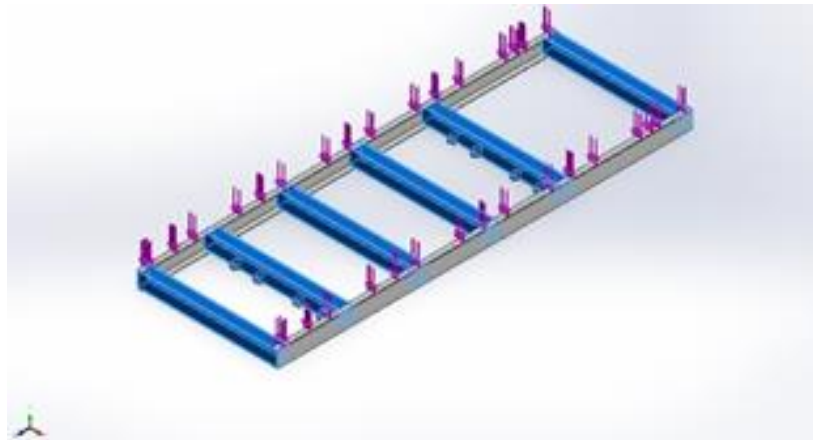


Ilustración 20 VIGAS CUADRADAS CON PRFV

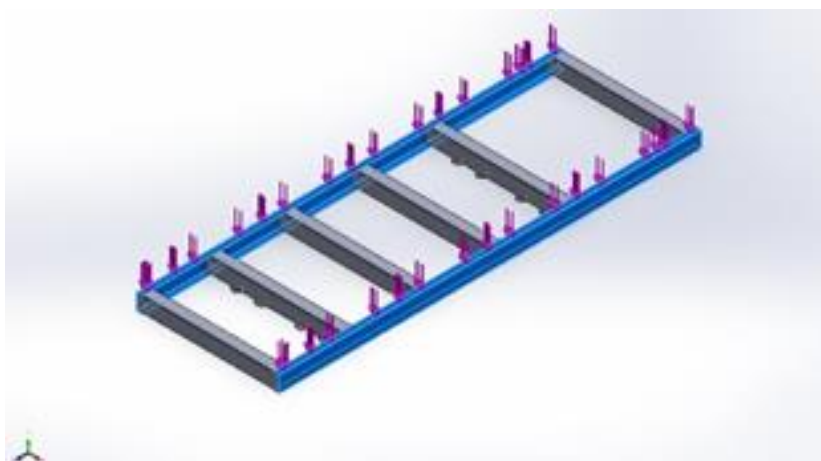


Ilustración 21 VIGAS TIPO "C" CON PRFV

Después de aplicar el material se utilizaron 8 pernos de fundación y una pared virtual para las sujeciones. Los pernos de fundación se colocan 4 en la segunda barra transversal y otros 4 en la quinta barra transversal.

Se procedió a simular el chasis estáticamente con 3 fuerzas diferentes (60 kN, 90kN y 120 kN) divididas a la mitad a lo largo de las vigas tipo C, teniendo así una carga de 30, 45 y 60 KN en cada uno, respectivamente. El último caso simula una situación de sobrecarga.

A continuación, se presentan las tablas de los resultados de las cargas en las sujeciones por cada caso.

Tabla 18 RESULTADOS DE APLICAR 60 kN EN LAS SUJECIONES

PRFV 60 kN

Sujeción	Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
	Fuerza axial (N)	0	12 767	0	12 767
1	Fuerza cortante (N)	695,2	0	-2 325,20	2 426,90
	Momento flector (N.m)	16,229	0	0,67939	16,243
	Fuerza axial (N)	0	12 429	0	12 429
2	Fuerza cortante (N)	-158,49	0	963,98	976,92
	Momento flector (N m)	-9,4446	0	-1,7281	9,6014
	Fuerza axial (N)	0	12 738	0	12 738
3	Fuerza cortante (N)	156,01	0	949,9	962,63
	Momento flector (N.m)	-9,3247	0	1,2098	9,4029
	Fuerza axial (N)	0	12 630	0	12 630
4	Fuerza cortante (N)	-693,69	0	-2 293,50	2 396,10
	Momento flector (N.m)	16,085	0	0,051186	16,085
	Fuerza axial (N)	0	16 982	0	16 982
5	Fuerza cortante (N)	1 572,30	0	2 559,40	3 003,80
	Momento flector (N.m)	-143,25	0	21,045	144,79
	Fuerza axial (N)	0	13 680	0	13 680
6	Fuerza cortante (N)	-304,78	0	-1 219,70	1 257,20
	Momento flector (N.m)	-28,491	0	0,64519	28,498
	Fuerza axial (N)	0	14 253	0	14 253
7	Fuerza cortante (N)	328,93	0	-1 228,80	1 272,10
	Momento flector (N.m)	-28,862	0	-1,08	28,882
	Fuerza axial (N)	0	17 070	0	17 070
8	Fuerza cortante (N)	-1 595,50	0	2 593,90	3 045,30
	Momento flector (N.m)	-146,24	0	-22,663	147,99

Tabla 19 RESULTADOS DE APLICAR 90 kN EN LAS SUJECIONES

Sujeción	Tipo	PRFV 90 kN			Resultante
		Componente X	Componente Y	Componente Z	
1	Fuerza axial (N)	0	12 892	0	12 892
	Fuerza cortante (N)	1 055,30	0	-3 486,70	3 642,90
	Momento flector (N.m)	27,696	0	1,3868	27,731
2	Fuerza axial (N)	0	12 663	0	12 663
	Fuerza cortante (N)	-237,73	0	1 444,70	1 464,10
	Momento flector (N.m)	-20,136	0	-2,0525	20,24
3	Fuerza axial (N)	0	12 970	0	12 970
	Fuerza cortante (N)	234,25	0	1 423,40	1 442,50
	Momento flector (N.m)	-19,921	0	1,4111	19,97
4	Fuerza axial (N)	0	12 744	0	12 744
	Fuerza cortante (N)	-1 053,30	0	-3 439,00	3 596,60
	Momento flector (N.m)	27,155	0	-0,80287	27,167
5	Fuerza axial (N)	0	20 167	0	20 167
	Fuerza cortante (N)	2 351,40	0	3 838,70	4 501,60
	Momento flector (N.m)	-231,51	0	38,984	234,77
6	Fuerza axial (N)	0	15 192	0	15 192
	Fuerza cortante (N)	-451,74	0	-1 828,80	1 883,70
	Momento flector (N.m)	-47,878	0	0,68099	47,883
7	Fuerza axial (N)	0	15 756	0	15 756
	Fuerza cortante (N)	486,22	0	-1 842,70	1 905,80
	Momento flector (N.m)	-48,562	0	-0,49344	48,564
8	Fuerza axial (N)	0	20 205	0	20 205
	Fuerza cortante (N)	-2 384,40	0	3 890,50	4 563,00
	Momento flector (N.m)	-234,5	0	-39,758	237,85

Tabla 20 RESULTADOS DE APLICAR 120 kN EN LAS SUJECIONES

Sujeción	Tipo	PRFV 120 kN			Resultante
		Componente X	Componente Y	Componente Z	
1	Fuerza axial (N)	0	13 050	0	13 050
	Fuerza cortante (N)	1 415,70	0	-4 647,80	4 858,60
	Momento flector (N.m)	39,964	0	2,2675	40,028
2	Fuerza axial (N)	0	12 933	0	12 933
	Fuerza cortante (N)	-317,95	0	1 925	1 951,10
	Momento flector (N.m)	-31,722	0	-2,1137	31,793
3	Fuerza axial (N)	0	13 231	0	13 231
	Fuerza cortante (N)	313,7	0	1 896,40	1 922,20
	Momento flector (N.m)	-31,151	0	1,2307	31,176
4	Fuerza axial (N)	0	12 918	0	12 918
	Fuerza cortante (N)	-1 413,30	0	-4 584,00	4 796,90
	Momento flector (N.m)	39,891	0	-1,6448	39,925
5	Fuerza axial (N)	0	23 480	0	23 480
	Fuerza cortante (N)	3 131,60	0	5 117,60	5 999,70
	Momento flector (N.m)	-320,72	0	55,766	325,53
6	Fuerza axial (N)	0	16 779	0	16 779
	Fuerza cortante (N)	-599,34	0	-2 437,70	2 510,30
	Momento flector (N.m)	-67,494	0	0,19584	67,495
7	Fuerza axial (N)	0	17 322	0	17 322
	Fuerza cortante (N)	644,78	0	-2 456,40	2 539,60
	Momento flector (N.m)	-67,662	0	-0,29722	67,663
8	Fuerza axial (N)	0	23 535	0	23 535
	Fuerza cortante (N)	-3 175,10	0	5 186,80	6 081,50
	Momento flector (N.m)	-324,76	0	-56,3	329,6

Después de colocar las sujeciones en el chasis se procede a la creación de la malla, en este caso se utilizó una malla solida de 16 puntos jacobianos para la malla de alta calidad, con elementos de 20 mm y una tolerancia de 1 mm.

Tabla 21 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO

Características de mallado	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elementos	20 mm
Tolerancia	1 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	571531
Número total de elementos	277482
Cociente máximo de aspecto	683,47
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,201
Porcentaje de elementos distorsionados	0

Los esfuerzos en el chasis se calcularon utilizando Von Mises, dando como resultado una tensión máxima de 121,2 MPa, 181,7 MPa y 242,3 MPa para las cargas de 60 kN, 90 kN y 120kN respectivamente.

Tabla 22 ESFUERZOS POR EL CRITERIO VON MISES PRFV

	Esfuerzos por Von Mises		
	60 kN	90 kN	120 kN
σ min (N/m ²)	2 781	4 157	5 497
Nodo	255 925	220 080	220 080
σ máx. (MN/m ²)	121,2	181,7	242,3
Nodo	511 278	511 278	511 278

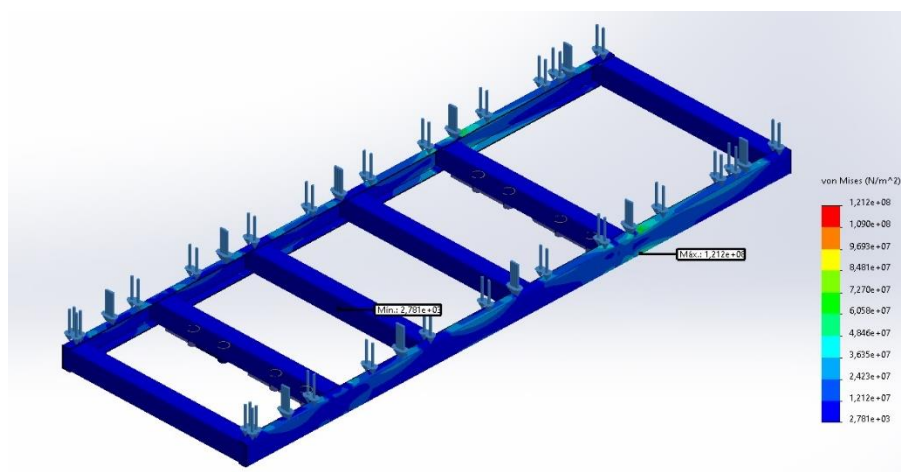


Ilustración 22 RESULTADOS DE ESFUERZOS 60kN PRFV

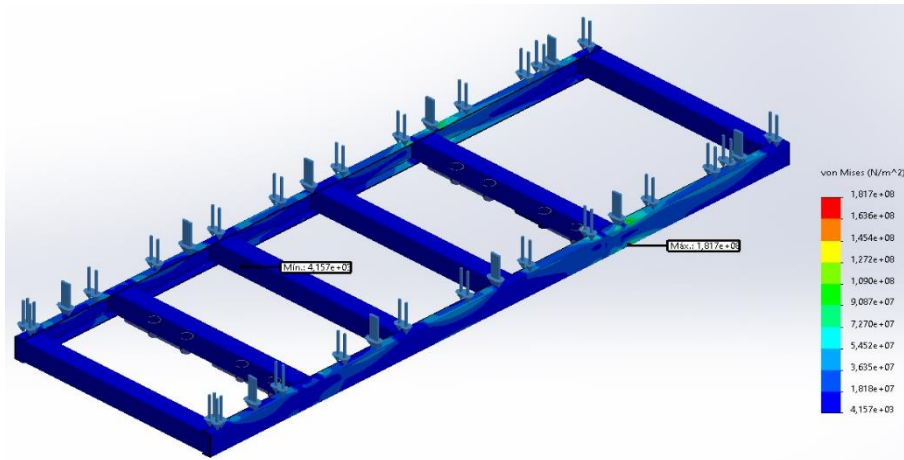


Ilustración 23 RESULTADOS DE ESFUERZOS 90kN PRFV

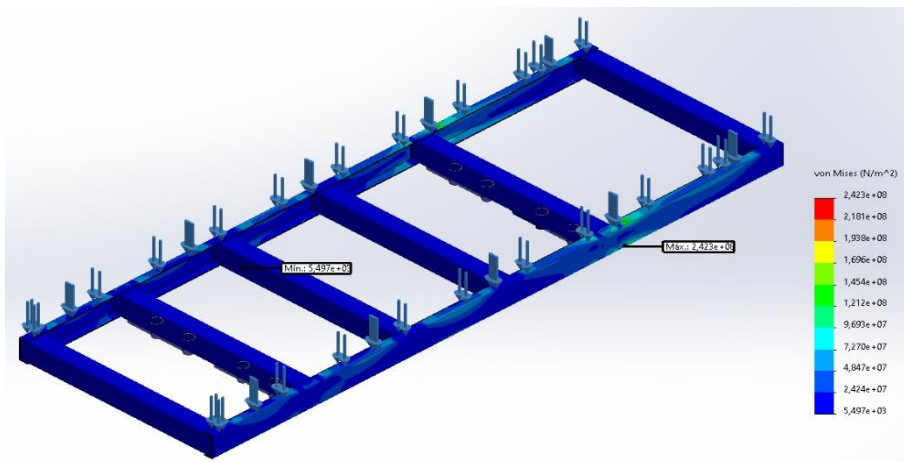


Ilustración 24 RESULTADOS ESFUERZOS 120kN PRFV

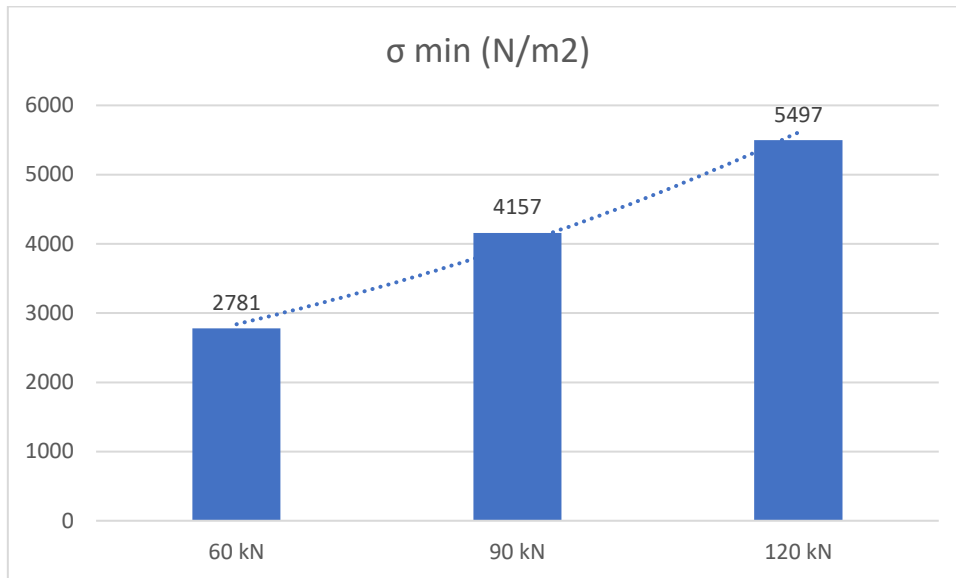


Ilustración 25 σ min (N/m²) PRFV

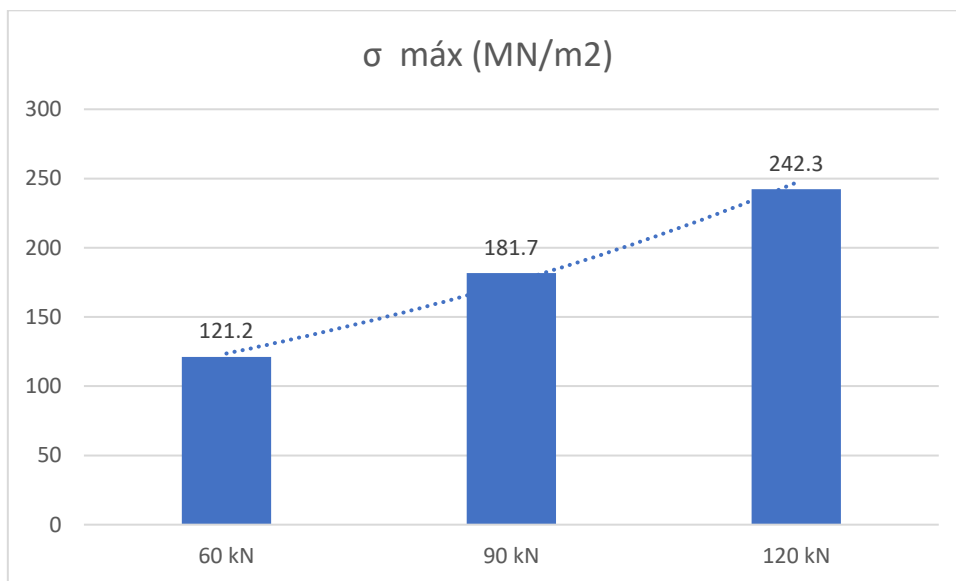


Ilustración 26 σ máx (MN/m²) PRFV

Los desplazamientos se calcularon mediante el método URES, lo cual dio como resultado de los desplazamientos máximos 7,09mm, 10,63mm y 14,18mm, utilizando las cargas de 60kN, 90kN y 120kN, respectivamente.

Tabla 23 DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES PRFV

URES: Desplazamientos resultantes			
	60 kN	90 kN	120 kN
Desplazamiento min (mm)	5,51E-05	7,09E-05	7,69E-05
Nodo	8042	8042	54410
Desplazamiento máx (mm)	7,09	10,63	14,18
Nodo	158614	158614	158614

