

# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

**Maestría en Diseño Mecánico**

**Mención Fabricación de Autopartes del vehículo**

Caracterización mecánica y térmica del nylon resultante del reciclaje de neumáticos para la fabricación de un panel interno de puerta de un vehículo liviano.

Roxana Elizabeth Valencia Navarrete

Nota del autor

Roxana Elizabeth Valencia Navarrete, Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Universidad Internacional SEK

Directora Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M. Sc

Codirector Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, M.Sc.

Cualquier correspondencia a este trabajo dirigirse a:

rvalencia.mdm@uisek.edu.ec

## **DECLARACION JURAMENTADA**

Yo, Roxana Elizabeth Valencia Navarrete con cédula de ciudadanía 080294562-6 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

**ROXANA ELIZABETH VALENCIA NAVARRETE**  
C.I.: 0802945626

## INDICE

Introducción .....	1
Antecedentes .....	1
Problemática .....	2
Justificación .....	3
OBJETIVOS: .....	4
GENERAL .....	4
ESPECÍFICOS .....	4
Estados del arte.....	6
Nylon .....	6
Propiedades de la fibra de Nylon.....	7
Propiedades de tracción.....	8
Propiedades térmicas .....	9
Propiedades químicas .....	9
Materiales compuestos.....	10
Refuerzo con fibra a los materiales compuestos .....	11
Influencia de la orientación y colocación de las fibras.....	12
Refuerzos con fibra natural para compuesto con de matriz termoestable .....	13
Propiedades y comportamiento de materiales compuestos .....	15
Estratificación manual.....	17
Proceso de estratificación manual: .....	17
Ventajas .....	18
Desventajas.....	18
Moldeo por compresión.....	18
Proceso de reciclaje de neumáticos – Planta Rubberaction .....	24
Selección de la autoparte para aplicación de material caracterizado.....	29
Para ello se deben cumplir con parámetros de prueba establecidos y rigurosos métodos de prueba para así garantizar su aplicación, a continuación se detallan los principales parámetros y condiciones:.....	33
Parámetros de prueba .....	34
Método.....	37
Metodología.....	37
Materiales .....	37
Fibra de Nylon.....	37

Resina Poliéster .....	38
Equipos .....	39
Medición de las propiedades de tracción.....	40
Medición de las propiedades de flexión .....	40
Conductividad térmica .....	41
Obtención de probetas de Nylon .....	45
Cálculo de fracción volumétrica.....	46
Procedimiento.....	47
Estrategia Metodológica.....	47
Elaboración de probetas .....	48
Probetas para ensayo a tracción.....	53
Obtención de probetas de ensayos a flexión.....	55
Probetas para ensayo de conductividad térmica.....	56
Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039/D3039M-17 .....	57
Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15 .....	58
Simulación dinámica y térmica del panel de puerta interior .....	59
Modelado panel interior .....	60
Simulación de impacto del panel interior .....	61
Material PS.....	61
Nylon Reciclado.....	65
Material PS .....	69
Nylon Reciclado.....	71
Resultados .....	74
Caracterización de nylon reciclado .....	74
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA .....	74
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN SEGÚN ASTM D3039/D3039M-17 .....	74
Análisis de resultados mediante stargraphics de los ensayos a tracción .....	78
Resistencia a última tracción .....	78
Módulo de elasticidad .....	79
Deformación a la rotura.....	80
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SEGÚN ASTM D7264/D7264M-15.....	81
Análisis de resultados mediante stargraphics de los ensayos a flexión .....	85
Resistencia ultima a flexión .....	85
Módulo a flexión .....	85

Deformación máxima .....	86
Ensayo de Conductividad térmica .....	87
Simulación mecánica y térmica del panel de puerta interior .....	88
Simulación conductividad térmica .....	92
Nylon Reciclado .....	93
Discusión .....	94
Ensayo a tracción.....	94
Ensayo a flexión.....	96
Conductividad térmica .....	97
Simulación de impacto lateral .....	98
Conclusiones .....	101
Recomendaciones.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	104

