

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño y simulación de una barra estabilizadora utilizando CFRP para  
aumentar su vida útil en un auto Toyota Yaris Gr**

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

**AUTOR**

**Elian Roberto Teran Jauregui**

**ASESOR**

**Jony Villalobos Cabrera**

**<http://orcid.org/0000-0003-3643-5498>**

**Chiclayo, 2023**

**Diseño y simulación de una barra estabilizadora utilizando  
CFRP para aumentar su vida útil en un auto Toyota Yaris Gr**

PRESENTADA POR

**Elian Roberto Teran Jauregui**

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

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**APROBADA POR**

Wilson Alejandro Jiménez Zuloeta

PRESIDENTE

Elmer Orlando Polo Briceño

SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera

VOCAL

## **Dedicatoria**

A mi padre y a mi madre que está en el cielo, por inculcarme los valores de la responsabilidad y la perseverancia, así como incentivar me a desarrollarme como profesional y brindarme su apoyo incondicional.

## **Agradecimientos**

Un agradecimiento especial por todo el apoyo metodológico y profesional para la orientación en el desarrollo de esta tesis a los ingenieros Jony Villalobos Cabrera y Elmer Orlando Polo Briceño, esta tesis no hubiera sido posible sin su participación. Asimismo, gracias por la gran cantidad y calidad de saberes brindados en este tiempo.

Así mismo agradezco a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a toda su plana docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante nuestra formación profesional.

Por último, agradezco el apoyo incondicional de mi familia, así como el de mis amigos y compañeros Josemaría Torres Villarreal y Jean Kevin Zevallos Diez, por su apoyo moral e intelectual en el desarrollo de mi carrera universitaria.

## TESIS 100% ENTREGA 02

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>19%</b>	<b>18%</b>	<b>2%</b>	<b>9%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.ptolomeo.unam.mx:8080</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Aliat Universidades</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uniandes.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>itzamna.bnct.ipn.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

## Índice

<b>I. Introducción</b> .....	13
<b>1.1. Objetivos</b> .....	14
<b>II. Revisión de literatura</b> .....	15
2.1. Antecedentes .....	15
2.2. Bases teórico científicas.....	16
2.2.1. Sistema de suspensión automotriz .....	16
2.2.1.1. Soportes .....	16
2.2.1.2. Elementos elásticos primarios .....	17
2.2.2. Tipos de barras estabilizadoras.....	18
2.2.2.1. De suspensión Rígida.....	18
2.2.2.2. De suspensión independiente.....	18
2.2.2.3. De suspensión semi rígida .....	19
2.2.3. Criterio de Von Mises .....	19
2.2.4. Fibras de carbono.....	20
2.2.4.1. TEJIDOS DE FIBRAS DE VIDRIO Y DE FIBRAS DE CARBONO.....	21
2.2.4.2. MATRICES POLIMÉRICAS.....	21
2.2.4.3. RESINAS TERMOPLASTICAS.....	21
2.2.4.3.1. Poliacetato de vinilo.....	22
2.2.4.3.2. Polimetacrilatos.....	22
2.2.4.3.3. Policloruro de vinilo.....	22
2.2.4.3.4. Polietileno.....	23
2.2.4.3.5. Polipropileno.....	23
2.2.4.4. RESINAS TERMOESTABLES .....	23
2.2.4.4.1. Resina poliéster .....	23
2.2.4.4.2. Resina epoxy.....	24
2.2.4.4.3. Resina fenólica.....	24
2.2.5. Software .....	24
2.2.5.1. SolidWorks .....	24
2.2.5.2. CES Edupack .....	24
<b>III. Materiales y métodos</b> .....	27
3.1. Tipo y nivel de investigación .....	27

3.1.1.	Tipo de Investigación.....	27
3.1.2.	Nivel de investigación.....	27
3.2.	Diseño de investigación .....	27
3.3.	Población, muestra, muestreo.....	28
3.4.	Criterios de selección.....	28
3.5.	Operacionalización de variables.....	28
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	30
3.7.	Procedimientos .....	30
<b>3.8.</b>	<b>Plan de procesamiento y análisis de datos.....</b>	<b>30</b>
3.8.1.	Medidas de la barra.....	30
3.8.1.1.	Longitud de brazo de dirección a primera curva.....	30
3.8.1.2.	Distancia entre primera y segunda curva.....	31
3.8.1.3.	Radios de la segunda curva.....	32
3.8.1.4.	Longitud de adaptación a diseño.....	33
3.9.	Matriz de consistencia .....	35
<b>3.10.</b>	<b>Consideraciones éticas .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.</b>	<b>Matriz de selección de conceptos.....</b>	<b>37</b>
4.2.	Matriz de necesidades-métricas.....	40
4.3.	Selección de materiales y combinaciones a utilizar.....	45
4.4.	Geometría de la barra.....	48
4.5.	Cálculo de fuerzas a utilizar .....	51
4.6.1.	Software SolidWorks .....	52
4.6.1.1.	En eje X-Y .....	52
4.6.1.2.	En eje X-Z .....	56
4.7.	Análisis de fatiga en SolidWorks .....	60
4.7.1.	ACERO 5160.....	61
4.7.2.	VINIL FLEXIBLE/ FIBRA DE CARBONO HS AL 85% .....	62
4.7.3.	VINIL NOVOLAC/ FIBRA DE CARBONO HS 85% .....	64
4.8.	Comparación de resultados de análisis de fatiga.....	66
<b>V.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>70</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>71</b>
<b>VII.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>72</b>

VIII. ANEXOS .....	74
--------------------	----

## Lista de tablas

Tabla 1: Tabla de necesidades e importancias. Fuente propia.....	41
Tabla 2: Tabla de necesidades y métricas. Fuente propia. ....	41
Tabla 3: Tabla de relaciones entre necesidades y métricas. Fuente propia. ....	43
Tabla 4: Valores de métricas de otras marcas en el mercado. Fuente propia. ....	43
Tabla 5: Valores de métricas de otras marcas en el mercado. Fuente propia. ....	44
Tabla 6: Rango de valores para las métricas. Fuente propia. ....	45
Tabla 7: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160. Fuente propia. ....	62
Tabla 8: Valores máximos y mínimos de Vida útil en material ACERO 5160. Fuente propia. ....	62
Tabla 9: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	64
Tabla 10: Valores máximos y mínimos de Vida útil material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia.....	64
Tabla 11:Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	65
Tabla 12: Valores máximos y mínimos de Vida útil material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia.....	66
Tabla 13: Comparación de valores de Vida útil en los nodos para los 3 materiales. Fuente propia. ....	66
Tabla 14: Comparación de valores máximos y mínimos de Vida útil para los 3 materiales. Fuente propia. ....	67
Tabla 15: Precio del material. Fuente propia.....	68
Tabla 16:Precio de servicios e instrumentos. Fuente propia. ....	69
Tabla 17: Costo total de producción. Fuente propia. ....	69

## Lista de figuras

Ilustración 1:Funcion de la barra estabilizadora. Fuente Tecnología del automóvil.....	16
Ilustración 2: Longitud de brazo de dirección a primera curva. Fuente propia. ....	31
Ilustración 3: Longitud de brazo de dirección a primera curva. Fuente propia. ....	31
Ilustración 4: Distancia entre primera y segunda curva. Fuente propia. ....	31
Ilustración 5: Distancia entre primera y segunda curva. Fuente propia. ....	32
Ilustración 6: Radios de la segunda curva. Fuente propia. ....	32
Ilustración 7: Radios de la segunda curva. Fuente propia. ....	32
Ilustración 8: Radios de la segunda curva. Fuente propia. ....	33
Ilustración 9: Longitud de adaptación a diseño. Fuente propia. ....	33
Ilustración 10: Longitud de adaptación a diseño. Fuente propia. ....	34
Ilustración 11: Barra estabilizadora de suspensión rígida. Fuente propia. ....	39
Ilustración 12: Barra estabilizadora de suspensión semirrígida.....	39
Ilustración 13: Barra estabilizadora de suspensión independiente. Fuente propia.....	40
Ilustración 14: Geometría de la barra. Fuente propia. ....	48
Ilustración 15: Dimensiones de la barra parte frontal y adaptación al cárter. Fuente propia.....	49
Ilustración 16: Dimensiones de curva a brazo de suspensión. Fuente propia.....	49
Ilustración 17: Dimensiones de anclajes a barra de suspensión. Fuente propia.....	50
Ilustración 18: Dimensiones agujeros de anclajes. Fuente propia. ....	50
Ilustración 19: Dimensiones de anclajes a chasis. Fuente propia. ....	51
Ilustración 20: Fuerzas cortantes en eje X-Y. Fuente propia. ....	52
Ilustración 21: Fuerza cortante en anclaje A Plano X-Y. Fuente propia. ....	52
Ilustración 22: Fuerza cortante en anclaje B Plano X-Y. Fuente propia. ....	53
Ilustración 23: Momentos flectores en eje X-Y. Fuente propia. ....	54
Ilustración 24: Momento flector en anclaje A Plano X-Y. Fuente propia. ....	55
Ilustración 25: Momento flector en anclaje B Plano X-Y. Fuente propia. ....	56
Ilustración 26: Fuerzas cortantes en eje X-Z. Fuente propia. ....	57
Ilustración 27: Fuerza cortante en anclaje A Plano X-Z. Fuente propia. ....	57
Ilustración 28: Fuerza cortante en anclaje B Plano X-Z. Fuente propia. ....	58
Ilustración 29: Momentos flectores en eje X-Z. Fuente propia. ....	59
Ilustración 30: Momento flector en anclaje A Plano X-Z. Fuente propia. ....	59
Ilustración 31: Momento flector en anclaje B Plano X-Z. Fuente propia. ....	60
Ilustración 32: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160. Fuente propia.....	61
Ilustración 33: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	63
Ilustración 34: Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	64

## Lista de gráficas

Gráfica 1: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3. Fuente propia. ....	46
Gráfica 2: Gráfica 1: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3. Fuente propia. ....	47
Gráfica 3: Gráfica 1: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3. Fuente propia. ....	47
Gráfica 4: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje A Plano X-Y. Fuente propia. ....	53
Gráfica 5: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje B Plano X-Y. Fuente propia. ....	54
Gráfica 6: Momento flector vs. Distancia Anclaje A Plano X-Y. Fuente propia. ....	55
Gráfica 7: Momento flector vs. Distancia Anclaje B Plano X-Y. Fuente propia. ....	56
Gráfica 8: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje A Plano X-Z. Fuente propia. ....	57
Gráfica 9: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje B Plano X-Z. Fuente propia. ....	58
Gráfica 10: Momento flector vs. Distancia Anclaje A Plano X-Z. Fuente propia. ....	59
Gráfica 11: Momento flector vs. Distancia Anclaje B Plano X-Z. Fuente propia. ....	60
Gráfica 12: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160. Fuente propia. ....	62
Gráfica 13: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	63
Gráfica 14: Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia. ....	65
Gráfica 15: Comparación de valores de Vida útil en los nodos para los 3 materiales. Fuente propia. .....	67
Gráfica 16: Comparación de valores máximos y mínimos de Vida útil para los 3 materiales. Fuente propia. ....	68

## Resumen

La barra estabilizadora es un elemento encargado de reducir el balanceo y por lo tanto garantizar una mejor transmisión de la potencia al suelo por medio de las ruedas, la cual está hecho mayormente de acero.

Así mismo, es un elemento que está constante expuesto a la torsión y puede llegar a sufrir deformaciones. Por ello, en esta tesis se diseñó una barra estabilizadora utilizando CFRP con resina vinílica para mejorar su rigidez estructural en un auto Toyota Yaris GR haciendo uso del Software SolidWorks para la simulación de la misma.

En esta se tuvo como objetivos la selección de materiales, el cálculo estático de las reacciones en los anclajes y el cálculo de la vida útil de la barra, así como un análisis de costos de fabricación.

Se obtuvo después de un análisis de fatiga y de una comparación de resultados entre los materiales Acero 5160 (original), FIBRA DE CARBONO HS CON MATRIZ VINÍLICA FLEXIBLE AL 85% y FIBRA DE CARBONO HS CON MATRIZ VINÍLICA NOVOLAC AL 85% que ofrece una mejor vida útil a la pieza es el de FIBRA DE CARBONO HS CON MATRIZ VINÍLICA NOVOLAC AL 85% con un valor de Vida útil (ciclos) de 487 000 y un costo de 1072,91 soles

**Palabras clave:** Barra estabilizadora, Resina Vinílica, CFRP, SolidWorks, Vida útil.

### **Abstract**

The stabilizer bar is an element in charge of reducing roll and therefore guaranteeing a better transmission of power to the ground through the wheels, which is made mostly of steel.

Likewise, it is an element that is constantly exposed to torsion and can suffer deformations. For this reason, in this thesis a stabilizer bar was designed using CFRP with vinyl resin to improve its structural rigidity in a Toyota Yaris GR car using SolidWorks Software for its simulation.

The objectives of this were the selection of materials, the static calculation of the reactions in the anchors and the calculation of the useful life of the bar, as well as an analysis of manufacturing costs.

It was obtained after a fatigue analysis and a comparison of results between the materials Steel 5160 (original), HS CARBON FIBER WITH 85% FLEXIBLE VINYL MATRIX and HS CARBON FIBER WITH 85% NOVOLAC VINYL MATRIX, which offers a better useful life of the part is that of HS CARBON FIBER WITH 85% NOVOLAC VINYL MATRIX with a value of useful life (cycles) of 487,000 and a cost of 1,072.91 soles

**Keywords:** Stabilizer bar, Vinyl Resin, CFRP, SolidWorks, Useful life.

## I. Introducción

La barra estabilizadora es uno de los elementos más sometidos a torsión en cualquier automóvil, más aún cuando se trata de un automóvil de alto rendimiento. Dependiendo del uso que el automóvil, este influirá en la vida útil que otorgue la barra estabilizadora. La barra estabilizadora es responsable de reducir el balanceo de la carrocería en las curvas. Es una varilla de metal bastante flexible que conecta dos ruedas del mismo eje y también se sujeta al chasis. Su diseño hace que cuando un lado de la carrocería se hunde, el otro lado hace lo mismo para aumentar la estabilidad del vehículo. [1]

Los primeros amortiguadores de impactos de verdad fueron instalados en una bicicleta de carreras en 1898, por un francés llamado J.M.M. Truffault. La horquilla delantera estaba suspendida sobre muelles e incorporaba un dispositivo de fricción que impedía que la bicicleta oscilara constantemente. En 1899, un norteamericano aficionado a los automóviles, llamado Edward V. Hartford, vio que una de las bicicletas de Truffault llegaba en primer lugar en un maratón celebrado en Versalles. Hartford de inmediato reconoció el potencial para la aplicación de este dispositivo de fricción en los automóviles. [2]

El sistema más primitivo son las ballestas o muelles (data desde la época de las carretas), que está conformado por una serie de hojas metálicas apiladas. Debido a su resistencia, su uso es mayormente usado en vehículos de carga. El sistema de eje rígido es uno de los más antiguos y básicos que existe. En un tiempo fue muy popular, pero con el paso del tiempo terminó siendo usado en vehículos de trabajo y todo terreno. Uno de los mejores exponentes es el multilink o multibrazo, que bien podría definirse como la máxima evolución del independiente. Su funcionamiento, es muy similar, e igual hace uso de varios brazos, pero aquí añade una mayor cantidad para distribuir perfectamente la torsión en todos los puntos. No por nada, es equipado en vehículo deportivos o de lujo. [3]

En la suspensión de un vehículo existen diferentes tipos de elementos que permiten asegurar las funciones de confort, estabilidad, seguridad y calidad de marcha. A parte de estos elementos existen otros que completan la cadena cinemática de las suspensiones de un vehículo, tales como: Las barras estabilizadoras, encargadas de contener la inclinación de la carrocería; los trapecios o brazos de suspensión que conectan la carrocería del vehículo con los elementos móviles de la suspensión, como la mangueta, elemento sobre el que se fija la rueda. [4]

La función principal de la barra estabilizadora es evitar la volcadura en el momento del curvado, reduciendo el momento al eje x (roll). Al tomar las curvas con rapidez el coche se inclina, hacia el lado exterior, obligado por la fuerza centrífuga. Para contener esa tendencia a inclinarse se emplean los estabilizadores, que están formados por una barra de acero doblada. [2]

Si la barra es muy rígida, el movimiento de la suspensión de un lado interferirá en el otro, creando un comportamiento nervioso en el vehículo, una barra muy blanda permitirá grandes balanceos de la carrocería, pero será más confortable la suspensión. [5]

Las consecuencias de que esta falle pueden ir desde experimentar vibración excesiva del volante de dirección, cuando se circula a velocidades de carretera, hasta ocasionar accidentes por volcadura o pérdida de control del automóvil cuando se circula a alta velocidad por una curva. [6]

Al contrario que en los aceros donde hay unos estándares para que entre productores no haya diferencias a la hora de producir un mismo tipo, la fibra de carbono, al basarse en las características de la propia fibra y de las resinas, hacen que cada fabricante tenga su propio producto con las características que ellos quieren, serán similares, pero no idénticos. Así pues, en el mercado podemos encontrar que las fibras de carbono pueden variar de módulo de elasticidad y de rigidez y de resistencia a la compresión y a fatiga. [7]

Ante este contexto se plantea la siguiente interrogante: ¿Se logrará aumentar la vida útil de una barra estabilizadora para un auto toyota yaris GR utilizando CFRP con resina vinílica en el diseño de la misma? A este problema se plantea la siguiente tesis: mediante el diseño de una barra estabilizadora utilizando CFRP con resina vinílica para mejorar su resistencia a la fatiga. Para fundamentar la tesis se tratará los siguientes puntos: conceptos básicos de análisis de fatiga por el criterio de Von Misses, diseño mediante matriz morfológica, análisis costo-beneficio, CFRP.

## **1.1.Objetivos**

Objetivo general:

- Diseñar una barra estabilizadora utilizando CFRP con resina vinílica para aumentar su vida útil en un auto Toyota Yaris GR.

Objetivos específicos:

- Establecer los requerimientos de dimensionamiento para el diseño de una barra estabilizadora.
- Elegir el material a utilizar entre las combinaciones entre los diferentes tipos de fibra y resina a diferentes porcentajes de volumen.
- Calcular de manera estática estructural la barra estabilizadora bajo cargas aplicadas a la estructura del vehículo.
- Realizar un análisis de fatiga bajo el criterio de Von misses de la barra estabilizadora utilizando el Software CAE.
- Comparar los resultados obtenidos del nuevo material con los del material original.
- Analizar los costos de la implementación de la barra estabilizadora.

## II. Revisión de literatura

### 2.1. Antecedentes

En su estudio, Franklin Darwin Chipantasi [8], adaptó un sistema de suspensión a un automóvil utilitario Suzuki Forsa, donde se obtuvo los resultados de esfuerzo máximo comprendido en 77720.1 Pa, un factor de seguridad de 2.5 por el esfuerzo máximo del material o límite elástico 165MPa y un desplazamiento máximo de  $2.86 \times 10^{-5}$  mm. Este estudio nos permite establecer una idea de los resultados que se buscan al diseñar un esquema de suspensión para un auto de alto desempeño

Así mismo, José Auquilla y Cristhian Torres, [9] quienes realizaron el diseño del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza eléctrico fórmula SAE, afirman que el sistema de suspensión con el uso de fibra de carbono permite reducir el peso del mismo en un 50%, es decir 4.9 kg aproximadamente en comparación con el acero. Por otro lado, determinan que el vehículo resiste  $63.43^\circ$  antes de volcarse, y que el peso transferido del eje posterior al delantero al momento de frenar en cada rueda es de 1138.05 N. Estos resultados son muy prometedores en cuanto al uso de la fibra de carbono en componentes de la suspensión de un vehículo, ya que nos permitirá ahorrar peso lo que se convertirá en un mejor desempeño en el manejo.

Por otro lado, Amalraj Palraj [10] realizó la optimización de la superficie de respuesta, la cual muestra que el parámetro externo del diámetro aumenta a medida que el parámetro de desplazamiento disminuye gradualmente. Cuando el diámetro externo aumenta, la masa de la barra aumenta gradualmente. Dicha observación será tomada en cuenta para el diseño.

Andrés González [11], como parte de su investigación, realiza una comparación entre el diseño de una barra estabilizadora ya existente y una diseñada por él, en donde obtiene que el esfuerzo de fluencia para el acero 4140 en la barra existente es de 655MPa, debido a que el máximo esfuerzo presente en la barra es 494,59MPa y el factor de seguridad estático mínimo para la barra es de 1,32 esto nos dice que la barra no presenta falla estática. Acto seguido, en el nuevo diseño se realizó un análisis con los mismos parámetros de material y esfuerzo, obteniendo que el nuevo diseño de la barra estabilizadora cumple con los requerimientos técnicos y funcionales debido a que permite variar la rigidez de la suspensión en un rango entre -91,4% y 29,6% respecto a la posición de operación de la barra antigua.