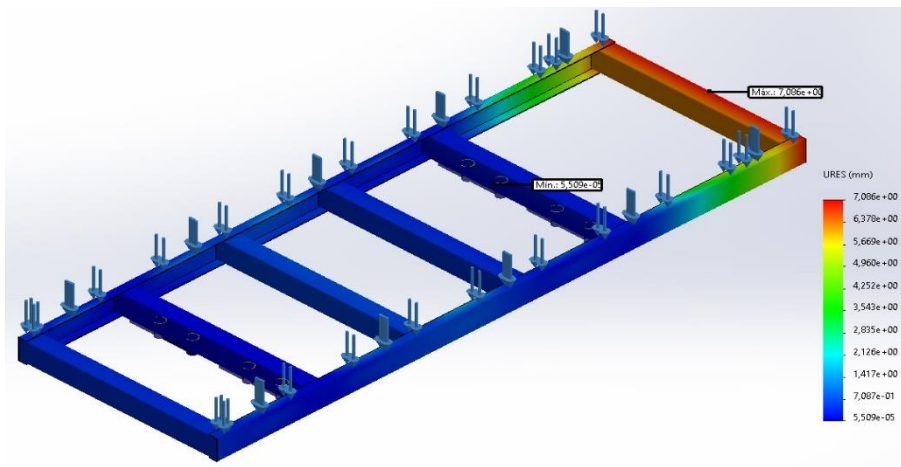


Ilustración 27 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 60kN PRFV

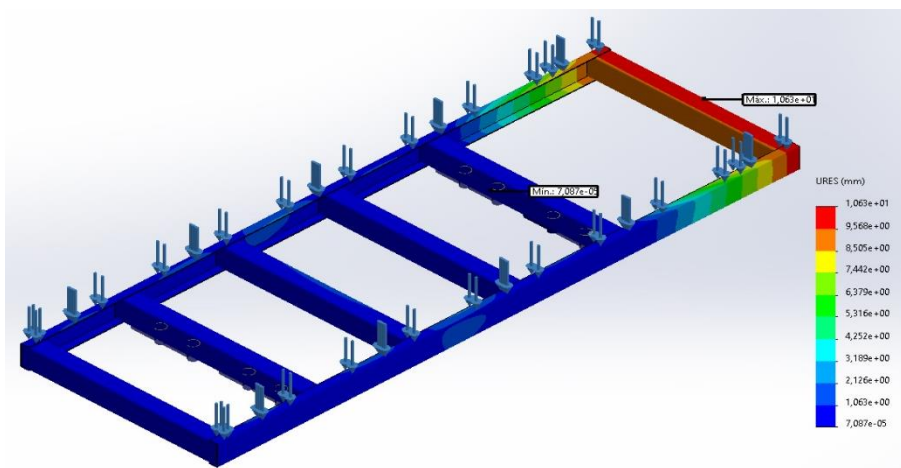


Ilustración 28 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 90kN PRFV

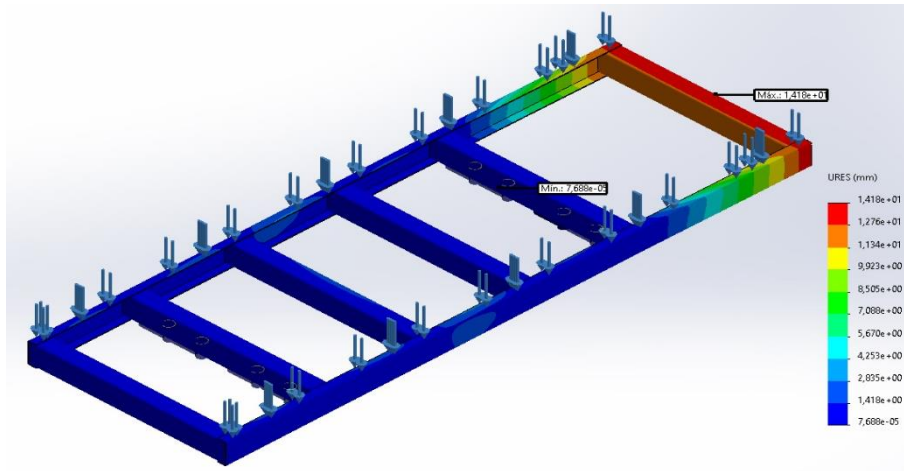


Ilustración 29 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 120kN PRFV

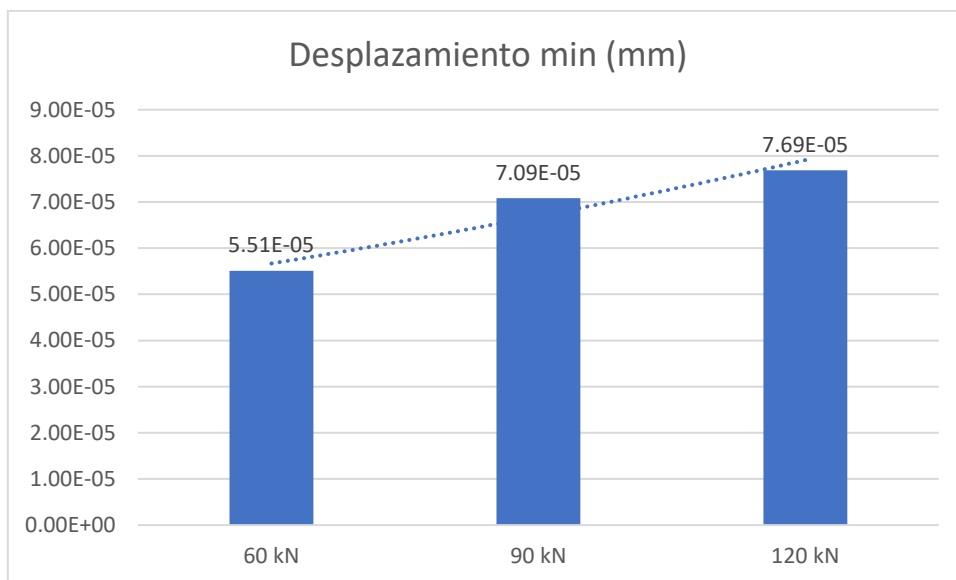


Ilustración 30 DESPLAZAMIENTO MIN (mm) PRFV

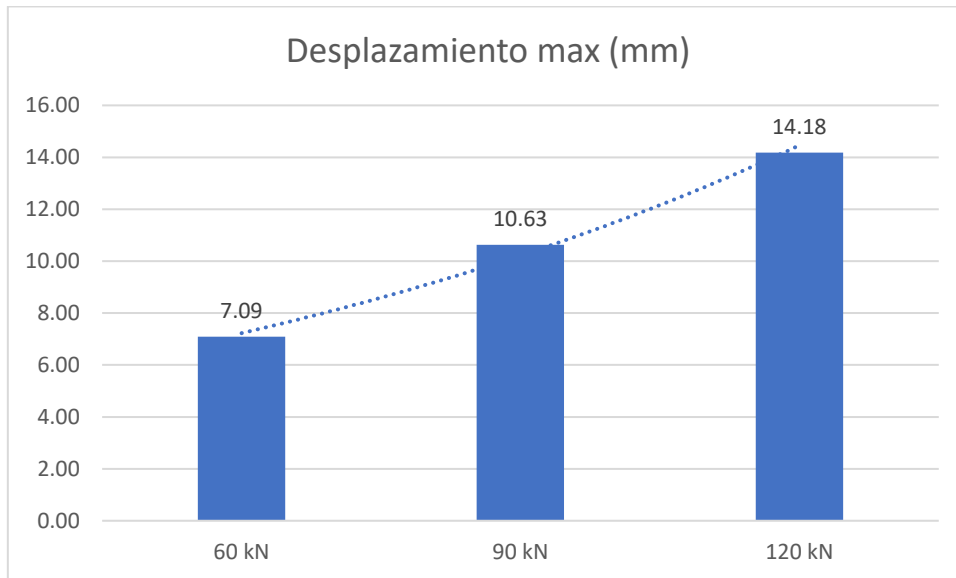


Ilustración 31 DESPLAZAMIENTO MÁX. (mm) PRFV

Las deformaciones unitarias se calcularon mediante el método ESTRN las cuales dan como resultado las deformaciones unitarias equivalentes, con una deformación máxima de 0,0009456, 0,001418 y 0,001891 utilizando las cargas de 60kN, 90kN y 120kN respectivamente.

Tabla 24 DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE PRFV

ESTRN: Deformación unitaria equivalente			
	60 kN	90 kN	120 kN
Deformación min	2,723E-08	4,092E-08	5,464E-08
Nodo	111114	111114	111114
Deformación máx	0,0009456	0,001418	0,001891
Nodo	239786	239786	239786

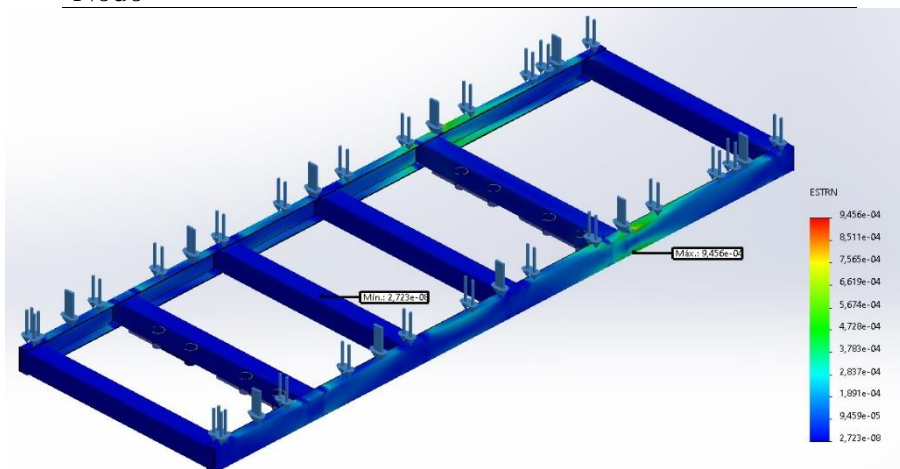


Ilustración 32 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 60kN PRFV

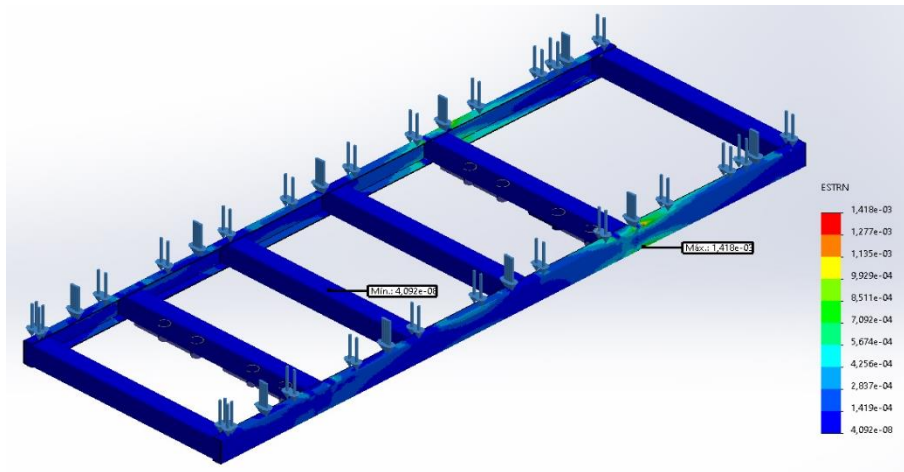


Ilustración 33 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 90kN PRFV

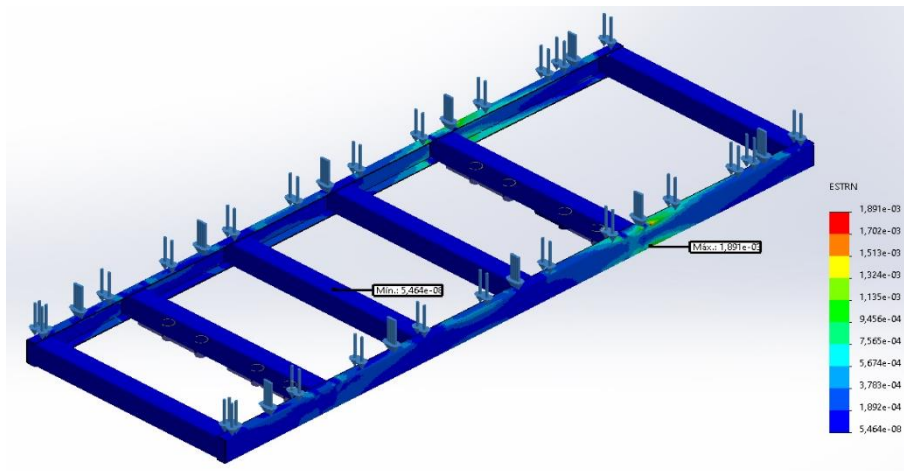


Ilustración 34 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 120kN PRFV

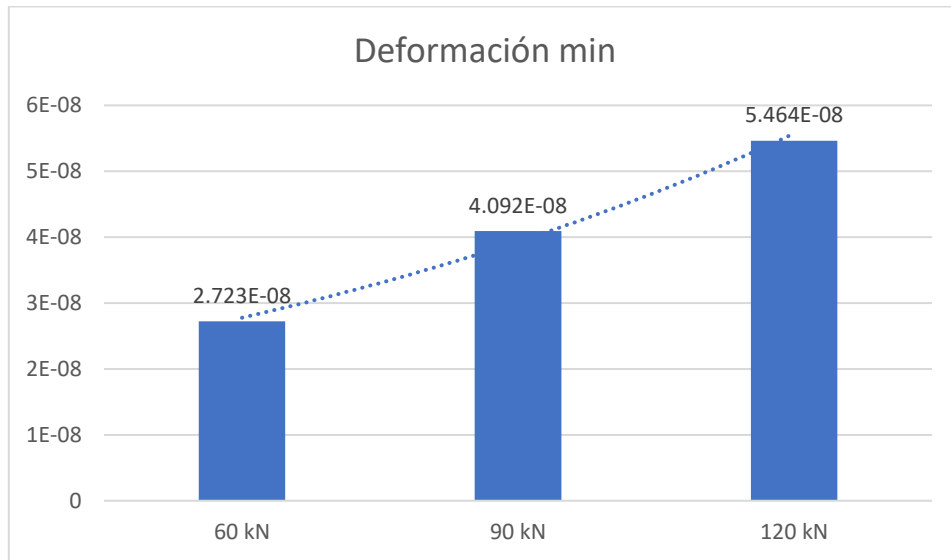


Ilustración 35 DEFORMACIONES UNITARIAS MIN PRFV

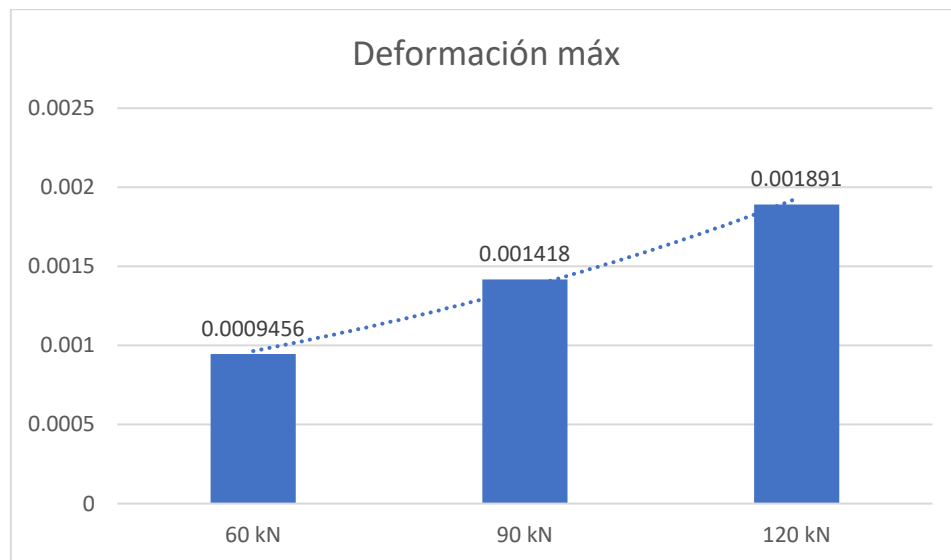


Ilustración 36 DEFORMACIONES UNITARIAS MÁX PRFV

El factor de seguridad se calculó mediante el criterio de Von Mises dando como resultado 6,02, 4,01 y 3.01 para las cargas de 60kN, 90kN y 120kN respectivamente. Para esta investigación tomaremos el factor de seguridad mínimo, con el fin de asegurar la confiabilidad del chasis.

Tabla 25 Factor de seguridad PRFV

Factor de seguridad por Von Mises			
	60 kN	90 kN	120 kN
FS min	6,02	4,01	3,01
Nodo	511278	511278	511278
FS max	237300	158700	120000
Nodo	255925	220080	220080

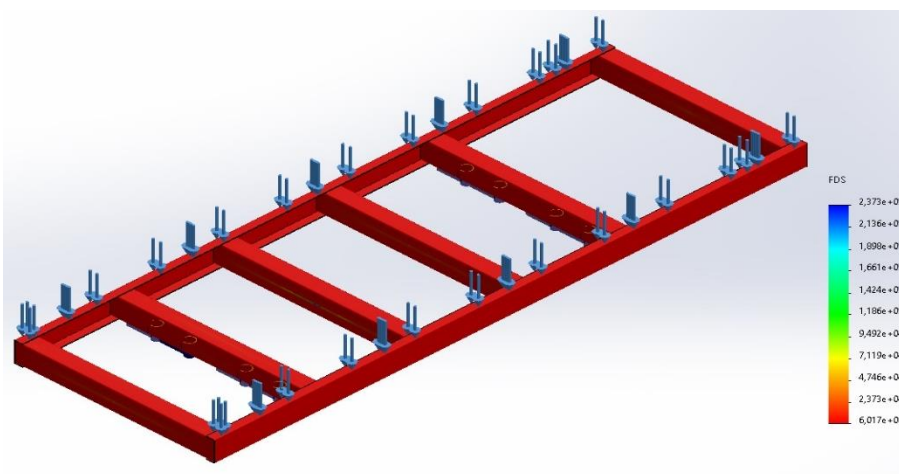


Ilustración 37 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 60kN PRFV

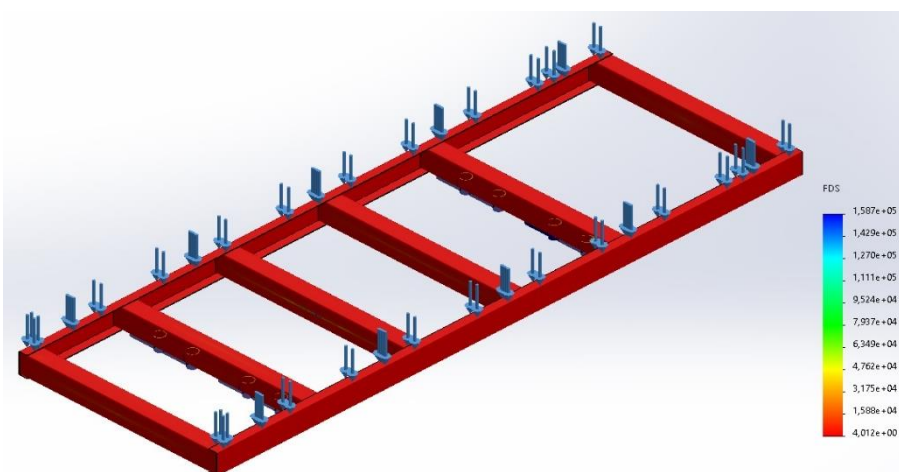


Ilustración 38 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 90kN PRFV

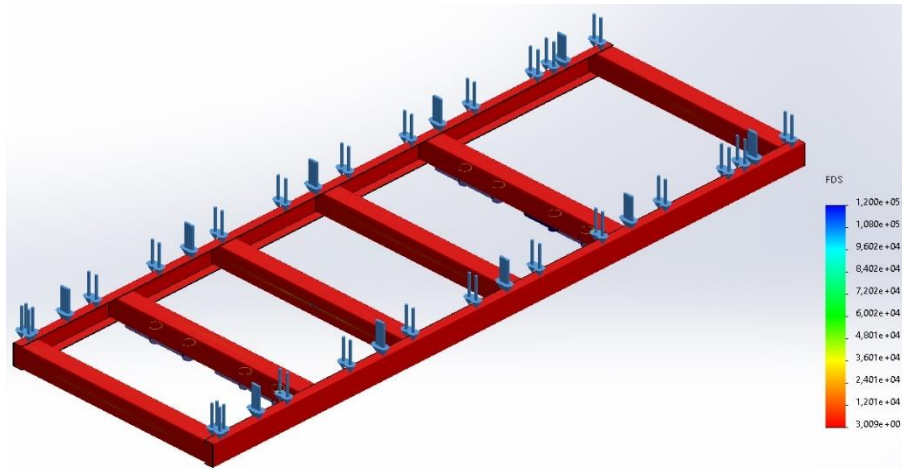


Ilustración 39 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 120kN PRFV

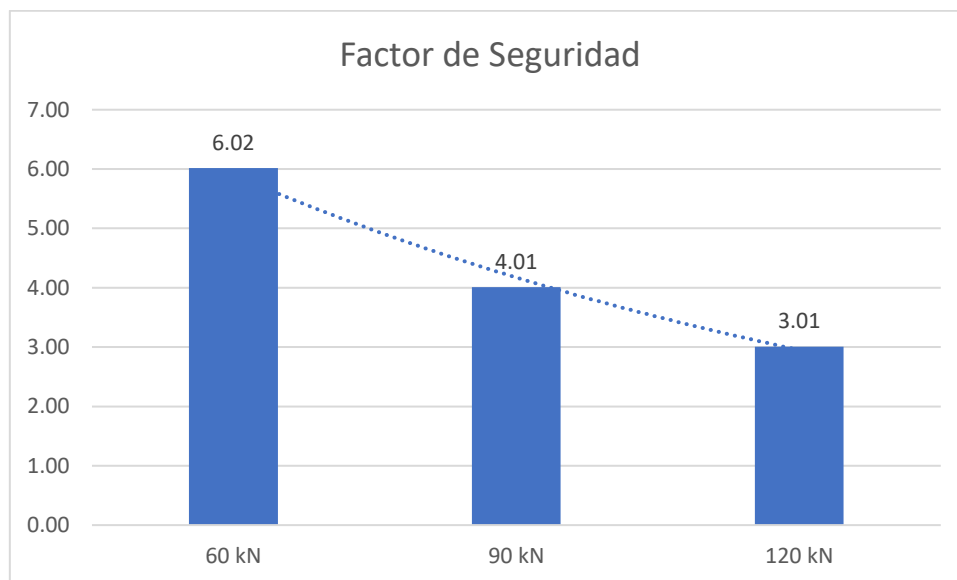


Ilustración 40 FACTOR DE SEGURIDAD PRFV

6.3.1.2. Análisis frecuencial

Para el análisis frecuencial al igual que en el análisis estático, se aplicó el material PRFV al chasis teniendo en consideración el espesor de las vigas tipo C y las cuadradas, para después proceder a colocar las sujeciones en los 8 orificios inferiores ubicados 4 en la segunda y 4 en la quinta barra transversal. Y finalmente simuló el chasis frecuencialmente con 3 fuerzas diferentes (60 kN, 90kN y 120 kN) divididas a la mitad a lo largo de las vigas tipo C, teniendo así una carga de 30, 45 y 60 KN en cada uno, respectivamente.

El último caso simula una situación de sobrecarga.

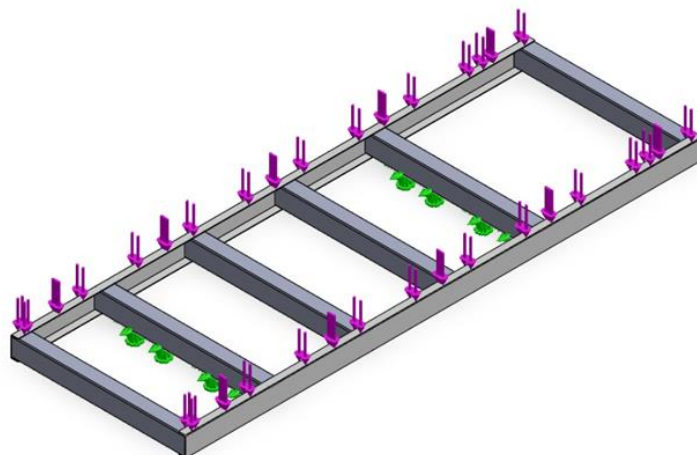


Ilustración 41 SUJECIONES Y CARGA

Tabla 26 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO

Características de mallado	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Transición automática:	Activar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elementos	20 mm
Tolerancia	1 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	571 531
Número total de elementos	277 482
Cociente máximo de aspecto	683,47
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,201
Porcentaje de elementos distorsionados	0

El análisis frecuencial realizado al chasis cuenta con 5 modos frecuenciales, los cuales se calcularon con el método AMPRES, el cual trabaja con la amplitud resultante.