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Componentes del neumático .....	1
<i>Figura 2.</i> Orientación de la fibra: a) continuas y alineadas, b) discontinuas y alineadas y c) discontinuas y orientadas al azar.....	12
<i>Figura 3.</i> Método de estratificación manual aplicado en la fabricación de un domo. ....	18
<i>Figura 4.</i> Moldeo por compresión fibra de Nylon .....	19
<i>Figura 5.</i> Esquema de moldeo por compresión.....	21
<i>Figura 6.</i> Diagrama de flujo de proceso de reciclaje neumáticos .....	22
<i>Figura 7.</i> Continuación del diagrama de flujo del proceso de reciclaje neumáticos.....	23
<i>Figura 8.</i> Máquina para corte lateral de neumáticos.....	24
<i>Figura 9.</i> Máquina para corte lateral en la Planta Rubberaction.....	25
<i>Figura 10.</i> Máquina para picado de las tiras de caucho .....	26
<i>Figura 11.</i> Primer tamizaje de caucho molido .....	27
<i>Figura 12.</i> Proceso de separación de acero.....	28
<i>Figura 13.</i> Segundo tamizaje del polvo de caucho .....	28
<i>Figura 14.</i> Producto terminado – caucho molido limpio .....	29
<i>Figura 15.</i> (a) Panel de puerta post construcción y (b) panel de puerta acabado final .....	30
<i>Figura 16.</i> Test de Impacto .....	33
<i>Figura 17.</i> Esquema del test de dispositivo.....	33
<i>Figura 18.</i> Polo rígido 300 K .....	35
<i>Figura 19.</i> Polo rígido 300 K vista $\frac{3}{4}$ .....	35
<i>Figura 20.</i> Esquema de prueba de impacto .....	36
<i>Figura 21.</i> (a) y (b) Fibra de Nylon.....	38
<i>Figura 22.</i> Moldes para: (a) ensayo a tracción; (b) ensayo a flexión.....	39
<i>Figura 23.</i> Probeta para ensayo a tracción y sus dimensiones, según la norma ASTM D3039-08 .....	40
<i>Figura 24.</i> Probeta para ensayo a flexión indicando sus dimensiones, según la norma ASTM D 7624-07.....	41
<i>Figura 25.</i> Probeta para ensayo de conductividad térmica con sus respectivas dimensiones, según la norma ISO 8302 .....	41
<i>Figura 26.</i> Balanza digital CAMRY .....	42
<i>Figura 27.</i> Prensa hidráulica manual.....	42
<i>Figura 28.</i> Máquina Universal de ensayos marca Tinius Olsen modelo H25KS.....	43
<i>Figura 29.</i> Mordazas y extensómetro.....	44
<i>Figura 30.</i> Equipo de flexión a tres puntos .....	44
<i>Figura 31.</i> Horno marca Lenco.....	45
<i>Figura 32.</i> Esquema de elaboración de probetas.....	48
<i>Figura 33.</i> Aplicación de cera desmoldante.....	49
<i>Figura 34.</i> Mezcla obtenida al mezclar resina, estireno y Octoato de cobalto.....	50
<i>Figura 35.</i> Mezcla de final resina, fibra de la matriz .....	51
<i>Figura 36.</i> Estratificación del compuesto .....	51
<i>Figura 37.</i> Cierre de molde .....	52
<i>Figura 38.</i> Ubicación de molde en prensa hidráulica.....	52
<i>Figura 39.</i> Probetas para ensayo a tracción.....	54
<i>Figura 40.</i> Probetas para ensayo a flexión .....	56