Al mismo tiempo, Padmanabhan Krishnan [12] realizó un diseño de barra estabilizadora utilizando acero SAE 1026, con el cual logró obtener un desplazamiento de entre 39 y 45 mm y un número de ciclos de vida que se mantiene casi constante en aproximadamente 18000 entre los 1400 y 1200 Mpa y empieza a descender a manera que desciende la tensión a la que se expone.

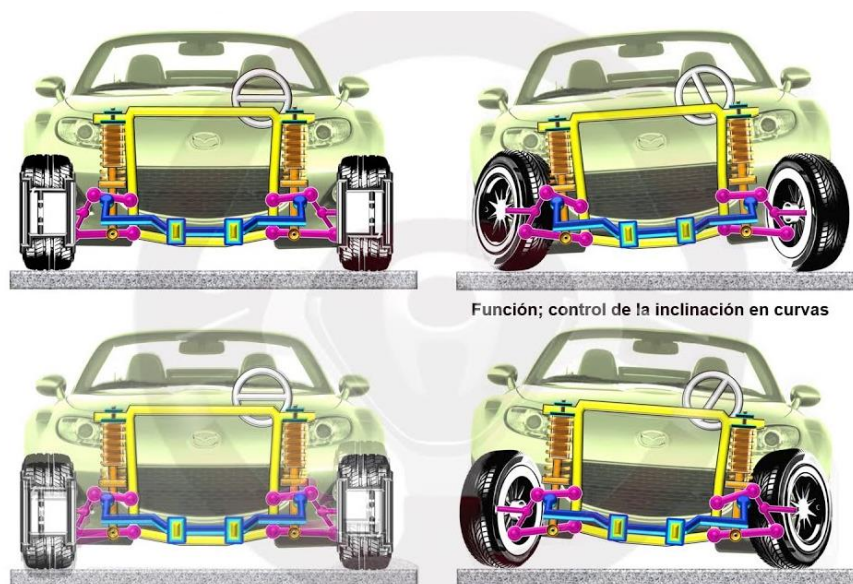
También, Vardham Devendra [13] señala en su artículo que con el diseño aplicado a una barra estabilizadora se logró mejorar la rigidez de balanceo y obtener una mejora en la resistencia a las cargas laterales.

## 2.2. Bases teórico científicas

### 2.2.1. Sistema de suspensión automotriz

El conjunto de elementos entre los elementos suspendidos y no suspendidos se denomina suspensión. Su función:

- Absorbe o reduce los movimientos bruscos que se pueden producir en la estructura debido al desnivel de la vía.
- Garantiza el control del vehículo y una conducción suave, estable y segura.
  - Mantiene las llantas en la misma dirección y la camber (también llamada camber, debido al plano ecuatorial de la rueda con la vertical) sea relativa al suelo.
- Mantiene los neumáticos en el suelo para garantizar una variación mínima de la carga. Reacciona a las fuerzas ejercidas por los neumáticos.
- Capacidad antivuelco del vehículo [2]



*Ilustración 1: Función de la barra estabilizadora. Fuente Tecnología del automóvil*

#### 1.1. Partes de una suspensión

La suspensión es un sistema formado por muchos componentes para funcionar correctamente; a continuación, se mencionarán los principales. [2]

##### 2.2.1.1. Soportes

Forman parte del mecanismo que conecta el neumático con el resto de la estructura, cuya función es proporcionar los grados de libertad del neumático y mantener su posición exacta con respecto al suelo y

determinar el movimiento relativo de su relación con la Tierra. Trompa. Los soportes también soportan parte de la carga de las ruedas. [2]

### 2.2.1.2. Elementos elásticos primarios

**Resorte:** Son las piezas que se sitúan entre el bastidor y más próximas a la rueda, que recogen directamente los desniveles del suelo y los distribuyen como deformaciones. Cuando se comprime, el resorte actúa a la inversa y comienza a expandirse. Inmediatamente comienza a oscilar para mayor comodidad, pero no mucha seguridad. [2]

**Barra de torsión:** Barra de torsión: Se utiliza para evitar que el vehículo vuelque bajo carga debido a superficies irregulares de la carretera, como baches o baches. Su función es unir esta barra al chasis, cuando se atornilla (gira) la barra se torcerá, pero después de que se quita la carga, vuelve a su forma original. [2]

**Barra estabilizadora:** Su función principal es evitar que el vehículo vuelque durante las curvas al reducir el par del eje x (rotación). Durante las curvas rápidas, el automóvil se inclinará hacia afuera bajo la acción de la fuerza centrífuga. Para reducir esta tendencia a la inclinación, se utilizan estabilizadores, que están formados por una barra de acero curvada. [2]

Considerando que en el centro se encuentra un resorte torsional cuya constante  $K_T$ , está dada por:

$$K_T = GJ/L_r \dots (1.1)$$

Donde:

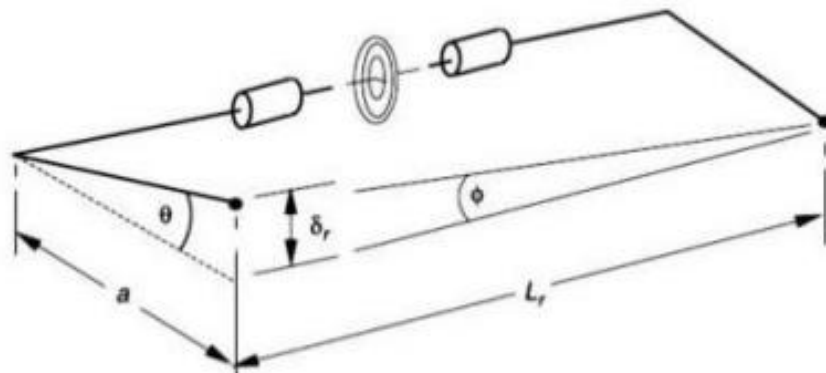
$K_T$  = Constante de resorte torsional

$G$  = Módulo de Rigidez o corte del material (N/mm<sup>2</sup>)

$J$  = Momento polar de inercia

$L_r$  = la longitud de la barra (mm)

[2]



Si la barra está separada por la distancia  $L_r$  y gira describiendo un ángulo  $\phi$ , la deflexión  $\delta r$  está dada por:

$$\delta r = \alpha \theta = \varphi L_r \dots (1.2)$$

Donde:

$\delta r$  = Deflexión

$L_r$  = la longitud de la barra (mm)

Y el ángulo de giro está dado por:

$$\theta = (TL_r/GJ) \dots (1.3)$$

Donde:

$\theta$  = ángulo de giro

T = Par torsional

G = Módulo de Rigidez o corte del material (N/mm<sup>2</sup>)

J = Momento polar de inercia

$L_r$  = la longitud de la barra (mm)

Donde T es el par y junto con la fuerza  $F_r$  actuando en los extremos de la barra provocan un momento  $M_r$  dado por:

$$M_r = F_r L_r = \frac{TL_r}{\alpha} = \frac{\theta GJ}{\alpha} = \frac{\varphi L_r GJ}{\alpha^2} \dots (1.4)$$

Donde:

$M_r$  = Momento (kg.m<sup>2</sup>)

$\theta$  = ángulo de giro

T = Par torsional

G = Módulo de Rigidez o corte del material (N/mm<sup>2</sup>)

J = Momento polar de inercia

$L_r$  = la longitud de la barra (mm)

Así, la resistencia a la volcadura debido a la barra estabilizadora es:

$$K_{Tr} = \frac{M_r}{\phi} = \frac{L_r GJ}{\alpha^2} \dots (1.5)$$

Donde:

$K_{Tr}$  = Constante de resistencia a la volcadura.

## 2.2.2. Tipos de barras estabilizadoras

### 2.2.2.1. De suspensión Rígida

Se caracteriza por el hecho de que ambas ruedas están conectadas por un eje común, y las vibraciones de una se transmiten a la otra. Consideramos las ruedas conectadas al eje apropiado, es decir, un eje rígido, pero esto tiene consecuencias para la suspensión, haciéndolas ineficaces, porque salvar una rueda de un obstáculo tendrá consecuencias para la otra. [5]

### 2.2.2.2. De suspensión independiente

Se caracteriza por el hecho de que cada rueda tiene su propio eje y su propia suspensión, por lo que las vibraciones o vibraciones de una rueda no se transmiten a la otra. [5]

### 2.2.2.3. De suspensión semi rígida

La suspensión semirrígida cuenta con un amortiguador sujeto al eje central y un brazo adicional diseñado para reducir la altitud y las vibraciones de la carretera. El sistema se basa en la introducción de resortes en cojinetes rotativos que se atornillan a la viga del eje y al diferencial. Este tipo de suspensión se monta en todos los vehículos, pero especialmente en los que tienen versiones más básicas, ya que la suspensión independiente es mucho más cara. [14]

### 2.2.3. Criterio de Von Mises

Von Mises propuso como criterio de plastificación que esta se alcanza cuando las componentes de la tensión, en un punto del sólido, satisfacen la relación. [15]

$$\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = k^2 \dots (2.1)$$

o bien, en ejes no principales

$$\frac{1}{6}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)] = k^2 \dots (2.2)$$

siendo  $k^2$  una constante a determinar mediante el ensayo de tracción del material. Así, si el límite elástico obtenido en el ensayo de tracción es  $\sigma_e$ , verificándose que  $\sigma_1 = \sigma_e$  y  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ,  $k^2$  es, sustituyendo en (2.1) [15]

$$k^2 = \frac{\sigma_e^2}{3} \dots (2.3)$$

Sustituyendo  $k^2$  en las expresiones de Von Mises en ejes principales, queda

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_e \dots (2.4)$$

y en ejes no principales

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]} = \sigma_e \dots (2.5)$$

Es decir, las raíces de las expresiones anteriores constituyen la tensión equivalente de Von Mises [15]

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \dots (2.6)$$

o bien

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]} \dots \quad (2.7)$$

En el caso de tensión plana, el criterio de Von Mises se simplifica. En el sistema de ejes principales, la tensión equivalente de Von Mises es

$$\sigma_{VM} = \sqrt{[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2]} \dots \quad (2.8)$$

y en el sistema de ejes no principales

$$\sigma_{VM} = \sqrt{[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2]} \dots \quad (2.9)$$

Si  $\sigma_{VM} = \sigma_e$ , el estado tensional correspondiente se encuentra sobre la superficie de plastificación. Si  $\sigma_{VM} < \sigma_e$ , el estado tensional correspondiente es elástico. [15]

El criterio de Von Mises representado en el espacio de las tensiones principales, es una superficie cilíndrica de longitud infinita y de sección transversal circular [15]

#### 2.2.4. Fibras de carbono

Su producción industrial se inició en 1965 en Estados Unidos, en la industria aeronáutica, y surgió de la necesidad de encontrar materiales más ligeros que los disponibles hasta ahora. Las fibras de este tipo se obtienen por descomposición térmica gradual por pirólisis o carbonización de fibras precursoras compuestas por fibras orgánicas en condiciones ambientales controladas. Al aumentar la temperatura y el tiempo en las condiciones del proceso, se obtienen diferentes fibras en el siguiente orden: fibra preoxidada, fibra de carbono y fibra de grafito. [16]

- 1.- Reticulado o estable a 250°C° en ambiente oxidante.
- 2.- Carbonización por calentamiento hasta 1100 grados C° en atmósfera inerte. Tras este proceso se obtiene fibra de carbono de alta resistencia.
- 3.- Grafito con calentamiento gradual a 3000°C en atmósfera inerte. Este proceso produce fibras con alto módulo. [16]

Fibras de alta tenacidad hechos para resistir la tracción, mientras que el alto módulo tiene como objetivo obtener fibras con mayor módulo de elasticidad. En este último caso, un aumento de la temperatura durante la fabricación conduce a la deseada mejora de las propiedades elásticas del material, pero al mismo tiempo a una disminución de los valores de resistencia a la tracción. [16]

Una vez fabricadas las fibras, se trata su superficie para mejorar su adhesión a la resina en la fabricación de materiales compuestos. [16]

#### 2.2.4.1.TEJIDOS DE FIBRAS DE VIDRIO Y DE FIBRAS DE CARBONO

Como se describe para tejidos naturales, fibra de vidrio y fibras. La fibra de carbono también se utiliza para fabricar las fibras de estas estructuras, lo que puede mejorar significativamente las propiedades de las fibras aislantes. Así, como característica principal, se puede decir que los filamentos de este tipo pueden estar constituidos por fibras cortas o largas unidas entre sí mediante ligadura y/o torsión. Alternativamente, se pueden unir dos o más fibras por torsión o simplemente por empalme para obtener otras fibras más fuertes. [16]

#### 2.2.4.2.MATRICES POLIMÉRICAS

Entre los diferentes tipos de matrices disponibles, los matrices metálicos se usan en la industria aeroespacial y los punzones cerámicos se usan a veces en algunos de los primeros experimentos de pintura de paredes, mientras que las matrices poliméricas son los más interesados en este estudio. [16]

Los polímeros formados de esta manera consisten en largas cadenas de unidades. monómeros, que pueden o no estar ramificados. Dentro de estas cadenas hay enlaces covalentes fuertes y, a su vez, algunas cadenas están unidas con otros enlaces que pueden tener diferentes fuerzas, tanto fuertes (iónicos y covalentes) como débiles (enlaces de hidrógeno y de van der Waals). [16]

La naturaleza de los enlaces entre los polímeros determina en gran medida la estructura del plástico y, por lo tanto, será importante para sus propiedades. Esta estructura varía según el tipo de polímero, y se pueden distinguir dos grupos de plásticos: los termoplásticos y los plásticos termoendurecibles. [16]

Cuando estas resinas se calientan a ciertas temperaturas, estos enlaces se rompen, rompiendo los enlaces entre los polímeros y plastificando el material, fluyendo como un líquido altamente viscoso. [16]

#### 2.2.4.3.RESINAS TERMOPLASTICAS

Existen diferentes tipos de termoplásticos que pueden exhibir propiedades

son muy diferentes entre sí. Esta variedad ha hecho posible el uso de termoplásticos en una variedad de aplicaciones que requieren el material con propiedades especiales. [16]

#### 2.2.4.3.1. Poliacetato de vinilo.

Comúnmente conocido como acetato de polivinilo o PVAC, aparece como una resina

transparente con propiedades que cambian según el grado de su polimerización. Aunque no tiene especial relevancia en la fabricación de estructuras plásticas, sus propiedades se han aprovechado en la fabricación de dispersantes vinílicos para su uso en pinturas, adhesivos y barnices. A medida que la resina se endurece, facilita la formación de una fina película con resistencia a la abrasión y al envejecimiento, aunque las propiedades elásticas no son buenas. En ocasiones se ha utilizado la adición de plastificantes para mejorar su comportamiento. [16]

Estas se llaman resinas acrílicas. Son incoloros y resistentes al daño químico, la radiación UV y la oxidación. Funciona perfectamente después del teñido porque el color es muy estable. [16]

#### 2.2.4.3.2. Polimetacrilatos.

Sus aplicaciones se basan principalmente en una alta transparencia y buena calidad. estabilidad química y propiedades de impacto. Como resultado, estas resinas (especialmente polimetilmetacrilato) se utilizan para crear estructuras transparentes en la arquitectura, la automoción y muchas otras industrias. Especial atención merecen sus aplicaciones en óptica y medicina. [16]

#### 2.2.4.3.3. Policloruro de vinilo.

Puede ser una resina que permite una gama más amplia de aditivos, por lo que es la más utilizada en multitud de aplicaciones con diferentes propiedades. El tipo y la cantidad de producto que se agregue a esta resina, también conocido como policloruro de vinilo o PVC, determinará las propiedades finales del material, que pueden variar ampliamente. [16]

Sin embargo, es posible agrupar todos estos PVC en dos grandes familias en función de la presencia o ausencia de plastificantes en la mezcla, lo que reduciría

significativamente sus propiedades. En consecuencia, las personas suelen distinguir entre PVC rígido y PVC flexible o flexible. [16]

#### 2.2.4.3.4. Polietileno

Es un plástico altamente flexible, químicamente resistente y dieléctrico. Existen varias clasificaciones de polietileno, cada una basada en una de sus propiedades, como densidad, rigidez, distribución espacial de sus moléculas, etc. [16]

Todos los polietilenos se derivan del etileno, y la estructura parafínica de las cadenas moleculares que los componen los hace muy resistentes a los productos químicos. En cambio, la adhesión y fijación de pinturas y otros productos al polietileno es difícil precisamente por este motivo. [16]

#### 2.2.4.3.5. Polipropileno

Este material, obtenido a partir del propileno, se caracteriza por su atractiva apariencia, bajo costo y muy buenas propiedades mecánicas. Como material duro, tiene versatilidad por lo que se utiliza en la fabricación de contenedores, cuerdas, maquetas, autopartes, tuberías, etc. [16]

### 2.2.4.4. RESINAS TERMOESTABLES

Las resinas termoendurecibles más comunes son las resinas de poliéster insaturadas, epoxi y fenólicas. Cada una de estas categorías incluye una gran cantidad de productos que pueden variar mucho. Esta caracterización diversa se debe principalmente a la adición de rellenos y aditivos diseñados para proporcionar propiedades específicas del paquete para cada aplicación. [16]

Las resinas termoendurecibles, que se utilizan principalmente en la industria, son las resinas de poliéster, epoxi y fenólicas. En el campo del arte, los dos primeros son los más utilizados, y los fenólicos prácticamente no se utilizan. [16]

#### 2.2.4.4.1. Resina poliéster

Las resinas de poliéster, también conocidas como poliésteres insaturados, son compuestos obtenidos por la polimerización de ácidos dicarboxílicos insaturados y alcohol dihidrico (glicol). Como resultado de esta reacción se forma un paquete

líquido de grandes moléculas lineales, cuyas propiedades pueden variar considerablemente dependiendo de los reactivos utilizados. [16]

En presencia de monómeros vinílicos, esta resina insaturada puede polimerizar bajo la influencia del calor o la presencia de radicales libres en su molécula. Esta reacción puede tener lugar sin alta temperatura y sin aislamiento de los subproductos. El resultado de esta reacción es que la resina pasa de líquido a sólido cuando sus cadenas se entrecruzan entre sí. [16]

#### 2.2.4.4.2. Resina epoxy

Suelen presentarse como resinas líquidas, que requieren de la acción de un endurecedor para entrecruzar sus moléculas y así solidificarse. Los endurecedores utilizados pueden ser de una amplia variedad, algunos necesitan calor para la encapsulación, mientras que otros pueden curarse a temperatura ambiente. [16]

#### 2.2.4.4.3. Resina fenólica

Esta resina se forma por la reacción de formaldehído o formaldehído con fenol. Para simplificar el proceso de fabricación con estas resinas, la polimerización se realiza en dos etapas. La primera etapa es una reacción de adición, que tiene diferentes características dependiendo de la proporción de cada reactivo, así como de las condiciones de pH y temperatura en que se lleva a cabo. [16]

Cambiar estos factores da como resultado diferentes productos que también requieren diferentes métodos de tratamiento para completar su polimerización. [16]

Según las propiedades que espera de la resina y las aplicaciones para las que se usarán, estas mezclas de resina se formulan típicamente con una variedad de rellenos y aditivos. La mayoría de estas mezclas se agrupan bajo el nombre de “Baquelita” que generalmente se caracteriza por muy buenas propiedades dimensionales, estabilidad mecánica y térmica con bajos costos de procesamiento. [16]