Amplitud 1

El primer modo frecuencial presenta una frecuencia de 21,2866 Hz con una amplitud máxima de 0,187 en el nodo 752 129.

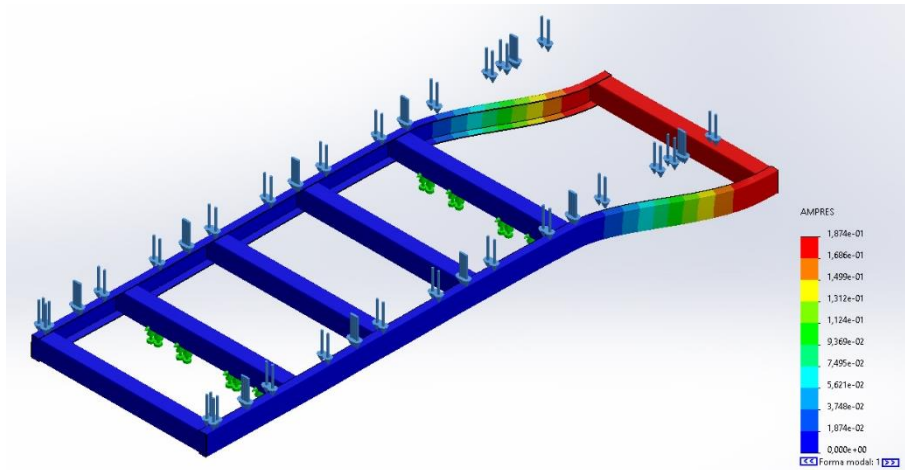


Ilustración 42 AMPLITUD 1

Amplitud 2

El segundo modo frecuencial presenta una frecuencia de 24,3173 Hz con una amplitud máxima de 0,198 en el nodo 182 122.

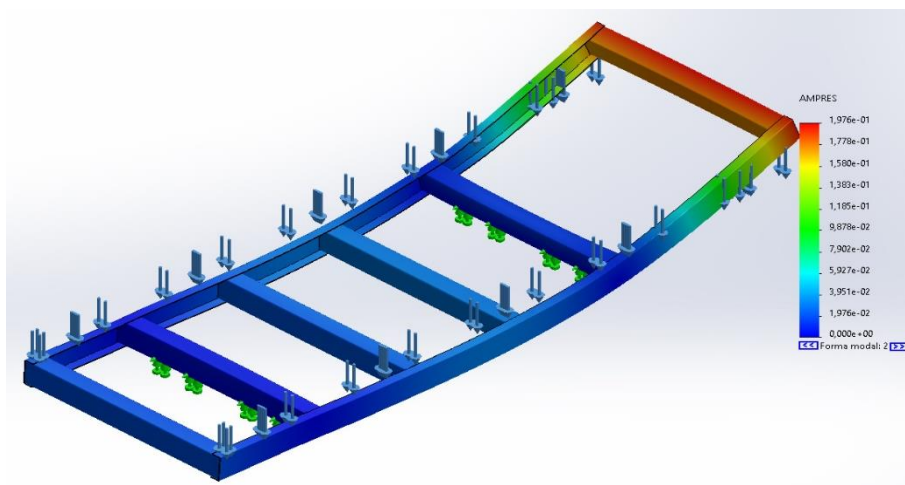


Ilustración 43 AMPLITUD 2

Amplitud 3

El tercer modo frecuencial presenta una frecuencia de 45,8506 Hz con una amplitud máxima de 0,187 en el nodo 448 860.

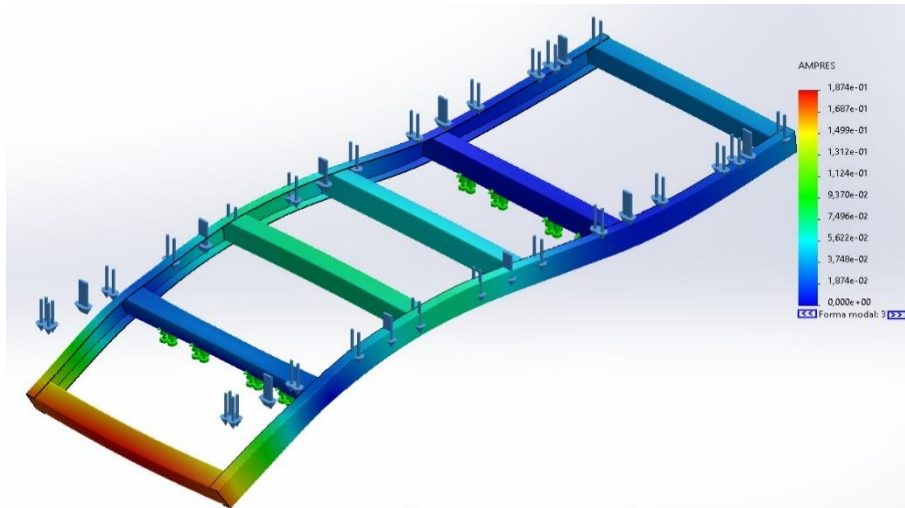


Ilustración 44 AMPLITUD 3

Amplitud 4

El cuarto modo frecuencial presenta una frecuencia de 47,1622 Hz con una amplitud máxima de 0,135 en el nodo 665 290.

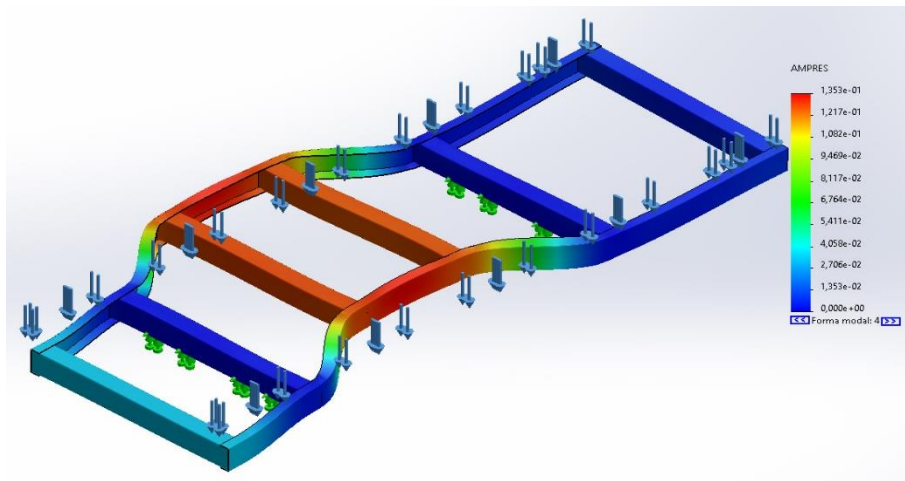


Ilustración 45 AMPLITUD 4

Amplitud 5

El quinto modo frecuencial presenta una frecuencia de 56,1681 Hz con una amplitud máxima de 0,193 en el nodo 799 704.

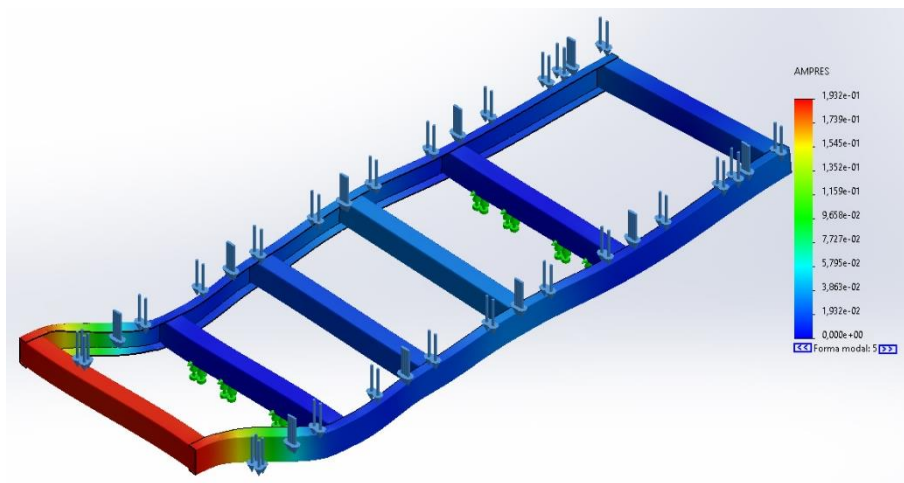


Ilustración 46 AMPLITUD 5

Tabla 27 MODOS FRECUENCIALES

Modo n°.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	133,75	21,287	0,046978
2	152,79	24,317	0,041123
3	288,09	45,851	0,02181
4	296,33	47,162	0,021203
5	352,91	56,168	0,017804

Tabla 28 PARTICIPACIÓN DE MASA

Modo n°.	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	21,287	0,15861	1,97E-05	1,50E-07
2	24,317	3,23E-05	0,098403	0,0010115
3	45,851	6,57E-06	0,00091174	0,0083558
4	47,162	0,27119	4,35E-07	9,82E-08
5	56,168	0,2439	4,63E-06	7,87E-07
		Sum X = 0,67375	Sum Y = 0,099339	Sum Z = 0,0093683

6.3.2. Acero AISI 4135

De acuerdo con una previa investigación uno de los materiales con los que normalmente se manufactura el chasis de un camión es el AISI 4135 [26], en esta investigación los

datos del material fueron extraídos del software de materiales CES Edu Pack 2019 para tener una mayor precisión a la hora de ejecutar el análisis.

Las propiedades mecánicas del AISI 4135 son:

Tabla 29 PROPIEDADES MECÁNICAS AISI 4135

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

6.3.2.1. Propiedades químicas

De acuerdo con el software de materiales CES Edu Pack 2019 el AISI 4135 está compuesto químicamente por los siguientes elementos.

Tabla 30 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AISI 4135

COMPOSICIÓN QUÍMICA							
C	Cr	Fe	Mn	Mo	P	S	Si
0,38%	1,10%	97,90%	0,90%	0,25%	0,04%	0,04%	0,35%

6.3.2.2. Análisis estático

Luego de aplicar el material al chasis se utilizaron 8 pernos de fundación y una pared virtual para las sujeciones. Los pernos de fundación se colocan 4 en la segunda barra transversal y otros 4 en la quinta barra transversal.

Posteriormente se simuló estáticamente el chasis con 3 fuerzas diferentes (60 kN, 90kN y 120 kN) divididas a lo largo de las vigas tipo C, teniendo así una carga de 30, 45 y 60 KN en cada una, respectivamente. El último caso simula una situación de sobrecarga.

A continuación, se presentan las tablas de los resultados de las cargas en las sujeciones por cada caso.

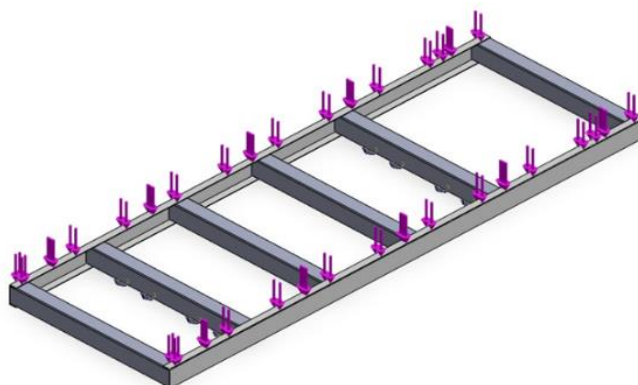


Ilustración 47 CHASIS CON AISI 4135

Tabla 31 RESULTADOS DE APLICAR 60 kN EN LAS SUJECIONES AISI4135

AIS I 4135 60 kN					
Sujeción	Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
1	Fuerza axial (N)	0	11.143	0	11.143
	Fuerza cortante (N)	651,64	0	-1.890,60	1.999,70
	Momento flector (N.m)	13,926	0	0,90627	13,955
2	Fuerza axial (N)	0	10.835	0	10.835
	Fuerza cortante (N)	-108,03	0	726,8	734,79
	Momento flector (N.m)	-3,1231	0	-1,0368	3,2907
3	Fuerza axial (N)	0	10.971	0	10.971
	Fuerza cortante (N)	107,79	0	715,69	723,76
	Momento flector (N.m)	-3,1198	0	0,79665	3,2199
4	Fuerza axial (N)	0	11.063	0	11.063
	Fuerza cortante (N)	-652,08	0	-1.863,30	1.974,10
	Momento flector (N.m)	13,69	0	-0,67165	13,707
5	Fuerza axial (N)	0	13.254	0	13.254
	Fuerza cortante (N)	1.307,40	0	2.316,10	2.659,60
	Momento flector (N.m)	-63,781	0	10,426	64,627
6	Fuerza axial (N)	0	11.473	0	11.473
	Fuerza cortante (N)	-158	0	-1.172,30	1.182,90
	Momento flector (N.m)	-5,9709	0	-0,14332	5,9727
7	Fuerza axial (N)	0	11.772	0	11.772
	Fuerza cortante (N)	169,17	0	-1.175,50	1.187,60
	Momento flector (N.m)	-6,4309	0	0,076678	6,4313
8	Fuerza axial (N)	0	13.387	0	13.387
	Fuerza cortante (N)	-1.317,90	0	2.343,10	2.688,30
	Momento flector (N.m)	-66,016	0	-12,782	67,242

Tabla 32 RESULTADOS DE APLICAR 90 kN EN LAS SUJECIONES AISI4135

AISI 4135 90 kN					
Sujeción	Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
1	Fuerza axial (N)	0	11.208	0	11.208
	Fuerza cortante (N)	1.004,50	0	-2.836,60	3.009,20
	Momento flector (N.m)	21,274	0	1,5993	21,334
2	Fuerza axial (N)	0	10.893	0	10.893
	Fuerza cortante (N)	-168,33	0	1.090,40	1.103,30
	Momento flector (N.m)	-6,6553	0	-1,3439	6,7896
3	Fuerza axial (N)	0	11.025	0	11.025
	Fuerza cortante (N)	167,68	0	1.073,70	1.086,70
	Momento flector (N.m)	-6,5412	0	1,0362	6,6228
4	Fuerza axial (N)	0	11.124	0	11.124
	Fuerza cortante (N)	-1.004,90	0	-2.795,70	2.970,90
	Momento flector (N.m)	20,858	0	-1,391	20,904
5	Fuerza axial (N)	0	15.386	0	15.386
	Fuerza cortante (N)	1.938,80	0	3.473,90	3.978,30
	Momento flector (N.m)	-111,96	0	17,714	113,35
6	Fuerza axial (N)	0	12.282	0	12.282
	Fuerza cortante (N)	-225,45	0	-1.757,80	1.772,20
	Momento flector (N.m)	-13,88	0	-0,54467	13,891
7	Fuerza axial (N)	0	12.545	0	12.545
	Fuerza cortante (N)	241,12	0	-1.762,10	1.778,50
	Momento flector (N.m)	-13,756	0	0,32697	13,76
8	Fuerza axial (N)	0	15.706	0	15.706
	Fuerza cortante (N)	-1.953,50	0	3.514,20	4.020,70
	Momento flector (N.m)	-116,18	0	-23,231	118,48

Tabla 33 RESULTADOS DE APLICAR 120 kN EN LAS SUJECIONES

AISI 4135 120 kN					
Sujeción	Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
1	Fuerza axial (N)	0	11.282	0	11.282
	Fuerza cortante (N)	1.357,80	0	-3.782,20	4.018,60
	Momento flector (N.m)	28,868	0	2,3029	28,96
2	Fuerza axial (N)	0	10.995	0	10.995
	Fuerza cortante (N)	-228,29	0	1.454	1.471,60
	Momento flector (N.m)	-11,15	0	-1,6486	11,271
3	Fuerza axial (N)	0	11.120	0	11.120
	Fuerza cortante (N)	227,51	0	1.431,40	1.449,40
	Momento flector (N.m)	-10,844	0	1,319	10,924
4	Fuerza axial (N)	0	11.203	0	11.203
	Fuerza cortante (N)	-1.358,40	0	-3.727,70	3.967,50
	Momento flector (N.m)	28,448	0	-2,1075	28,526
5	Fuerza axial (N)	0	18.187	0	18.187
	Fuerza cortante (N)	2.570,50	0	4.631,00	5.296,60
	Momento flector (N.m)	-170,27	0	24,531	172,03
6	Fuerza axial (N)	0	13.197	0	13.197
	Fuerza cortante (N)	-290,3	0	-2.342,80	2.360,70
	Momento flector (N.m)	-23,229	0	-0,95179	23,249
7	Fuerza axial (N)	0	13.434	0	13.434
	Fuerza cortante (N)	310,79	0	-2.348,10	2.368,60
	Momento flector (N.m)	-22,453	0	0,86668	22,47
8	Fuerza axial (N)	0	18.873	0	18.873
	Fuerza cortante (N)	-2.589,60	0	4.684,60	5.352,70
	Momento flector (N.m)	-177,69	0	-36,6	181,42

Los esfuerzos en el chasis se calcularon utilizando el criterio de rigidez de Von Mises, dando como resultado una tensión máxima de 111,9 MPa, 167,8 MPa y 223,8 MPa para las cargas de 60 kN, 90 kN y 120kN respectivamente.

Tabla 34 ESFUERZOS POR EL CRITERIO DE VON MISES AISI4135

Esfuerzos por Von Mises			
	60 kN	90 kN	120 kN
σ min (N/m ²)	3339	4939	6531
Nodo	220 080	220 080	220 080
σ máx (MN/m ²)	111,9	167,8	223,8
Nodo	511 278	511 278	511 278