<i>Figura 41.</i> Probetas para ensayo de conductividad térmica.....	57
<i>Figura 42.</i> Ensayo de tracción realizado a una probeta de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D3039/D3039M-17.....	58
<i>Figura 43.</i> Ensayo de flexión realizado a una probeta de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D7264/D7264M-15. ....	59
<i>Figura 44.</i> Modelado de Panel de puerta interior.....	60
<i>Figura 45.</i> Modelado de panel de puerta interior.....	60
<i>Figura 46.</i> Asignación de propiedades volumétricas al panel y poste del Material PS .....	61
<i>Figura 47.</i> Asignación de propiedades de material al poste de impacto y puerta.....	62
<i>Figura 48.</i> Asignación de cargas y tensiones al panel de puerta y el poste para impacto.....	63
<i>Figura 49.</i> Asignación de superficie de contacto para impacto .....	64
<i>Figura 50.</i> Asignación de propiedades de malla al poste y panel de puerta .....	64
<i>Figura 51.</i> Asignación de propiedades volumétricas en poste y panel de puerta.....	65
<i>Figura 52.</i> Asignación de propiedades del material al poste y el panel de puerta .....	66
<i>Figura 53.</i> Asignación de cargas para el poste y panel de puerta .....	67
<i>Figura 54.</i> Asignación de contacto para impacto a componentes .....	68
<i>Figura 55.</i> Identificación de detalles de malla .....	68
<i>Figura 56.</i> Modelado puerta.....	69
<i>Figura 57.</i> Asignación de propiedades de material.....	70
<i>Figura 58.</i> Asignación de cargas térmicas .....	70
<i>Figura 59.</i> Detalles de malla seleccionada.....	71
<i>Figura 60.</i> Asignación de propiedades volumétricas .....	71
<i>Figura 61.</i> Asignación de propiedades del Nylon reciclado .....	72
<i>Figura 62.</i> Asignación de cargas térmicas .....	72
<i>Figura 63.</i> Asignación de malla al modelado .....	73
<i>Figura 64.</i> Probetas de material compuesto "NTC1.5" después de los ensayos de tracción .....	75
<i>Figura 65.</i> Probetas de material compuesto "NTSE1.5" después de los ensayos de tracción.....	77
<i>Figura 66.</i> Probetas de material compuesto "NH1g" después de los ensayos de tracción.....	78
<i>Figura 67.</i> Gráfico de caja y bigotes de la resistencia a última tracción en función de la configuración de las probetas ensayadas .....	79
<i>Figura 68.</i> Gráfico de caja y bigote del módulo de elasticidad en función de la configuración de las probetas ensayadas .....	80
<i>Figura 69.</i> Gráfico de caja y bigotes de la deformación a la rotura en función de la configuración de las probetas ensayadas.....	81
<i>Figura 70.</i> Probetas de material compuesto "NFC1.5" después de los ensayos de flexión .....	82
<i>Figura 71.</i> Probetas de material compuesto "NFSE1.5" después de los ensayos de flexión. ....	83
<i>Figura 72.</i> Probetas de material compuesto "NFC1g" después de los ensayos de flexión .....	84
<i>Figura 73.</i> Gráfico de caja y bigotes de la resistencia ultima a flexión en función de la configuración de las probetas ensayadas .....	85
<i>Figura 74.</i> Gráfico de caja y bigote del Módulo a flexión en función de la configuración de las probetas ensayadas .....	86
<i>Figura 75.</i> Grafica de caja y bigotes de la deformación máxima en función de la configuración de las muestras ensayadas.....	87
<i>Figura 76.</i> Gráfico de ensayo conductividad térmica. ....	88
<i>Figura 77.</i> Resultado de simulación impacto lateral – Tensiones.....	89

<i>Figura 78.</i> Resultados simulación impacto lateral - Desplazamientos .....	89
<i>Figura 79.</i> Resultado Simulación impacto lateral – Deformaciones unitarias .....	90
<i>Figura 80.</i> Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Tensiones.....	91
<i>Figura 81.</i> Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Desplazamientos.....	91
<i>Figura 82.</i> Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Deformaciones Unitarias .....	92
<i>Figura 83.</i> Resultado de la simulación térmica.....	93
<i>Figura 84.</i> Resultado simulación térmica en panel de puerta con material de Nylon reciclado .....	93
<i>Figura 85.</i> Resistencia a la tracción en función de la deformación de compuestos de resina con refuerzo de fibra de Nylon tipo lana e hilo.....	94
<i>Figura 86.</i> Módulo de elasticidad en función del módulo de flexión de los compuestos de resina con fibra de Nylon tipo hilo y Nylon con adición de estireno y sin estireno. ....	95
<i>Figura 87.</i> Resistencia a última flexión en función de la deformación de compuestos de resina con refuerzo de fibra de Nylon tipo lana e hilo y Nylon PA6/PA66.....	96
<i>Figura 88.</i> Valor de conductividad térmica del Nylon puro y el Nylon reciclado tipo lana con estireno .....	97
<i>Figura 89.</i> Valores de desplazamientos resultantes del material PS y el Nylon Reciclado .....	98
<i>Figura 90.</i> Tensiones Von Mises del Material PS y el Nylon reciclado .....	99
<i>Figura 91.</i> Deformación unitaria del material PS y el Nylon reciclado.....	100
<i>Figura 92.</i> Valores de temperatura de la simulación térmica del material PS y el Nylon Reciclado .	100

