

# ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO UTILIZANDO NANOFIBRA DE CARBONO POR TERMOCONFORMADO

## ELABORATION OF A COMPOUND MATERIAL USING CARBON NANOFIBER THROUGH THERMOFORMING

Cristian Quiroz Valencia<sup>1</sup>, Luis Castro Amaguaña<sup>2</sup>

### Resumen

En la actualidad existe una gran variedad de materiales que se utilizan en la industria automotriz por tal motivo se investigó una nueva nanotecnología con lo cual ha permitido la investigación de los materiales compuestos y así emprender con la elaboración de un nuevo material compuesto con nanofibra de carbono con la finalidad de sustituir al acero en la fabricación de carrocerías, ya que este material es muy resistente, flexible, duradero y brinda seguridad al ocupante del vehículo. Para la realización del estudio se eligió como referencia las puertas y el piso para elaborar probetas y realizar ensayos que determinan la viabilidad del material y su factor de seguridad, con lo cual los dos tipos de materiales el acero y el material compuesto (fibra de carbono) se utilizan en las carrocerías como en las puertas y el piso del vehículo se analizaran los materiales planteados para identificar las propiedades y comprobar cual material es más óptimo. Posteriormente construimos un horno de temperatura programable

para procesar la fibra de Carbono y realizar los respectivos ensayos de tracción y flexión en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional para determinar la calidad del material elaborado para posteriormente comparar los valores obtenidos en el laboratorio y realizar la simulación del material propuesto en SolidWorks para determinar el factor de seguridad y validar el estudio realizado al elaborar material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado.

**Palabras Clave:** Nanofibra de carbono, termoconformado.

### Abstract

Currently there is a wide variety of materials used in the automotive industry for this reason a new nanotechnology was investigated which has allowed the research of composite materials and thus undertake the development of a new composite material with carbon nanofiber with the purpose of replacing steel in the manufacture of bodies, since this material

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Universidad Técnica del Norte – Ibarra  
lgcastroa@utn.edu.ec, caquirozv@utn.edu.ec

is very resistant, flexible, durable and provides safety to the occupant of the vehicle. For the realization of the study the doors and the floor were chosen as a reference to elaborate specimens and to carry out tests that determine the viability of the material and its safety factor, with which the two types of materials the steel and the composite material (carbon fiber) are used in the bodies as in the doors and the floor of the vehicle will analyze the materials proposed to identify the properties and check which material is more optimal. Later we built a programmable temperature furnace to process the carbon fiber and perform the respective tensile and bending tests in the laboratory of analysis of efforts and vibrations of the National Polytechnic School to determine the quality of the material prepared to later compare the values obtained in the laboratory and perform the simulation of the material proposed in SolidWorks to determine the safety factor and validate the study carried out when preparing composite material with carbon nanofibre by thermoforming.

**Keywords:** Carbon nanofibre, thermoforming.

## 1. Introducción

En la actualidad existen diversos materiales que se utilizan en la industria automotriz de ahí se ha dado la iniciativa de estudiar nuevos materiales como las nanofibras de carbono fueron creadas en la década de los 60 mediante rigurosos procesos el cual permite la oxidación del oxígeno para la generación de la

carbonización, según los procesos de temperatura a que son sometidas se generan los tipos de resistencia de la nanofibras de Carbono como sus propiedades baja densidad, alta elasticidad, resistencia a la tracción, etc. La matriz son compuestos moleculares mediante la propiedad polimérica el cual permite que las moléculas se unan entre sí para un mejor desempeño del material durante el curado. En la creación de autoclave (horno de curado) es un elemento fundamental para la elaboración del material compuesto ya que permite curar el material mediante un proceso de temperatura y presión (vacío), esto permite que la matriz y la nanofibra se compacten de mejor manera.