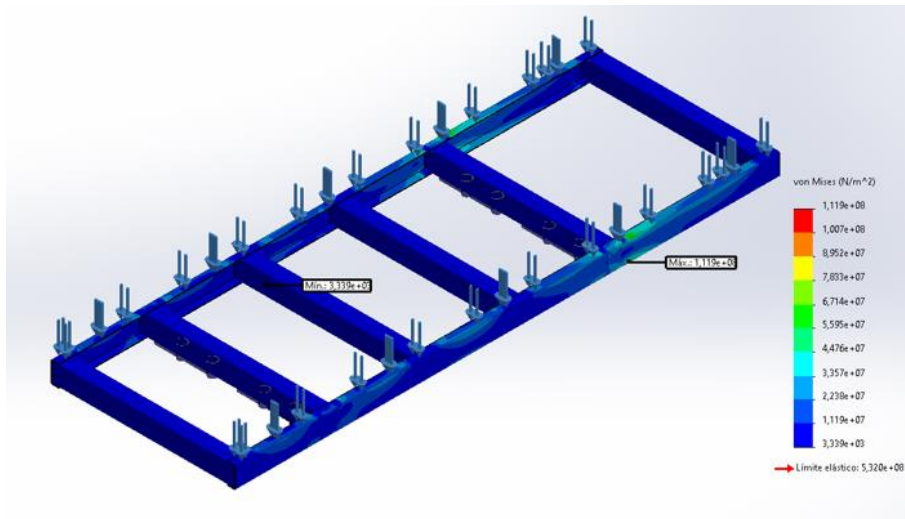


Ilustración 48 RESULTADOS DE ESFUERZOS 60kN AISI 4135

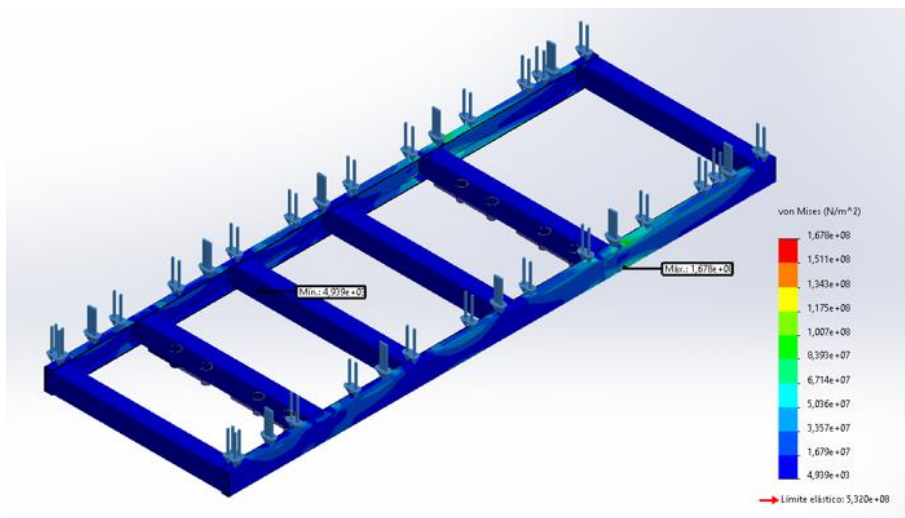


Ilustración 49 RESULTADOS DE ESFUERZOS 90kN AISI 4135

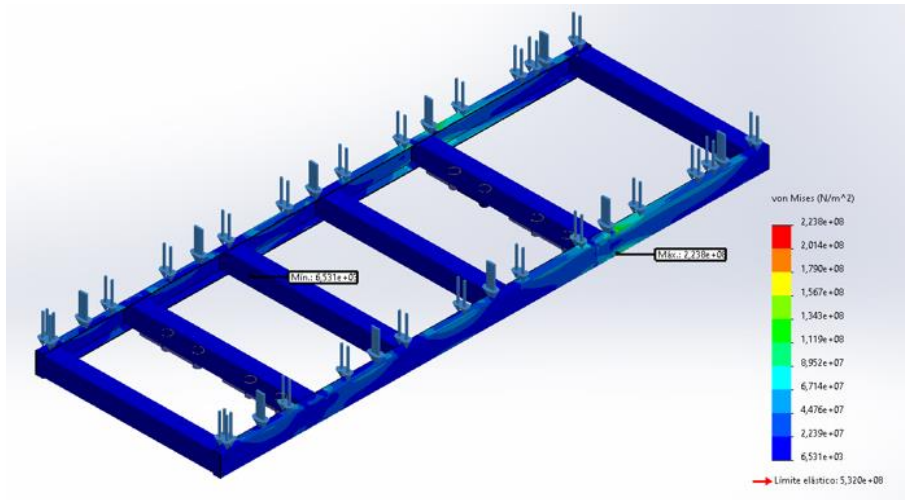


Ilustración 50 RESULTADOS DE ESFUERZOS 120kN AISI 4135

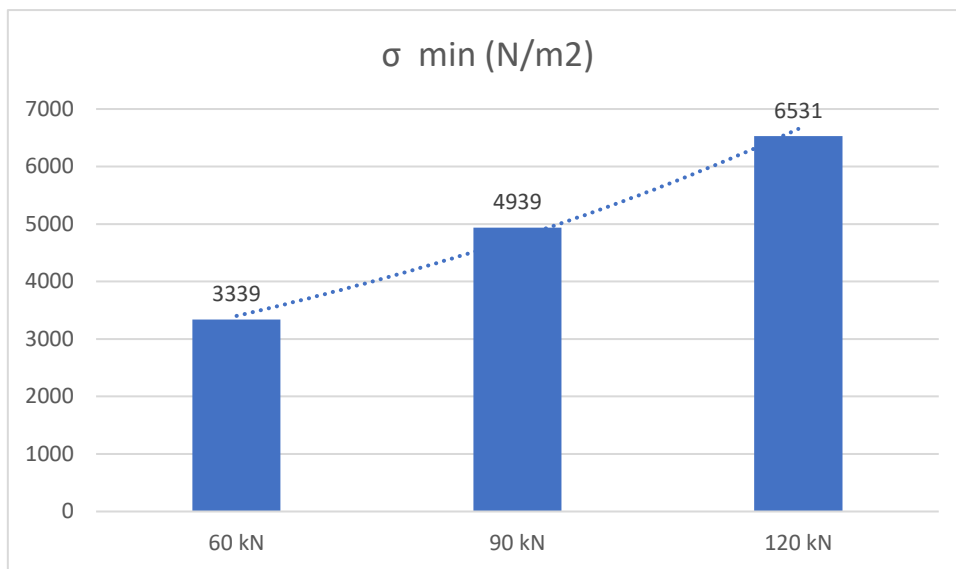


Ilustración 51 σ min (N/m²) AISI 4135

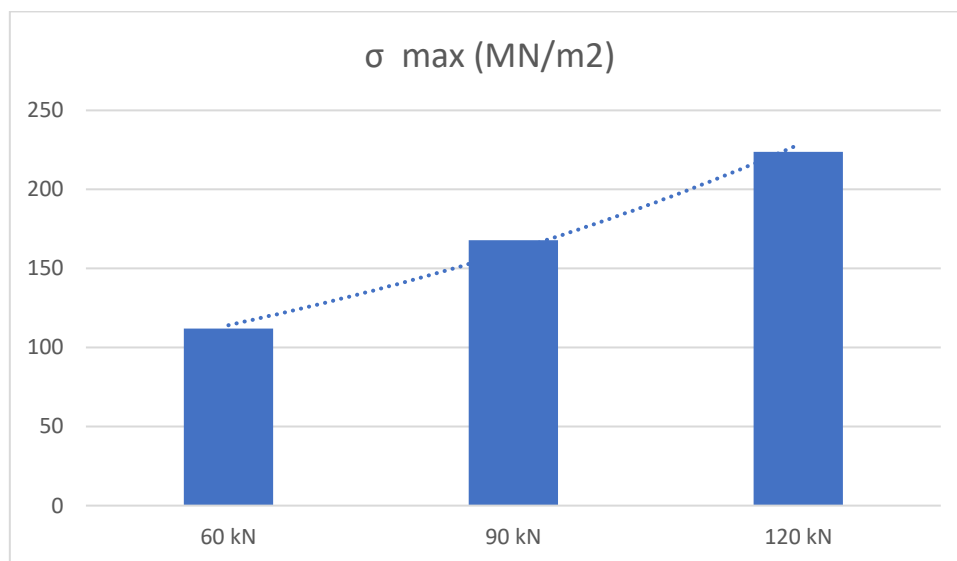


Ilustración 52 σ máx. (MN/m²) AISI 4135

Los desplazamientos se calcularon mediante el método URES, lo cual dio como resultado de los desplazamientos máximos 2,11mm, 3,168mm y 4,224mm, utilizando las cargas de 60kN, 90kN y 120kN, respectivamente.

Tabla 35 DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES AISI4135

URES: Desplazamientos resultantes			
	60 kN	90 kN	120 kN
Desplazamiento min (mm)	4,67E-06	2,57E-06	4,53E-06
Nodo	50 795	70 111	26
Desplazamiento max (mm)	2,111	3,168	4,224
Nodo	134 158	134 158	134 158

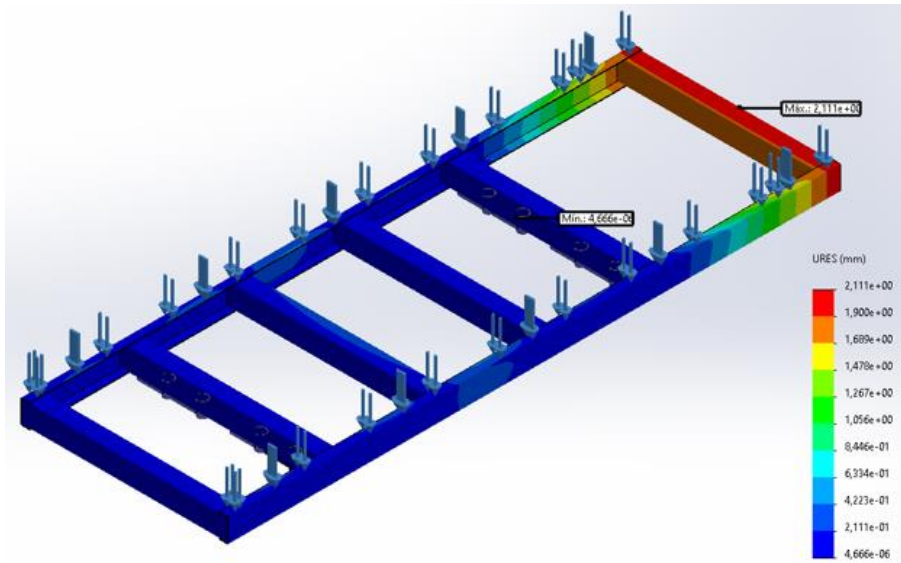


Ilustración 53 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 60kN AISI 4135

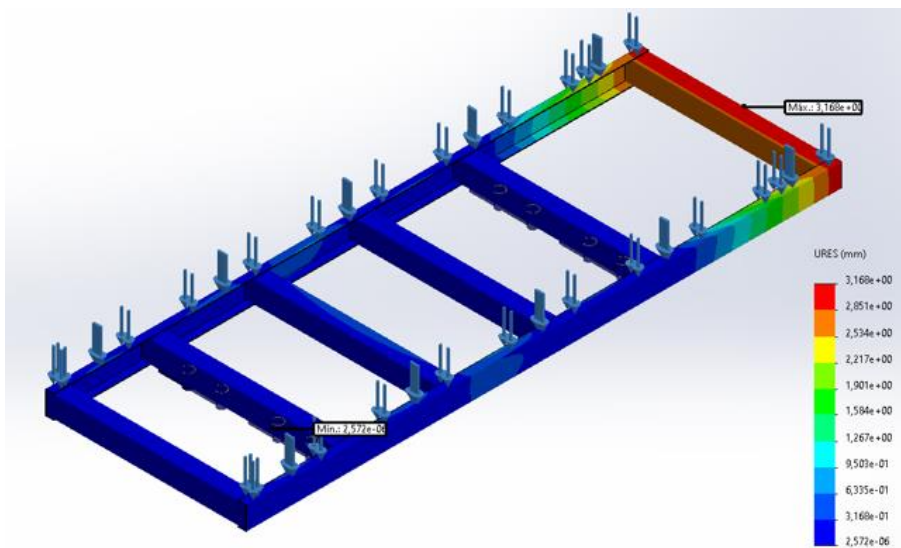


Ilustración 54 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 90kN AISI 4135

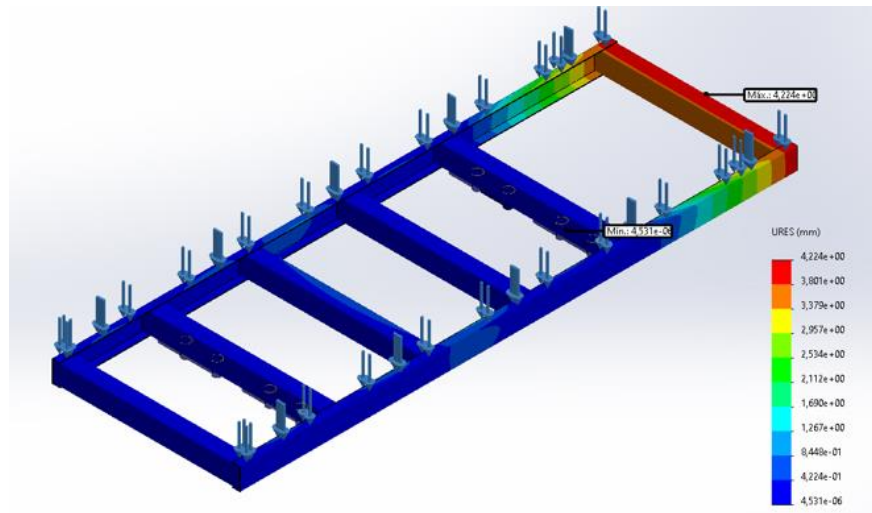


Ilustración 55 RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO 120kN AISI 4135

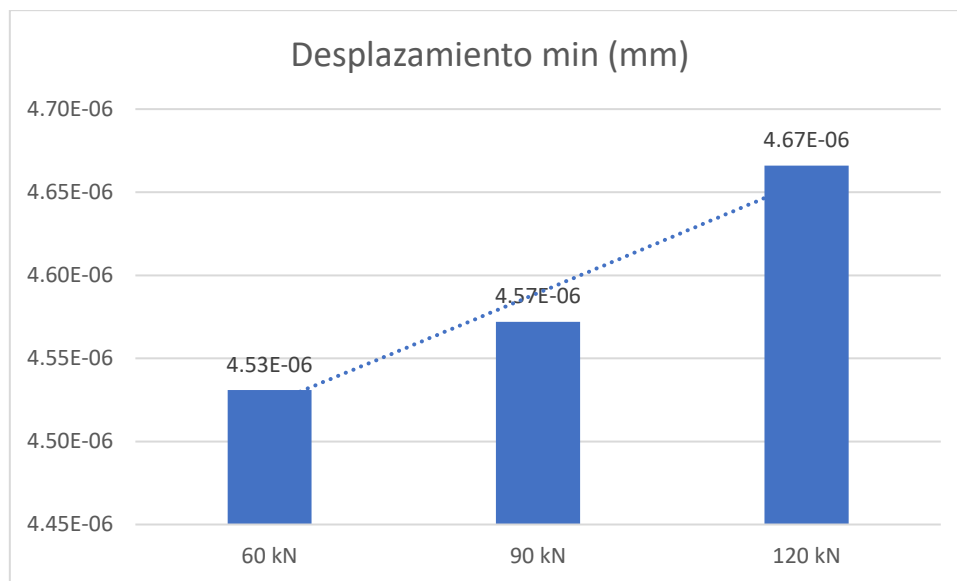


Ilustración 56 DESPLAZAMIENTO MIN (mm) AISI 4135

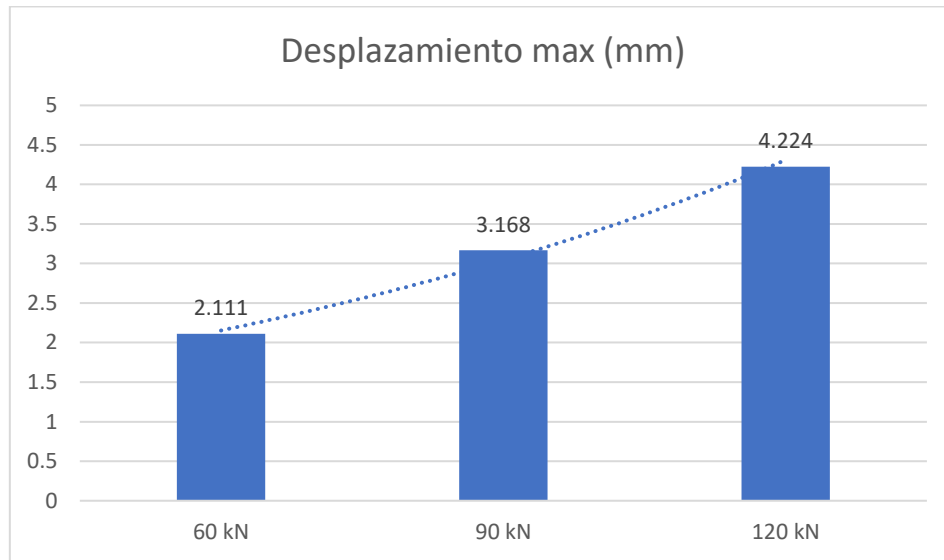


Ilustración 57 DESPLAZAMIENTO MÁX AISI 4135

Las deformaciones unitarias se calcularon mediante el método ESTRN las cuales dan como resultado las deformaciones unitarias equivalentes, con una deformación máxima de 0,0003576, 0,0005364 y 0,0007152 utilizando las cargas de 60kN, 90kN y 120kN respectivamente.

Tabla 36 DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE AISI4135

ESTRN: Deformación unitaria equivalente			
	60 kN	90 kN	120 kN
Deformación min	3,37E-08	1,90E-08	2,55E-08
Nodo	104 328	104 328	104 328
Deformación máx	0,0003576	0,0005364	0,0007152
Nodo	260 019	260 019	260 019

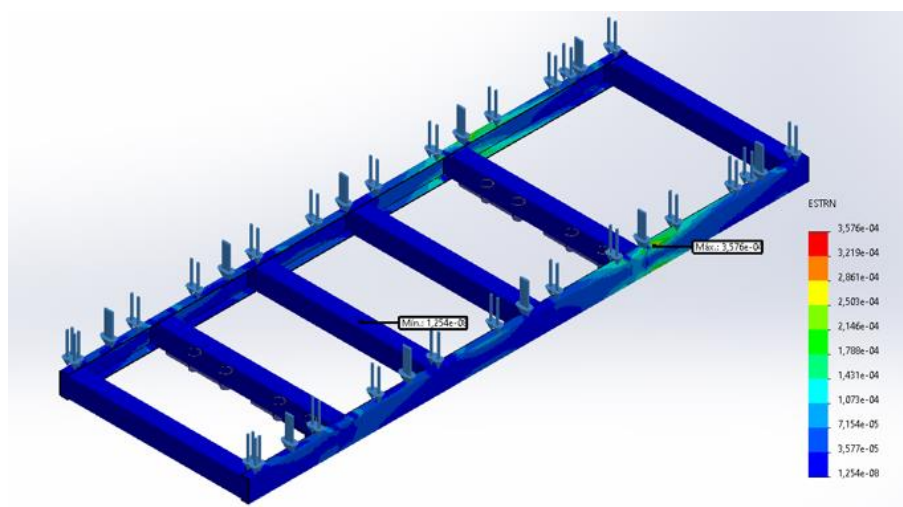


Ilustración 58 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 60kN AISI 4135

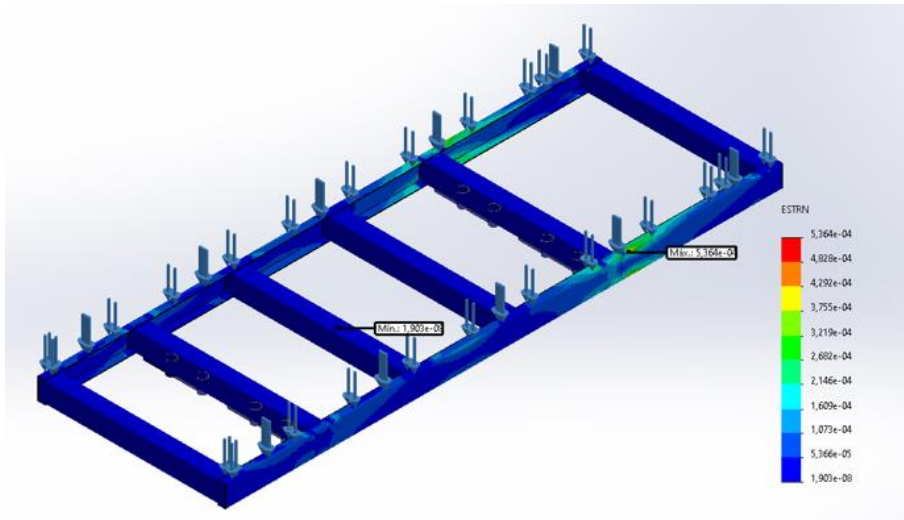


Ilustración 59 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 90kN AISI 4135

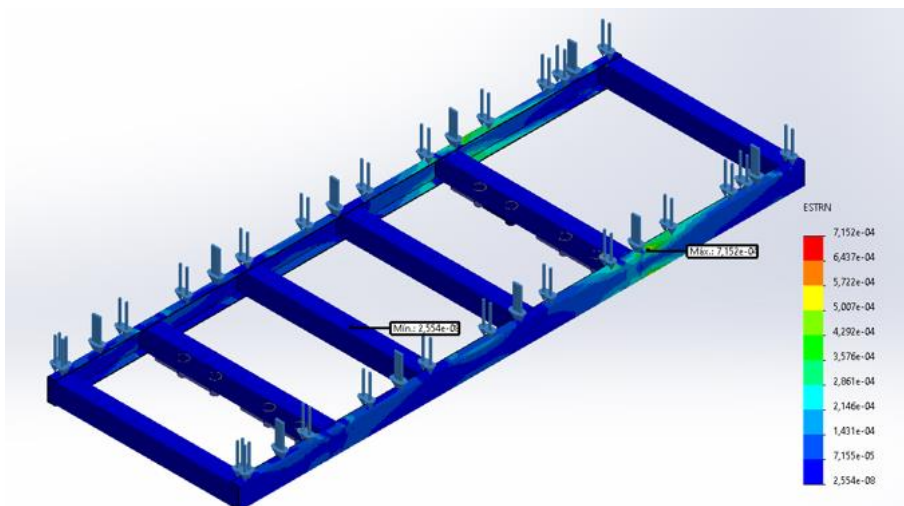


Ilustración 60 RESULTADO DEFORMACIONES UNITARIAS 120kN AISI 4135

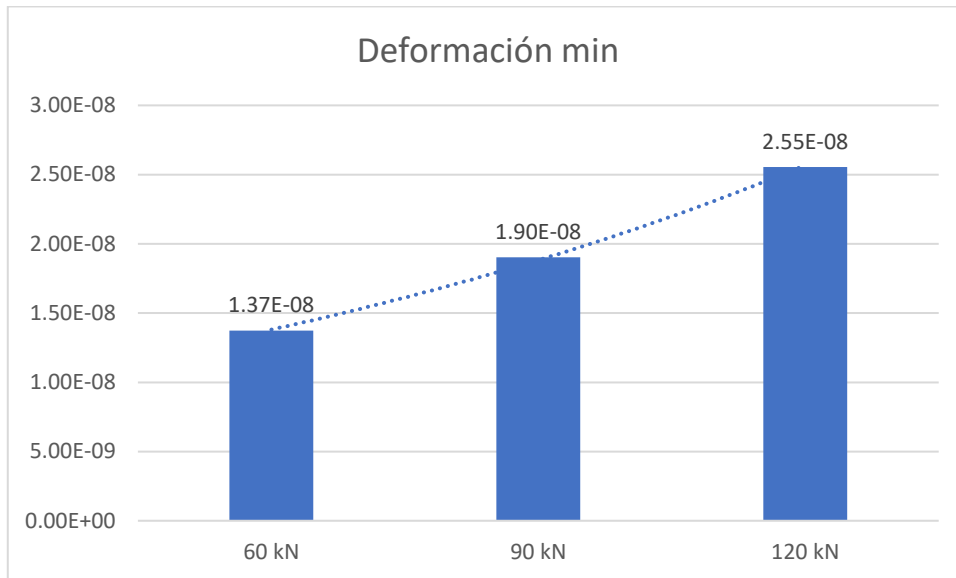


Ilustración 61 DEFORMACIÓN MIN AISI 4135

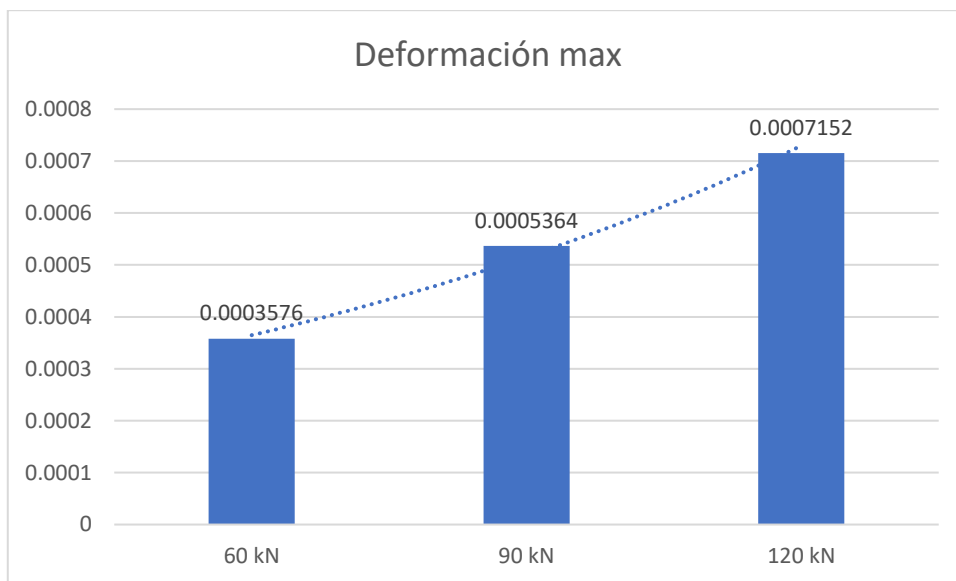


Ilustración 62 DEFORMACIÓN MÁX AISI 4135

El factor de seguridad se calculó mediante el criterio de Von Mises dando como resultado 4,75, 3,17 y 2,38 para las cargas de 60kN, 90kN y 120kN respectivamente. Para esta investigación tomaremos el factor de seguridad mínimo, con el fin de asegurar la confiabilidad del chasis.