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de los neumáticos.....	2
Tabla 2. Principales propiedades técnicas del Nylon. ....	8
Tabla 3. Propiedades de los compuestos de varias matrices con dos diferentes refuerzos de fibra de vidrio.....	13
Tabla 4. Propiedades de fibra corta de vidrio para reforzar plásticos.....	13
Tabla 5. Propiedades a tracción de diferentes materiales compuestos .....	14
Tabla 6. Propiedades mecánicas promedio de ensayo a tracción y flexión de compuestos de matriz poliéster con refuerzo de diferentes fibras.....	16
Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas de fibras naturales seleccionadas. ....	31
Tabla 8. Propiedades de Polímeros .....	31
Tabla 9. Propiedades de la resina.....	38
Tabla 10. Partes por peso de componentes recomendadas para el curado .....	39
Tabla 11. Porcentaje de componentes para elaboración de las probetas y presión aplicada .....	45
Tabla 12. Definiciones de fracciones volumétricas y densidad.....	47
Tabla 13. Cantidad especificada de componentes que constituyen la matriz para las probetas de ensayo a tracción .....	53
Tabla 14. Denominación y significado de las probetas para ensayo a tracción.....	54
Tabla 15. Cantidad especificada de componentes que constituyen la matriz de las probetas para ensayo a flexión .....	55
Tabla 16. Denominación y significado de las probetas de flexión .....	56
Tabla 17. Cantidad requerida de componentes para probeta de conductividad térmica .....	57
Tabla 18. Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NTC1.5" .....	74
Tabla 19. Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NTSE1.5" .....	76
Tabla 20. Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NH1g" .....	77
Tabla 21. Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/D7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFC1.5".....	81
Tabla 22. Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFSE1.5" .....	83
Tabla 23. Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFC1g" .....	84
Tabla 24. Condiciones de la muestras a ensayar .....	87

## LISTA DE ECUACIONES

	NOMBRE	ECUACIÓN	UNIDADES
1	Densidad fibra	$\rho_f = \frac{m_f}{v_f}$	$kg/m^3$
2	Densidad matriz	$\rho_m = \frac{m_m}{v_m}$	$kg/m^3$
3	Fracción volumétrica Fibra	$V_f = \frac{v_f}{v_t}$	%
4	Fracción volumétrica Matriz	$V_m = \frac{v_m}{v_t}$	%

# MOLDEO DE AUTOPARTE CON NYLON RECICLADO

## LISTA DE SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA

SIGNO	NOMENCLATURA	UNIDAD
$\rho$	<i>Densidad</i>	$kg/m^3$
$m$	<i>Masa</i>	( $kg$ )
$v$	<i>Volumen</i>	$m^3$
$k$	<i>Conductividad térmica</i>	$\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \left( \frac{Btu}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \right)$
$T$	<i>Temperatura</i>	$^\circ C$ ( $^\circ F$ ) (K)

## MOLDEO DE AUTOPARTE CON NYLON RECICLADO

### **TITULO**

Caracterización mecánica del nylon resultante del reciclaje de neumáticos para ser utilizado en inyección de plásticos e impresión 3d de un panel interno de puerta.

# MOLDEO DE AUTOPARTE CON NYLON RECICLADO

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación sobre la caracterización mecánica y térmica del Nylon reciclado obtenido de proceso de reciclaje de neumáticos se realiza para determinar sus posibles aplicaciones en el sector automotriz. La caracterización de fibras naturales como refuerzo en una matriz de material compuesto aumento considerablemente en la industria, el Nylon reciclado de neumáticos no especifica estudios para determinar su aplicación. Realizar la caracterización mecánica y térmica del Nylon reciclado de neumáticos. La caracterización se realizó con probetas de material compuesto obtenidas con la mezcla de resina y la fibra de Nylon, las concentraciones de la fibra fueron del 5% mediante el método de estratificación manual, la cual se llevó a cabo bajo las normas ASTM D3039/D3039M-17 para ensayos de tracción, y ASTM D7264/D7264M-15 para ensayos de flexión y norma ISO 8302 ensayo de conductividad térmica.