La nanofibra de carbono fue seleccionada bajo estudios realizados para identificar las propiedades que se requieren para la elaboración del material compuesto por tal motivo se seleccionó dos tipos de fibras de carbono como la bidireccional (45°) y la unidireccional (90°) y una matriz termoplástica la cual es resina epoxi. La elaboración del material compuesto se la cumplió bajo parámetros de calidad como son las normas ASTM la cual rige estándares de calidad. El material compuesto se realizo ensayos de tracción D3039/D3039M-14 y ensayo de flexión D7264/D7264-15 que determinó que la nanofibra de carbono posee una mayor resistencia y un menor peso que material convencional (acero) que se utiliza en el vehículo.

## 2. Análisis de materiales.

La fibra de Carbono es un material que está revolucionando el mundo por sus

propiedades como la resistencia mecánica, además de un módulo de elasticidad elevado, lo cual es adecuada para la construcción de vehículos, además tiene una baja densidad en comparación con el acero siendo más ligera y teniendo mayor resistencia. En el desarrollo del proyecto elegimos dos elementos de la carrocería la puerta y el piso para su análisis tomando en cuenta sus características, funciones y propiedades, para así seleccionar el material compuesto con nanofibra de Carbono adecuado y elaborar probetas que se someterán a ensayos de tracción y flexión que demostrarán la viabilidad del material, la fibra utilizada en el trabajo de grado se la realizó a base de nanotubos de Carbono de pared múltiple y su matriz de resina epoxi.

### **2.1 Nanotubos de carbono.**

Los nanotubos de Carbono son similares a los planos atómicos del grafito ya que se componen de una red hexagonal, al ser su estructura tubular poseen un radio de 3 a 30 nm (nanómetros) y una longitud en micrómetros. Las propiedades de los nanotubos de Carbono son mejores que las del acero como una alta conductividad eléctrica, resistente a la tracción, conductividad térmica y son más rígidos. Los nanotubos de pared simple (SWCNT) y los nanotubos de pared múltiple (MWCNT) en la actualidad se producen por tres técnicas ablación laser, arco de descarga y crecimiento catalítico por CVD (deposición química de vapor). La deposición química de vapor (CVD) es el proceso más común de producción de nanotubos de Carbono por su amplia gama de beneficios como su tasa de producción

elevada y proceso de temperatura a los demás métodos.

- Propiedades anticorrosivas.
- Baja densidad.
- Alta resistencia a la tracción.
- Alta conductividad eléctrica.
- Alta conductividad térmica.
- Alta elasticidad.
- Buena capacidad de lubricación y adsorción.
- Bajo coeficiente de expansión térmica.
- Alta superficie específica.
- Materiales reciclables.

### **2.2 Deposición de vapor químico (CVD)**

El sistema CVD produce nanotubos de Carbono con menos cantidad de impurezas por lo cual es el método de mayor producción en el mercado en cambio los otros procesos de producción de ablación con láser y arco-descarga producen nanotubos de Carbono de mejor calidad, pero también producen impurezas por lo cual se necesita otros procesos de purificación para separar las partículas de Carbono amorfo. El sistema CVD es un proceso de descomposición térmica de hidrocarburos con un catalizador metálico, es decir, el hidrocarburo debe pasar por un horno en forma de vapor o líquida a temperaturas elevadas entre 600 – 1200 °C durante 15 a 60 min para su descomposición esta puede ser de etano, benceno y metano etc. Para la formación de nanotubos de carbono alineados se pueden utilizar catalizadores como Níquel, Silicio, Cobre, Tungsteno, etc. para el

crecimiento de los nanotubos estos se proceden a colocar en el horno caliente.