Tabla 37 FACTOR DE SEGURIDAD AISI 4135

Factor de seguridad por Von Mises			
	60 kN	90 kN	120 kN
FS min	4,75	3,17	2,38
Nodo	16852	511 278	511 278
FS máx	159 300	107 700	81 460
Nodo	129820	220 080	220 080

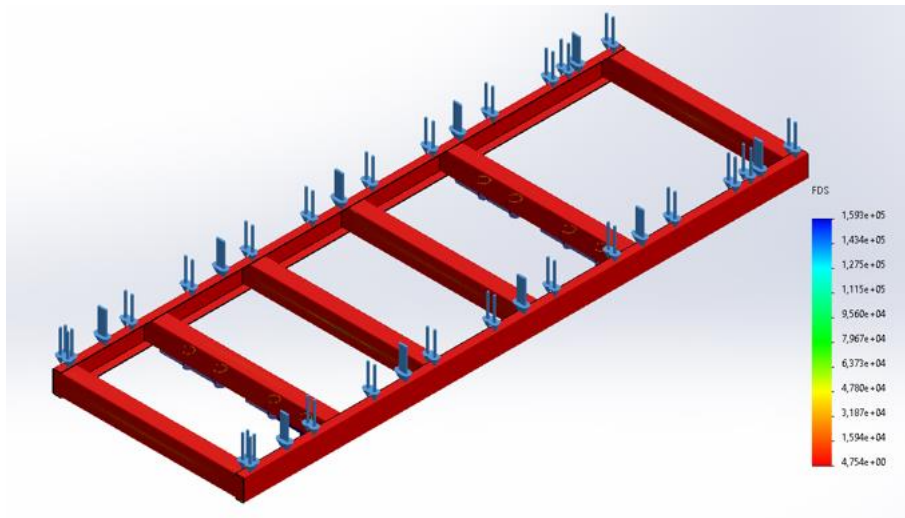


Ilustración 63 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 60kN AISI 4135

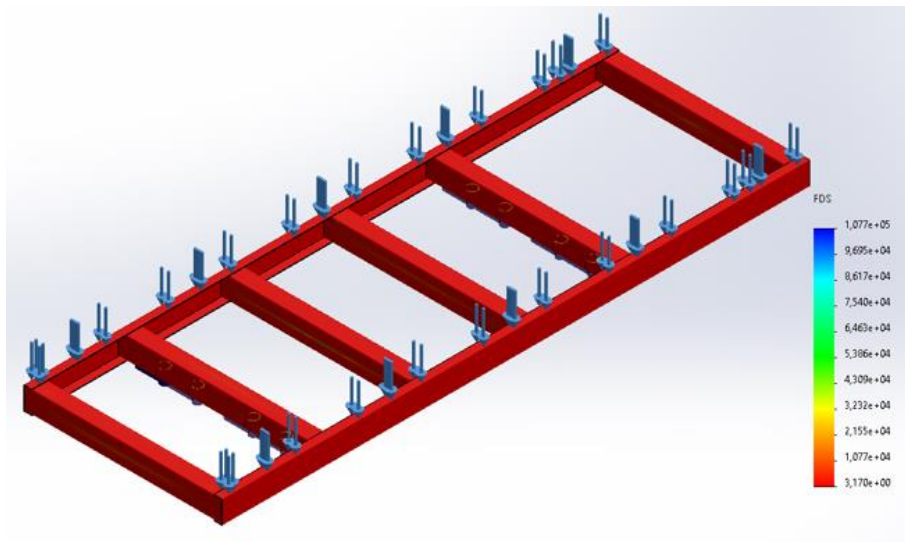


Ilustración 64 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 90kN AISI 4135

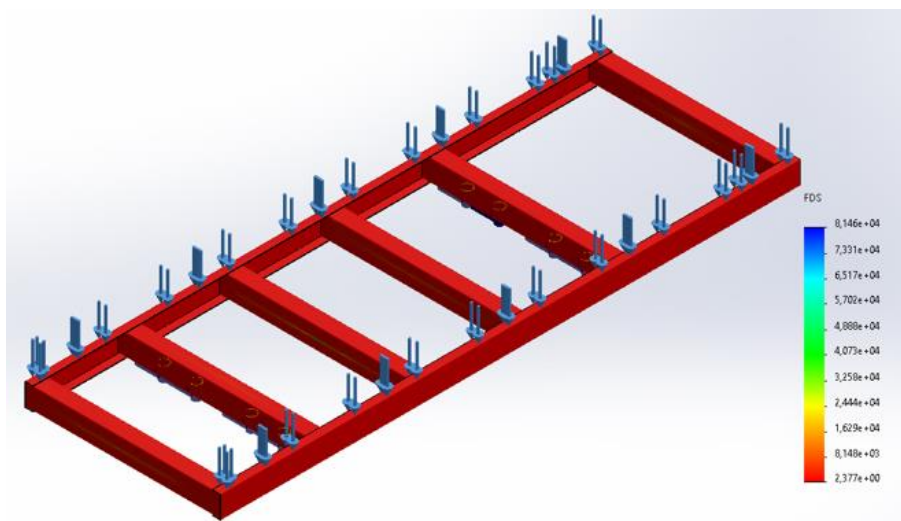


Ilustración 65 RESULTADOS FACTOR DE SEGURIDAD 120kN AISI 4135

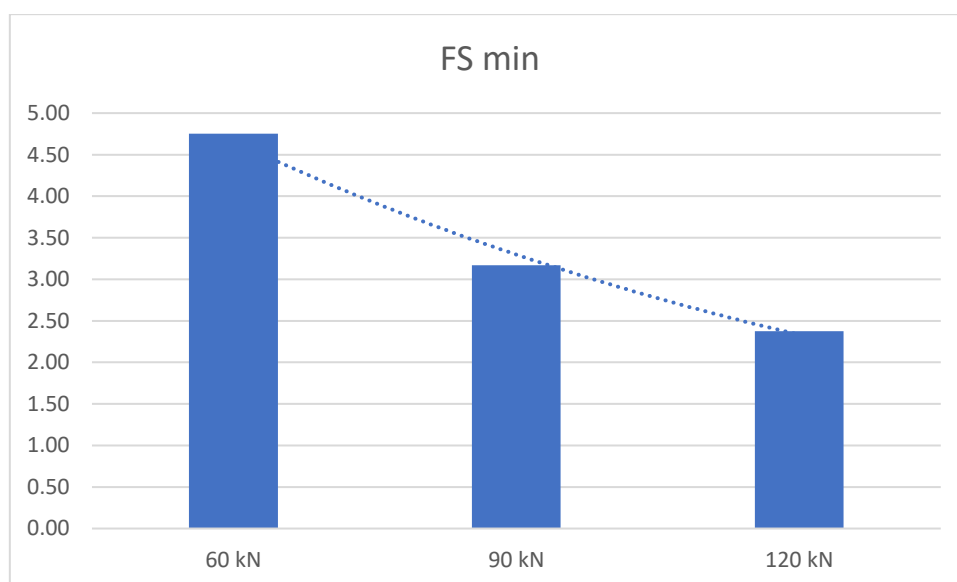


Ilustración 66 FACTOR DE SEGURIDAD AISI 4135

6.3.2.3. Análisis frecuencial

Para el análisis frecuencial al igual que en el análisis estático, se aplicó el material AISI 4135 al chasis teniendo en consideración el espesor de las vigas tipo C y las cuadradas, para después proceder a colocar las sujeciones en los 8 orificios inferiores ubicados 4 en la segunda y 4 en la quinta barra transversal; Y finalmente simuló el chasis frecuencialmente con 3 fuerzas diferentes (60 kN, 90kN y 120 kN) divididas a lo largo de las vigas tipo C, teniendo así una carga de 30, 45 y 60 KN en cada uno, respectivamente.

El último caso simula una situación de sobrecarga.

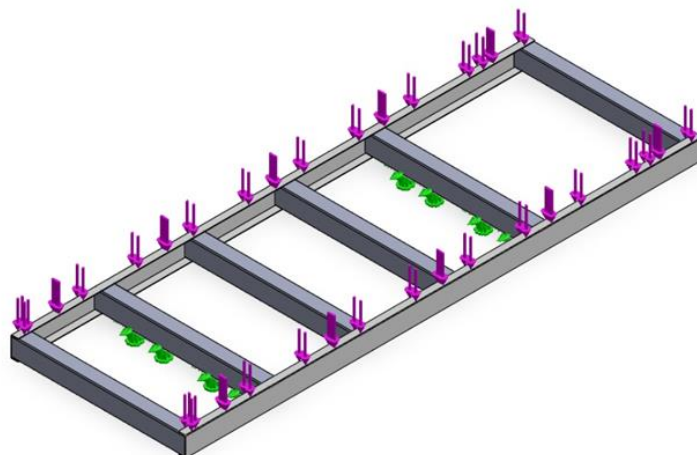


Ilustración 67 SUJECIONES Y CARGA

Tabla 38 CARACTERÍSTICAS DE MALLADO

Características de mallado	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Transición automática:	Activar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elementos	20 mm
Tolerancia	1 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	571531
Número total de elementos	277482
Cociente máximo de aspecto	683,47
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,201
Porcentaje de elementos distorsionados	0

Este análisis frecuencial igual que el anterior fue realizado con 5 modos frecuenciales que se calcularon con el método AMPRES, el cual trabaja con la amplitud resultante.

Amplitud 1

El primer modo frecuencial presenta una frecuencia de 19,8354 Hz con una amplitud máxima de 0,09 en el nodo 752 129.

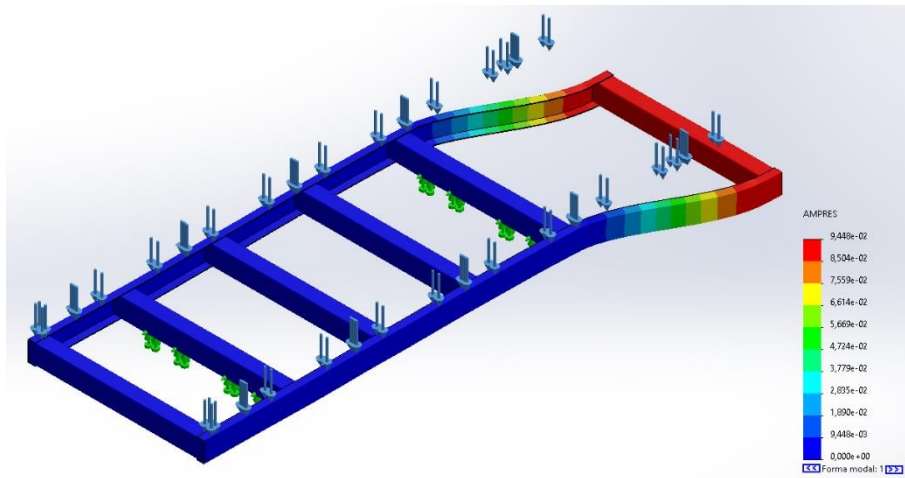


Ilustración 68 AMPLITUD 1

Amplitud 2

El segundo modo frecuencial presenta una frecuencia de 22,7245 Hz con una amplitud máxima de 0,1 en el nodo 182 127.

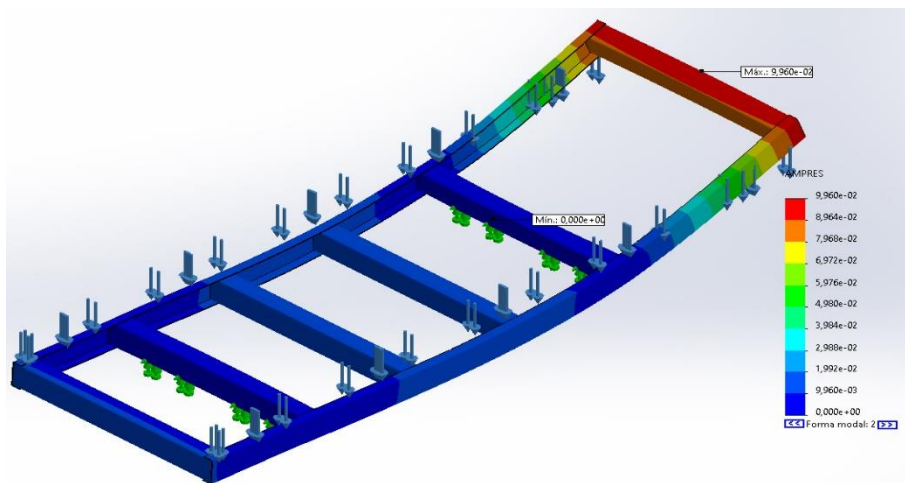


Ilustración 69 AMPLITUD 2

Amplitud 3

El tercer modo frecuencial presenta una frecuencia de 42,8663 Hz con una amplitud máxima de 0,094 en el nodo 526 791.

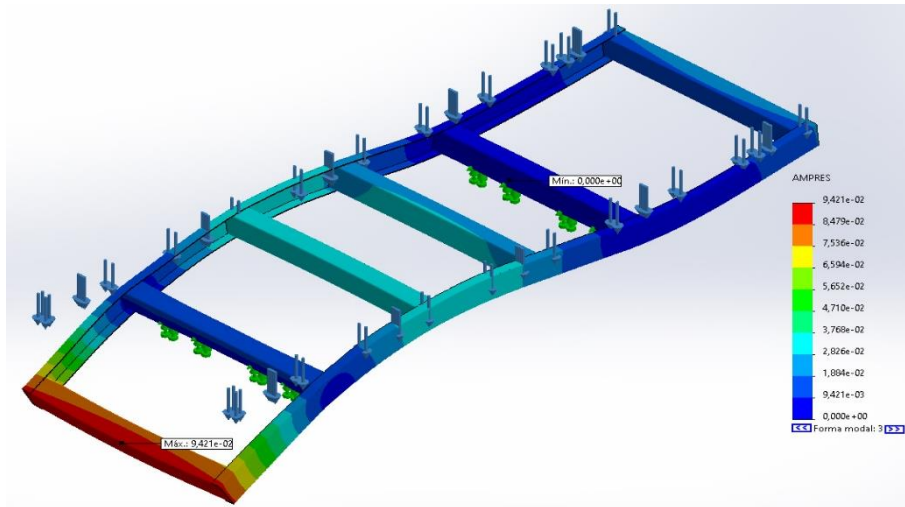


Ilustración 70 AMPLITUD 3

Amplitud 4

El cuarto modo frecuencial presenta una frecuencia de 43,8854 Hz con una amplitud máxima de 0,07 en el nodo 705 665.

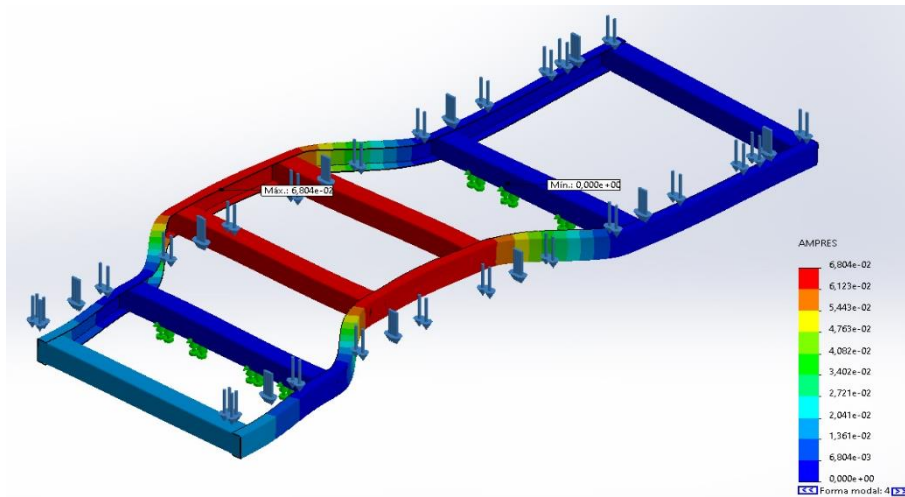


Ilustración 71 AMPLITUD 4

Amplitud 5

El quinto modo frecuencial presenta una frecuencia de 52,2185 Hz con una amplitud máxima de 0,1 en el nodo 799 704.

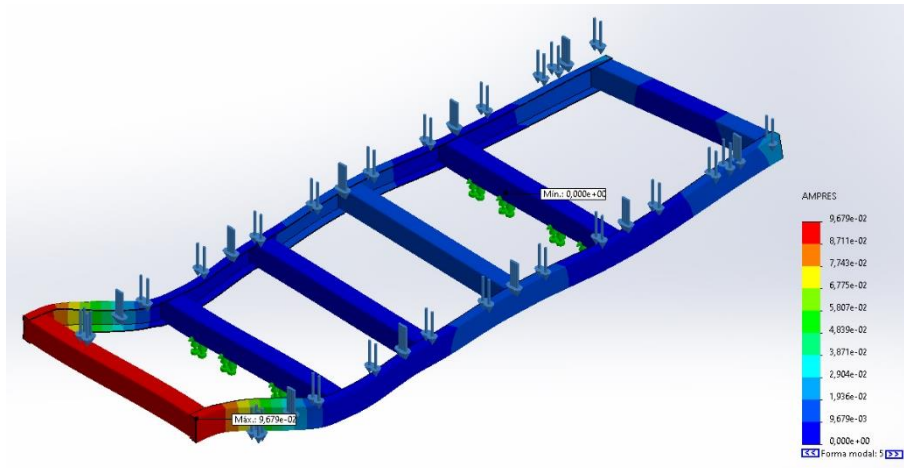


Ilustración 72 AMPLITUD 5

Tabla 39 MODOS FRECUENCIALES

Modo n°.	Rad/s	Hertz	Segundos
1	124,63	19,835	0,050415
2	142,78	22,724	0,044005
3	269,34	42,866	0,023328
4	275,74	43,885	0,022787
5	328,1	52,219	0,01915

Tabla 40 PARTICIPACIÓN DE MASA

Modo n°.	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	19,835	0,15884	4,10E-06	8,93E-09
2	22,724	6,61E-06	0,098941	0,00091998
3	42,866	1,16E-05	0,00088421	0,0076254
4	43,885	0,27394	6,64E-07	1,97E-07
5	52,219	0,23862	6,35E-06	7,54E-07
		Sum X = 0,67142	Sum Y = 0,099836	Sum Z = 0,0085463

6.4. Comparar los resultados de los análisis a los materiales

En las siguientes gráficas se aprecia la comparación de los resultados de los análisis estáticos y frecuenciales previamente realizados al chasis, utilizando el PRFV y el AISI 4135.

6.4.1. Esfuerzos máximos y mínimos

Los esfuerzos máximos en los dos casos de estudio son insignificantes en comparación a su módulo de Young. Los dos materiales tienen esfuerzos máximos y mínimos similares.