### 2.2.5. Software

#### 2.2.5.1. SolidWorks

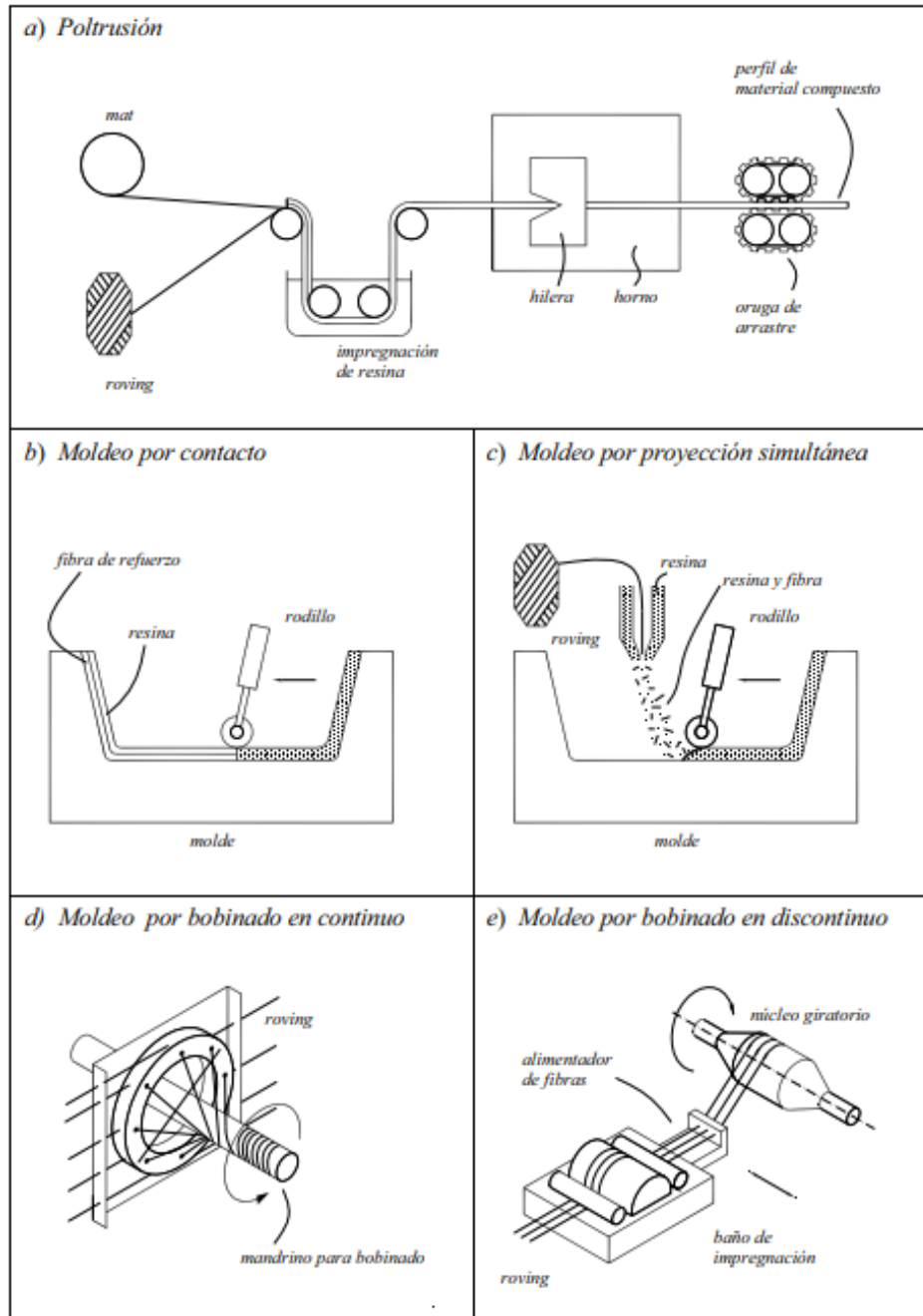
Es un software de diseño CAD que se emplea en el modelado de piezas y ensamblajes, así como para el modelado de dibujos en 2D. Ofrece a la vez una gama de soluciones en los diferentes aspectos en el proceso de desarrollo de un producto. A la vez, permite crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y administrar datos de diseño. [17]

#### 2.2.5.2. CES Edupack

Es una base de datos de materiales actualizada, que permite obtener especificaciones físicas, químicas y datos técnicos de diferentes materiales, así como realizar sinterizaciones entre ellos. Así mismo, permite realizar comparaciones entre los diferentes materiales existentes o creados usando diferentes propiedades. [18]

#### 2.2.6. Proceso de fabricación de piezas de materiales compuestos.

Hay numerosos procesos para fabricar productos semielaborados, elementos y piezas con polímeros reforzados, muchos de ellos específicos para este tipo de material y con un elevado componente manual. Pueden agruparse en: a) fabricación de materiales intermedios y productos semielaborados; b) fabricación de piezas y elementos en procesos de molde abierto; c) fabricación de piezas y elementos en procesos de molde cerrado. [19]



*Ilustración 2: Procesos de fabricación*

### III. Materiales y métodos

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

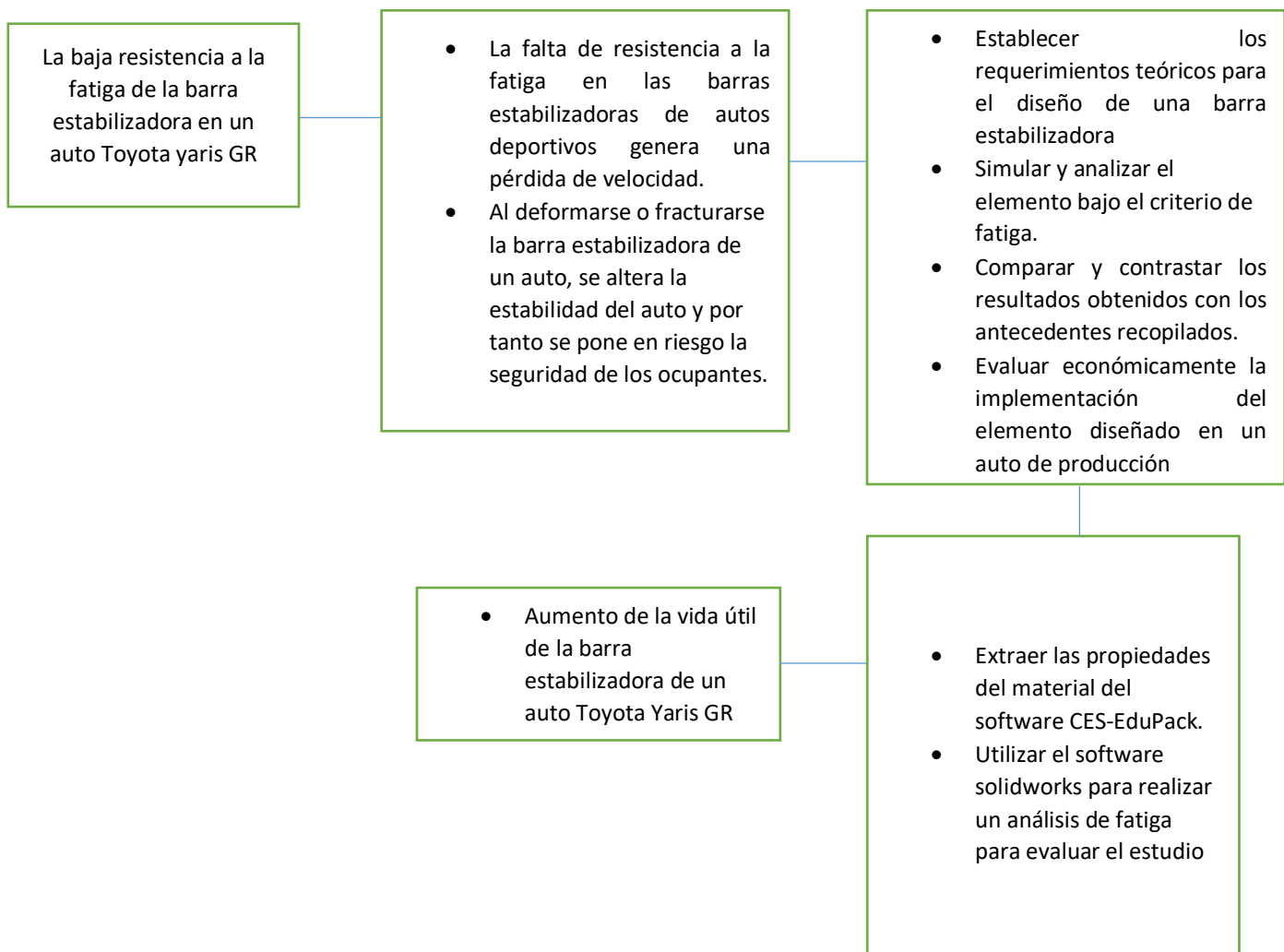
##### 3.1.1. Tipo de Investigación

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaron conocimientos de mecánica a fin de aplicarlas en el proceso de diseño de una barra estabilizadora.

##### 3.1.2. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo, explicativo y correlacionado.

#### 3.2. Diseño de investigación



### 3.3. Población, muestra, muestreo

La unidad de estudio es la Barra estabilizadora de un auto Toyota yaris GR de CFRP con resina vinílica.

### 3.4. Criterios de selección

Por lo expuesto en el marco teórico, se tiene conocimiento de que la barra estabilizadora es una pieza de gran importancia en el desempeño de un auto, más aún en el caso de un auto deportivo como es el caso. En el caso específico del auto Toyota Yaris GR, es una pieza que no presenta ninguna falla de diseño al momento, pero que al mismo tiempo no cuenta con una solución a los problemas que radican en todas las barras estabilizadoras en estos días, que son la baja vida útil y costo de piezas alternativas, siendo estos problemas los que se deben tener también en cuenta en un auto de esta naturaleza y es por ello que se toma como objeto de estudio a este automóvil, en aras de dar solución a dichos problemas y de paso ofrecer menor peso de la pieza final, la cual es otra de las características que sin duda se aprecian al tratarse de este tipo de autos.

### 3.5. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items
Variable INDEPENDIENTE Diseño y simulación de una barra estabilizadora	La barra estabilizadora, cumple la función de transmitir carga de una llanta a otra en las curvas, estabilizando el automóvil y evitando que este se vuelque en las curvas. [9]	Utilizando las propiedades del material CFRP con resina vinílica, el peso del auto y las fuerzas de torsión a las que se expone la pieza a una determinada velocidad se realizará un análisis estructural y de fatiga utilizando el software Solidworks.	Análisis estático estructural	Esfuerzo	Pa
				Desplazamiento	m
				Deformación Unitaria	Adimensional
				Factor de seguridad	Adimensional
			Análisis de fatiga	Vida útil	Ciclos
				Daño	Adimensional

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items
Variable DEPENDIENTE	La vida útil es el periodo de tiempo después de la construcción durante la cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario. El aumento de la vida útil proporcionará mayor confiabilidad al exponerlo a mayores cargas torsionales.	El diseño realizado garantizará el aumento de la vida útil y seguridad a la barra estabilizadora al ser sometidas a cargas torsionales.	Aumento de la vida útil	Variación de la vida útil	Porcentaje
Aumento de la vida útil en la barra estabilizadora					

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas

- Búsqueda de información en catálogos: Se accedió a catálogos de diferentes fabricantes para determinar el diámetro de la pieza
- Extracción de datos de piezas originales: Se tomó medidas de piezas originales de diferentes autos que compartan características con el objeto de estudio para determinar las medidas a tener en cuenta en el diseño.
- Extracción de datos de software: Se extrajo los datos de los materiales a utilizar del software CES- Edupack.

#### Instrumentos

- Fichas de búsqueda de información
- Software de sintetización de materiales.

### 3.7. Procedimientos

Para el desarrollo de la investigación se descargó información de las fichas técnicas de los productos que ya existen en el mercado. Así mismo, se extrajeron las propiedades físicas de los diferentes materiales a analizar del software CES Edupack. Posteriormente se hizo una recolección de datos de una pieza ya existente de un auto con medidas y adaptaciones similares para obtener información a tener en cuenta en el modelado CAD. Finalmente, se hizo una simulación mediante el software SolidWorks de la pieza ya modelada.

### **3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos**

#### 3.8.1. Medidas de la barra

A continuación, se establecerá las medidas requeridas a tomar en cuenta en el diseño de la barra estabilizadora.

##### 3.8.1.1. Longitud de brazo de dirección a primera curva

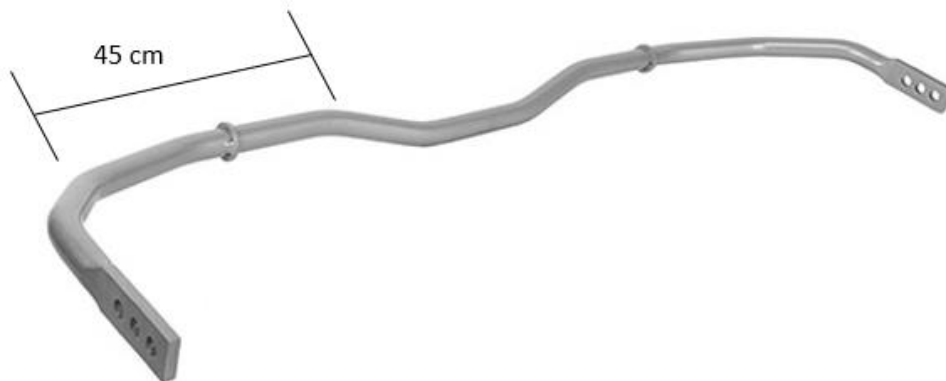


*Ilustración 3: Longitud de brazo de dirección a primera curva.*



*Ilustración 4: Longitud de brazo de dirección a primera curva.*

### 3.8.1.2. Distancia entre primera y segunda curva

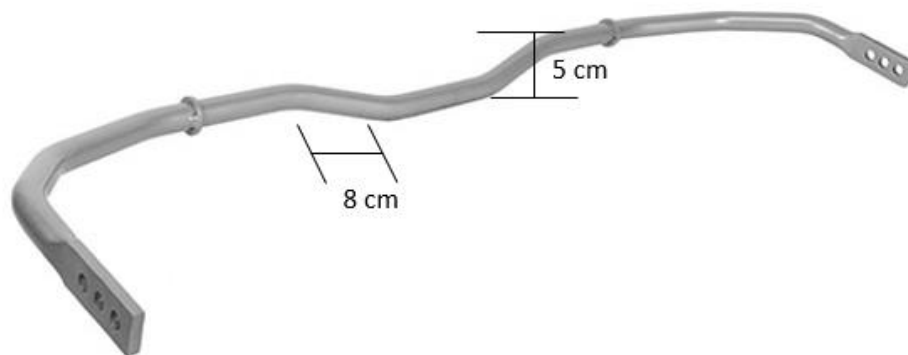


*Ilustración 5: Distancia entre primera y segunda curva.*



*Ilustración 6: Distancia entre primera y segunda curva.*

### 3.8.1.3. Radios de la segunda curva



*Ilustración 7: Radios de la segunda curva.*

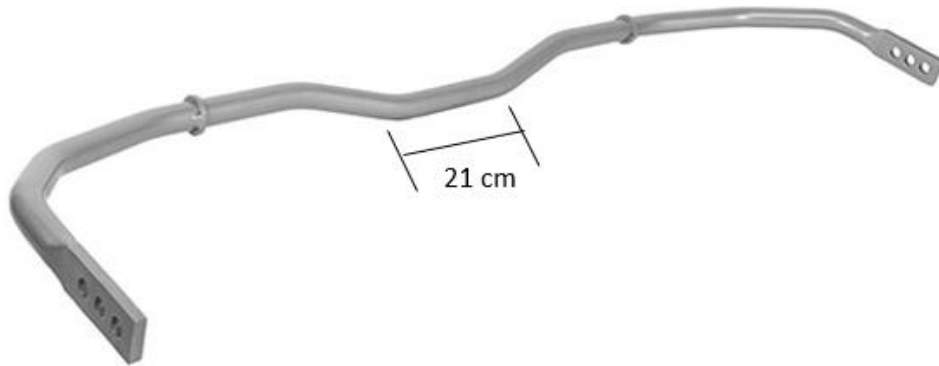


*Ilustración 8: Radios de la segunda curva..*



*Ilustración 9: Radios de la segunda curva.*

#### 3.8.1.4. Longitud de adaptación a diseño



*Ilustración 10: Longitud de adaptación a diseño.*



*Ilustración 11: Longitud de adaptación a diseño.*

## 3.9. Matriz de consistencia

<b><u>Problema</u></b>	<b><u>Objetivos</u></b>	<b><u>Hipótesis</u></b>	<b><u>VARIABLES</u></b>	<b><u>Metodología</u></b>
¿El diseño de una barra estabilizadora utilizando AISiC15 logrará aumentar la vida útil de la misma?	<b><u>General</u></b>	<b><u>General</u></b>	<b><u>Variable INDEPENDIENTE</u></b>	<b><u>Diseño de investigación</u></b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar una barra estabilizadora utilizando CFRP con resina vinílica para aumentar su vida útil en un auto Toyota Yaris GR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si se realiza el diseño de una barra estabilizadora utilizando CFRP con resina vinílica. Entonces se aumentará la vida útil del elemento en el auto Toyota Yaris GR</li> </ul>	Diseño y simulación de una barra estabilizadora	Tipo aplicada – correlacional
	<b><u>Específicos</u></b>	<b><u>Específicas</u></b>	<b><u>Indicadores</u></b>	<b><u>Técnica: recolección de datos</u></b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer los requerimientos de dimensionamiento para el diseño de una barra estabilizadora.</li> <li>Elegir el material a utilizar entre las combinaciones entre los diferentes tipos de fibra y resina a diferentes porcentajes de volumen.</li> <li>Calcular de manera estática estructural la barra estabilizadora bajo cargas aplicadas a la estructura del vehículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si se establecen los requerimientos teóricos para el diseño de una barra estabilizadora, entonces se tendrá en cuenta dichos requerimientos para lograr un diseño final de calidad.</li> <li>Si se elige el material a utilizar, entonces se tendrá la certeza que el material utilizado es el más adecuado de entre todos los tipos de resinas y fibras.</li> <li>Si se calcula de manera estática estructural la barra</li> </ul>	Esfuerzo Desplazamiento Deformación Unitaria Factor de seguridad Vida útil Daño	En este proyecto de tesis se recopilarán datos de fichas técnicas de barras estabilizadoras disponibles en el mercado e implementadas en el automóvil, así como especificaciones del mismo brindadas por el fabricante comparadas y adaptadas a las obtenidas por fuente propia.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar un análisis de fatiga bajo el criterio de Von misses de la barra estabilizadora utilizando el Software CAE.</li> <li>• Comparar los resultados obtenidos del nuevo material con los del material original.</li> <li>• Analizar los costos de la implementación de la barra estabilizadora.</li> </ul>	<p>estabilizadora se podrá obtener los valores de fuerzas y momentos que actúan en las reacciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se realiza un análisis de fatiga del diseño de la barra utilizando el criterio de Von Misses, entonces se tendrá la certeza de que el elemento cumple con el objetivo de la nueva propuesta.</li> <li>• Si se compara los resultados obtenidos en el análisis de fatiga de los nuevos materiales con el material original, se podrá emitir una conclusión de que material es el más apropiado para aplicación</li> <li>• Si se analiza los costos implementación del elemento, entonces se obtendrá un criterio a considerar para las empresas manufactureras de automóviles deportivos.</li> </ul>	<p><b><u>Variable</u></b> <b><u>DEPENDIENTE</u></b></p> <p>Aumento de la vida útil en la barra estabilizadora</p> <p><b><u>Indicadores</u></b></p> <p>Variación de la vida útil</p>	<p><b><u>Población y muestra</u></b></p> <p>La unidad de estudio es la Barra estabilizadora de un auto Toyota yaris GR de CFRP con resina vinílica.</p>
--	---	--	---	---

### 3.10. Consideraciones éticas

En la presente tesis, se realizan diferentes análisis que parten de algunas deficiencias en el diseño de una pieza original, con lo cual es importante aclarar que no se busca desacreditar a ninguna marca o fabricante, ni mucho menos a los estudios o análisis realizados para el diseño de la pieza en cuestión.

## IV. Resultados y discusión

### 4.1. Matriz de selección de conceptos

A continuación, se describe en el siguiente cuadro los diferentes conceptos de barras estabilizadoras, entre los cuales se encuentra la barra estabilizadora de suspensión rígida, de suspensión semirrígida y de suspensión independiente. En él, se evalúan diferentes conceptos usando de referencia la barra estabilizadora de suspensión independiente, usando el signo “-“ para manifestar una menor eficiencia que la referencia, el signo “+” para una mayor eficiencia y el número “0” para una eficiencia igual al de la referencia. Al final de ella se suman los signos obtenidos para cada concepto y se evalúa si se debe o no continuar con el concepto, o si se debe combinar dos o más conceptos.

Criterios de selección	Conceptos		
	A- de suspensión rígida	B- de suspensión semirrígida	C- de suspensión independiente (referencia)
Peso ligero	-	-	0
Durabilidad	0	0	0
Facilidad de manufactura	-	-	0
Costo de materia prima	0	0	0
Resistencia a la torsión	0	0	0
Resistencia a la corrosión	0	0	0
Peso máximo permitido	+	+	0
Suma +	1	1	0
Suma 0	4	4	7
Suma -	2	2	0
Evaluación neta	-1	-1	
Lugar	3	2	1

Continuar	Combinar	Combinar	Sí
-----------	----------	----------	----

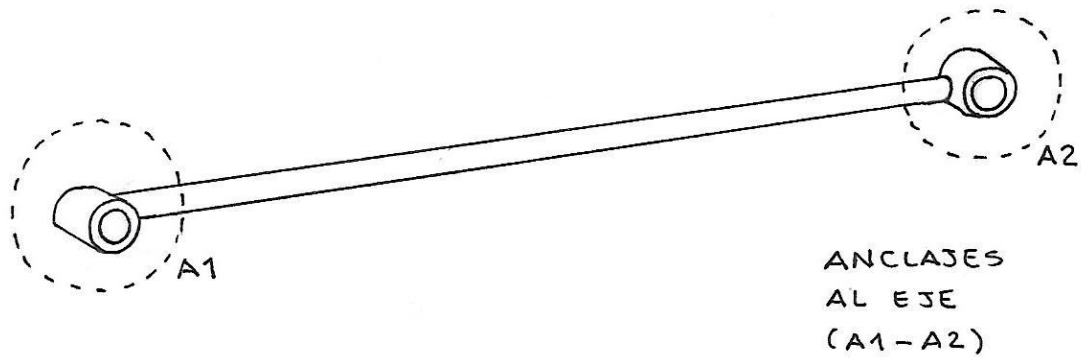
Acto seguido, se establecen diferentes pesos para cada uno de los conceptos obtenidos de acuerdo a su nivel importancia, así como una calificación para cada criterio de selección. Al final, se suma la evaluación ponderada para obtener el concepto con el que se debe trabajar, siendo este el que obtenga un mejor puntaje.