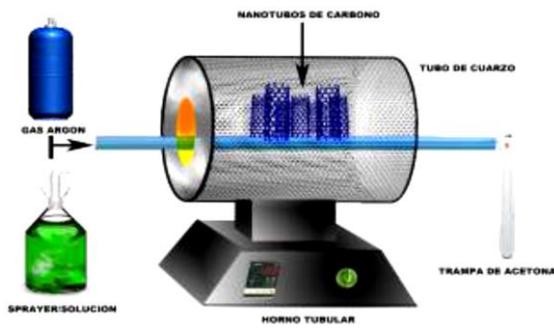


Figura 1. Sistema de deposición de vapor (CDV)

El sistema CDV es un mecanismo que genera propiedades increíbles en la formación de nanotubos como la producción a gran escala y a bajo costo de nanotubos con un rendimiento del 20 al 100% y una obtención de crecimiento alineado del nanotubo que varía según el tiempo del proceso. Los nanotubos de Carbono poseen buenas propiedades, pero pueden ser mejorados en su composición química y física mediante la unión de átomos y moléculas en pequeñas proporciones como Nitrógeno y el Boro.

En la elaboración del material compuesto con nanofibra de Carbono por termoconformado expuesto en el trabajo de grado, se eligió la fibra de Carbono a base de CNTs (nanotubos de Carbono) que fueron procesados mediante deposición química en fase vapor (CVD), el cual, permite el crecimiento de los nanotubos de Carbono por medio de nanopartículas de Níquel, Hierro y Cobalto, luego del proceso se forman hilos continuos para elaborar posteriormente tejidos, por lo general se utilizan soportes de sílice o alúmina en el crecimiento para contener

las nanopartículas en la transición del metal. El proceso utilizado para el crecimiento del nanotubo de Carbono es el sol gel que admite generar una matriz inorgánica en cuyos poros se albergan las nanopartículas, capaces de actuar como catalizador en la reacción de síntesis de CNTs, en el proceso de preparación para su crecimiento pueden afectar significativamente las reacciones de hidrólisis o condensación del precursor al formar matrices porosas. Los parámetros anteriormente indicados pueden afectar fuertemente en la distribución de las partículas, en su tamaño y en la fase de óxido de hierro en el compuesto final, la manipulación de estos materiales es compleja por su tecnología y su unidad de longitud (nanométrica), 1nm equivale a  $10^{-9}$  m es decir es la millonésima parte del milímetro.

### 3. Puerta Bake Hardening

Elemento que brinda protección a los usuarios del vehículo encargándose de abrir y cerrar el habitáculo para el ingreso o salida de los ocupantes del vehículo. El material utilizado en la construcción de puertas comúnmente es el acero Bake Hardening, para nuestro estudio tomamos como referencia ArcelorMittal que utiliza normas europeas de alta calidad.

Tabla 1. Acero Bake Hardening esfuerzo máximo.

	Esfuerzo max (MPa)
260BH sin revestir desp. De cocción (esp: 1,2mm)	384

### 3.1 Fibra de carbono (Bidireccional)

La fibra de Carbono es un material compuesto que tiene una alta resistencia mecánica gracias a las fibras que la constituyen, proporcionando propiedades únicas como resistencia a la fluencia, resistencia a altas temperaturas siendo un material beneficioso en la industria automotriz como en el caso de las puertas de los vehículos. La fibra de Carbono (FC) bidireccional utilizada es 3k que está compuesta por 3000 filamentos por hebra siendo un tejido seco, su dimensión es de 127cm de ancho x 100 cm de largo y el peso total es 5.8 oz.

### 3.2 Astillamiento fibra de carbono (Bidireccional).

La fibra bidireccional es de mejor resistencia y calidad que la unidireccional ya que el tejido que presenta este tipo de fibra tiene como característica principal una excelente fuerza y rigidez en dos direcciones, siendo ese tipo de fibra Carbono adecuada para la utilización en puertas de automóviles. Los elementos fabricados con materiales compuestos tienen una excelente resistencia al impacto que los materiales metálicos, desarrollando un factor de seguridad muy elevado gracias al comportamiento de la fibra de Carbono ante una rotura controlada. Los materiales compuestos de fibra de Carbono absorben energía frente a un impacto protegiendo a los usuarios de los vehículos de no recibir directamente la energía del impacto, además la fibra de Carbono brinda solidez al construir piezas según la utilización adecuada de normas. El astillamiento que se produce en la fibra de

Carbono durante el impacto es nocivo para el usuario del vehículo ya que las astillas que se producen son finas, y no producen daños a los ocupantes del vehículo.