Demostraron una variación entre la fuerza a la última tracción, resistencia y módulo de elasticidad de acuerdo con la configuración de la fibra tipo lana y tipo hilo. La conductividad térmica alcanzó un valor de 0.149 W/m-k para todas las muestras analizadas. Se concluyó que la concentración de fibra en su configuración tipo lana con adición de estireno aumentó las propiedades mecánicas de los compuestos, así como también se pudo observar en la simulación de la autoparte para impacto lateral un aumento en los desplazamientos de acuerdo a referencias de test establecidos.

**Palabras claves:** caracterización, Nylon, resina, propiedades mecánicas, conductividad térmica.

# MOLDEO DE AUTOPARTE CON NYLON RECICLADO

## ABSTRACT

The present research work on the mechanical and thermal characterization of the recycled Nylon obtained from the tire recycling process is carried out to determine its possible applications in the automotive sector. The characterization of natural fibers as reinforcement in a matrix of composite material increased considerably in the industry, the Nylon tire recycling does not specify studies to determine its application. Carry out the mechanical and thermal characterization of the recycled tire Nylon. The characterization was made with composite material samples obtained with the mixture of resin and nylon fiber, the concentrations of the fiber was 5% by the manual stratification method, which was carried out under the ASTM D3039 / D3039M standards. -17 for tensile tests, and ASTM D7264 / D7264M-15 for bending tests and ISO 8302 thermal conductivity test.

They showed a variation between the force at the last traction, resistance and modulus of elasticity according to the configuration of the wool type and yarn type fiber. The thermal conductivity reached a value of 0.149 W / m-k for all the samples analyzed. It was concluded that the concentration of fiber in its wool-like configuration with addition of styrene increased the mechanical properties of the compounds, as well as it could be observed in the simulation of the autopart for lateral impact an increase in displacements according to test references established.

**Keywords:** Characterization, Nylon, resin, mechanical properties, thermal conductivity.

## Introducción

### Antecedentes

En la actualidad existe un aumento en la búsqueda de nuevos materiales para la aplicación en la fabricación de autopartes en la industria Automotriz, existe un sinnúmero de materiales naturales tales como el ábaca, cabuya, cedro, yute, madera aserrín entre otras (Pachacama N, 2015). Cuyas propiedades han sido determinadas y aplicadas en prototipos en el campo automotriz, así como materiales reciclados para los cuales no se ha determinado sus propiedades y características indispensables para su uso específico.

Tamayo (2012) “realizó una serie de ensayos preliminares con varios hilos y tejidos de fibra natural para determinar la factibilidad de producción de probetas con un determinado refuerzo y, segundo, para obtener los valores de la mayor fracción volumétrica utilizable en compuestos” (p. 91), siendo considerada la mejor opción para la fabricación de material compuesto.

La composición de los neumáticos está dada por diferentes materiales que depende de su uso, tamaño y diseño para lo cual se emplean caucho natural, caucho sintético, acero y fibras de Nylon de manera principal como se muestra en la figura 1, este último tiene como finalidad dar consistencia a la estructura del neumático.



**Figura 1.** Componentes del neumático

Fuente: [www.proneumacosa.com/www.grin.com.ec](http://www.proneumacosa.com/www.grin.com.ec)

El neumático está compuesto como detalle general algunos componentes que se presentan en la tabla 1:

**Tabla 1.**

*Componentes de los neumáticos*

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural – Deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de Zinc	1,2	2,1	Catalizador
Materia Textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

Nota: Componentes principales de los neumáticos Tomado de [www.aspur.org](http://www.aspur.org)

Pero algunas de las marcas fabricantes de neumáticos como Pirelli y Michelin tienen su propia configuración en cuanto a porcentaje por peso según su aplicación. Después del proceso de reciclado el porcentaje de Nylon se encuentra en un 4% por cada neumático.

### **Problemática**

Actualmente existen tres empresas que realizan el proceso de reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) en el país, la planta Rubberaction tiene una capacidad de procesamiento de 200.000 neumáticos, de las cuales se da un destino final al caucho y acero, mas no al resultante de la fibra de Nylon. Las plantas que se encuentran actualmente en el país tienen capacidad de procesamiento para neumáticos de vehículos comerciales (automóviles, camionetas y vans) en un promedio de 40.000 llantas cada dos meses, pero no tienen capacidad de almacenamiento y procesamiento de neumáticos para vehículos y maquinaria pesada que exceden del tamaño (Proceso, 2016).