Criterios de selección	Peso	AB- de suspensión Semirígida		C- de suspensión independiente (referencia)	
		Cafificación	Evaluación ponderada	Cafificación	Evaluación ponderada
Peso ligero	20%	3	0.6	3	0.6
Durabilidad	20%	2	0.4	3	0.6
Facilidad de manufactura	10%	3	0.3	3	0.3
Costo de materia prima	20%	3	0.6	3	0.6
Resistencia a la torsión	10%	2	0.2	3	0.3
Resistencia a la corrosión	10%	2	0.2	3	0.3
Peso maximo permitido	10%	3	0.3	3	0.3
	Total		2.6		3
	lugar		2		1
	Continuar		No		SI

El concepto seleccionado sería el de la barra estabilizadora de suspensión independiente ya que, además de ser la que equipa el automóvil, es la que ofrece mejores prestaciones para las aplicaciones que se establecen

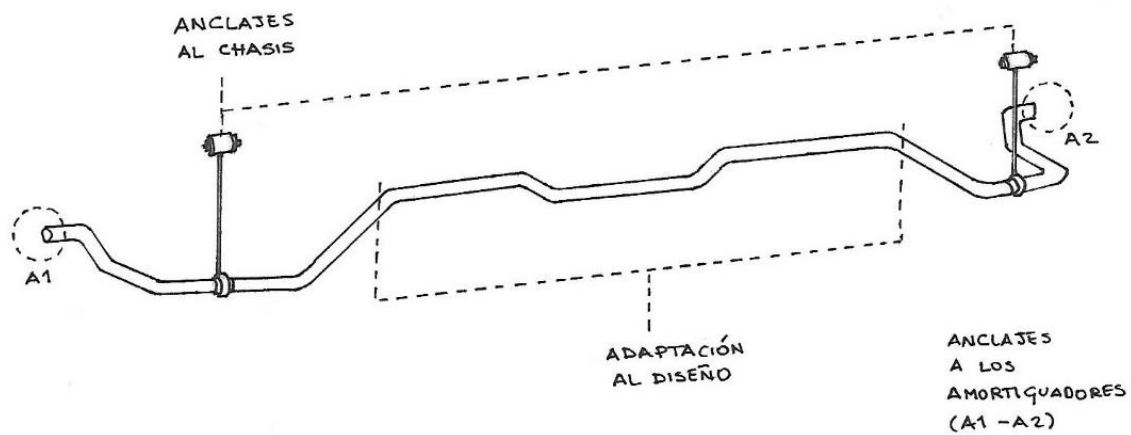
A continuación, se detallará mediante unos bocetos a mano alzada el posible diseño para cada uno de los conceptos presentados anteriormente

A- Suspensión rígida



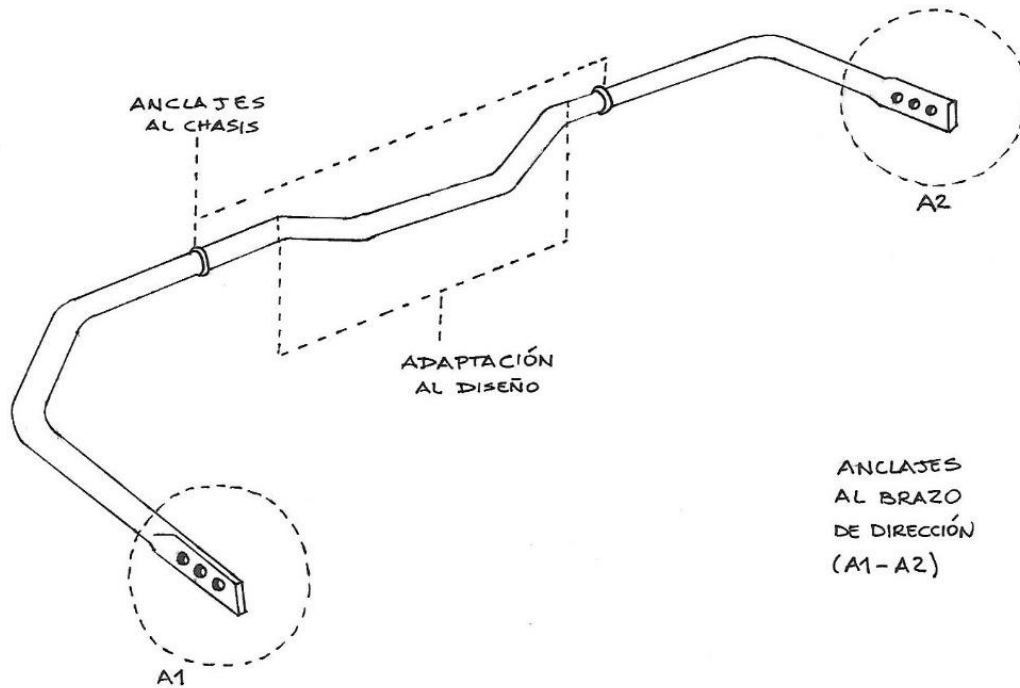
*Ilustración 12: Barra estabilizadora de suspensión rígida.*

B- De suspensión semi rígida



*Ilustración 13: Barra estabilizadora de suspensión semirrígida.*

C- De suspensión independiente



*Ilustración 14: Barra estabilizadora de suspensión independiente.*

En esta última, se tuvo en cuenta el diseño del auto para las adaptaciones correspondientes, por lo que en este boceto se pueden evidenciar las necesidades a cubrir las cuales se tendrán en cuenta en la realización de la matriz de necesidades – métricas

#### 4.2. Matriz de necesidades-métricas

En el primer cuadro de esta matriz, establecemos la importancia de cada necesidad que busca cubrir el diseño utilizando una escala de puntaje de 1-5.

n°		NECESIDAD	Imp.
1	La barra	Reducir la vibración en marcha	3
2	La barra	Permite pasar por todo terreno	3
3	La barra	Permite atravesar curvas a altas velocidades	5
4	La barra	Permite un ajuste en posición	4
5	La barra	Preserva las características de diseño del auto	5
6	La barra	Es fácil de instalar	3

7	La barra	Es ligera	4
8	La barra	Tiene fácil acceso para el mantenimiento	4
9	La barra	Es segura en caso de choque	4
10	La barra	Tiene puntos de anclaje a chasis	4
11	La barra	No le afectan sustancias corrosivas	3
12	La barra	Es duradera	5
13	La barra	Es accesible	4

*Tabla 1: Tabla de necesidades e importancias.*

A continuación, se relatan las métricas y se relacionan con las necesidades que satisfacen. Así mismo, se describen las unidades de cada uno de ellos.

Valor n°	Necesidad	Valor	Importancia	Unidad
1	12	Vida útil	5	Ciclos
2	2,3	Deformación unitaria	5	m
3	1	Desplazamientos	5	m
4	9	Tensiones	5	N/m <sup>2</sup>
5	12, 9	Factor de seguridad	5	Und
6	13	Coste de fabricación	4	Dólar
7	7	Masa total	4	Kg
8	6	Tiempo de montaje/desmontaje	3	Seg
9	11	Resistencia a la corrosión	3	List
10	8	Tiempo de mantenimiento	3	Seg
11	5, 10	Compatibilidad con el diseño del auto	3	List
12	4	Facilidad de ajuste en diferentes posiciones	2	List
13	1	Reducción de las vibraciones e inclinaciones	3	List
14	9	Seguridad en caso de choque	2	List

*Tabla 2: Tabla de necesidades y métricas.*

Luego, se representó en una gráfica de necesidades vs. Métricas donde se puede apreciar de una manera más detallada las necesidades y las métricas que responden a estas.

		Métricas													
N°	NECESIDAD	Vida útil	Deformación unitaria	Desplazamientos	Tensiones	Factor de seguridad	Coste de fabricación	Masa total	Tiempo de montaje/desmontaje	Resistencia a la corrosión	Tiempo de mantenimiento	Compatibilidad con el diseño del auto	Facilidad de ajuste en diferentes	Reducción de las vibraciones e	Seguridad en caso de choque
1	Reducir la vibración en marcha			x										x	
2	Permite pasar por todo terreno		x												
3	Permite atravesar curvas a altas velocidades		x												
4	Permite un ajuste en posición												x		
5	Preserva las características de diseño del auto											x			
6	Es fácil de instalar								x						
7	Es ligera							x							
8	Tiene fácil acceso para el mantenimiento										x				
9	Es segura en caso de choque				x	x									x
10	Tiene puntos de anclaje a chasis														
11	No le afectan sustancias corrosivas									x					
12	Es duradera	x				x									
13	Es accesible						x								

Tabla 3: Tabla de relaciones entre necesidades y métricas.

Acto seguido, se describen las especificaciones de las principales marcas del mercado, teniendo en cuenta también las necesidades a las que satisfacen.

Métrica	Numero de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	WHITELINE	TRW	H&R	SIDEM
1	7	Masa Total	5	Kg	10	7	6	6.5
2	9	Diametro	4	mm	24	16	16	16
3	4	Ajustable	3	Und	3	No	No	No
4	5	Montaje directo	3	list	Si	Si	Si	Si

Tabla 4: Valores de métricas de otras marcas en el mercado.

N°		NECESIDAD	Imp.	WHITELINE	TRW	H&R	SIDEM
1	La barra	Reducir la vibración en marcha	3	xxxx	xx	xx	xxx
2	La barra	Permite pasar por todo terreno	3	xx	xxxx	xxx	xx
3	La barra	Permite atravesar curvas a altas velocidades	5	xxxx	xx	xx	xxxx
4	La barra	Permite un ajuste en posición	4	xxxx	xxx	xx	xx
5	La barra	Preserva las características de diseño del auto	5	xxxx	xx	xxx	xxx
6	La barra	Es fácil de instalar	3	xxx	xxxx	xx	xxx
7	La barra	Es ligera	4	xxxx	xx	xxxx	xx
8	La barra	Tiene fácil acceso para el mantenimiento	4	xxx	xxxx	xxx	xxxx
9	La barra	Es segura en caso de choque	4	xx	xx	xxx	xxx
10	La barra	Tiene puntos de anclaje a chasis	4	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
11	La barra	No le afectan sustancias corrosivas	3	xxx	xx	xxx	xx
12	La barra	Es duradera	5	xxxx	xxxx	xx	xxx
13	La barra	Es accesible	4	xx	xx	xx	xx

*Tabla 5: Valores de métricas de otras marcas en el mercado.*

Por último, se establece el rango de valores dentro de los cuales debe de encontrarse cada métrica, con el fin de contrastar con los valores obtenidos posteriormente en el estudio de la pieza.

Valor n°	Necesidad	Valor	Unidad	Valor
1	12	Vida útil	Ciclos	10 000
2	2,3	Deformación unitaria	m	
3	1	Desplazamientos	m	
4	9	Tensiones	N/m <sup>2</sup>	
5	12, 9	Factor de seguridad	Und	2
6	13	Coste de fabricación	Dólar	250
7	7	Masa total	Kg	2

8	6	Tiempo de montaje/desmontaje	Seg	1200
9	11	Resistencia a la corrosión	List	Si
10	8	Tiempo de mantenimiento	Seg	3600
11	5, 10	Compatibilidad con el diseño del auto	List	Si
12	4	Facilidad de ajuste en diferentes posiciones	List	Si
13	1	Reducción de las vibraciones e inclinaciones	List	Si
14	9	Seguridad en caso de choque	List	Si

*Tabla 6: Rango de valores para las métricas.*

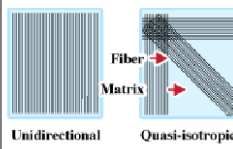
#### 4.3. Selección de materiales y combinaciones a utilizar

A continuación, después de relatar las especificaciones de todos los tipos de fibra y resina (anexos N°01), comenzaremos con la comparación entre las 20 diferentes combinaciones, entre las cuales encontramos: la conjugación de 3 tipos de matriz vinílica (VINIL FLEXIBLE, ESTÁNDAR Y NOVOLAC) con 3 tipos de fibras de carbono (HS, HM, UHM) a porcentajes volumétricos de 60% y 70% de fibra corta y distribución aleatoria, la combinación de la fibra de carbono HS con las matrices vinílicas FLEXIBLE y NOVOLAC a 85% de fibra continua y unidireccional; y el material original (acero 5160). Dichos materiales fueron elegidos para la selección de entre todas las variantes debido a las propiedades físicas que presentan y a las aplicaciones en las que son utilizadas.

Para la sintetización de los materiales en el software CES Edupack se hace uso de la herramienta “Sintetizer”. Acto seguido se selecciona el tipo de fibra, en este “fibra continua” en donde se desplegará la siguiente ventana (Ilustración 14), donde se seleccionará el tipo de fibra de carbono, matriz vinílica, porcentaje de volumen de fibra del compuesto y la nomenclatura para registrar el nuevo compuesto.

X

**Fibra continua (UD y QI)** ?



Unidireccional      Quasi-isotropico

Predice el comportamiento de materiales reforzados con fibras continuas

Unidireccional = fibras alineadas [0°]  
Cuasi isotropo = fibras en disposición multiaxial [0° / +45° / -45° / 90°]

Suposiciones:

- Distribución uniforme del refuerzo
- Unión perfecta entre matriz y fibra
- El material es totalmente denso

Orientación de la fibra

Unidireccional

**Registros utilizados**

Matriz

Fibra

**Variables del modelo**

Introduce valores o rango de valores. Por ejemplo, 1; 3; 8 o 1-8

Fracción volumétrica de fibra  %      Número de valores:

**Nomenclatura de los registros**

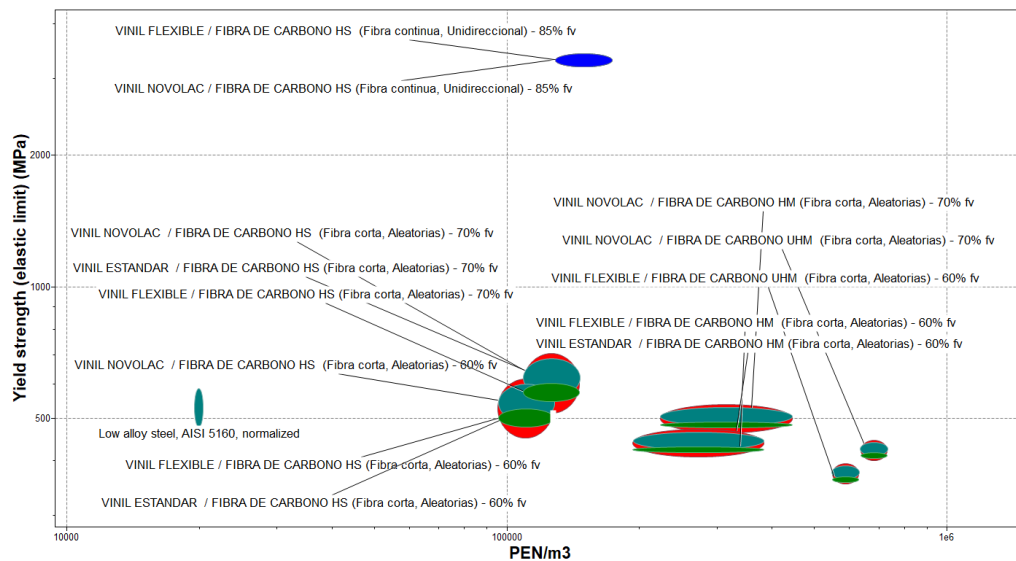
Matriz \*

Fibra \*

Este modelo generará 6 registros
Anterior
Crear
Cancelar

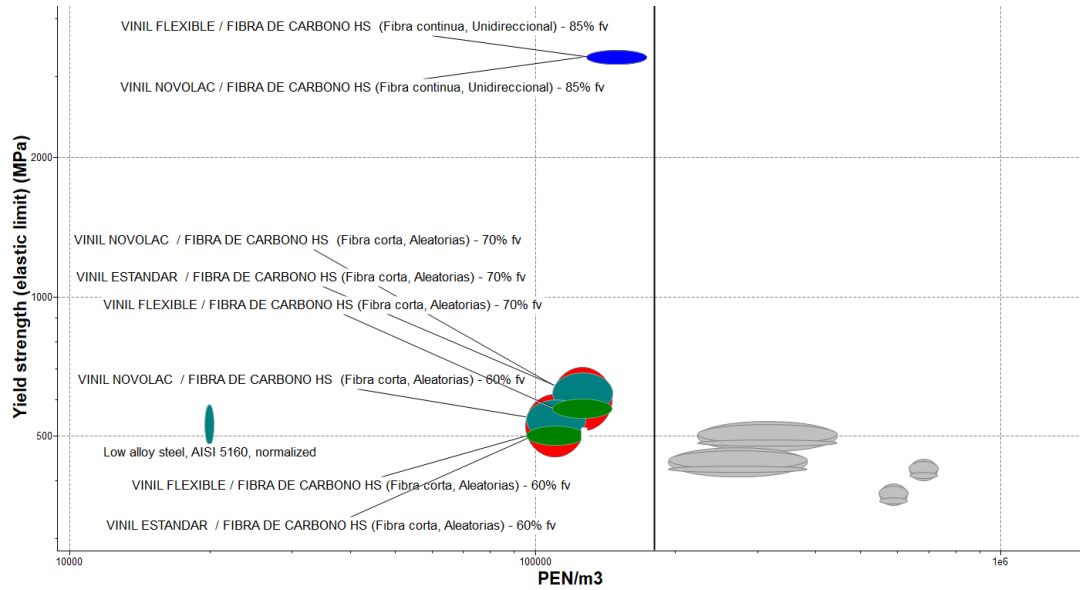
*Ilustración 15: Ventana de sinterización de materiales*

En la gráfica N°01 se puede ver como los polímeros con matriz de vinil Novolac se encuentran de color azul, los de vinil Estandar con color verde y los de vinil Flexible con color rojo.



*Gráfica 1: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3.*

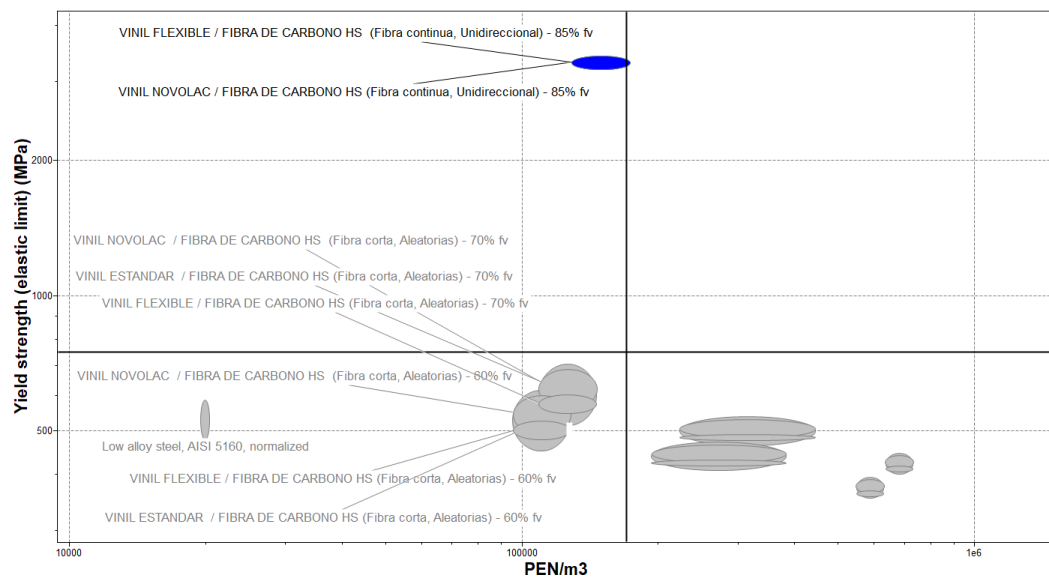
Como inicio a la primera parte del análisis, se descartarán materiales estableciendo un precio máximo teniendo en cuenta los valores del material original. Esto se evidencia en la siguiente gráfica.



Gráfica 2: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3.

Observamos como se descartan 12 de los 20 materiales que se tuvieron en cuenta originalmente, para lo cual se estableció un precio máximo de 170000 Soles/m3, siendo las que las fibras de carbono HS al 60 y al 70 % para todas las matrices de vinil las que restan, tanto para la fibra corta como para la continua.

En la segunda parte de la selección se pasa al parámetro de comparación de Límite elástico (Mpa), manteniendo al acero como material de referencia para la comparación y selección, con lo cual se obtiene la siguiente Limite Elástico vs Precio.