### 3.3 Piso Bake Hardening.

Es el elemento más rígido de la carrocería ya que soporta elevados esfuerzos sobre él, se compone de diferentes espesores que se denominan Chapas es decir el espesor de la carrocería conteniendo un sinnúmero de nervios, que se unen gracias a una soldadura a los travesaños y largueros, formando diversas superficies que se le conoce como suelo del habitáculo del vehículo. El material utilizado en la construcción de pisos (suelo del habitáculo del vehículo) comúnmente es el acero Bake Hardening, para nuestro estudio tomamos como referencia la empresa ArcelorMittal que utiliza normas europeas de alta calidad y es líder de los mercados mundiales en la fabricación de elementos carroceros.

Tabla 2. Acero Bake Hardening esfuerzo máximo.

	$\sigma_D$ = Esfuerzo máximo MPa
180BH sin revestir desp. de cocción (esp: 0.8 mm)	384

### 3.4 Fibra de carbono (Unidireccional).

La fibra de carbono unidireccional está conformada por un tejido que está orientado en una sola dirección, siendo diseñadas para transformar las cargas mayores en esfuerzo de tensión a las fibras, las fibras de Carbono unidireccionales son lisas y no tienen

imperfecciones debido a que el entrelazado de la fibra es en una misma dirección. La fibra de carbono unidireccional se lo utiliza comúnmente en refuerzo de laminados alineados con la trayectoria de la carga. La fibra de Carbono (FC) unidireccional utilizada es 12k que está compuesta por 12000 filamentos por hebra siendo un tejido seco, su dimensión es de 100 cm de ancho x 33 cm de largo y el peso total es 9.6 oz.

### 3.5 Astillamiento de la fibra de carbono (Unidireccional).

La fibra de Carbono unidireccional es un material que posee una alta resistencia al igual que la bidireccional con limitaciones ya que su resistencia depende de la orientación el tejido de la fibra, este tipo de fibra tiene como característica un excelente fuerza y rigidez en una sola dirección siendo esta fibra adecuada para la utilización en el suelo del habitáculo del vehículo (Piso). Los materiales compuestos fabricados con este tipo de fibra de Carbono poseen una alta resistencia en una sola dirección debido a la orientación del tejido, al igual que la fibra bidireccional la fibra de Carbono unidireccional tiene un alto factor de seguridad ya que ante una rotura controlada. La absorción de la energía que se produce ante un impacto es su principal ventaja ya que de esto depende la seguridad de los usuarios de los vehículos.

### 3.6 Resina / Endurecedor SC120.

Es una resina epóxica de baja viscosidad, de alta resistencia mecánica, de excelente afinidad con la fibra de Carbono y otros tipos de cargas, alta estabilidad

dimensional y de baja contracción. Posee buenas propiedades de humectación debido a su viscosidad, las mejores propiedades después de curada la pieza a 75° (Autoclave) se logra en 7 días a temperatura ambiente.

Tabla 3. Características de la mezcla de la resina epoxi.

<b>Tiempo de vida útil (Para 500gr. De mezcla)</b>	20 – 30 minutos
<b>Proporción de mezcla</b>	100 parte en peso de Resina 20 partes en peso de Endurecedor
<b>Tiempo de curado</b>	Después de 24 horas
<b>Viscosidad</b>	1200 – 1400 m Pas

## 4. Construcción del horno (Autoclave).

La autoclave de materiales compuestos es una máquina que permite procesar materiales o piezas a través de un sistema de vacío el cual genera que el material se compacte con la matriz (resina epoxi) de la mejor manera para que el material posea buenas características. Para la construcción de la autoclave se utilizó distintos accesorios que permitan generar un correcto funcionamiento que revisaremos a continuación.