Según el consejo Empresarial Mundial para el desarrollo sostenible (WBCSD), se generan un total de mil millones de neumáticos después de que su vida útil ha finalizado,

anualmente en el mundo, y calculan que hay aproximadamente 4 millones de neumáticos usados en depósitos y vertederos en todo el mundo. Los polímeros reticulados químicamente, naturales o sintéticos, que se encuentran en neumáticos al final de su vida útil no se degradan naturalmente en el medio ambiente y solo después de un periodo muy largo, además pueden difundir sustancias químicas peligrosas en el entorno que pueden matar a muchos microorganismos beneficiosos.

Dicha investigación beneficiará directamente a las empresas como Proneumacosa, Ecocaucho y Grim, productoras de este material para poder vender o comercializar y se podrá obtener réditos de los mismos, como también se podrá cumplir con la normativa del Ministerio de Ambiente del Ecuador (Acuerdo Ministerial 098) Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados (Tapia, 2015), implementar un proceso de gestión de neumáticos a través de acciones conjuntas, logrando así una capacidad de transporte y reciclaje superior a las 200.000 neumáticos al año.

### **Justificación**

La Planta Rubberaction, ubicada en Checa km 1.5 vía al Quinche - Quito se dedica a realizar la trituración mecánica a través de un proceso físico semiautomático de los neumáticos fuera de uso (NFU), mediante la utilización de maquinaria corta, muele, tamiza, separa y entrega productos de diferentes dimensiones. Es un gestor ambiental tecnificado que recibe, acopia y recicla neumáticos usados contribuyendo con la disminución del impacto ambiental negativo de estos desechos, transformándolos en productos alternativos, impulsando la cultura del reciclaje y mejorando los niveles de vida de todos los implicados en el proceso productivo.

Actualmente en el país existe una demanda promedio de importación de vehículos livianos y comerciales de 53.654 unidades y por ende para la posible aplicación en la impresión

3D se fabricará el panel de puerta interno de las cuales se importa 29554 unidades al año de la ensambladora OMNIBUS BB para automóviles y camionetas, según la asociación de empresas automotrices del Ecuador; lo que permite que esta aplicación sea factible ya que actualmente los componentes de los neumáticos tienen un porcentaje de mezcla del 20% entre caucho – nylon – acero por cada una de las 200.000 neumáticos procesadas al año.

Esta investigación tiene como fin realizar la caracterización del Nylon resultante del proceso de reciclado de neumáticos en la ciudad de Quito a partir del método descriptivo, las propiedades obtenidas en el proceso de caracterización definirán la aplicación de la autoparte automotriz y su prueba en el mercado, lo que permitirá a la planta Rubberaction el desalojo de almacenamiento de la fibra, disminución en sus costos indirectos y disposición final del Nylon.

## **OBJETIVOS:**

### **GENERAL**

- Realizar la caracterización mecánica y térmica del Nylon resultante del proceso de reciclaje de neumáticos mediante normas ASTM D3039, ASTM D7624 e ISO 8302 para el moldeo de un panel de puerta interior.

### **ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición del Nylon reciclado y obtener probetas para ensayos de tracción, flexión y conductividad térmica mediante el método de estratificación manual y moldeo por compresión de acuerdo a las normas ASTM D3039, ASTM D7624 e ISO 8302 respectivamente.

- Realizar la simulación mecánica y térmica en SolidWorks de un panel de puerta interior mediante la asignación de propiedades del material original y el Nylon reciclado caracterizado.
- Realizar el análisis y discusión de resultados para de esta manera identificar las propiedades de aplicación en el panel de puerta interior.

## Estados del arte

### Nylon

El nylon o la poliamida (PA) se conoce como el segundo polímero artificial más importante para textiles después de poliéster. Fue desarrollado por primera vez por un químico brillante, Wallace H. Carothers, en la década de 1930 en las instalaciones de investigación de DuPont (M. Najafi 1, 2017).