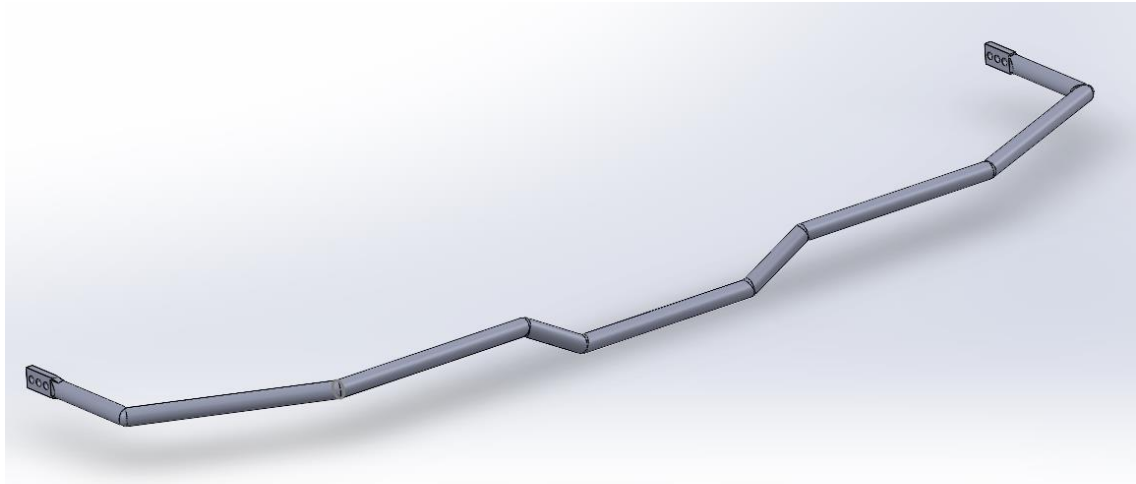


Gráfica 3: Gráfica de limite elástico vs. PEN/m3. Fuente propia.

Se estableció un valor máximo de Limite elástico de 750 Mpa para los materiales, obteniendo finalmente como materiales seleccionados a utilizar las fibras de carbono HS con vinil FLEXIBLE y NOVOLAC, ambas a 85% y de fibra continua y unidireccional.

#### 4.4. Geometría de la barra

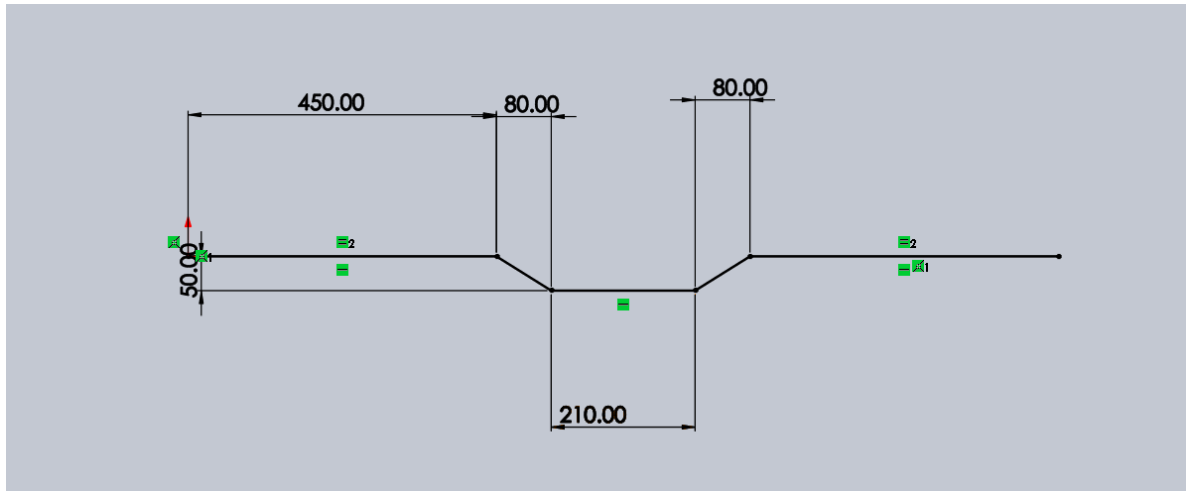
La geometría de la barra se definió utilizando estrategias de benchmarking con modelos especializados en la modalidad de Cross Country. La siguiente figura muestra una barra diseñada teniendo en cuenta las medidas de un auto Toyota Yaris GR, así como las ventajas que se obtienen al diseñar una barra con dichas especificaciones.



*Ilustración 16: Geometría de la barra.*

##### 4.4.1. Dimensiones de la barra parte frontal y adaptación para cárter.

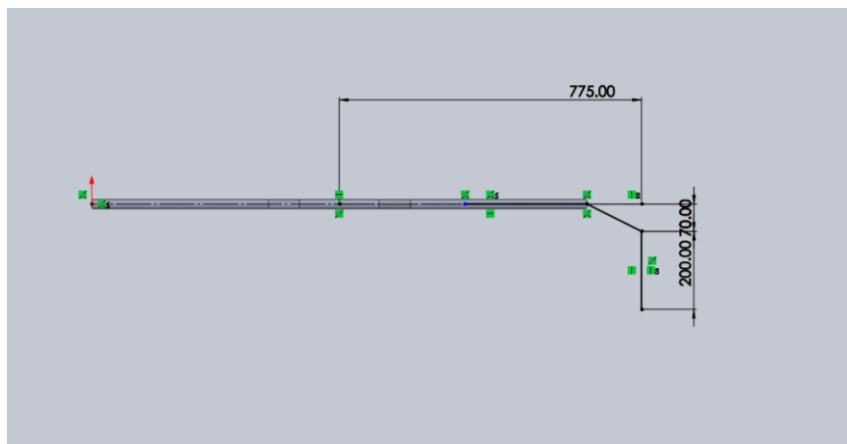
Se tuvo en cuenta para el diseño de la barra una adaptación para el cárter de aceite del motor.



*Ilustración 17: Dimensiones de la barra parte frontal y adaptación al cárter.*

#### 4.4.2. Curva a brazo de suspensión

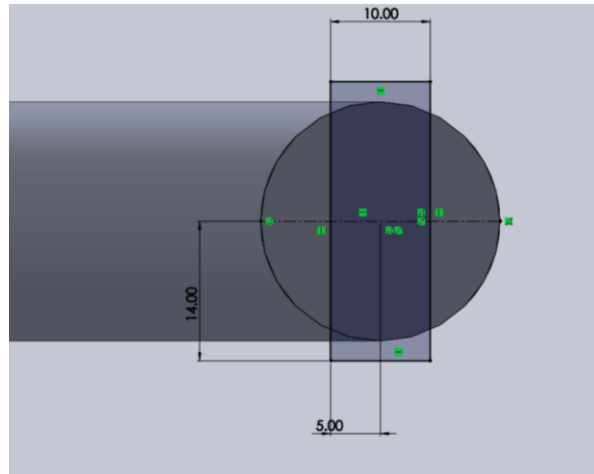
Medidas que fueron obtenidas de las dimensiones originales del automóvil.



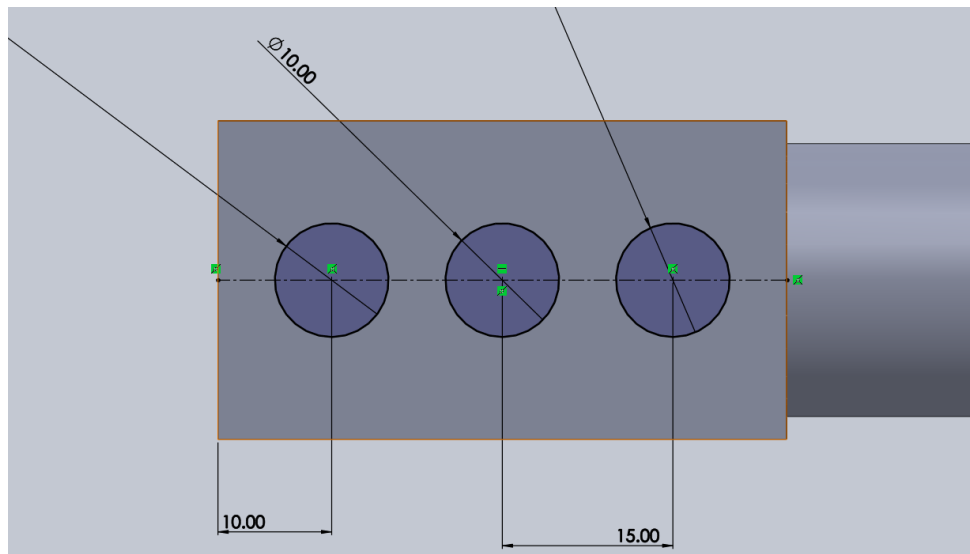
*Ilustración 18: Dimensiones de curva a brazo de suspensión.*

#### 4.4.3. Anclajes a brazo de suspensión

Medidas que fueron obtenidas de las dimensiones originales del automóvil, teniendo en cuenta unos anclajes ajustables en posición para poder espacio para otros componentes.



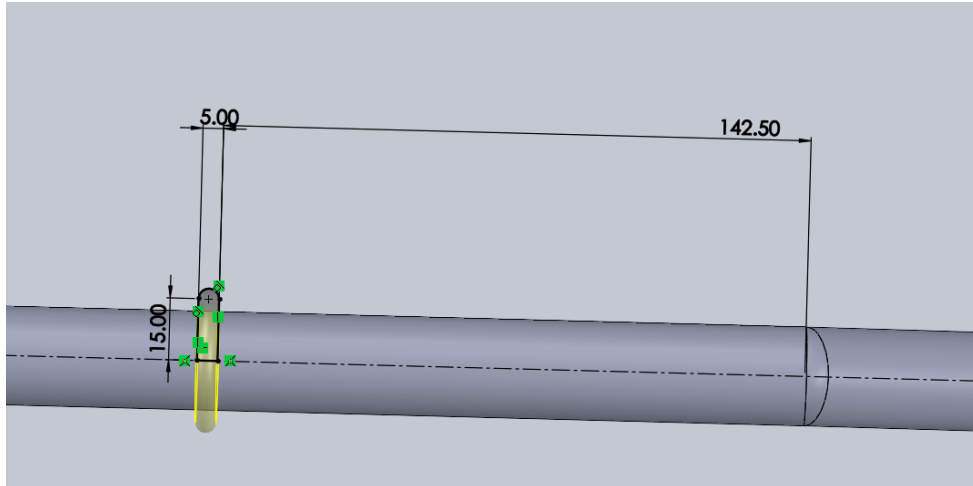
*Ilustración 19: Dimensiones de anclajes a barra de suspensión.*



*Ilustración 20: Dimensiones agujeros de anclajes.*

#### 4.4.4. Anclajes a chasis

Medidas que fueron obtenidas de las dimensiones originales del automóvil, así como de las abrazaderas y bocinas originales utilizadas para el anclaje a chasis.



*Ilustración 21: Dimensiones de anclajes a chasis.*

#### 4.5. Cálculo de fuerzas a utilizar

A continuación, especificaremos los valores de las fuerzas a tener en cuenta en el cálculo, las cuales fueron determinadas suponiendo un caso en el que el automóvil se encuentra girando a la derecha, con solo dos ocupantes en su interior (piloto y copiloto). Esto se evidencia en los sentidos de las cargas, teniendo en cuenta las inclinaciones del automóvil y la distribución de peso.

Al mismo tiempo se debe tener en cuenta el peso de la llanta (aro y neumático) que es de 65 kg (citar), en este caso la delantera derecha, cuyo peso recae en la barra estabilizadora, así como la fuerza centrífuga que actúa sobre esta.

Datos a tener en cuenta para el cálculo de la fuerza centrífuga  $F_y$ :

$$m_{auto} = 1420 \text{ kg}$$

$$V_{auto} = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$r_{curva} = 3.5 \text{ km}$$

Cálculo de la fuerza centrífuga

$$F_{x1} = \frac{m \cdot V^2}{r}$$

$$F_{x1} = \frac{1420 \text{ kg} \cdot \frac{100^2 \text{ km}^2}{\text{h}^2}}{3.5 \text{ km}}$$

$$F_{x1} = 78 \text{ N}$$

$$F_y = 650N$$

#### 4.6. Simulación estática de la barra

##### 4.6.1. Software SolidWorks

En este apartado, se realiza el análisis estático en el Software SolidWorks, el cual será evidenciado en este apartado por ejes X-Y y X-Z

##### 4.6.1.1. En eje X-Y

A continuación, se observa la representación gráfica de las fuerzas cortantes que actúan en ambos anclajes visto desde el plano X-Y, así como las gráficas de los valores de las mismas con respecto a la distancia.

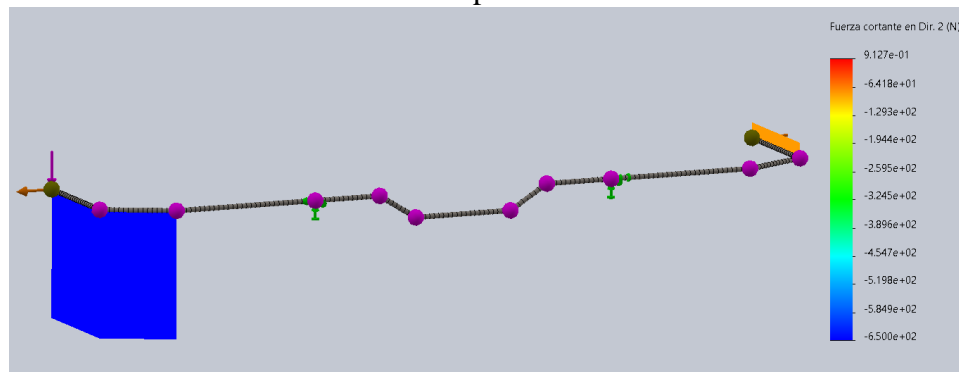


Ilustración 22: Fuerzas cortantes en eje X-Y.

Se obtiene los valores de fuerza cortante para el anclaje “A” de  $-5,946e-09$  N como se puede observar a continuación.

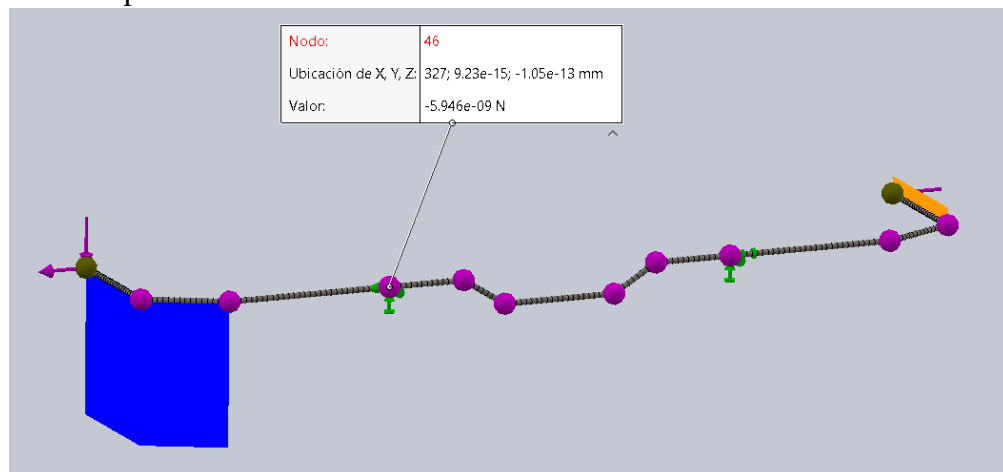
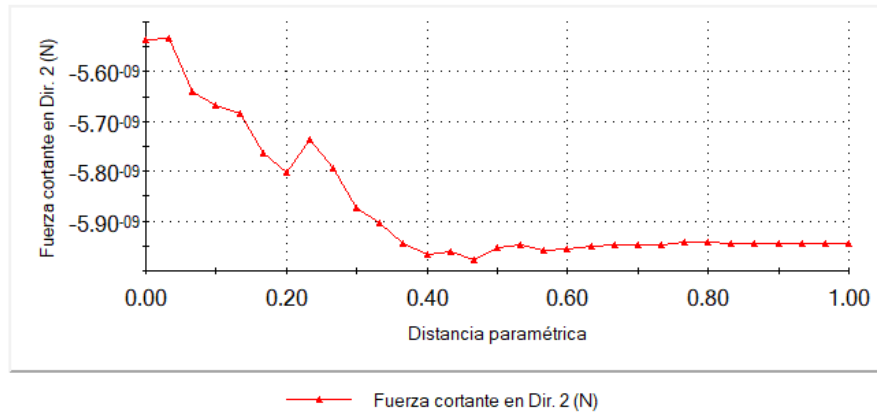


Ilustración 23: Fuerza cortante en anclaje A Plano X-Y.

Así mismo, se observa una variación para esta a medida que nos alejamos del anclaje como podemos observar en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)**  
**Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos2**



Gráfica 4: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje A Plano X-Y.

Lo mismo para el anclaje “B”, donde la fuerza cortante tiene un valor de  $5,287e-09$  N como se puede apreciar a continuación.

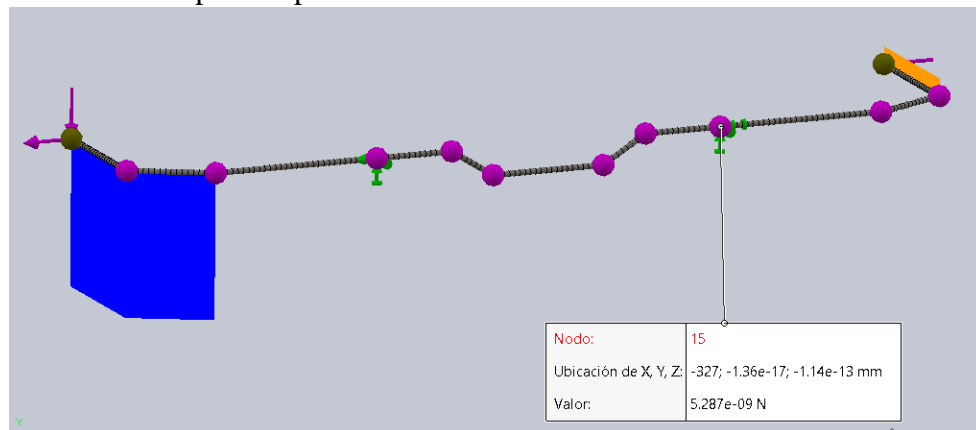
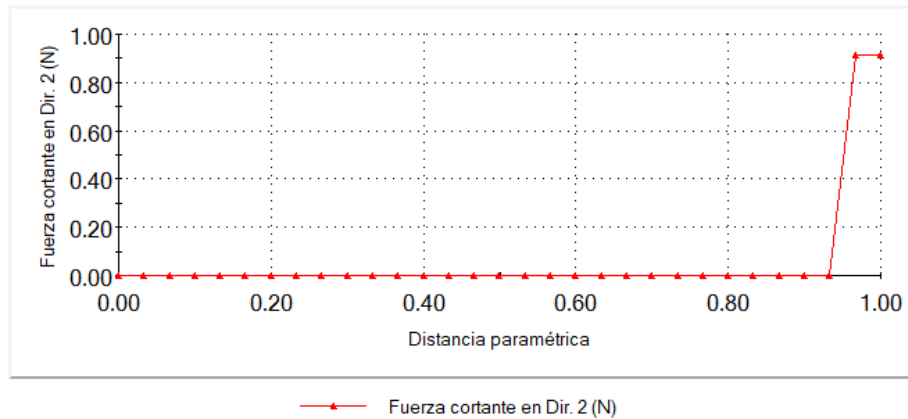


Ilustración 24: Fuerza cortante en anclaje B Plano X-Y.

De igual manera, se observa una variación para los valores de Fuerzas cortantes a medida que se aleja del nodo, como se puede ver en la siguiente gráfica.

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
 Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos2



Gráfica 5: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje B Plano X-Y.

Acto seguido, se tiene la representación de los momentos que actúan en ambos anclajes vistos desde el plano X-Y, así como las gráficas de los valores de las mismas con respecto a la distancia. Se observa en este como los valores descienden conforme se alejan de los anclajes.

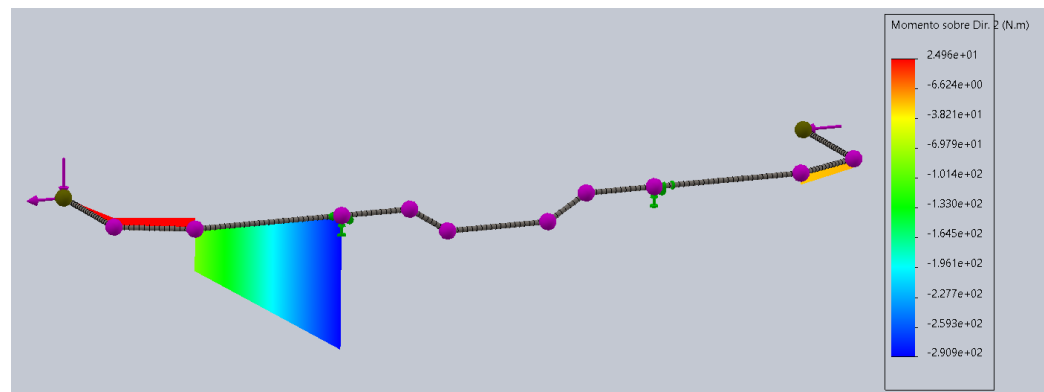


Ilustración 25: Momentos flectores en eje X-Y.