### 4.1 Caja de control.

La caja de control es el gabinete de los elementos eléctricos donde se realizan las conexiones eléctricas de todos sus componentes como: botones, swich, contactores, selectores y focos de señalización etc.

#### **4.2 Niquelinas.**

Son barras o varillas que están colocadas en las paredes del horno, permiten transmitir el calor.

#### **4.3 Selector.**

La autoclave del proyecto se utilizó un selector de dos funciones abrir y cerrar para el paso de energía.

#### **4.4 Termocupla.**

La termocupla es un dispositivo importante en la autoclave ya que permite controlar la temperatura y mantener una temperatura constante en el interior ya que lee un tipo de señal en otra por medio de sus dos metales.

#### **4.5 Contactor.**

En el sistema eléctrico de la autoclave se utilizó un contactor mecánico que se activa mediante una energía no manual con un dispositivo de abrir y cerrar.

#### **4.6 Control de temperatura.**

El sistema de control de temperatura análogo permite controlar la temperatura deseada por medio de un sistema de abierto y cerrado, el cual permite asumir una posición cuando el actuador es mayor y cuando el actuador es menor asume otra posición.

### **5. Proceso de elaboración de probetas.**

#### **5.1 Corte del tejido.**

Para la realización del corte del tejido primero se debe colocar cinta adhesiva (mazquin) por donde se la va a recortar,

esto se debe por las fibras del tejido para evitar el desprendimiento de las mismas ya que cuenta el tejido de forma longitudinal y transversal.

#### **5.2 Preparación de la superficie del molde.**

Se implementaron distintos materiales para la fabricación de la superficie como vidrio de 6mm y dos láminas de acero galvanizado de 1mm y perfiles de aluminio en forma de U, Por tal motivo se ha implementado distintos materiales para la fabricación de la superficie como vidrio de 6mm y dos láminas de acero galvanizado de 1mm y perfiles de aluminio en forma de U.

#### **5.3 Preparación de la resina el endurecedor.**

Para una mezcla excelente entre el endurecedor y la resina se procede a calcular la cantidad idónea para la elaboración del material compuesto, es decir, en el proyecto la mezcla es de 7:1 (siete partes se de resina y una parte de endurecedor) para la compactación con el tejido de tres capas.

#### **5.4 Impregnación de la mezcla con el tejido.**

Por contacto manual donde la mezcla se la coloca por medio de una brocha primeramente en la superficie del molde Posteriormente consiste en colocar la mezcla en el tejido de fibra de Carbono el proceso se debe repetir para cada una de las tres capas de tejido en sus dos lados, el tejido debe estar completamente cubierto

de la mezcla para obtener un material compacto.

### 5.5 Proceso de vacío del material.

El proceso de vacío consta para que el material compuesto tenga un laminado plano y sin ningún tipo de curvas que opaquen el acabado final del material esto permite que sea más compacto y resistente.

## 6. Medidas de probetas Normas ASTM.

Tabla 4. Medidas de probetas.

Medidas de probetas según las normas ASTM para tracción y flexión.				
Ensayo.	Norma.	Medidas . Base por altura (mm)	Tipo de refuerzo.	N° de probetas.
Tracción .	ASTM D3039M - 14	250×25	Tejido	10
Flexión.	ASTM D7264 - 07	160×13	Tejido	10
TOTAL.				20

## 7. Calculo volumétrico.

En la realización del trabajo de grado es necesario calcular la cantidad necesaria con los parámetros correctos con el fin de elaborar las probetas (piezas) con el tejido de fibra de Carbono y su matriz de resina epoxi. Donde indica que se debe ocupar 500 gr de resina epoxi por un metro cuadrado con una densidad de 1,13  $gr/cm^3$ .

$$V = \frac{m}{d}$$

### Nomenclatura:

1. Vf: volumen de fibra de Carbono.
2. Vm: volumen de matriz epoxi.
3. Vc: volumen del material compuesto.

Datos:

$$m = 500 \text{ gr}$$

$$d = 1,13 \text{ gr/cm}^3.$$

$$V = \frac{500 \text{ gr}}{1,13 \text{ gr/cm}^3}$$

$$V = 442.47 \text{ cm}^3 = 0.442 \text{ lt}$$

### 7.1 Ensayo de tracción (Bidireccional).

Altura: 0,25 m

Ancho: 0,025 m

Área: 0,00625  $m^2$

Espesor: 0.000304 m

Numero de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.00625  $m^2$ .