Propiedades como la rigidez, dureza, lubricidad y resistencia a la temperatura, la fatiga y la abrasión hacen que el nylon uno de los termoplásticos más versátiles en uso hoy en día. La aplicación más importante de nylon es como fibras, que cubren una amplia gama de textiles, prendas de vestir y productos. Los filamentos de nylon para requisitos técnicos o funciones se conocen como fibras de alto rendimiento (técnicas). Basado en la aplicación, las fibras de nylon pueden clasificarse en varias categorías, como modulo alto, tenacidad alta (HM-HT), fibras retardantes de llama, fibras de resistencia química, y fibras conductoras (M. Najafi 1, 2017).

Entre ellos, las fibras HM-HT son de particular interés ya que tienen alta resistencia a la tracción, así como una buena estabilidad química y térmica. La fibra de nylon HM-HT está hecha de polímeros alifáticos con metileno estructural unidos entre sí por grupos de amida (M. Najafi 1, 2017).

El nylon se produce comercialmente de dos maneras diferentes: poli condensación de monómeros disfuncionales que contienen aminoácidos o pares iguales de diaminas y ácidos

dicarboxílicos, y polimerización de apertura de anillo de lactamas PA-6 y 66 son los dos nylon principales utilizados para fibras técnicas debido a la combinación de propiedades de tracción, flexibilidad de proceso y resistencia a la abrasión (M. Najafi 1, 2017).

Alta tenacidad, alta elasticidad, buena adhesión al caucho y resistencia a la abrasión y los productos químicos hacen que estos filamentos de nylon sean atractivos para diversas aplicaciones técnicas tales como cordones para neumáticos, suturas quirúrgicas, cojinete de fricción, telas, hilos, cuerdas, y las redes de pesca.

### **Propiedades de la fibra de Nylon**

Propiedades de la fibra de nylon son determinadas por la estructura molecular y organización molecular. La estructura molecular del nylon comprende la amida (péptido) de ligamiento (NHCO) y los grupos metileno (CH<sub>2</sub>). Los grupos amida hacen fuerte enlace de H entre las cadenas dentro de la fibra. Los enlaces fuertes de H pueden dar la alta resistencia de la fibra de nylon a altas temperaturas, dureza a baja temperatura, elasticidad excepcional, de alta resiliencia, así como otras propiedades tales como rigidez, abrasión única y resistencia, bajo coeficiente de fricción desgaste, y buena resistencia química (McKeen, 2017).

El nylon es un flexible y termo polímero plástico y por lo tanto puede ser orientado y se cristaliza dentro de la fibra en temperaturas elevadas. Los dominios amorfos y cristalinos son diferentes en orientación molecular, movilidad de la cadena, empaque en cadena, el número de enlaces de H, e inter- espacios de cadena. Tales diferencias estructurales conducen las regiones amorfas y cristalinas para responder de manera diferente a calor, productos químicos, la

humedad y la carga. Así, la estructura de la fibra, así como la estructura molecular puede influir en la tracción, térmica, y química propiedades de las fibras de nylon de alto rendimiento (McKeen, 2017).

En la tabla 2 se detalla las principales propiedades técnicas del Nylon.

**Tabla 2.**

*Principales propiedades técnicas del Nylon.*

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	NYLON (PA6, PA66)
Deformación a la rotura	%	DIN 53455	>50
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,28
Coefficiente de dilatación térmica de 20 C a 50 C	m/m K		85*10-6
Coefficiente de fricción			0,3
Densidad	g/cm <sup>2</sup>	DIN 53479	1,14
Dureza	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53456	136
Dureza “Shore”		DIN 53505	D75
Módulo de Elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53457	2.850
Resistencia al Impacto	KJ/m <sup>2</sup>	DIN 53453	3,8
Resistencia a la tracción	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53455	78
Temperatura máxima de utilización	C	NORMAL	90
	C	CON PUNTAS	150
Temperatura mínima de uso	C		-40

Nota: Propiedades y características técnicas del Nylon PA6, PA66 Tomado de [www.daissa.com](http://www.daissa.com)

### **Propiedades de tracción**

Tracción o propiedades mecánicas son las características más importantes fibras de nylon. Indican el comportamiento de los filamentos a las fuerzas y deformaciones, y determinar su idoneidad para una aplicación específica. Los atributos principales de las propiedades de tracción de hilos técnicos son resistencia a la tracción (tenacidad), Modulo de elasticidad (Inicial), alargamiento (deformación) en la rotura, y la contracción (McKeen, 2017).