Se obtiene el valor de momento flector para el anclaje "A" es de  $-2.909e+02$  cómo se puede observar a continuación.

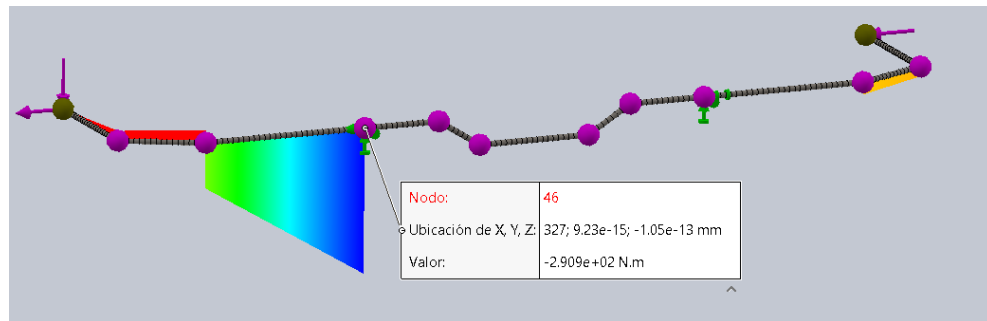
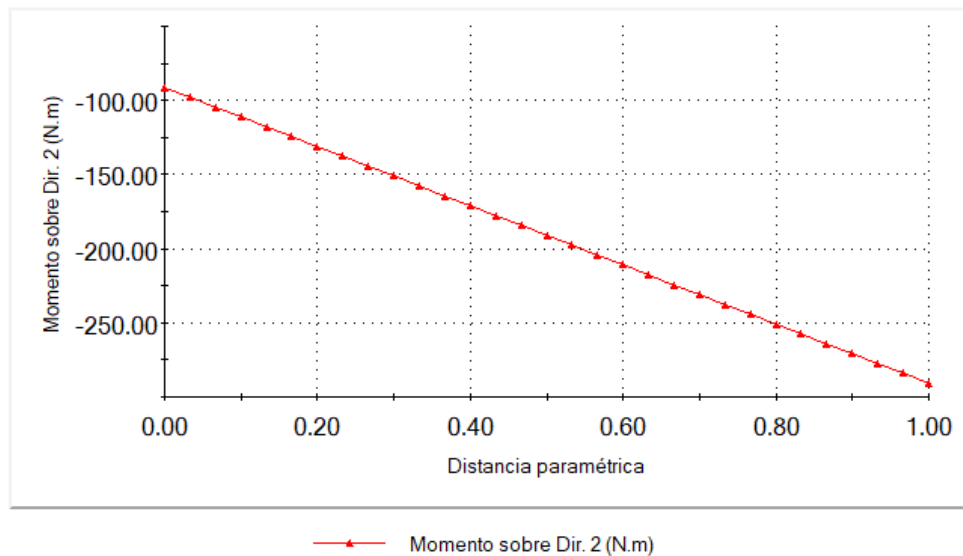


Ilustración 26: Momento flector en anclaje A Plano X-Y.

Al mismo tiempo que se observa una variación para esta a medida que nos alejamos del anclaje, como se observa en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)**  
**Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos4**



Gráfica 6: Momento flector vs. Distancia Anclaje A Plano X-Y.

Lo mismo para el anclaje “B”, donde se obtiene un valor de momento flector de  $-1.910e-11$  como se puede apreciar a continuación.

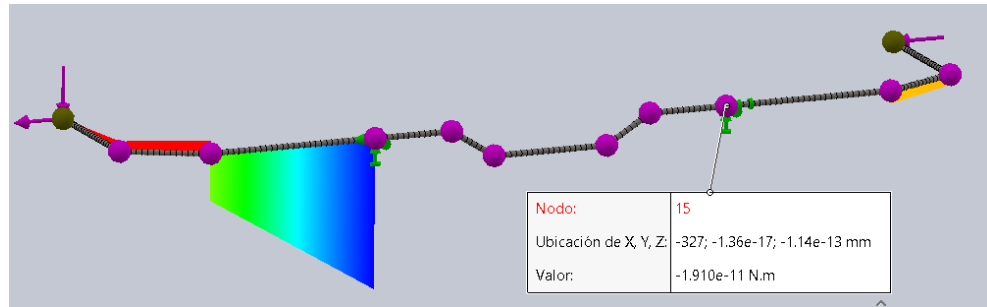
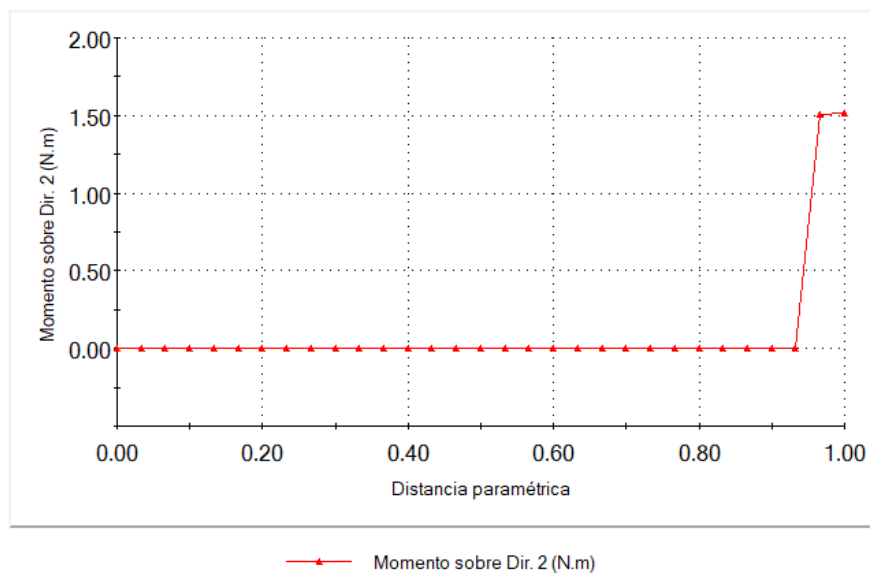


Ilustración 27: Momento flector en anclaje B Plano X-Y.

Al mismo tiempo que se observa una variación para esta a medida que nos alejamos del anclaje, como se observa en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)**  
**Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos4**



Gráfica 7: Momento flector vs. Distancia Anclaje B Plano X-Y.

#### 4.6.1.2. En eje X-Z

A continuación, se observa la representación gráfica de las fuerzas cortantes que actúan en ambos anclajes visto desde el plano X-Z, así como las gráficas de los valores de las mismas con respecto a la distancia.



Ilustración 28: Fuerzas cortantes en eje X-Z.

Se obtiene los valores de fuerza cortante para el anclaje “A” de  $6.500e+02$  N como se puede observar a continuación.

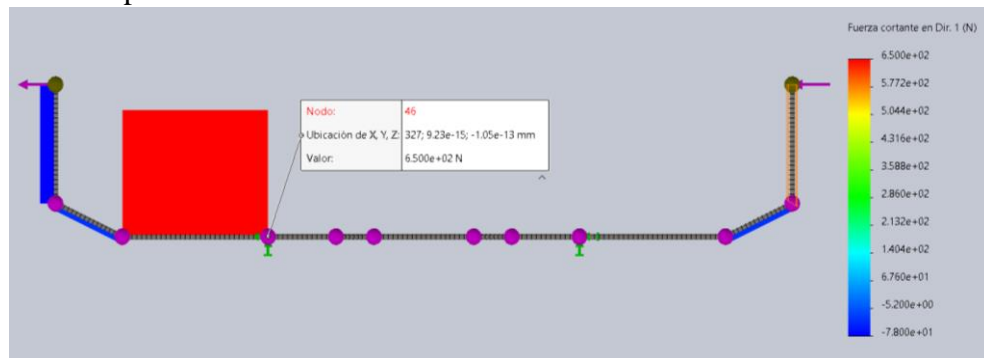
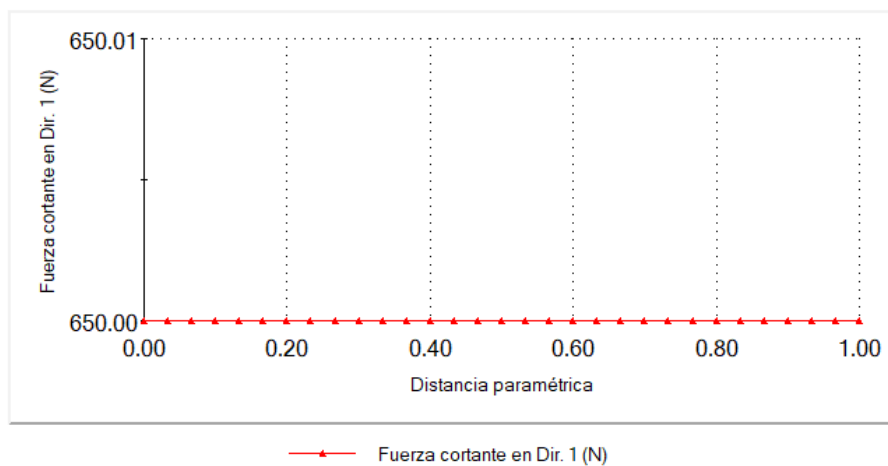


Ilustración 29: Fuerza cortante en anclaje A Plano X-Z.

Así mismo, se observa que los valores se mantienen constantes a medida que se alejan del anclaje como podemos observar en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio:** Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
**Tipo de resultado:** Trazado de módulos cortantes-momentos1



Gráfica 8: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje A Plano X-Z.

Lo mismo para el anclaje “B”, donde la fuerza cortante tiene un valor  $1.074e-11$  N como se puede apreciar a continuación.

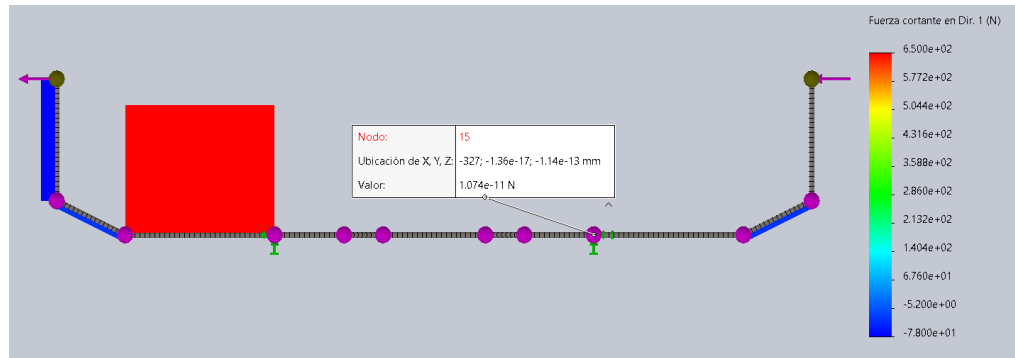
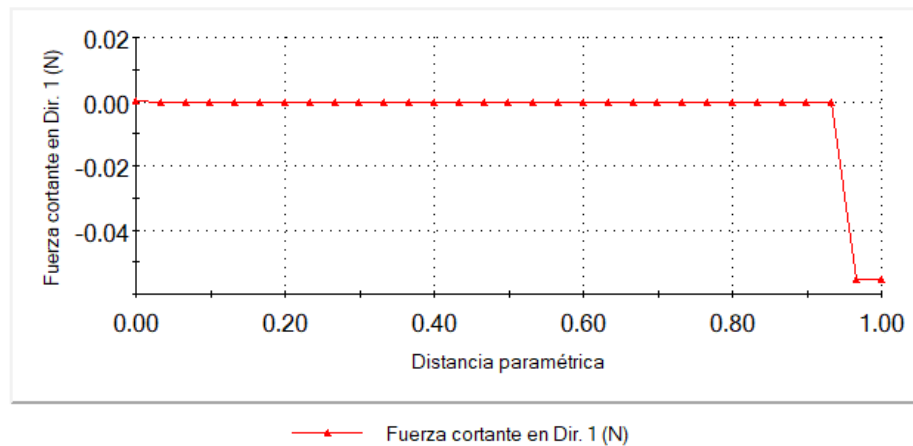


Ilustración 30: Fuerza cortante en anclaje B Plano X-Z.

De igual manera, se observa una variación para los valores de Fuerzas cortantes a medida que se aleja del nodo, como se puede ver en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)**  
**Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos1**



Gráfica 9: Fuerza cortante vs. Distancia Anclaje B Plano X-Z.

Acto seguido, se tiene la representación de los momentos que actúan en ambos anclajes vistos desde el plano X-Y, así como las gráficas de los valores de las mismas con respecto a la distancia. Se observa en este como los valores descenden conforme se alejan de los anclajes.



Ilustración 31: Momentos flectores en eje X-Z.

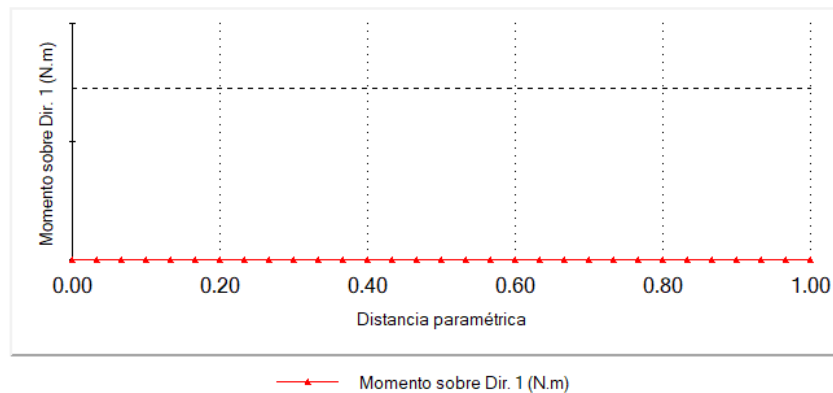
Se obtiene el valor de momento flector para el anclaje “A” es de  $-2.496e+01$  N.m. cómo se puede observar a continuación.



Ilustración 32: Momento flector en anclaje A Plano X-Z.

Al mismo tiempo que se observa que no existe variación a medida que se aleja la posición del anclaje, como se observa en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio:** Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)  
**Tipo de resultado:** Trazado de módulos cortantes-momentos3



Gráfica 10: Momento flector vs. Distancia Anclaje A Plano X-Z.

Lo mismo para el anclaje “B”, donde se obtiene un valor de momento flector de  $2.496e+01$  N.m. cómo se puede apreciar a continuación.

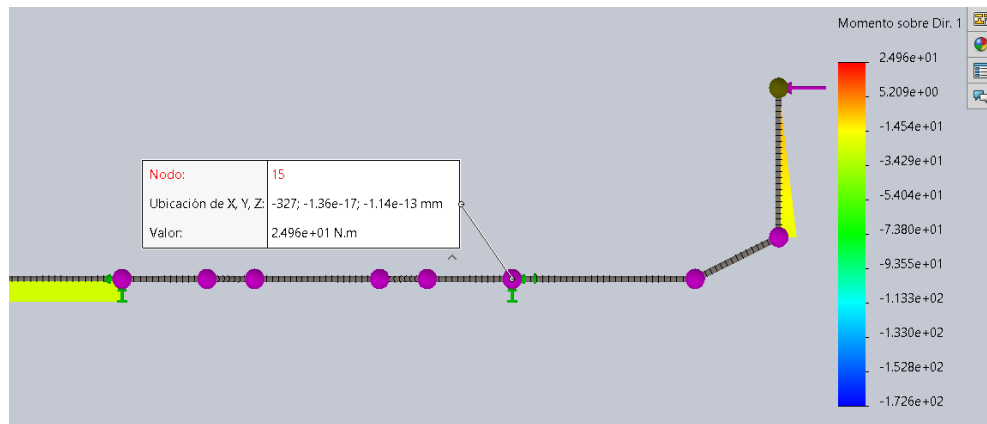
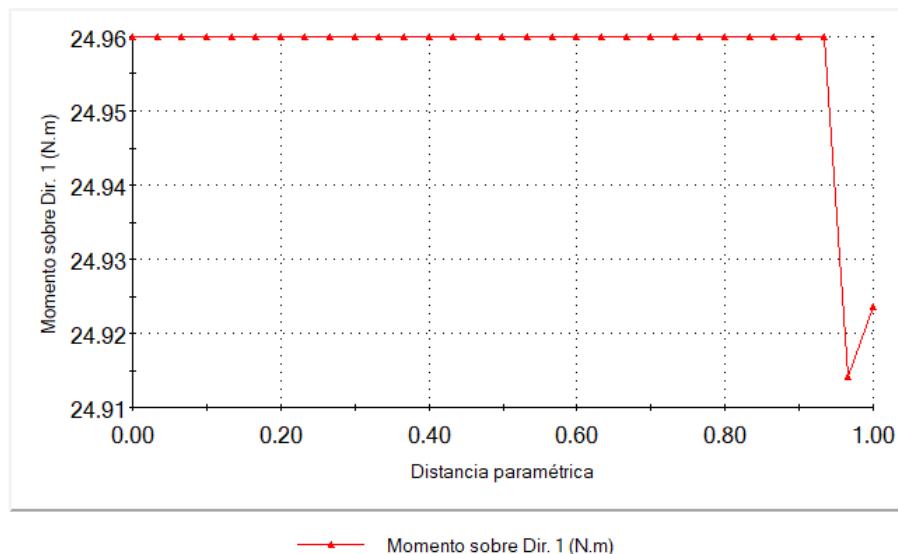


Ilustración 33: Momento flector en anclaje B Plano X-Z.

Al mismo tiempo que se observa una variación para esta a medida que nos alejamos del anclaje, como se observa en la siguiente gráfica.

**Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)**  
**Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes-momentos3**



Gráfica 11: Momento flector vs. Distancia Anclaje B Plano X-Z.

#### 4.7. Análisis de fatiga en SolidWorks

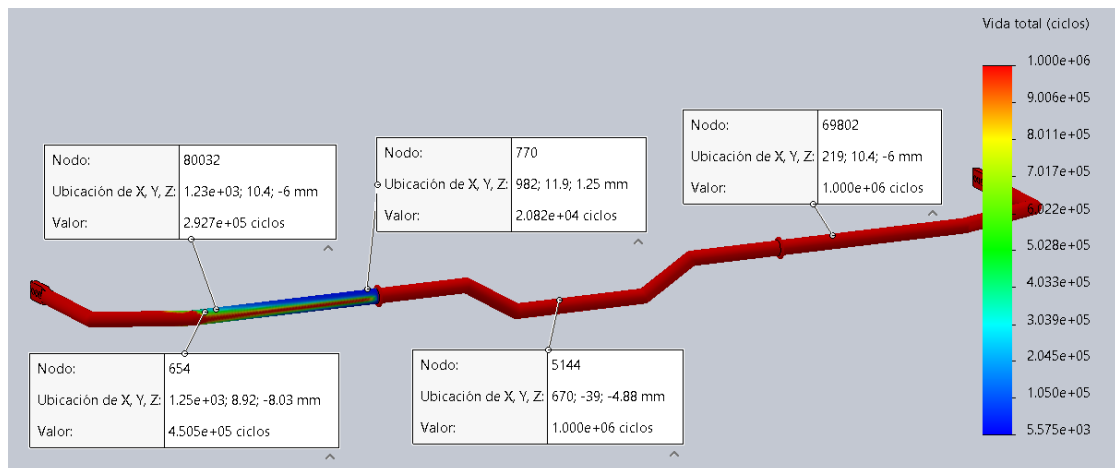
En este apartado, se realizó la simulación de un análisis de fatiga de la barra estabilizadora utilizando el material original (ACERO 5160) y los dos materiales

seleccionados (VINIL FLEXIBLE CON FIBRA DE CARBONO HS AL 85% Y VINIL NOVOLAC CON FIBRA DE CARBONO HS AL 85%) para posteriormente realizar la comparación respectiva.

Se seleccionan 5 nodos para identificar los valores de vida útil en cada uno de ellos para los 3 materiales. Dichos nodos están distribuidos de la siguiente manera: 01 en el sector izquierdo, 01 en el sector de adaptación de diseño, y 03 en el sector derecho; siendo estos últimos los que serán de mayor objeto de estudio ya que debido a las condiciones ese es el sector que se encuentra expuesto a mayor fatiga.