#### Volumen de la matriz

$$Vm = 0.00625 m^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$Vm = 0.00276 \text{ lt} \times 3$$

$$Vm = 0.0082 \text{ lt.}$$

#### Volumen de la fibra

$$Vf = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$$

$$Vf = 0.25 \times 0.025 \times 0.000304 \text{ [m]}$$

$$Vf = 0.0000019 \text{ m}^3$$

$$Vf = 0.0019 \text{ lt} \times 3$$

$$Vf = 0.057 \text{ lt}$$

#### Volumen del material compuesto

$$Vc = Vf + Vm$$

$$Vc = 0.0057 \text{ lt} + 0.0082 \text{ lt}$$

$$Vc = 0.0139 \text{ lt.}$$

## 7.2 Ensayo de flexión (Bidireccional).

Altura: 0.079m

Ancho: 0.013

Espesor: 0.000304m

Numero de capas: 3

Considerando que 500gr = (0.442 lt) de resina para un metro cuadrado de tejido, se determina el volumen para cubrir una capa de tejido con un área de 0.0010 m<sup>2</sup>.

### Volumen de la matriz

$$V_m = 0.0010 \text{ m}^2 \times 0.442 \text{ lt/m}^2$$

$$V_m = 0.000451 \text{ t} \times 3$$

$$V_m = 0.0013 \text{ lt.}$$

### Volumen de la fibra

$$V_f = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$$

$$V_f = 0.079 \times 0.013 \times 0.000304 \text{ [m]}$$

$$V_f = 0.00000031 \text{ m}^3$$

$$V_f = 0.00031 \text{ lt} \times 3$$

$$V_f = 0.000931 \text{ lt}$$

### Volumen del material compuesto

$$V_c = V_f + V_m$$

$$V_c = 0.000931 \text{ lt} + 0.0013 \text{ lt}$$

$$V_c = 0.0022 \text{ lt.}$$

## 8. Resistencia a la tracción.

El esfuerzo máximo que puede resistir el material sometido a tracción se puede valorar utilizando la relación.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A}$$

### Nomenclatura:

$\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo a tracción (MPa)

A = Área de la sección Transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>)

F = Carga máxima aplicada (N)

Tabla 5. Esfuerzo máximo a tracción (Bidireccional).

Denominación	Espesor	Ancho	Carga máx	$\sigma_{\text{máx}}$
	(mm)		(N)	(Mpa)

FC-B1	1.19	24.43	15568.74	535.56
FC-B2	1.19	24.78	12677.35	430.03
FC-B3	1.21	25.07	15235.12	502.31
FC-B4	1.21	25.83	15791.15	505.31
FC-B5	1.16	24.50	13344.59	469.54
<b>Promedio</b>	1.19	24.92	14523.39	488.55

## 8.1 Elongación del material (ensayo de tracción).

Al finalizar el ensayo, la muestra que se sometió a la prueba se mide su longitud final y se compara con la longitud inicial para adquirir la elongación del material.

$$EL = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\% n = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100\%$$

### Nomenclatura:

EL = Deformación por tracción (Elongación)

L<sub>f</sub> = Longitud final

L<sub>o</sub> = longitud inicial

Tabla 6. Elongación de la fibra de carbono (Bidireccional).