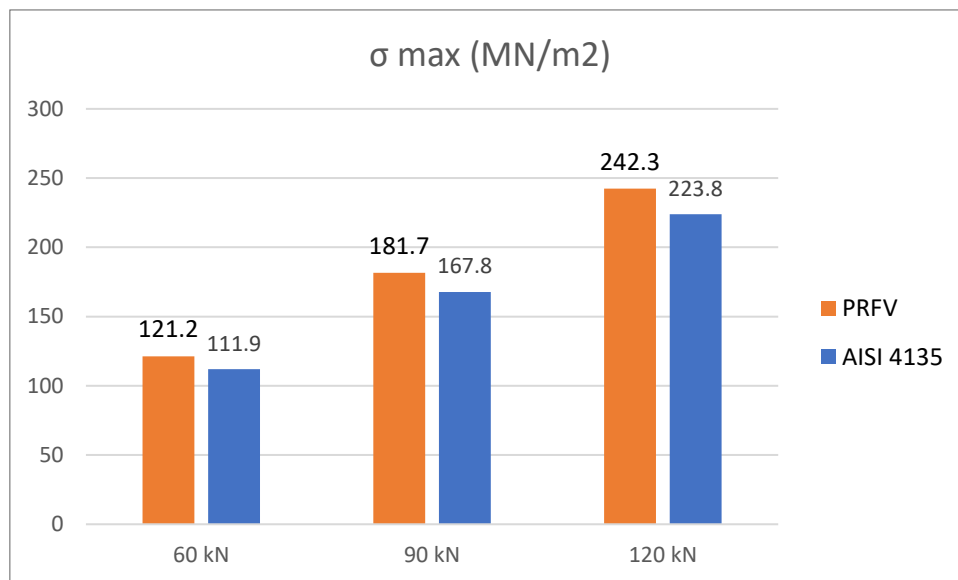


Ilustración 73 σ_{Max} (MN/m^2) PRFV

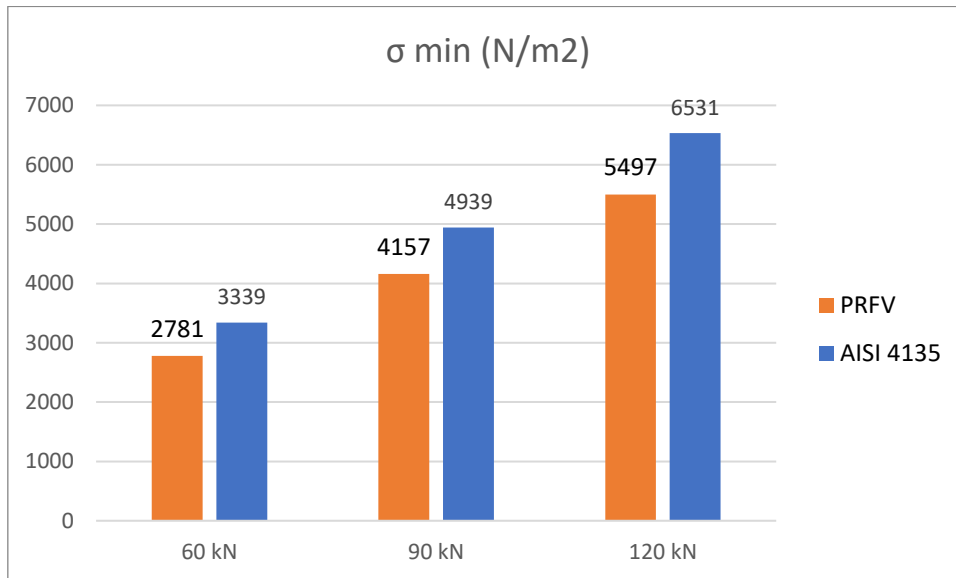


Ilustración 74 σ_{\min} (N/m²) PRFV

6.4.2. Desplazamientos máximos y mínimos

Los desplazamientos máximos de los dos materiales también son insignificantes en comparación con su límite elástico, pero cabe resaltar que el PRFV tiene un mayor desplazamiento que el AISI 4135.

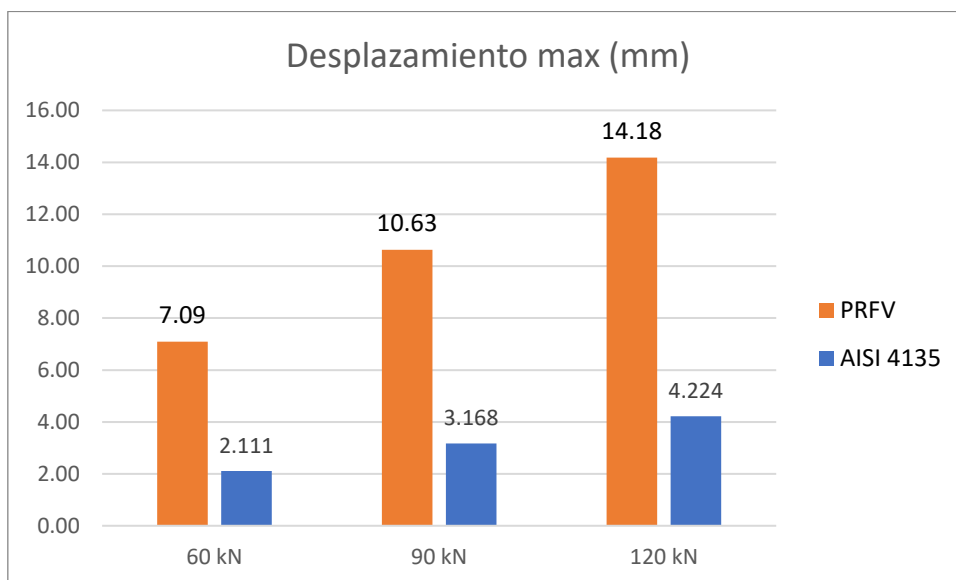


Ilustración 75 Desplazamiento máx. (mm) PRFV

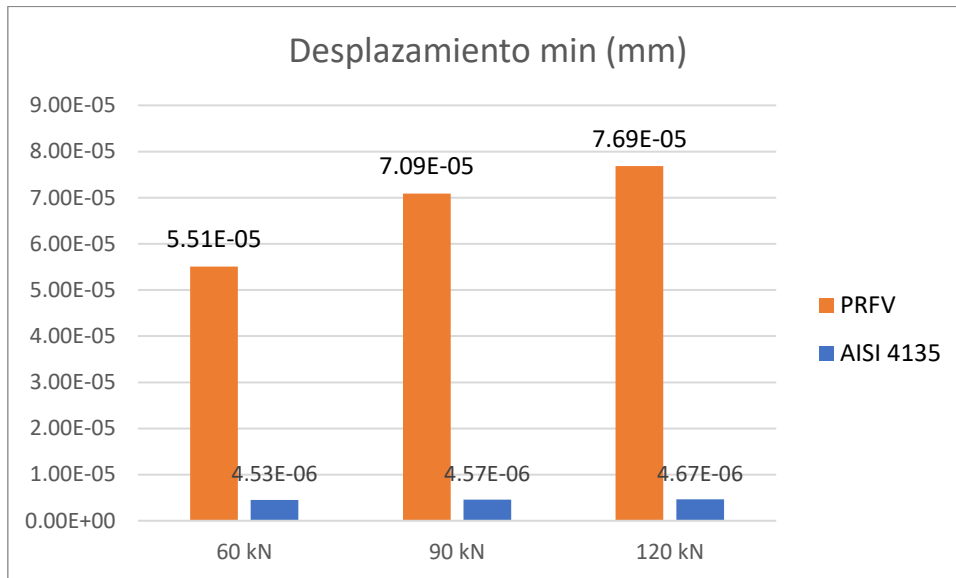


Ilustración 76 Desplazamiento min (mm) PRFV

6.4.3. Deformaciones máximas y mínimas

Las deformaciones máximas son mayores en el PRFV, pero en términos generales son insignificantes, lo que garantiza la estructura del material.

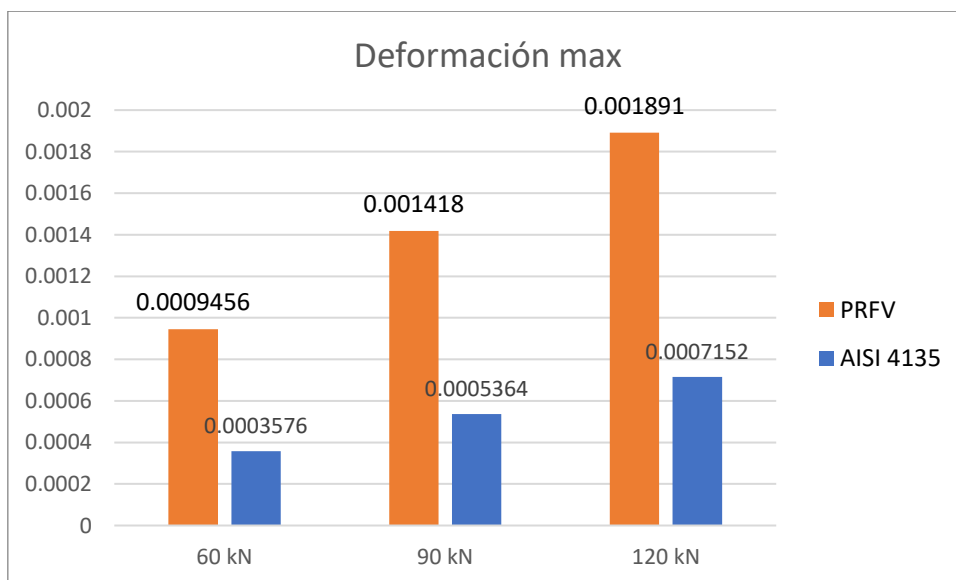


Ilustración 77 Deformación máx. PRFV

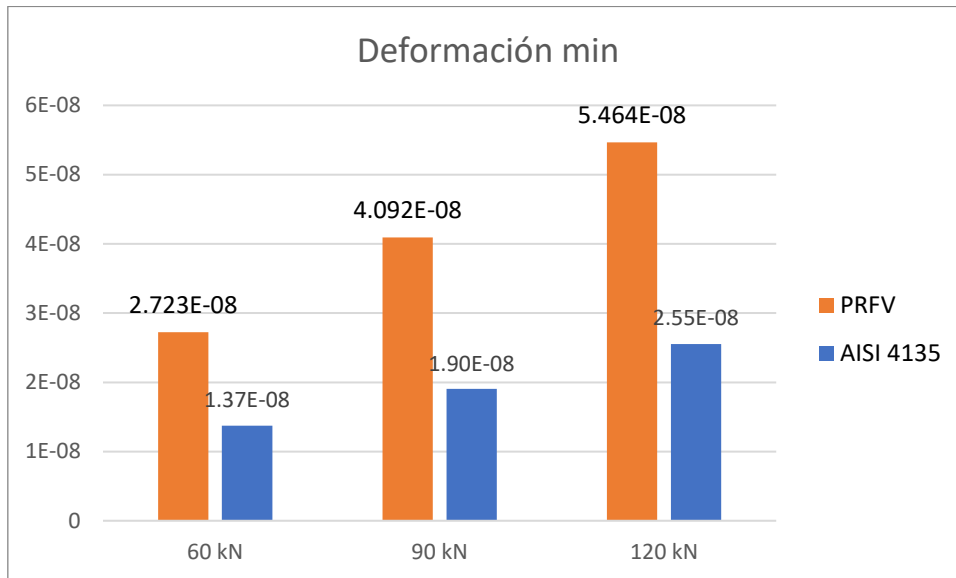


Ilustración 78 Deformación min PRFV

6.4.4. Factor de Seguridad

A medida que incrementa la carga se aprecia como se reduce el factor de seguridad de los materiales, pero el PRFV es superior que el AISI 4135.

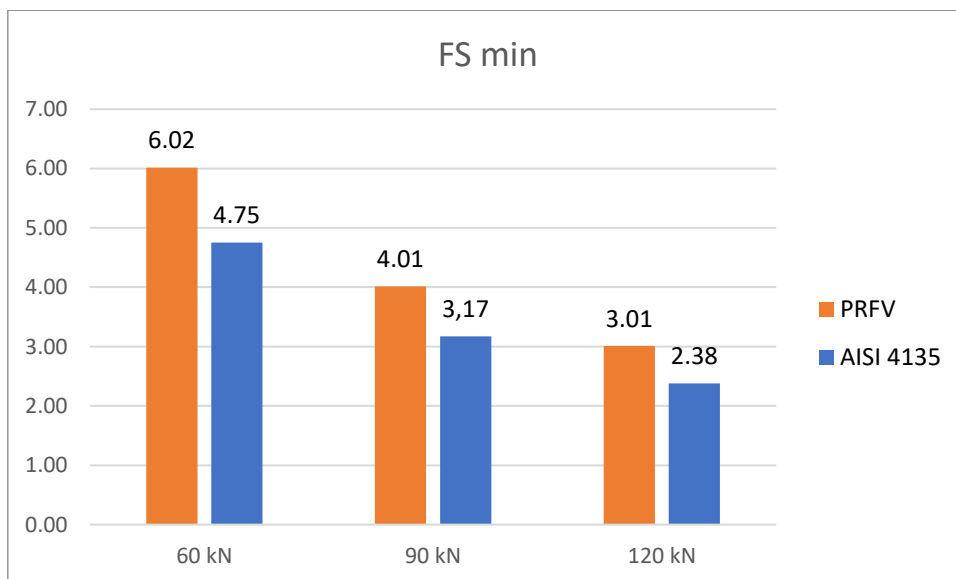


Ilustración 79 Factor de seguridad PRFV

En la Tabla 41 se puede apreciar la comparación de masa y peso del chasis hecho con el material compuesto PRFV y con el AISI 4135. En la cual se puede apreciar que el chasis hecho con el material compuesto es 536 Kg más liviano que el de uso estándar en la manufacturación del chasis.

Tabla 41 MASAS Y PESOS DE LOS CHASIS

SÓLIDOS	CHASIS PRFV		AISI 4135	
	Masa (Kg)	Peso (N)	Masa (Kg)	Peso (N)
Viga cuadrada 1	23,04	225,74	91,29	894,60
Viga cuadrada 2	22,66	222,04	89,79	879,92
Viga cuadrada 3	23,04	225,74	91,29	894,60
Viga cuadrada 4	23,04	225,74	91,29	894,60
Viga cuadrada 5	22,66	222,04	89,79	879,92
Viga cuadrada 6	23,04	225,74	91,29	894,60
Viga tipo C 1	23,09	226,32	87,72	859,67
Viga tipo C 2	23,09	226,32	87,72	859,67
TOTAL	183,64	1799,69	720,16	7057,57

Además de comparar el peso y la masa del chasis hecho con el material compuesto y el AISI 4135, también se compararon sus propiedades mecánicas para así tener conocimiento de su comportamiento.

Tabla 42 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS CON RESPECTO AL MATERIAL

PROPIEDADES MECÁNICAS	MATERIALES		
	PRFV 6 mm	PRFV 10 mm	AISI 4135
Densidad (Kg/m ³)	2060	1980	7870
Módulo de Young (GPa)	60,6	54,9	210
Límite elástico (MPa)	729	660	586
Módulo de flexión (GPa)	55,7	44,8	210
Resistencia última (MPa)	1810	359	586

En la comparación de densidades entre materiales se puede apreciar que el AISI 4135 es casi cuatro veces más denso que los materiales compuestos creados para el chasis, esto implica mayor cantidad de masa en el volumen de un cuerpo, por ende, el chasis de este material pesa mucho más.

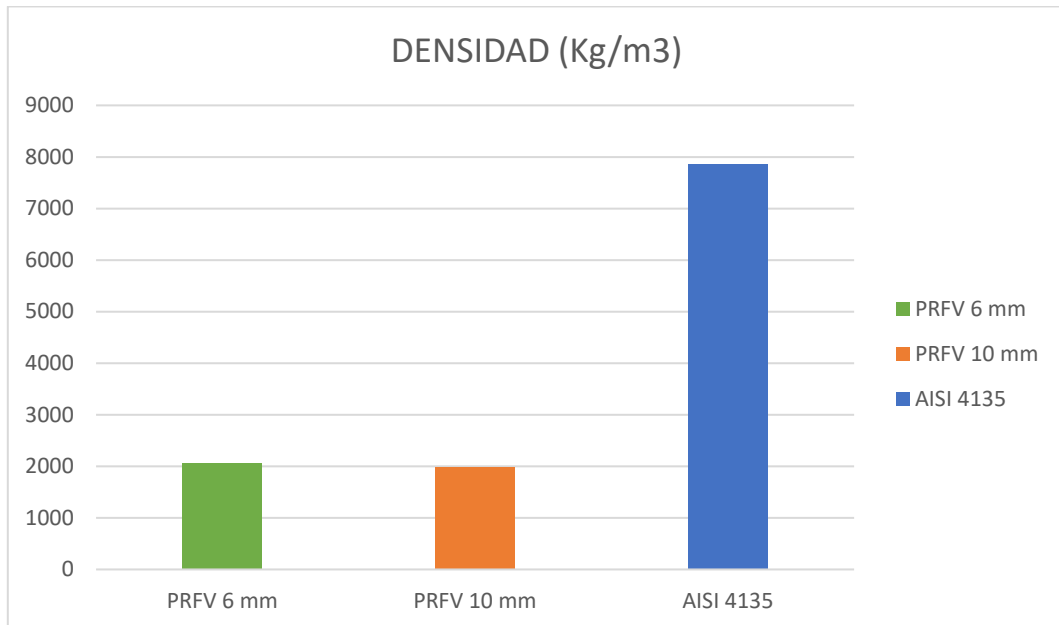


Ilustración 80 COMPARACIÓN DE DENSIDAD

El AISI 4135 también tiene un módulo de Young hasta cuatro veces mayor que el del PRFV lo que lo hace más elástico en la orientación a la que se aplica la fuerza. Pero la carga aplicada al chasis es lo suficientemente pequeña como para que el PRFV la pueda soportar sin facturarse.

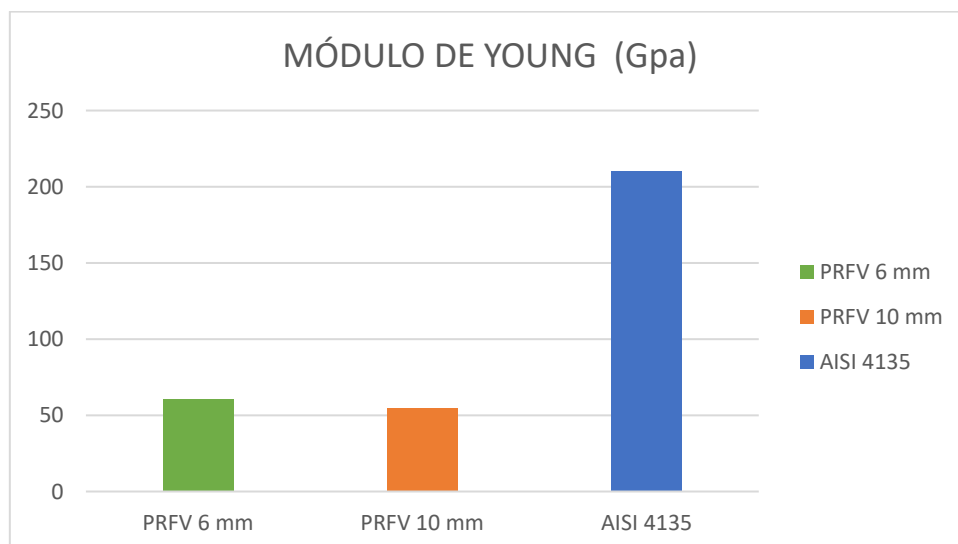


Ilustración 81 COMPARACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG

En el caso del límite elástico el que supera a los demás es el PRFV de 6 mm este cuenta con 729 MPa en comparación a los 586 MPa del AISI 4135. Esta característica permite que el chasis soporte altas esfuerzos sin sufrir deformaciones.

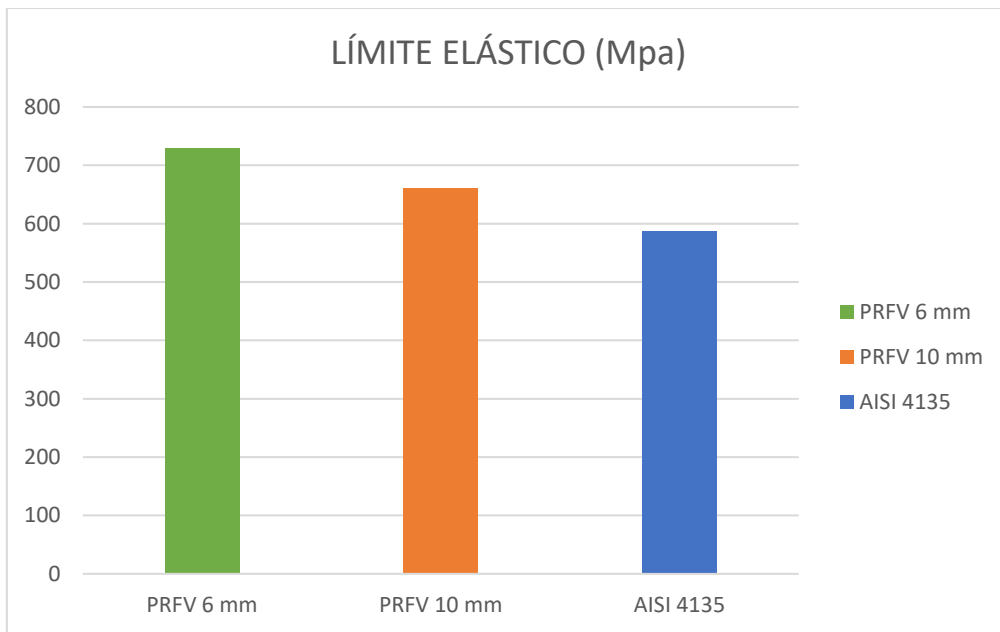


Ilustración 82 COMPARACIÓN DE MÓDULO ELÁSTICO

En el módulo de flexión el AISI 4135 vuelve a superar al material compuesto con creces. En este caso el tener un alto módulo de flexión evita los desplazamientos en el chasis.