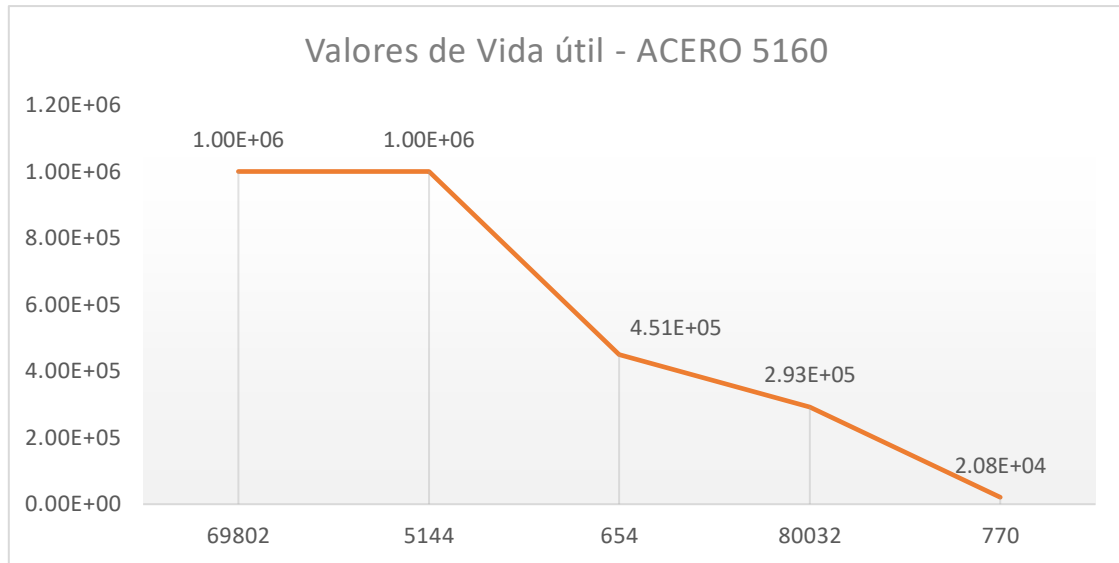
#### 4.7.1. ACERO 5160

En el caso del ACERO 5160, se obtuvieron los siguientes valores para los diferentes nodos, en donde se puede apreciar que el sector derecho de la barra es el que presenta mayor variación en la vida útil.



*Ilustración 34: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160.*

Se obtuvieron los siguientes valores para los nodos, siendo estos para los sectores de mayor vida útil de 1 000 000,00 de ciclos; y para el sector expuesto a más fatiga los valores oscilan entre 451 000,00 y 20 800,00 ciclos.



Gráfica 12: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160.

El siguiente cuadro resumen representa los valores de vida útil obtenidos con el material ACERO 5160 para cada nodo, así como su posición.

Nodo	Valor (ciclos)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
69802	1,00E+06	218,9285584	10,3923044	-6,00000095
5144	1,00E+06	669,6907959	-39,0374565	-4,88083792
654	4,51E+05	1252,626099	8,91773796	-8,02956772
80032	2,93E+05	1232,96228	10,3923044	-6,00000095
770	2,08E+04	982,2478638	11,9342623	1,25434077

Tabla 7: Valores de Vida útil en nodos material ACERO 5160.

Así mismo, se obtienen los valores máximos, mínimos y RMS para la vida útil, los cuales se describen en el siguiente cuadro

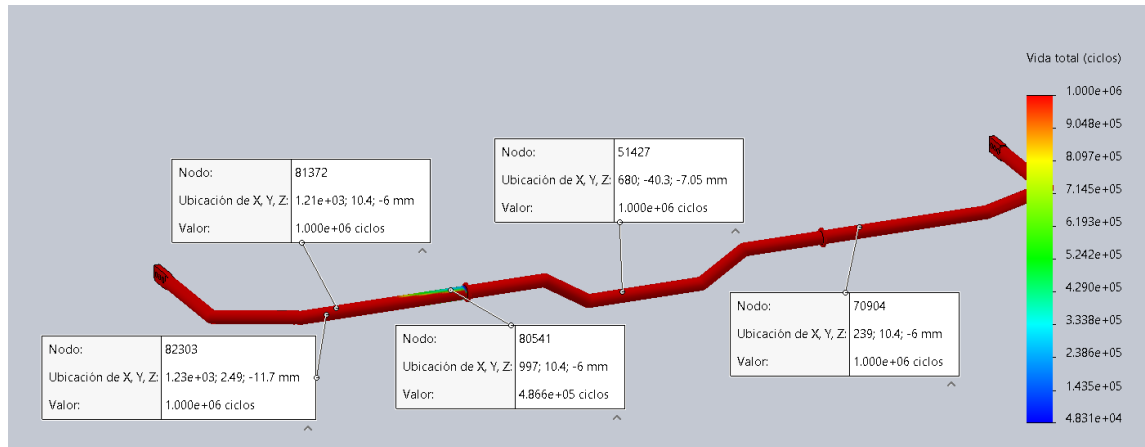
	Valor	Unidad
Máx.	1,00E+06	ciclos
Mín.	2,08E+04	ciclos
Valor RMS (media cuadrática)	6,77E+05	ciclos

Tabla 8: Valores máximos y mínimos de Vida útil en material ACERO 5160.

#### 4.7.2. VINIL FLEXIBLE/ FIBRA DE CARBONO HS AL 85%

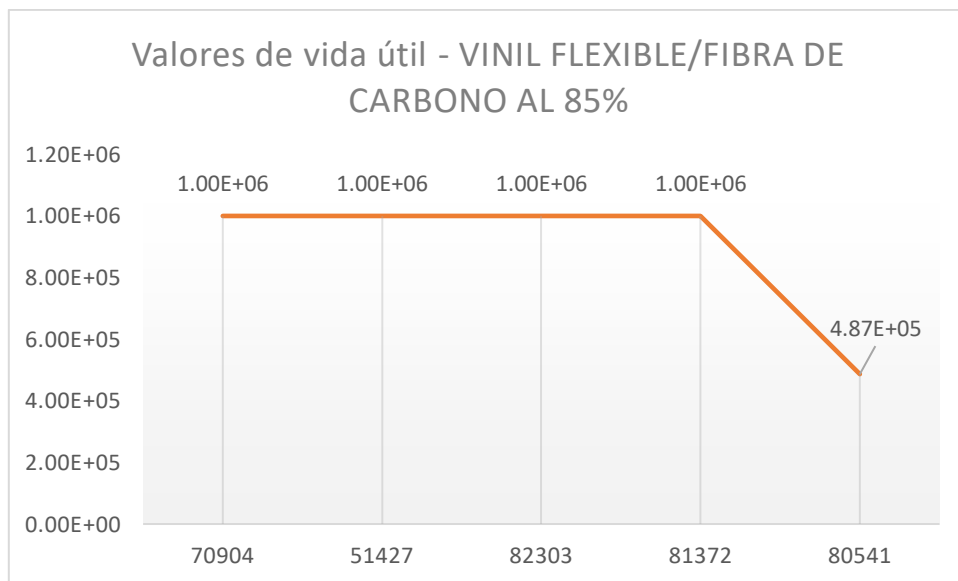
En el caso del VINIL FLEXIBLE/ FIBRA DE CARBONO HS AL 85%, se obtuvieron los siguientes valores para los diferentes nodos, en donde se puede

apreciar que el sector derecho de la barra es el que presenta mayor variación en la vida útil.



*Ilustración 35: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%.*

Se obtuvieron los siguientes valores para los nodos, siendo estos para los sectores de mayor vida útil de 1 000 000,00 de ciclos; y para el sector expuesto a más fatiga los valores oscilan entre 451 000,00 y 20 800,00 ciclos.



*Gráfica 13: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%.*

El siguiente cuadro resumen representa los valores de vida útil obtenidos con el material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% para cada nodo, así como su posición.

Nodo	Valor (ciclos)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
70904	1,00E+06	238,592438	10,3923044	-6,00000095
51427	1,00E+06	679,602417	-40,2917938	-7,05341911
82303	1,00E+06	1229,39221	2,49494004	-11,737771
81372	1,00E+06	1208,38232	10,3923044	-6,00000095
80541	4,87E+05	996,995789	10,3923044	-6,00000095

Tabla 9: Valores de Vida útil en nodos material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%.

Así mismo, se obtienen los valores máximos, mínimos y RMS para la vida útil, los cuales se describen en el siguiente cuadro

	Valor	Unidad
Máx.	1.000e+06	ciclos
Mín.	4.866e+05	ciclos
Valor RMS (media cuadrática)	9.205e+05	ciclos

Tabla 10: Valores máximos y mínimos de Vida útil material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%.

#### 4.7.3. VINIL NOVOLAC/ FIBRA DE CARBONO HS 85%

En el caso del VINIL NOVOLAC/ FIBRA DE CARBONO HS 85%, se obtuvieron los siguientes valores para los diferentes nodos, en donde se puede apreciar que el sector derecho de la barra es el que presenta mayor variación en la vida útil.

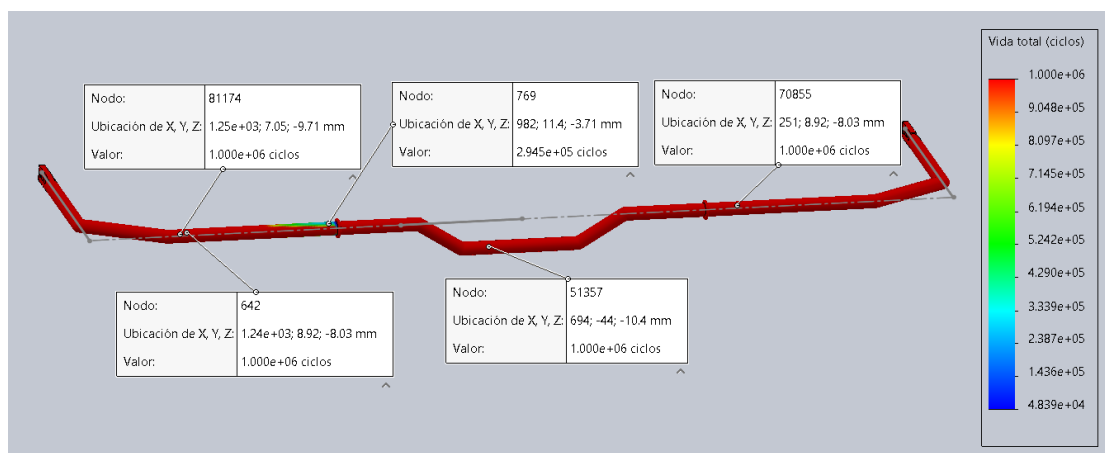
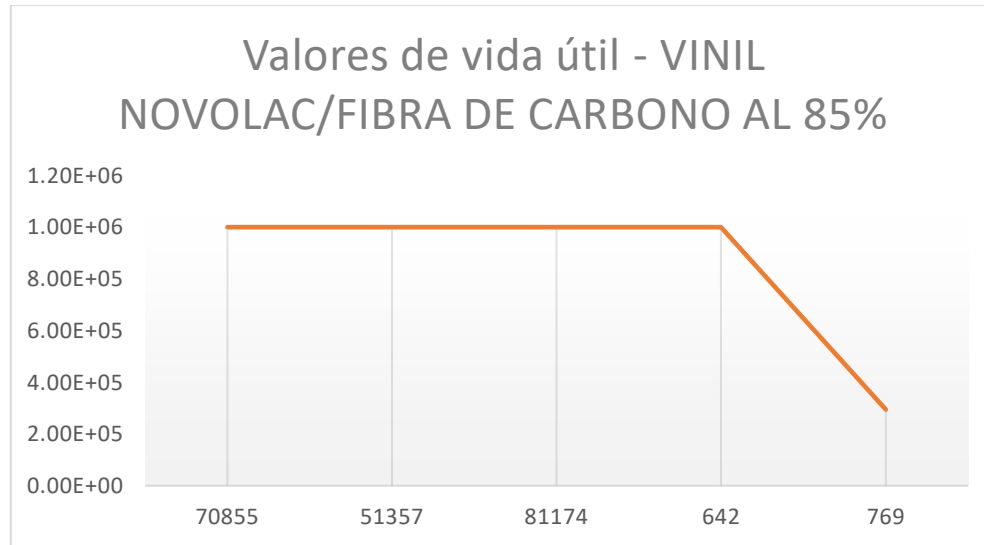


Ilustración 36: Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. Fuente propia.

Se obtuvieron los siguientes valores para los nodos, siendo estos para los sectores de mayor vida útil de 1 000 000,00 de ciclos; y para el sector expuesto a más fatiga los valores oscilan entre 451 000,00 y 20 800,00 ciclos.



*Gráfica 14: Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%.*

El siguiente cuadro resumen representa los valores de vida útil obtenidos con el material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85% para cada nodo, así como su posición.

Nodo	Valor (ciclos)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
70855	1,00E+06	250,882355	8,91773796	- 8,02956772
51357	1,00E+06	694,46991	-44	- 10,3923054
81174	1,00E+06	1250,16809	7,05342293	- 9,70820427
642	1,00E+06	1237,87817	8,91773796	- 8,02956772
769	2,95E+05	982,247864	11,4126787	- 3,70820498

*Tabla 11: Valores de Vida útil en nodos material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%.*

Así mismo, se obtienen los valores máximos, mínimos y RMS para la vida útil, los cuales se describen en el siguiente cuadro

	Valor	Unidad
Máx.	1.000e+06	ciclos
Mín.	2.945e+05	ciclos
Valor RMS (media cuadrática)	9.041e+05	ciclos

*Tabla 12: Valores máximos y mínimos de Vida útil material VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%.*

#### 4.8.Comparación de resultados de análisis de fatiga

En este apartado, se relatará e interpretará los resultados obtenidos en el análisis de fatiga para los 3 diferentes materiales. Así mismo, se comparó dichos resultados mediante cuadros y gráficas comparativas.

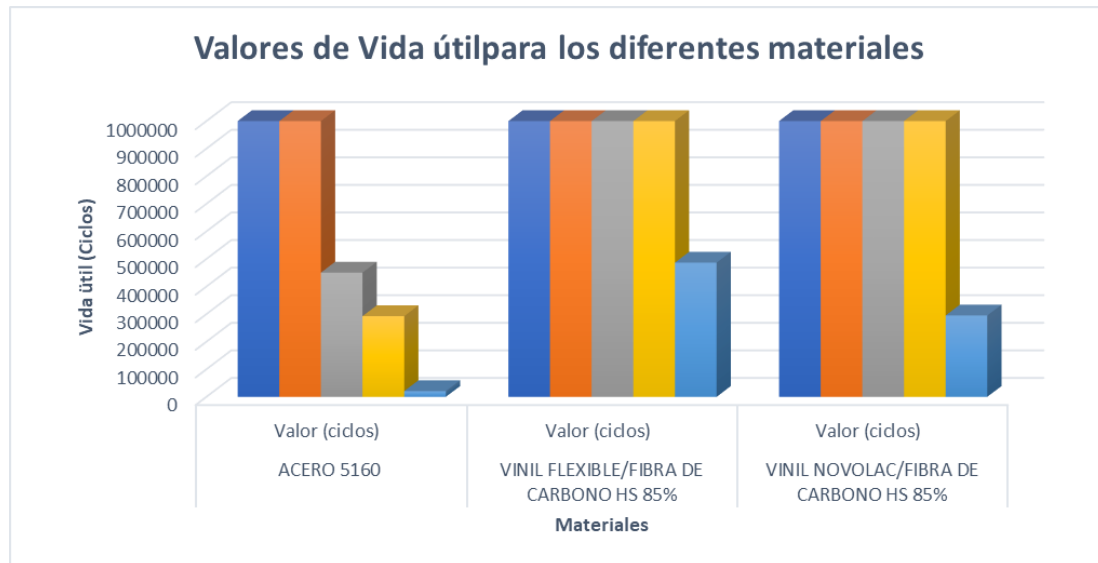
En el siguiente cuadro se resumen los valores de Vida útil (ciclos) obtenidos para cada uno de los materiales.

N°	MATERIALES					
	ACERO 5160		VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%		VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%	
	Nodo	Valor (ciclos)	Nodo	Valor (ciclos)	Nodo	Valor (ciclos)
<b>1</b>	69802	1,00E+06	70904	1,00E+06	70855	1,00E+06
<b>2</b>	5144	1,00E+06	51427	1,00E+06	51357	1,00E+06
<b>3</b>	654	4,51E+05	82303	1,00E+06	81174	1,00E+06
<b>4</b>	80032	2,93E+05	81372	1,00E+06	642	1,00E+06
<b>5</b>	770	2,08E+04	80541	4,87E+05	769	2,95E+05

*Tabla 13: Comparación de valores de Vida útil en los nodos para los 3 materiales.*

De manera gráfica, podemos ver como para el caso del nodo N°04 se obtiene un incremento de la vida útil a valores máximos; así como para el nodo N°05, en el cual se obtiene un incremento de la vida útil, siendo esta la zona más crítica para este caso.

Apreciamos también que el material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% es el que presenta una mejor vida útil en el nodo más crítico (N°05) y por lo tanto es el más viable para este caso.



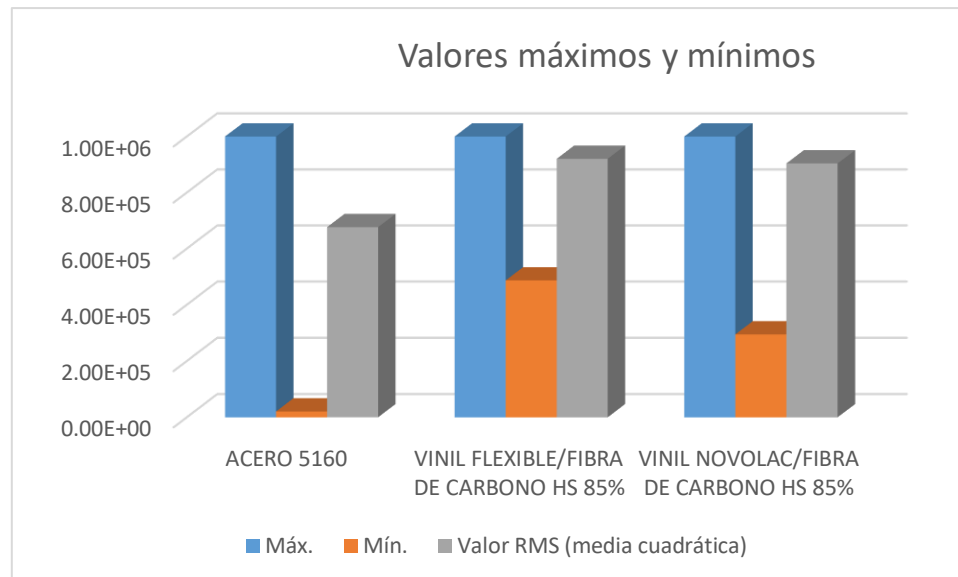
Gráfica 15: Comparación de valores de Vida útil en los nodos para los 3 materiales.

A manera de complementar lo antes mencionado, se hace una comparación entre los valores máximos y mínimos para cada material, los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

	<b>ACERO 5160</b>	<b>VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%</b>	<b>VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%</b>
	Valor	Valor	Valor
<b>Máx.</b>	1,00E+06	1,00E+06	1,00E+06
<b>Mín.</b>	2,08E+04	4,87E+05	2,95E+05
<b>Valor RMS (media cuadrática)</b>	6,77E+05	9,21E+05	9,04E+05

Tabla 14: Comparación de valores máximos y mínimos de Vida útil para los 3 materiales.

De manera gráfica, se puede observar un incremento en los valores mínimos de vida útil de la barra utilizando los materiales VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% Y VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%.



*Gráfica 16: Comparación de valores máximos y mínimos de Vida útil para los 3 materiales.*

Por lo expuesto, se define que el VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% es el material más adecuado y que mejor cumple con la finalidad de mejorar la vida útil, ya que aumenta la vida útil mínima en un 2 341,34% respecto al material original, por lo que será a este material al que se le realizará un análisis de costos.

#### 4.9. Análisis de Costos

Para obtener los costos de producción de la barra estabilizadora con el material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%, se empieza calculando la cantidad de material a emplear, para lo cual se debe tener en cuenta el volumen de la barra y la densidad del material, así como el porcentaje de fibra [19] y resina [20] a utilizar en el mismo. En el siguiente cuadro se calcula el precio total de material empleado

	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Volumen</b>	0,00093546	m <sup>3</sup>
<b>Densidad del material</b>	1730	kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Total de la barra</b>	1,61834516	kg
<b>Peso de la fibra (85%)</b>	1,375593386	kg
<b>Peso de resina (15%)</b>	0,242751774	kg
<b>Precio de la fibra</b>	400	Soles/kg
<b>Precio del Resina</b>	72	Soles/kg
<b>Precio Final del material</b>	567,7154821	Soles

*Tabla 15: Precio del material.*

Acto seguido, se calcula el costo de los servicios empleados en la fabricación, tales como agua, electricidad, internet, instalaciones, servicio de limpieza. Así mismo, se incluyen en este apartado los elementos de seguridad a utilizar, instrumentos y maquinarias a modo de alquiler mensual, con lo cual para el análisis se busca obtener el costo por horas de dichos servicios, como se resume en el siguiente cuadro.