Denominación	Longitud Inicial	Longitud Final	EL	Deformación
	(mm)		(mm)	%
FC-B1	250.2	253.8	0.014	1.4
FC-B2	250.4	254.2	0.015	1.5
FC-B3	250	252.8	0.011	1.1
FC-B4	250.3	251.8	0.006	0.6
FC-B5	251	252.3	0.005	0.5

## 8.2 Módulo de Young.

Se determina según la norma que se sigue se lo conoce como módulo de elasticidad y viene dado por la ecuación:

$$E = \left(\frac{dP}{dL}\right) * \left(\frac{L}{b * d}\right)$$

**Dónde:**

E = módulo de elasticidad (GPa)

dL = Variación de la longitud en la probeta (m)

dP = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud inicial de la probeta (m)

d = Espesor de la probeta (m)

b = Ancho de la probeta (m)

Tabla 7. Módulo de Young (Bidireccional).

Denominación	Módulo de Young (E)
	(GPa)
FC-B1	37,19
FC-B2	28,28
FC-B3	44,84
FC-B4	84,21
FC-B5	90,30
<b>Promedio</b>	56,96

## 9. Tabulación y análisis de resultados.

### 9.1 Resultados (Bidireccional vs Acero).

Los aceros Bake Hardening de ArcelorMittal tienen un aumento de límite elástico por su tratamiento especial a bajas temperaturas, buscando reducir el espesor de las chapas y aumentar la resistencia a la deformación. El estudio realizado genero datos que valida el uso de materiales compuestos en el vehículo como en el caso de puertas automotrices. La fibra de Carbono bidireccional tiene un

comportamiento diferente que la fibra de Carbono unidireccional debido al astillamiento que puede producirse ante un impacto lateral.

Los datos que generan la siguiente tabla son reales y nos indica que el esfuerzo máximo a tracción que tiene la fibra de carbono bidireccional es más elevado que el acero bake Hardening que se utiliza para la fabricación de puertas automotrices.

Tabla 8. Obtención general de datos.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
Acero original para fabricación de puertas automotrices. 260BH	1,2	384
Material propuesto (Fibra de Carbono Bidireccional)	1,19	488,55

### 9.2 Resultados (unidireccional vs Acero).

El acero Bake Hardening utilizado en el piso posee distintas propiedades a diferencia de los materiales compuestos, la resistencia que tiene la fibra de Carbono es la característica principal que poseen los materiales compuestos. El estudio realizado genero datos que valida el uso de materiales compuestos en el vehículo como en el caso del piso del habitáculo del vehículo. La fibra de Carbono unidireccional tiene un comportamiento diferente que la fibra de Carbono

bidireccional debido al astillamiento que puede producirse ante un impacto central.

Tabla 9. Obtención general de datos.

Descripción	Espesor (mm)	Esfuerzo máx. (MPa)
Acero original para fabricación de pisos de vehículos. 180BH	0.8	384
Material propuesto (Fibra de Carbono Unidireccional)	1.5	923.28

El estudio realizado en el Laboratorio de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional nos indica el esfuerzo máximo que soportó los materiales de fibra de Carbono tanto unidireccional como bidireccional. Se determinó que la fibra de Carbono bidireccional es la adecuada para la elaboración de las puertas mientras que la fibra de carbono unidireccional es la aconsejable para el piso, debido a su alta resistencia a la tracción y por lo que sobre el piso se sujetan los elementos del vehículo.

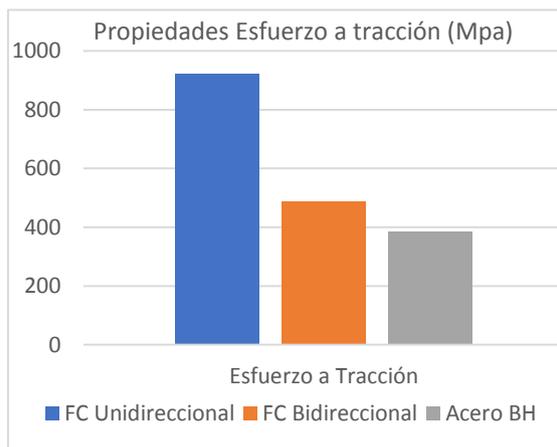


Figura 2. Esfuerzo a tracción.