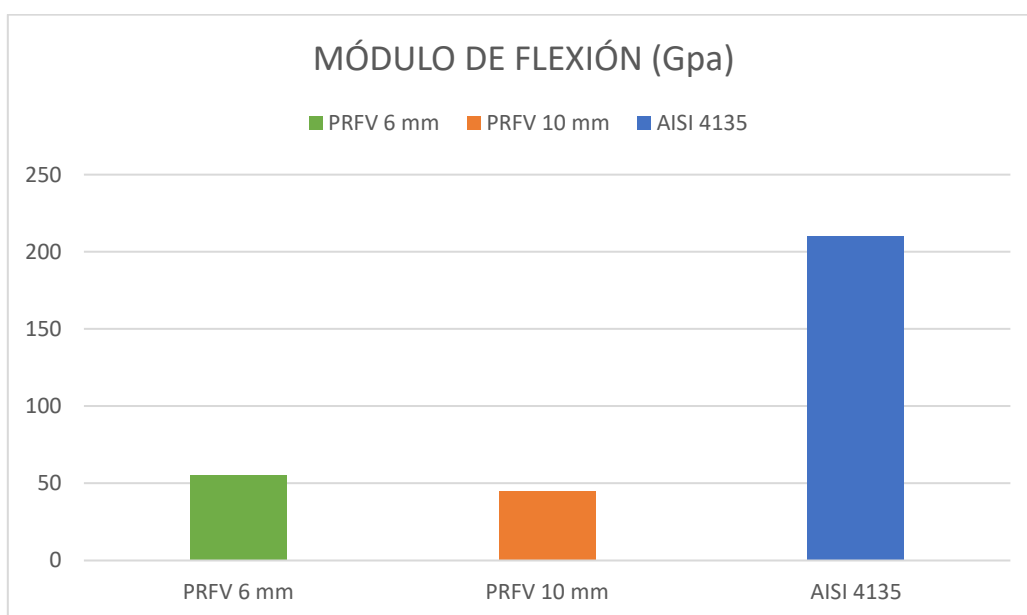


Ilustración 83 COMPARACIÓN DEL MÓDULO DE FLEXIÓN

Finalmente, en la resistencia ultima el material que más capacidad de soporte tiene es el PRFV 6 mm, con una capacidad de carga de 1810 MPa, esto se debe a la cantidad de fibra de vidrio tipo S aplicada para la construcción de este material. Esto permite que el material soporte cargas muy elevadas sin fracturarse o romperse.

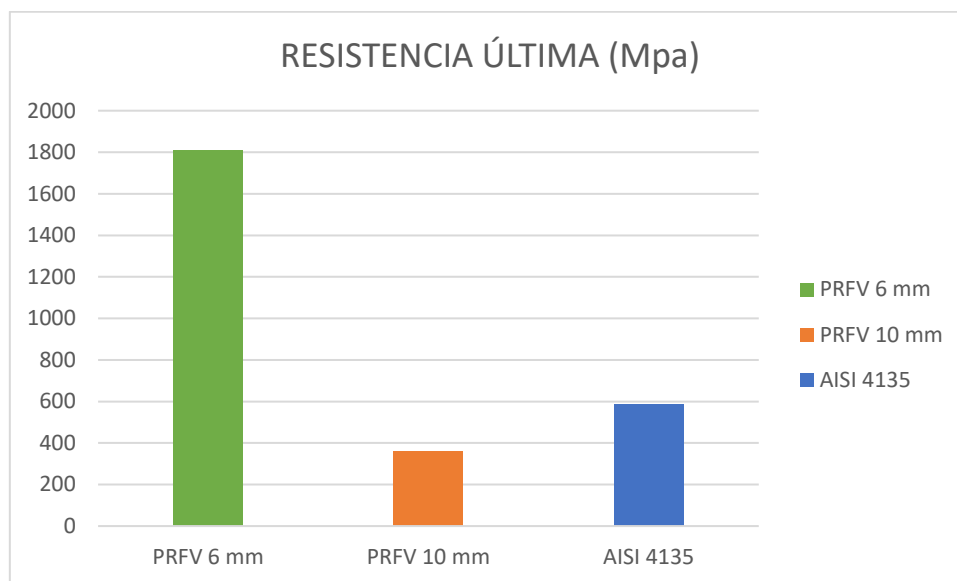


Ilustración 84 COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA

6.5. Calcular el ahorro de combustible en el camión después del cambio de material en el chasis

Después de comparar las masas y pesos del chasis con los diferentes materiales en el objetivo anterior se procedió a calcular el ahorro de combustible en el chasis con el material compuesto, con respecto al hecho con AISI 4135.

Como se mencionó anteriormente el vehículo considerado para este análisis es un camión N3, esto implica que es un vehículo que no utiliza gasolina sino Diesel y que la relación entre el peso de este y su consumo de combustible es directa. [22]

Las velocidades de este camión van de los 0 a los 120 Km/h, para calcular la velocidad promedio se tomó como referencia de 5-120 Km/h dando como resultado 62.5 Km/h. Además de eso se utilizaron otras 5 velocidades para realizar un cálculo más aproximado la realidad.

Para el primer caso es el del chasis con el acero aleado AISI 4135 se utilizó una masa máxima autorizada de 18 Toneladas lo que va de acuerdo con el Reglamento de vehículos pesados [22] y para el caso del chasis con PRFV se le restó los 536 Kg que se disminuyeron debido al cambio de material.

Para definir el precio del Diesel se tomó como referencia el diario el comercio del día 17/11/2021, el cual da como precio mínimo S/11.49 y como precio máximo S/ 22.96, dando un promedio de S/17.225. [27]

El ahorro de combustible se calculó en base a la vida útil de un camión, la cual es de aproximadamente 200 000 Km; a una velocidad de 70 Km/h.

6.5.1. Chasis PRFV

El consumo de combustible del camión con el chasis hecho de PRFV en 200 000 Km a 70 Km/h fue de 40 089 L y la cantidad de emisiones de CO2 fue de 127,28 Kg

Tabla 43 CONSUMO, EMISIONES, COSTO EN 200 000Km PRFV

VELOCIDADES Km/h	PRFV		
	CONSUMO L/2e5 Km	MONTO GAL	EMISIONES Kg/2e5 Km
62,5	40 951	S/. 186 362	130,01
65	40 527	S/. 184 430	128,67
70	40 089	S/. 182 441	127,28
80	40 863	S/. 185 962	129,74
90	43 834	S/. 199 481	139,17
100	49 000	S/. 222 998	155,58

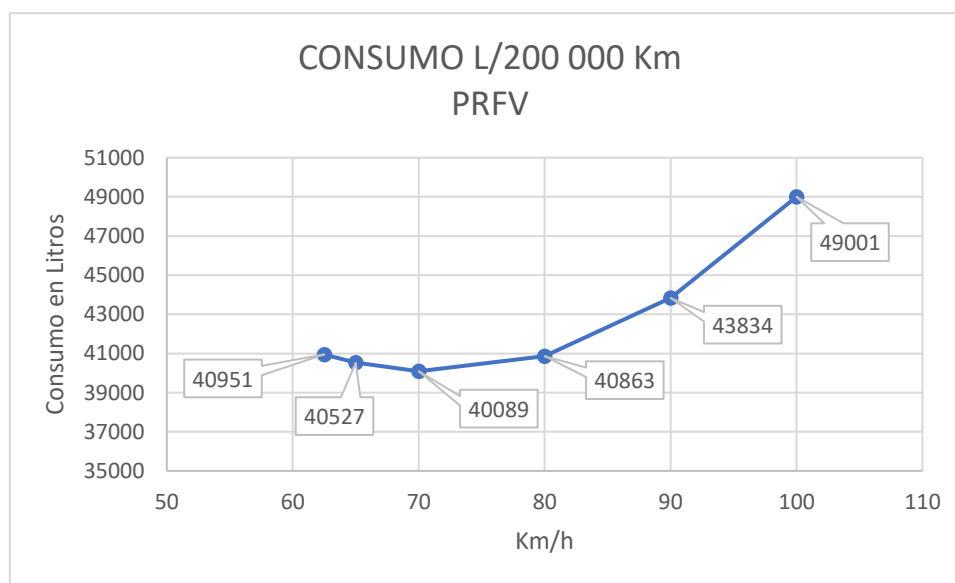


Ilustración 85 CONSUMO DE COMBUSTINBLE EN 200 000 Km PRFV

6.5.2. Chasis AISI 4135

El consumo de combustible del camión con el chasis hecho de AISI 4135 en 200 000 Km a una velocidad de 70Km/h fue de 40 528 L y la cantidad de emisiones de CO2 fue de 128,68 Kg

Tabla 44 CONSUMO, EMISIONES, COSTO EN 200 000Km AISI 4135

AISI 4135			
VELOCIDADES	CONSUMO L/2e5 Km	MONTO GAL	EMISIONES Kg/2e5 Km
62,5	41 389	S/. 188 358	131,41
65	40 965	S/. 186 426	130,06
70	40 528	S/. 184 437	128,68
80	41 301	S/. 187 957	131,13
90	44 272	S/. 201 476	140,56
100	49 440	S/. 224 993	156,97



Ilustración 86 CONSUMO DE COMBUSTINBLE EN 200 000 Km AISI 4135

Tabla 45 AHORRO DE COMBUSTIBLE EN 200 000 Km

AHORRO			
VELOCIDAD	CONSUMO EN L	CONSUMO EN GAL	MONTO GAL
62,5	438,4	115,8	S/ 1 995,31
65	438,4	115,8	S/ 1 995,31
70	438,4	115,8	S/ 1 995,31
80	438,4	115,8	S/ 1 995,31
90	438,4	115,8	S/ 1 995,31
100	438,4	115,8	S/ 1 995,31

En los cuadros anteriores se pudo apreciar que a medida que va aumentando la velocidad de 62.5 Km/h a 70 Km/h el consumo de combustible va disminuyendo, y por ende el costo del combustible y las emisiones. Pero posteriormente se observa un aumento del consumo de combustible, sobrepasando al consumo de la velocidad promedio.

7. Conclusiones

Al aplicar el PRFV en el chasis se redujo el peso del camión en 536 Kg y por consiguiente el consumo de combustible, se consumieron 438.4 L menos de combustible a lo largo de su vida útil. Además, los análisis estático y frecuencial demostraron que el camión resiste una situación de sobre carga de 120 kN sin perder sus propiedades mecánicas en el proceso.

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. El PRFV de 6 mm cuenta con una densidad de 2 060 Kg/m³, un módulo de Young de 60,6 GPa, un límite elástico de 729 MPa un módulo de flexión de 55,7 MPa y una resistencia última de 1810 MPa; y el de 10 mm cuenta con una densidad de 1 980 Kg/m³, un módulo de Young de 54,9 GPa, un límite elástico de 660 MPa un módulo de flexión de 44,8 MPa y una resistencia última de 359 MPa. Posteriormente se recolectó información bibliográfica con respecto a materiales utilizados en situaciones similares para proceder con la elección de uno para la comparación, el material seleccionado fue el acero aleado AISI 4135, que cuenta con una densidad de 7 870Kg/m³, un módulo de Young de 210GPa, un límite elástico de 586 MPa un módulo de flexión de 210MPa y una resistencia última de 586MPa.

Se simuló estática y frecuentemente el chasis con el acero aleado AISI 4135 y con el PRFV, dando como resultado que este último soporta la carga de 120 KN (12.2 toneladas) que le fue aplicado en los dos estudios, los cuales aparentan las situaciones reales a las que el chasis se ve enfrentado. Los resultados de la simulación estática en el chasis utilizando el PRFV y el AISI 4135 y aplicando una sobrecarga de 120kN fueron los siguientes: Esfuerzos máximos por el criterio de Von Mises 5 497 kN y 6 531 kN, desplazamientos resultantes máximos: 0,77e-4 mm y 0,47e-5mm, deformación unitaria máxima: 0,54e-7 y 0,26 e-7 y factor de seguridad mínimo: 3,01 y 2,38 respectivamente.

El chasis hecho con el material compuesto es 536 Kg más liviano que del material tradicional AISI 4135. Esto se debe a la densidad del material, ya que la del PRFV es menor. Además de demostrar que el material creado es superior que el AISI 4135 con respecto a su límite elástico y su resistencia última. Con respecto a los esfuerzos los dos materiales tienen resultados muy similares, a diferencia de los desplazamientos y deformaciones en los cuales el PRFV presenta resultados más elevados en comparación con el AISI 4135, pero estos no afectan a gran escala la resistencia del chasis. Para el factor de seguridad el PRFV tiene un factor mayor que el AISI 4135, esto se debe a sus propiedades mecánicas.

Finalmente, con el peso ahorrado al cambiar el material se calculó el ahorro de combustible en 200 000 Km, utilizando una velocidad promedio de 70 Km/h se logró disminuir en 438.4 L el uso de combustible, lo cual da un ahorro económico de S/1995.31.

8. Recomendaciones

Fabricación de diferentes configuraciones de PRFV en CES Edu Pack en el chasis de un camión de 8Tn para aumentar su vida útil.

Formulación de algoritmo en Matlab para el cálculo del consumo de combustible en el camión de 8Tn con chasis de PRFV

Desarrollo del sistema de monitoreo de velocidad y consumo de combustible en tiempo real para flota de camiones de 8Tn.

9. Referencias

- [1] I. C. D. PERÚ, «INTERPERU,» [En línea]. 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,»

- International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 3, nº 4, p. 5, 2016.
- [3] C. G. A. L. O. González, «Introducción al método del elemento finito: SolidWorks y Matlab,» *IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA*, p. 22, 2019.
- [4] A. Agarwal and L. Mthembu, "FE design analysis and optimization of heavy-duty truck chassis using sparse grid initialization technique," *Materials Today: Proceedings*, vol. 60, no. 3, pp. 2084-2092, 2022.
- [5] S. C. M. V. C. Vinodbabu, «Modal and Static Analysis of Automotive Chassis Frame by Using FEA,» *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, nº 20, p. 3, 2015.
- [6] D. S. A. Tomar, «Static Analysis, Modal Analysis and Design Modification in Chassis Frame to Optimize Weight by Using Composite Material,» *International Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 5, nº 1, p. 8, 2016.
- [7] A. V. B. R. V. A. S. L. P. J. G. A. P. Senthil, «Finite Element Modal Analysis of Composite Heavy Vehicle Chassis Using ANSYS,» *Rasayan*, vol. 10, nº 2, p. 9, 2017.
- [8] R. A. R. T. Han, «Static and Dynamics Structural Analysis of a 4.5 TON Truck Chassis,» *Jurnal Mekanikal*, vol. 24, nº 56, p. 12, 2007.
- [9] C. Á. Y. B. J. M. E. C. C. Chagoyén, «Comportamiento estático y modal del chasis de un ómnibus modernizado,» *Ingeniería Mecánica*, vol. 16, nº 2, p. 10, 2013.
- [10] A. Siraj, N. R. Babu and K. S. Reddy, "Static analysis of dump truck chassis frame made of composite materials," *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 2, p. 11, 2019.
- [11] K. Rai, S. Mahadeokar, A. Mehre and A. Patel, "DESIGN & COMPARATIVE ANALYSIS OF TRUCK CHASSIS," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 5, no. 3, 2023.
- [12] S. De, K. Singh, J. Seo, R. Kapania, E. Ostergaard, N. Angelini and R. Agüero, "Lightweight Chassis Design of Hybrid Trucks Considering Multiple Road Conditions and Constraints," *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [13] L. A. Rabanal Cotrina, «Soporte de retención de tolva cat MSD II para mejorar la disponibilidad de un camión cat 793 en la empresa GUVI Servis EIRL Cajamarca,» 2020.

- [14] I. ARÁNEGA-ROBLEDILLO, «REFORMA DE IMPORTANCIA PARA LA TRANSFORMACIÓN DE UN VEHÍCULO N3 CON CLASIFICACIÓN 22.20 A CAMIÓN BOMBEROS 22.46,» 2021.
- [15] F. P. Beer, MECÁNICA DE MATERIALES, Mexico: Mc Graw Hill, 2013.
- [16] J. Á. C. Deán, «ANÁLISIS MODAL DE UN AUTOBUS,» Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2014.
- [17] VE Commercial Vehicles Limited, «indiamart.com,» [En línea]. Available: <https://pdf.indiamart.com/sidpdf/105734-2/eicher-pro-1110-truck-6-wheeler-11-99-tonne-gvw.pdf>. [Último acceso: 06 05 2021].
- [18] H. Rodriguez, «Clasificación de categorías y tipos de vehículos,» Sevilla.
- [19] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ, «Parque vehicular autorizado de empresas de carga segun ambito y clase,» 2018.
- [20] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ, «Parque vehicular autorizado del transporte de carga general nacional, por clase de vehiculo segun departamento,» 2017.
- [21] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERÚ, «Parque vehicular autorizado del transporte de carga general en el ambito nacional, por clase de vehiculo, segun sus principales marcas,» 2017.
- [22] Dirección General de Tráfico, Reglamentacion sobre vehiculos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa, 2015.
- [23] F. Stupenengo, de *Materiales y materias primas*, Buenos Aires, 2011.
- [24] J. Shackelford, Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros, Madrid: Pearson, 2010.
- [25] H. L. H. Flores, «EVALUACION DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIESTER INSATURADA REFORZADO CON FIBRA DE LINO, MEDIANTE SU VARIACION DEL PORCENTAJE EN PESO Y MODIFICACIÓN SUPERFICIAL EN CADENA DEL REFUERZO,» Trujillo, 2019.
- [26] P. K. A. J. M. M. K. A. Sharma, «Structural Analysis of a Heavy Vehicle Chassis Made of Different Alloys by Different Cross Sections,» *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, nº 6, p. 8, 2014.

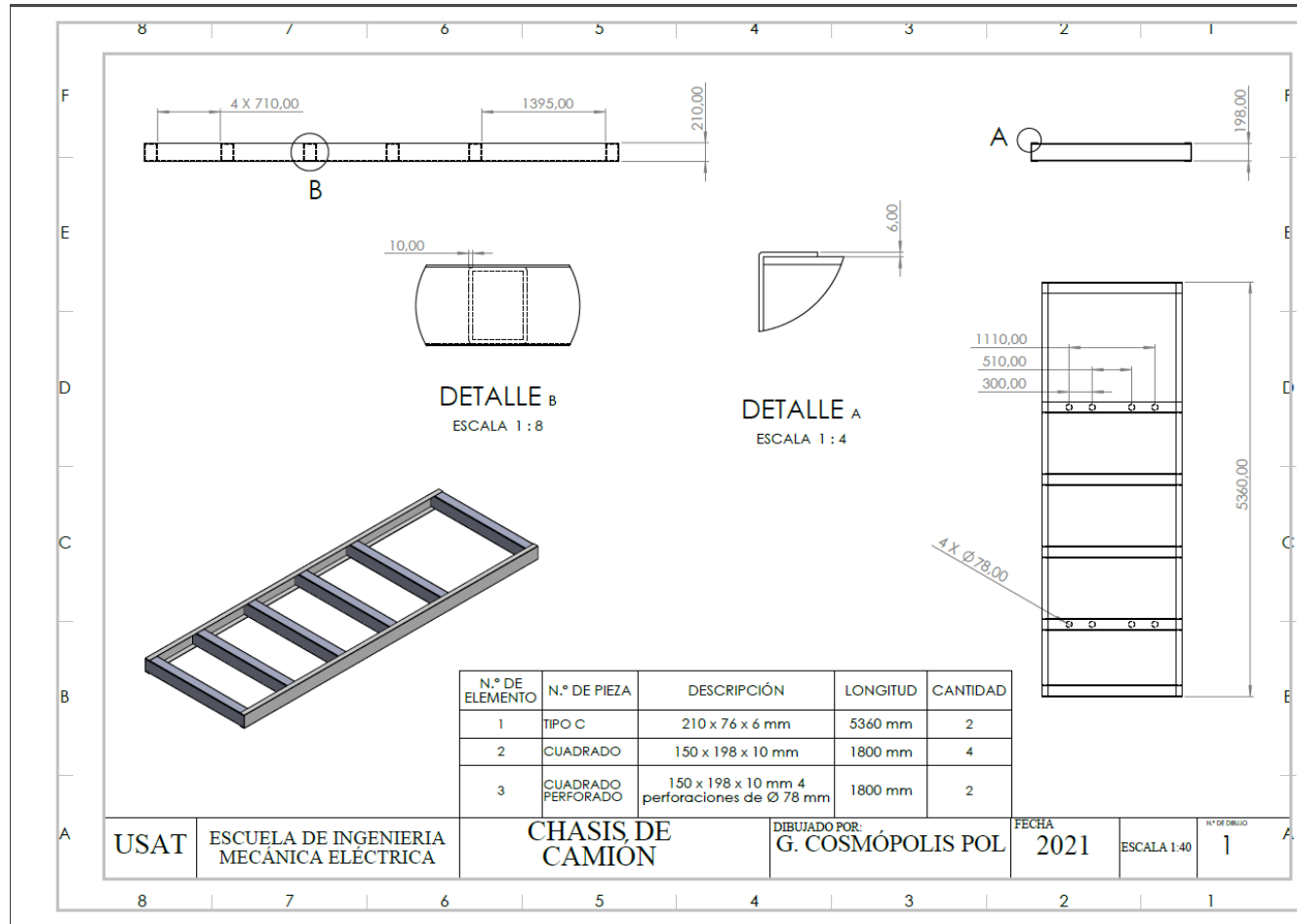
- [27] Diario El Comercio, «¿Cual es el precio de los combustibles hoy, miercoles 17 de noviembre?», *El Comercio*, 17 Noviembre 2021.
- [28] E. J. Barbero, INTRODUCTION TO COMPOSITE MATERIALS DESIGN, Boca Ratón: CRC Press, 2018.
- [29] VE COMMERCIAL VEHICLES, «EICHER PRO 1110,» Haryana, India.