	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>total/h</b>
<b>Agua</b>	148	PEN/M	0,61666667
<b>Electricidad</b>	310	PEN/M	1,29166667
<b>Internet</b>	200	PEN/M	0,83333333
<b>Instalaciones</b>	8000	PEN/M	33,3333333
<b>Limpieza</b>	40	PEN/M	0,16666667
<b>Elementos de seguridad</b>	500	PEN/M	2,08333333
<b>Instrumentos y maquinaria</b>	1000	PEN/M	4,16666667
		<b>Total</b>	42,4916667

*Tabla 16: Precio de servicios e instrumentos.*

En resumen, y teniendo en cuenta los costos obtenidos anteriormente y añadiendo costos por demás insumos, obtenemos lo siguiente. [21]

	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Parcial</b>	<b>Precio Total (Soles)</b>
<b>Material</b>			567,7154821	567,7154821
<b>Aditivos (Peróxido)</b>	gl	1	35	35
<b>Técnico electricista</b>	H/H	1,5	30	45
<b>Supervisor de calidad</b>	H/H	1,5	30	45
<b>Ingeniero Mecánico</b>	H/H	1,5	40	60
<b>Servicios varios</b>	Soles/H	1,5	42,49166667	63,7375
			<b>Subtotal</b>	816,4529821
			<b>Total (con I.G.V.)</b>	947,0854592

*Tabla 17: Costo total de producción.*

En la tabla anterior se identificaba el costo aproximado del proceso de fabricación, el cual podría estar sujeto a variaciones dependiendo del mercado y la situación económica del país, la cual en la actualidad es muy inestable.

Así pues, y teniendo en cuenta el precio sin costo de envío de una barra estabilizadora marca WHITELINE, el cual es de 201.1 euros [22] o 776.10 soles (dependiendo del tipo de cambio) podemos decir que hay un incremento de 170,98 soles, siendo el costo total de la pieza de 947,08 soles.

Teniendo en cuenta los resultados favorables en cuanto a vida útil, y el bajo peso del nuevo material, se afirma por criterio propio que el incremento de precio está justificado y que por lo tanto representa una opción de compra competitiva en el mercado.

## V. Conclusiones

- Los requerimientos para el diseño de una barra estabilizadora, dentro de lo cual se encuentra la matriz de selección de conceptos y la matriz de necesidades-métricas. En el caso de esta tesis, se determinó que el tipo de barra más adecuado para el diseño y estudio es el tipo “de suspensión semindependiente”.
- El material a utilizar en el análisis, de entre la combinación de 3 tipos diferentes de fibras de carbono y 3 tipos de diferentes de matrices vinílicas, así como 2 combinaciones adicionales de matrices vinílicas con FIBRA DE CARBONO HS al 85%. De entre todas las combinaciones de materiales se eligió al VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% y VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85% para realizar el análisis de fatiga
- Se calculó de manera estática la barra utilizando el software SolidWorks, obteniendo en los nodos más críticos valores de  $-5,94e-09$  N para la fuerza cortante y  $-2,909e02$  N.m para el momento flector en la sujeción A, y  $5.287e-09$  N para la fuerza cortante  $-1,910e-11$  N.m para el momento flector en la sujeción B en el eje X-Y. Así mismo, para el eje X-Z se obtuvo los valores de  $6,5e02$  N para la fuerza cortante y  $-2,496e01$  N.m para el momento flector en la sujeción A, y  $1,074e-11$  N para la fuerza cortante  $2,49e01$  N.m para el momento flector en la sujeción B
- Se realizó un análisis de fatiga bajo el criterio de Von Mises utilizando el software SolidWorks, en donde se simuló la barra con diferentes materiales, entre los cuales se encuentran: ACERO 5160, VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% y VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%. En dicho análisis se obtuvieron para esos materiales los siguientes valores de Vida útil en los nodos más críticos: 20 800(ACERO 5160), 487 000(VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85%) Y 295 000(VINIL NOVOLAC/FIBRA DE CARBONO HS 85%). siendo el VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% el que ofrece una mejor vida útil para el caso de estudio.

- Se comparó los resultados obtenidos con los nuevos materiales elegidos con los resultados del material original, siendo el VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% el que ofrece una mejor vida útil para el caso de estudio con un valor de 487 000 ciclos de vida útil mínima en el nodo más crítico, mientras que el material original Acero 5160 ofrece un valor de 20 800 ciclos de vida útil en dicho nodo, por lo que se logró un aumento de vida útil utilizando CFRP.
- Se analizaron los costos de la implementación de una barra estabilizadora teniendo en cuenta los costos de producción, instrumentos, maquinaria, insumos, servicios y mano de obra obteniendo un costo final de 947,085 Soles respecto a 776.10 soles de una barra marca WHITELINE.

## **VI. Recomendaciones**

- Para nuevos estudios se propone comprobar el material VINIL FLEXIBLE/FIBRA DE CARBONO HS 85% mediante ensayos de fatiga para poder comparar los resultados con respecto a los análisis CAE.
- Evaluar la durabilidad del componente propuesto respecto a otros existentes en el mercado.
- Se recomienda en futuras investigaciones utilizar más de 3 fibras entre naturales y artificiales para ser luego evaluadas como alternativa de los materiales utilizados en la presente tesis.
- El análisis de adherencia juega un rol muy importante en las propiedades mecánicas del material compuesta. De lo antes comentado, se recomienda realizar un tratamiento químico de fibra para mejorar las propiedades de adherencia y poder compararse con los resultados obtenidos CAE.

## VII. Referencias

- [1] D. L. Donaire, «Actualidad Motor,» [En línea]. Available: <https://www.actualidadmotor.com/que-es-una-barra-estabilizadora/>. [Último acceso: 20 Abril 2022].
- [2] A. M. d. O. Huerta, Análisis de la suspensión y la estructura de un vehículo UTV mediante FEM, Ciudad de Mexico : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2016.
- [3] E. Ponce, «AUTOCOSMOS,» 08 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/08/12/la-historia-del-sistema-de-suspension-en-los-automoviles>. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [4] SIMULACIÓN EN MODELO DE ELEMENTOS MECÁNICOS DE UNA SUSPENSIÓN, Ciudad de Mexico : UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2011.
- [5] A. Chavez Santibañez y S. Martinez Mira, Estudio del acero utilizado en una barra estabilizadora automotriz, Mexico D.F.: Instituto politécnico nacional , 2008.
- [6] J. L. O. Cuautle, Los sistemas de dirección, suspensión y transmisión, Ciudad de Mexico : Mecánica Fácil Automotriz .
- [7] A. R. S. d. Villaverde, La fibra de carbono: Más allá del refuerzo estructural, Barcelona: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2021.
- [8] F. D. C. CADENA, ESTUDIO Y ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO DE RALLY, Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, 2017.
- [9] J. L. Auquilla Ocampo y C. R. Torres Romero , Diseño del sistema de suspensión de vehículo monoplaza eléctrico formula SAE, Cuenca : Universidad Politecnica Salesiana , 2016.
- [1] A. P. P. Mariappa, Design and Optimization of Anti-Roll Bar, Kaunas: Kaunas University of Technology, 2018.
- [1] A. L. G. Mancera, Diseño, manufactura y prueba de una barra estabilizadora para un vehículo de carreras prototipo, Bogotá D.C.: Universidad de los Andes , 2016.
- [1] P. K, Design and Optimization of Automobile Axle Stabilizer Bars for Fatigue Strength, Tirupati: Sri Venkateswara College of Engineering, 2009.
- [1] Vardham Devendra Prasad, Theepalapudi Vihari, Rupak Sai Nag.V y Darahas.V, Design and Development of Off Road Vehicle Handling by Active Tubular Stabilizer Bar for Enhancing Yaw Stability, Chennai: Sathyabama University, 2017.

- [1 «Motor Canales Mapfre,» [En línea]. Available: [https://solid-bi.es/solidworks/](https://www.motor.mapfre.es/consejos-4] practicos/consejos-de-mantenimiento/suspensiones-para-el-coche/#:~:text=Las%20suspensiones%20semirr%C3%ADgidas%20cuentan%20con,se%20producen%20en%20la%20carretera.. [Último acceso: 20 Abril 2022].</a></p>
<p>[1 Manuel Santiago Torrano Martínez y David Herrero Pérez, Apuntes de elasticidad y resistencia<br/>5] de materiales, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2011.</p>
<p>[1 C. P. González, PROPUESTA DE UN SOPORTE BASADO EN FIBRA DE CARBONO Y RESINAS<br/>6] TERMOESTABLES, Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, 1997.</p>
<p>[1 «SOLIDBI,» [En línea]. Available: <a href=). [Último acceso: 12 10 2022].  
7]
- [1 V. E. Salazar Muñoz, I. Kado Mercado Elías y D. L. Espericueta González, «CES-EDUPACK EN EL  
8] PROCESO DE VINCULACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CON EL SECTOR PRODUCTIVO,» San Luis Potosí, 2020.
- [1 «ruedasgordas.es,» [En línea]. Available:
- [2 «mercadolibre,» [En línea]. Available: [https://arlraceparts.com/producto/toyota/yaris/suspension-yaris/barra-estabilizadora-delantera-whiteline-toyota-yaris-gr/](https://listado.mercadolibre.com.pe/peroxido. [Último<br/>1] acceso: 03 12 2022].</a></p>
<p>[2 «ARL raceparts,» [En línea]. Available:<br/>2] <a href=). [Último acceso: 12 10 2022].

## VIII. ANEXOS

## Anexos N°01: Datos de los materiales analizados

## VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

**Price**

Price	128	-	253	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

## Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.48e3	-	1.54e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	65.1	-	80	GPa
Yield strength (elastic limit)	410	-	472	MPa
Flexural modulus	65.1	-	80	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	6.66	-	117	W/m.°C
Specific heat capacity	960	-	1.02e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.69	-	0.669	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	220	-	245	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	15	-	16.7	kg/kg

## Registros utilizados:

Matriz = VE (standard)

Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

## Parámetros:

Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

## Atributos adicionales:

Matrix volume fraction = 40 %

Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

### Price

Price	141	-	279	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

### Physical properties

Density	1.56e3	-	1.61e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	83.5	-	104	GPa
Yield strength (elastic limit)	465	-	537	MPa
Flexural modulus	83.5	-	104	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	-10.6	-	60.8	W/m.°C
Specific heat capacity	885	-	936	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.8	-	0.538	μstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	μohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	235	-	261	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.2	-	18.1	kg/kg

Registros utilizados:

Matriz = VE (standard)

Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

Parámetros:

Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:

Matrix volume fraction = 30 %

Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

### Price

Price	63.3	-	84.1	PEN/kg
-------	------	---	------	--------

Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

### Physical properties

Density	1.48e3	-	1.54e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	49	-	61.8	GPa
Yield strength (elastic limit)	453	-	615	MPa
Flexural modulus	49	-	61.8	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	6.66	-	117	W/m.°C
Specific heat capacity	960	-	1.02e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.53	-	0.882	μstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	μohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	220	-	245	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	15	-	16.7	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (standard)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

### Price

Price	68.6	-	91.5	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.56e3	-	1.61e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	61.9	-	80.3	GPa
Yield strength (elastic limit)	516	-	705	MPa
Flexural modulus	61.9	-	80.3	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	-10.6	-	60.8	W/m.°C
Specific heat capacity	885	-	936	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.7	-	0.677	μstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	μohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	235	-	261	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.2	-	18.1	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (standard)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

**Price**

Price	328	-	371	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

## Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.63e3	-	1.73e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	89.4	-	125	GPa
Yield strength (elastic limit)	355	-	394	MPa
Flexural modulus	89.4	-	125	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	6.66	-	117	W/m.°C
Specific heat capacity	921	-	1.01e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.86	-	0.493	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-4.93e14	-	8.88e13	µhm.cm
------------------------	----------	---	---------	--------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	697	-	791	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	49	-	55.6	kg/kg

## Registros utilizados:

Matriz = VE (standard)

Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

## Parámetros:

Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

## Atributos adicionales:

Matrix volume fraction = 40 %

Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

**VINIL ESTANDAR / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv****Price**

Price	359	-	405	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

## Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.74e3	-	1.84e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	119	-	173	GPa
Yield strength (elastic limit)	402	-	446	MPa
Flexural modulus	119	-	173	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	-10.6	-	60.8	W/m.°C
Specific heat capacity	852	-	926	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.92	-	0.427	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-4.94e14	-	8.86e13	µhm.cm
------------------------	----------	---	---------	--------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	757	-	858	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	53.4	-	60.5	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (standard)  
 Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

### Price

Price	128	-	252	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.49e3	-	1.54e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	62	-	78	GPa
Yield strength (elastic limit)	421	-	431	MPa
Flexural modulus	62	-	78	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	6.39	-	136	W/m.°C
Specific heat capacity	956	-	1.02e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.72	-	0.639	µstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	219	-	245	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	15	-	16.7	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

**Price**

Price	140	-	278	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.57e3	-	1.62e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	80	-	102	GPa
Yield strength (elastic limit)	480	-	491	MPa
Flexural modulus	80	-	102	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	-11.3	-	60.1	W/m.°C
Specific heat capacity	882	-	937	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.82	-	0.518	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	234	-	261	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.2	-	18	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

**VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv****Price**

Price	63.1	-	83.8	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.49e3	-	1.54e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	47	-	60.4	GPa
Yield strength (elastic limit)	480	-	526	MPa
Flexural modulus	47	-	60.4	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	6.39	-	136	W/m.°C
Specific heat capacity	956	-	1.02e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.57	-	0.834	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	219	-	245	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	15	-	16.7	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

### Price

Price	68.5	-	91.3	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.57e3	-	1.62e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	59.7	-	78.8	GPa
Yield strength (elastic limit)	548	-	602	MPa
Flexural modulus	59.7	-	78.8	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	-11.3	-	60.1	W/m.°C
Specific heat capacity	882	-	937	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.73	-	0.646	µstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	µhm.cm
------------------------	----------	---	---------	--------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	234	-	261	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.2	-	18	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

**Price**

Price	327	-	370	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.64e3	-	1.74e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	84.4	-	121	GPa
Yield strength (elastic limit)	361	-	367	MPa
Flexural modulus	84.4	-	121	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	6.39	-	136	W/m.°C
Specific heat capacity	918	-	1.01e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.88	-	0.478	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-4.93e14	-	8.88e13	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	695	-	789	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	48.8	-	55.4	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

**Price**

Price	358	-	405	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.74e3	-	1.84e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	113	-	169	GPa
Yield strength (elastic limit)	409	-	416	MPa
Flexural modulus	113	-	169	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	-11.3	-	60.1	W/m.°C
Specific heat capacity	849	-	927	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.93	-	0.417	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-4.94e14	-	8.86e13	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	755	-	857	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	53.2	-	60.4	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL FLEXIBLE / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra continua, Unidireccional) - 85% fv

### Price

Price	75.7	-	101	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.68e3	-	1.73e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	192	-	222	GPa
Yield strength (elastic limit)	3.2e3	-	3.41e3	MPa
Tensile strength	3.75e3	-	4.09e3	MPa
Compressive strength	966	-	1.02e3	MPa
Flexural modulus	192	-	222	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	966	-	1.02e3	MPa
Shear modulus	6.58	-	8.08	GPa
Bulk modulus	16.8	-	19.3	GPa
Poisson's ratio	0.0607	-	0.223	

### Thermal properties

Thermal conductivity	68	-	170	W/m.°C
Specific heat capacity	784	-	822	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.9	-	0.446	µstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	7.42e4	-	1.86e5	µhm.cm
------------------------	--------	---	--------	--------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	254	-	282	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	17.8	-	19.8	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (flexible)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 15 %  
 Reinforcement volume fraction = 85 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra continua (UD y QI)

## VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

**Price**

Price	126	-	249	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.5e3	-	1.57e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	-------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	66	-	80.7	GPa
Yield strength (elastic limit)	426	-	466	MPa
Flexural modulus	66	-	80.7	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	7.32	-	91.2	W/m.°C
Specific heat capacity	939	-	1.03e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.63	-	0.717	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	217	-	244	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	14.8	-	16.6	kg/kg

Registros utilizados:

Matriz = VE (novolac)

Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

Parámetros:

Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:

Matrix volume fraction = 40 %

Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

**VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO HM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv****Price**

Price	139	-	276	PEN/kg
-------	-----	---	-----	--------

Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.58e3	-	1.64e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	84.6	-	105	GPa
Yield strength (elastic limit)	484	-	530	MPa
Flexural modulus	84.6	-	105	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	-8.68	-	62.2	W/m.°C
Specific heat capacity	871	-	941	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.76	-	0.569	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	232	-	260	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.1	-	17.9	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (novolac)  
 Fibra = Carbon fibers, high modulus (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv

### Price

Price	62.3	-	83.1	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.5e3	-	1.57e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	-------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	49.6	-	62.3	GPa
Yield strength (elastic limit)	493	-	600	MPa
Flexural modulus	49.6	-	62.3	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	7.32	-	91.2	W/m.°C
Specific heat capacity	939	-	1.03e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.43	-	0.957	µstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-8.64e13	-	1.84e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	217	-	244	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	14.8	-	16.6	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (novolac)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50

Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

**Price**

Price	67.9	-	90.7	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.58e3	-	1.64e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	62.6	-	80.8	GPa
Yield strength (elastic limit)	562	-	687	MPa
Flexural modulus	62.6	-	80.8	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	-8.68	-	62.2	W/m.°C
Specific heat capacity	871	-	941	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.64	-	0.725	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-1.19e14	-	1.45e14	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	232	-	260	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.1	-	17.9	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (novolac)  
 Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

**VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 60% fv****Price**

Price	323	-	367	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

**Physical properties**

Density	1.65e3	-	1.76e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	91.1	-	126	GPa
Yield strength (elastic limit)	365	-	390	MPa
Flexural modulus	91.1	-	126	GPa

**Thermal properties**

Thermal conductivity	7.32	-	91.2	W/m.°C
Specific heat capacity	904	-	1.01e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.84	-	0.517	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	-4.93e14	-	8.88e13	µohm.cm
------------------------	----------	---	---------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	686	-	783	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	48.2	-	55	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (novolac)  
 Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 40 %  
 Reinforcement volume fraction = 60 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO UHM (Fibra corta, Aleatorias) - 70% fv

### Price

Price	355	-	402	PEN/kg
Notes	Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)			

### Physical properties

Density	1.75e3	-	1.86e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	121	-	174	GPa
Yield strength (elastic limit)	413	-	441	MPa
Flexural modulus	121	-	174	GPa

### Thermal properties

Thermal conductivity	-8.68	-	62.2	W/m.°C
Specific heat capacity	840	-	930	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	-1.9	-	0.443	µstrain/°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	-4.94e14	-	8.86e13	µhm.cm
------------------------	----------	---	---------	--------

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	748	-	852	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	52.8	-	60	kg/kg

Registros utilizados:  
 Matriz = VE (novolac)  
 Fibra = Carbon fibers, ultra high modulus (10 micron, f)

Parámetros:  
 Relación de aspecto de la fibra (s) = 50  
 Atributos adicionales:  
 Matrix volume fraction = 30 %  
 Reinforcement volume fraction = 70 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra corta

## VINIL NOVOLAC / FIBRA DE CARBONO HS (Fibra continua, Unidireccional) - 85% fv

**Price**

Price	75.4	-	101	PEN/kg
-------	------	---	-----	--------

Notes

Solo tienen en cuenta la contribución de componentes del material establecido (no incluye procesamiento, adhesivos o aditivos)

**Physical properties**

Density	1.69e3	-	1.74e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---	--------	-------------------

**Mechanical properties**

Young's modulus	192	-	222	GPa
Yield strength (elastic limit)	3.2e3	-	3.41e3	MPa
Tensile strength	3.75e3	-	4.09e3	MPa
Compressive strength	966	-	1.26e3	MPa
Flexural modulus	192	-	222	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	966	-	1.26e3	MPa
Shear modulus	7.28	-	8.97	GPa
Bulk modulus	18.7	-	21.2	GPa
Poisson's ratio	0.0607	-	0.223	

**Thermal properties**

Thermal conductivity	68	-	170	W/m. <sup>°C</sup>
Specific heat capacity	780	-	825	J/kg. <sup>°C</sup>
Thermal expansion coefficient	-1.86	-	0.478	µstrain/ <sup>°C</sup>

**Electrical properties**

Electrical resistivity	7.42e4	-	1.86e5	µohm.cm
------------------------	--------	---	--------	---------

**Primary production energy, CO2 and water**

Embodied energy, primary production	253	-	281	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	17.8	-	19.7	kg/kg

Registros utilizados:

Matriz = VE (novolac)

Fibra = Carbon fibers, high strength (5 micron, f)

Atributos adicionales:

Matrix volume fraction = 15 %

Reinforcement volume fraction = 85 %

Modelo: Compuestos (fibras y partículas), Fibra continua (UD y QI)

Anexos N°02: Plano de la pieza