## 10. Conclusiones.

- Para la investigación del trabajo de grado se estableció estudiar el refuerzo y la matriz para la elaboración del material compuesto, es decir, se estudió las características de la nanofibra como la composición química y su proceso de obtención esto permite conocer su calidad para sus aplicaciones en diferentes áreas, en cambio en el estudio de la matriz se debe conocer los tipos de polímeros ya que cuentan con diferentes especificaciones para cada refuerzo. Esto pasos influye en la calidad del material compuesto realizado durante la investigación en el cual se ve reflejada la resistencia a la tracción con la del acero, la NFC bidireccional posee una resistencia de 488.55 Mpa, la NFC unidireccional posee una resistencia de 923.28 MPa a comparación con la resistencia del acero de 384 MPa.
- Se determinó mediante estudios realizados las propiedades de cada fibra de Carbono bidireccional (90°), unidireccional (45°) y su matriz resina epoxi con la cual permite que el material compuesto se a más compacto, además la resina epoxi fue seleccionada por permitir la transferencia de energía a todos los tejidos durante una colisión provocando el astillamiento total de la pieza

(absorción de energía) y evitando lesiones al ocupante.

- Se concluyó que la elaboración del material compuesto con nanofibra de carbono por termoconformado se la realizó bajo procesos establecidos como fichas técnicas y normas. Se determinó que durante la elaboración del material compuesto es necesario basarse a las fichas técnicas para tener en cuenta las cantidades exactas de resina y endurecedor (como se muestra en el anexo) para no ocasionar causar anomalías en la mezcla por ser inflamables.
- Para determinar las propiedades mecánicas del material compuesto se sometió a ensayos de tracción (D3039M-14) y flexión (D7264-07) respectivamente mediante las normas ASTM, la cual permitió que se analicen las características de cada fibra de Carbono al soportar diferentes cargas.

## Referencias

- [1] González, V. (22 de 5 de 2015). Nanomateriales de carbono, síntesis,funcionalización y aplicaciones. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/21605#preview>
- [2] Núñez, L. (2014). Tesis. Obtenido de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:\\_d35-DWUJZUJ:repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8327/1/Tesis%2520I.%2520M.%2520226%2520-%2520](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_d35-DWUJZUJ:repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8327/1/Tesis%2520I.%2520M.%2520226%2520-%2520)
- [3] Rodríguez, A. (Julio de 2007). Obtención de materiales compuestos de

matriz polimerica reforzados con nanofibra de carbono mediante termoconformado. Obtenido de Tesis: [https://www.researchgate.net/profile/Alvaro\\_Rodriguez-](https://www.researchgate.net/profile/Alvaro_Rodriguez-Prieto/publication/303924077_Obtencion_de_materiales_compuestos_de_matriz_polimerica_reforzados_con_nanofibra_de_carbono_mediante_termoconformado/links/575e932708ae414b8e542a78/Obtencion-de-materiales-)

[Prieto/publication/303924077\\_Obtencion\\_de\\_materiales\\_compuestos\\_de\\_matriz\\_polimerica\\_reforzados\\_con\\_nanofibra\\_de\\_carbono\\_mediante\\_termoconformado/links/575e932708ae414b8e542a78/Obtencion-de-materiales-](https://www.researchgate.net/profile/Alvaro_Rodriguez-Prieto/publication/303924077_Obtencion_de_materiales_compuestos_de_matriz_polimerica_reforzados_con_nanofibra_de_carbono_mediante_termoconformado/links/575e932708ae414b8e542a78/Obtencion-de-materiales-)

## BIBLIOGRAFÍA

**Castro Amaguaña Luis Germán,** estudios secundarios Instituto Tecnológico “17 de Julio”, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.

**Quiroz Valencia Cristian Alonso,** estudios secundarios Instituto Tecnológico “Vicente Fierro”, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.