Anexos

- Camión de 8 Toneladas EICHER PRO 1110



- Plano del chasis del camión EICHER PRO 1110



- Ficha informativa Fibra de vidrio tipo S

General information

Designation

Glass, S grade fiber

Typical uses

Reinforcement, as single fibers or yarn or woven mat, in PMCs, MMCs, and CMSs

Composition overview

Compositional summary

65%SiO₂-25%Al₂O₃-10%MgO

Form	Fiber
Material family	Glass
Base material	Oxide

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al ₂ O ₃ (alumina)	25	%
MgO (magnesia)	10	%
SiO ₂ (silica)	65	%

Price

Price	* 19,6	- 32,6	USD/kg
Price per unit volume	* 4,86e4	- 8,13e4	USD/m ³

Physical properties

Density	2,49e3	- 2,5e3	kg/m ³
Porosity (closed)	0		%
Porosity (open)	0		%

Mechanical properties

Young's modulus	86	- 93	GPa
Specific stiffness	34,5	- 37,4	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 3,75e3	- 4,09e3	MPa
Tensile strength	4,7e3	- 4,8e3	MPa
Specific strength	* 1,51e3	- 1,64e3	kN.m/kg
Elongation	5,2	- 5,3	% strain
Compressive strength	* 4e3	- 5e3	MPa
Flexural modulus	* 86	- 93	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	4,5e3	- 4,9e3	MPa
Shear modulus	* 35	- 39	GPa
Bulk modulus	* 51	- 55	GPa
Poisson's ratio	0,21	- 0,23	

Shape factor	1		
Hardness - Vickers	500	- 600	HV
Elastic stored energy (springs)	* 7,81e4	- 9,39e4	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 4,05e3	- 4,41e3	MPa

Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 0,5	- 1	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0,00306	- 0,0102	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 650	- 680	°C
Maximum service temperature	300	- 320	°C
Minimum service temperature	-273		°C
Thermal conductivity	1,2	- 1,35	W/m.°C
Specific heat capacity	735	- 740	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	2,8	- 2,95	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 1,43e4	- 1,62e4	°C
Thermal distortion resistance	* 0,415	- 0,472	MW/m

Electrical properties

Electrical resistivity	3,16e15	- 1e16	µhm.cm
Electrical conductivity	1,72e-14	- 5,46e-14	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	5,2	- 5,34	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,002	- 0,007	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 15	- 20	MV/m

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Color	Clear
Refractive index	1,51 - 1,53
Transparency	Transparent
Acoustic velocity	5,88e3 - 6,11e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-5 - 1e-4

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
Notes	Al (aluminum) added to the 2018 US critical minerals list

Durability

Water (fresh)	Excellent
---------------	-----------

Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Limited use
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Halogens	Limited use
Metals	Limited use
Flammability	Non-flammable

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	49,3	-	54,3	MJ/kg
Sources 40.4 MJ/kg (Dhingra, Overly Davis, 1999); 45.9 MJ/kg (Ecoinvent v2.2); 54.7 MJ/kg (Shen and Patel, 2008); 66 MJ/kg (Kemna et al. 2005)				
CO2 footprint, primary production	2,85	-	3,14	kg/kg
Sources 2.63 kg/kg (Ecoinvent v2.2); 3.36 kg/kg (Kemna et al. 2005)				
Water usage	* 281	-	311	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Fabric production energy	* 2,48	-	2,73	MJ/kg
Fabric production CO2	* 0,198	-	0,218	kg/kg
Fabric production water	* 1,03	-	1,55	l/kg
Prepreg production energy	* 38,1	-	42	MJ/kg
Prepreg production CO2	* 3,05	-	3,36	kg/kg
Prepreg production water	* 18,3	-	27,4	l/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘		
Recycle fraction in current supply	0,1		%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✘		
Landfill	✓		
Biodegrade	✘		

Notes

Other notes

Properties for fibers are those parallel to the fiber axis. The yield strength has been equated to the tensile strength for brittle fibers.

- Ficha informativa matriz de poliéster rígida

General information

Designation

Polyester cast (Rigid)

Tradenames

Ad-Tech, Ampal, Aropol, Atlac, Bakelite, Corezyn, Dion, Glasthan, Glastic, Hetron, Plenco, Polyrite, Premi-Glas, Ralupol, Silmar, Varimat

Typical uses

Laminated structures, surface gel coatings, liquid castings, furniture products, bowling balls, simulated marble, sewer pipe gaskets, pistol grips, television tube implosion barriers, boats, truck cabs, concrete forms, lamp housings, skylights, fishing rods.

Composition overview

Compositional summary

Cross-linked copolymer of unsaturated polyester (typically from maleic anhydride, phthalic anhydride, and propylene glycol) and styrene, 2:1 typical ratio

Material family	Plastic (thermoset)
Base material	UP (Unsaturated polyester resin)
Polymer code	UP

Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	100	%
---------	-----	---

Price

Price	* 3,84	- 4,3	USD/kg
Price per unit volume	* 3,99e3	- 6,02e3	USD/m ³

Physical properties

Density	1,04e3	- 1,4e3	kg/m ³
---------	--------	---------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	2,07	- 4,41	GPa
Specific stiffness	1,68	- 3,72	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 33	- 40	MPa
Tensile strength	41,4	- 89,6	MPa
Specific strength	* 25,3	- 35,8	kN.m/kg
Elongation	2	- 2,6	% strain
Compressive modulus	* 2,07	- 4,41	GPa
Compressive strength	* 140	- 207	MPa
Flexural modulus	3,37	- 4,19	GPa

Flexural strength (modulus of rupture)	75	-	159	MPa
Shear modulus	* 0,744	-	1,59	GPa
Bulk modulus	* 4,49	-	4,71	GPa
Poisson's ratio	0,381	-	0,403	
Shape factor	7,2			
Hardness - Vickers	* 10	-	22	HV
Hardness - Rockwell M	* 60	-	66	
Hardness - Rockwell R	95	-	105	
Elastic stored energy (springs)	* 145	-	328	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 16,6	-	35,8	MPa

Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 1,09	-	1,69	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0,363	-	1,02	kJ/m ²
Impact strength, notched 23 °C	1,1	-	2,1	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 150	-	210	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	240	-	280	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	130	-	171	°C
Maximum service temperature	112	-	128	°C
Minimum service temperature	* -43	-	7	°C
Thermal conductivity	* 0,287	-	0,299	W/m.°C
Specific heat capacity	* 1,51e3	-	1,57e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	99	-	180	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 56,8	-	143	°C
Thermal distortion resistance	* 0,00163	-	0,00296	MW/m

Electrical properties

Electrical resistivity	3,3e18	-	3e19	µohm.cm
Electrical conductivity	5,75e-18	-	5,22e-17	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	2,8	-	4,4	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,003	-	0,04	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	15	-	19,7	MV/m
Comparative tracking index	600			V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Transparent
--------------	-------------

Acoustic velocity	1,27e3	-	1,97e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,00907	-	0,0193	

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs	0,15	-	0,6	%
---------------------------	------	---	-----	---

Processing properties

Polymer injection molding	Unsuitable
Polymer extrusion	Unsuitable
Polymer thermoforming	Unsuitable
Linear mold shrinkage	0,2 - 0,3 %
Molding pressure range	* 3 - 15 MPa

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Acceptable
Strong acids	Acceptable
Weak alkalis	Unacceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Unacceptable
Oxidation at 500C	Unacceptable
UV radiation (sunlight)	Fair
Flammability	Highly flammable

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	67,9	-	74,8	MJ/kg
-------------------------------------	------	---	------	-------

Sources

64,5 MJ/kg (Patel, 2003); 78 MJ/kg (Song, Youn, Gutowski, 2009)

CO2 footprint, primary production	2,41	-	2,66	kg/kg
-----------------------------------	------	---	------	-------

Sources

Data reported by sources are for CO2, values were converted to CO2 footprint using the relationship: CO2 footprint = CO2 * 1.08. Relationship taken from Hammond and Jones, 2008. Note that this is only captures fuel use (i.e. not including any process related emissions). This is for the average mixture of fuels used in the UK industry.

2,39 kg/kg (Patel, 2003)

Water usage	* 190	-	210	l/kg
-------------	-------	---	-----	------

Processing energy, CO2 footprint & water

Polymer molding energy	* 25,3	-	27,9	MJ/kg
Polymer molding CO2	* 2,02	-	2,23	kg/kg
Polymer molding water	* 15,3	-	23	l/kg

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1,82	- 2,01	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,136	- 0,15	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 13,9	- 15,3	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 1,04	- 1,15	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 27,3	- 30,2	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 2,05	- 2,26	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘		
Recycle fraction in current supply	0,1		%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✓		
Heat of combustion (net)	* 28	- 29,4	MJ/kg
Combustion CO2	* 2,49	- 2,62	kg/kg
Landfill	✓		
Biodegrade	✘		

- Ficha informática plástico reforzado con fibra de vidrio 6 mm de espesor

Price

Price	21,1	USD/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)	

Physical properties

Density	2,06e3	kg/m ³
---------	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	60,6	GPa
Notes	Propiedad en el plano	
Yield strength (elastic limit)	729	MPa
Notes	Propiedad en el plano	
Flexural modulus	55,7	GPa
Notes	Para doblar sobre un eje del plano	
Flexural strength (modulus of rupture)	1,81e3	MPa
Notes	Para doblar sobre un eje del plano	

Thermal properties

Thermal conductivity	0,602	W/m.°C
Notes	A través de la propiedad de espesor	
Specific heat capacity	893	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	46,4	µstrain/°C
Notes	A través de la propiedad de espesor	

Electrical properties

Electrical resistivity	3,32e18	µohm.cm
Notes	A través de la propiedad de espesor	
Dielectric constant (relative permittivity)	4,68	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,00615	

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	55,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,9	kg/kg

Registros utilizados:

Capa 4 (superior) = Polyester (cast, rigid)
 Capa 3 = Glass, S grade (10 micron monofilament, f)
 Capa 2 = Polyester (cast, rigid)
 Capa 1 (inferior) = Glass, S grade (10 micron monofilament, f)

Parámetros:

Capa de espesor 4 (superior) = 1 mm
 Capa de espesor 3 = 2 mm
 Capa de espesor 2 = 1 mm
 Capa de espesor 1 (inferior) = 2 mm

Modelo: Materiales multicapa, 4 capas

Fecha del estudio: sábado, 18 de julio de 2020

- Ficha informática plástico reforzado con fibra de vidrio 10 mm de espesor

Price

Price	20,1	USD/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)	

Physical properties

Density	1,98e3	kg/m ³
---------	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	54,9	GPa
Notes	Propiedad en el plano	
Yield strength (elastic limit)	660	MPa
Notes	Propiedad en el plano	
Flexural modulus	44,8	GPa
Notes	Para doblar sobre un eje del plano	
Flexural strength (modulus of rupture)	359	MPa
Notes	Para doblar sobre un eje del plano	

Thermal properties

Thermal conductivity	0,544	W/m.°C
Notes	A través de la propiedad de espesor	
Specific heat capacity	933	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	55,1	µstrain/°C
Notes	A través de la propiedad de espesor	

Electrical properties

Electrical resistivity	3,98e18	µohm.cm
Notes	A través de la propiedad de espesor	
Dielectric constant (relative permittivity)	4,57	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,00663	

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	56,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,88	kg/kg

Registros utilizados:

Capa 7 (superior) = Polyester (cast, rigid)
 Capa 6 = Glass, S grade (10 micron monofilament, f)
 Capa 5 = Polyester (cast, rigid)
 Capa 4 = Glass, S grade (10 micron monofilament, f)
 Capa 3 = Polyester (cast, rigid)
 Capa 2 = Glass, S grade (10 micron monofilament, f)
 Capa 1 (inferior) = Polyester (cast, rigid)

Parámetros:

Capa de espesor 7 (superior) = 1 mm
 Capa de espesor 6 = 2 mm
 Capa de espesor 5 = 1 mm
 Capa de espesor 4 = 2 mm
 Capa de espesor 3 = 1 mm
 Capa de espesor 2 = 2 mm
 Capa de espesor 1 (inferior) = 1 mm

Modelo: Materiales multicapa, 7 capas
 Fecha del estudio: sábado, 18 de julio de 2020

- Ficha informativa del acero aleado AISI 4135

General information

Designation

AISI 4135	
Condition	Normalized
UNS number	G41350
US name	SAE 4137, SAE 4135H, SAE 4135, SAE 17-22-A S, ASTM L7M, ASTM L7B, ASTM G41370, ASTM G55, ASTM F70, ASTM F65, ASTM B1, ASTM 4137, ASTM 4130H, ASTM 4130, ~SAE 4130, ~ASTM H 70, ~ASTM H65, ~ASTM H55, ~ASTM G41300, ~ASTM G70, ~ASTM G65, ~ASTM 4130
EN name	~34CrMo4
EN number	~1.7226, ~1.722
ISO name	34CrMoS4, 33CrAlMo5-4, ~34CrMo4
GB (Chinese) name	~ML35CrMo
JIS (Japanese) name	SCM430, SCM 3

Typical uses

General construction, general mechanical engineering, automotive, pressure vessels, pipework

Composition overview

Compositional summary

Fe97-98 / Cr0.8-1.1 / Mn0.7-0.9 / C0.33-0.38 / Si0.15-0.35 / Mo0.15-0.25 (impurities: S<0.04, P<0.035)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,33	-	0,38	%
Cr (chromium)	0,8	-	1,1	%
Fe (iron)	* 96,9	-	97,9	%
Mn (manganese)	0,7	-	0,9	%
Mo (molybdenum)	0,15	-	0,25	%
P (phosphorus)	0	-	0,035	%
S (sulfur)	0	-	0,04	%
Si (silicon)	0,15	-	0,35	%

Price

Price	* 0,81	-	0,85	USD/kg
Price per unit volume	* 6,31e3	-	6,69e3	USD/m ³

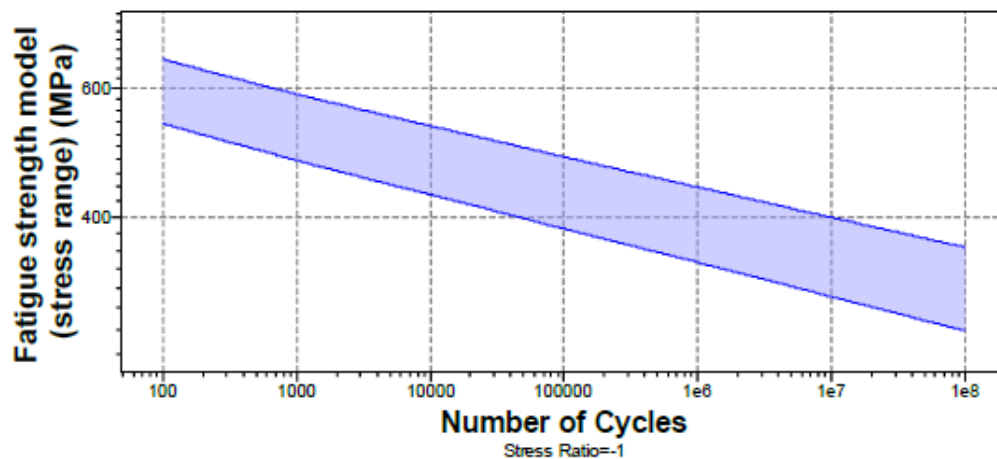
Physical properties

Density	7,79e3	-	7,87e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	200	-	210	GPa
Specific stiffness	25,5	-	26,9	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	483	-	586	MPa
Tensile strength	621	-	690	MPa
Specific strength	61,7	-	74,8	kN.m/kg
Elongation	8	-	18	% strain
Compressive strength	* 483	-	614	MPa
Flexural modulus	* 200	-	210	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	483	-	586	MPa
Shear modulus	76	-	79,9	GPa
Bulk modulus	185	-	195	GPa
Poisson's ratio	0,32	-	0,333	
Shape factor	45			
Hardness - Vickers	200	-	240	HV
Hardness - Brinell	190	-	230	HB
Elastic stored energy (springs)	573	-	831	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	338	-	368	MPa
Fatigue strength model (stress range)	311	-	400	MPa

[Parámetros:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 90	-	110	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	39,8	-	58,5	kJ/m ²

Thermal properties

Melting point	* 1,26e3	-	1,58e3	°C
Maximum service temperature	470	-	524	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-43	°C
Thermal conductivity	48	-	52	W/m.°C
Specific heat capacity	461	-	480	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	12,4	-	13,1	µstrain/°C
Thermal shock resistance	184	-	226	°C
Thermal distortion resistance	* 3,74	-	4,11	MW/m
Latent heat of fusion	* 284	-	326	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	20	-	24	µohm.cm
Electrical conductivity	7,18	-	8,62	%IACS
Galvanic potential	* -0,5	-	-0,42	V

Magnetic properties

Magnetic type	Magnetic
---------------	----------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque	
Acoustic velocity	5,05e3 - 5,18e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 4e-4 - 9e-4	

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Processing properties

Metal casting	Unsuitable	
Metal cold forming	Excellent	
Metal hot forming	Excellent	
Metal press forming	Excellent	
Metal deep drawing	Limited use	
Machining speed	23,5	m/min
Weldability	Good	
Notes	Preheating and post weld heat treatments are required	
Carbon equivalency	0,637 - 0,8	

Durability

Water (fresh)	Acceptable
Water (salt)	Limited use
Weak acids	Limited use

Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Limited use
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Acceptable
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Acceptable
Flammability	Non-flammable

Corrosion resistance of metals

Stress corrosion cracking	Slightly susceptible
Notes	Rated in chloride. Maybe susceptible in halide, ammonia, nitrogen, acidic, caustic, carbonate environments

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	30,8	-	33,9	MJ/kg
-------------------------------------	------	---	------	-------

Sources

18.4 MJ/kg (Dhingra, Overly Davis, 1998); 23 MJ/kg (Norgate, Jahanshahi, Rankin, 2007); 27.9 MJ/kg (Ecoinvent v2.2); 29.2 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 32.8 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 34.7 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 35.4 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 37.2 MJ/kg (Sullivan and Gaines, 2010); 38 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 45.4 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008)

CO2 footprint, primary production	2,26	-	2,49	kg/kg
-----------------------------------	------	---	------	-------

Sources

0.366 kg/kg (Voet van der and Oers, van, 2003); 1.75 kg/kg (Ecoinvent v2.2); 1.81 kg/kg (Voet van der and Oers, van, 2003); 2.23 kg/kg (Voet van der and Oers, van, 2003); 2.3 kg/kg (Norgate, Jahanshahi, Rankin, 2007); 2.74 kg/kg (Hammond and Jones, 2008); 2.77 kg/kg (Hammond and Jones, 2008); 2.87 kg/kg (Hammond and Jones, 2008); 2.89 kg/kg (Hammond and Jones, 2008); 3.03 kg/kg (Hammond and Jones, 2008); 3.27 kg/kg (Hammond and Jones, 2008)

Water usage	* 46,7	-	51,7	l/kg
-------------	--------	---	------	------

Processing energy, CO2 footprint & water

Casting energy	* 10,8	-	12	MJ/kg
Casting CO2	* 0,812	-	0,897	kg/kg
Casting water	* 20,5	-	30,7	l/kg
Roll forming, forging energy	* 4,69	-	5,18	MJ/kg
Roll forming, forging CO2	* 0,352	-	0,389	kg/kg
Roll forming, forging water	* 3,56	-	5,33	l/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 9,09	-	10,1	MJ/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0,682	-	0,754	kg/kg
Extrusion, foil rolling water	* 5,44	-	8,16	l/kg
Wire drawing energy	* 33,3	-	36,8	MJ/kg
Wire drawing CO2	* 2,5	-	2,76	kg/kg
Wire drawing water	* 12,6	-	18,8	l/kg
Metal powder forming energy	* 36,1	-	40	MJ/kg
Metal powder forming CO2	* 2,89	-	3,2	kg/kg
Metal powder forming water	* 39,5	-	59,2	l/kg

Vaporization energy	* 1,21e4	-	1,34e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 911	-	1,01e3	kg/kg
Vaporization water	* 5,06e3	-	7,59e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1,14	-	1,26	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0852	-	0,0941	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 7,08	-	7,83	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,531	-	0,587	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 13,7	-	15,1	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,03	-	1,13	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 121	-	134	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 9,11	-	10,1	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 8,1	-	8,96	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 0,636	-	0,703	kg/kg
Recycle fraction in current supply	39,9	-	44	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			