La tenacidad es la cantidad de la tensión específica requerida para romper una fibra. El módulo está relacionado con la respuesta inicial de una fibra a la carga y es igual a la decantación de la curva en el punto inicial (McKeen, 2017).

Alargamiento (deformación) de rotura es la cantidad de alargamiento necesaria para romper un filamento.

La contracción es la contracción / desorientación de las cadenas de polímero durante el proceso de calentamiento e indica la estabilidad dimensional de la fibra. Estas características de tracción dependen de la estructura de la fibra, la masa molecular del polímero, y la historia térmica. Fuerza (tenacidad) y la rigidez (módulo) están relacionadas con la orientación molecular y el número de cadena (McKeen, 2017).

### **Propiedades térmicas**

Las propiedades térmicas de las fibras de nylon tienen un papel fundamental en la determinación de la manufactura condiciones y aplicaciones de productos. El comportamiento térmico se ve afectado considerablemente por los enlaces de amida en la estructura del polímero. El punto de fusión ( $T_m$ ) y temperatura de transición ( $T_g$ ) de nylon se incrementan con el número de grupos amida por unidad de repetición de polímero, Aunque dicho incremento no siempre es regular el número par o impar de  $CH_2$  grupos entre los grupos  $NHCO$  puede afectarlo (McKeen, 2017).

### **Propiedades químicas**

Las propiedades químicas / degradación de las fibras de nylon están relacionados con la reacción de los grupos amida con ácidos, álcalis, alcoholes, disolventes, entre otros. Los  $CH_2$  grupos se químicamente inerte, aunque los grupos cerca de la  $NHCO$  pueden tomar parte en ciertas reacciones. PA-6 y PA-66 tienen buena resistencia química a la elevada cantidad de

productos químicos entre ellos los hidrocarburos, grasas y aceites, pero pueden ser degradados por bases fuertes, alcoholes, y ácidos (McKeen, 2017).

El grupo amida es también susceptible al calor, el oxígeno, la luz y la humedad. La alta temperatura utilizada en el proceso de hilatura por fusión puede desintegrar las AP a dióxido de carbono, amoníaco y productos de agua. La exposición de PA-6 y PA-66 a los rayos radiación UV durante un largo período de tiempo puede conducir a la degradación foto-oxidativa y reducir fuerza. Las fibras de nylon son también parcialmente de naturaleza hidrófila (McKeen, 2017).

El contenido de humedad del nylon tiende a disminuir a medida que el número nylon aumenta. La humedad se difunde principalmente en las regiones amorfas. Fibras de nylon HM-HT tienen baja absorción de humedad debido a su alta orientación y cristalinidad (McKeen, 2017).

### **Materiales compuestos**

Dávila et al. (2011) define a los materiales compuestos como “materiales constituidos por: o dos o más materiales con formas o composiciones diferentes con la intención de compensar las propiedades negativas de ambos y potenciar las positivas o material matriz que estará reforzado por otro material al que denomina refuerzo”.

Clasificando los materiales compuestos en función de:

- del material que forma la matriz
- del tipo de refuerzo.

Según el tipo de refuerzo suelen ser:

- fibras o partículas, comprende fundamentalmente a dos familias:
  - los enfibrados
  - y los particulares.

Según el tipo de matriz se clasifican en:

Matrices poliméricas, metálicas o cerámicas.

Las familias de materiales compuestos son:

- Materiales compuestos de matriz Polimérica (FRP's)
- Materiales Compuestos de matriz metálica (MMC's)
- Materiales Compuestos de matriz Cerámica (CMC's)

### **Refuerzo con fibra a los materiales compuestos**

- Se busca con este tipo de compuestos conseguir materiales que presenten una elevada resistencia y rigidez al igual que una baja densidad.

- En el campo de ingeniería dichas propiedades se expresan mediante dos parámetros:

Resistencia específica y módulo específico, correspondiendo con las relaciones entre resistencia a tracción y densidad por un lado, y la relación módulo de elasticidad y densidad por otro (Dávila et al., 2011).

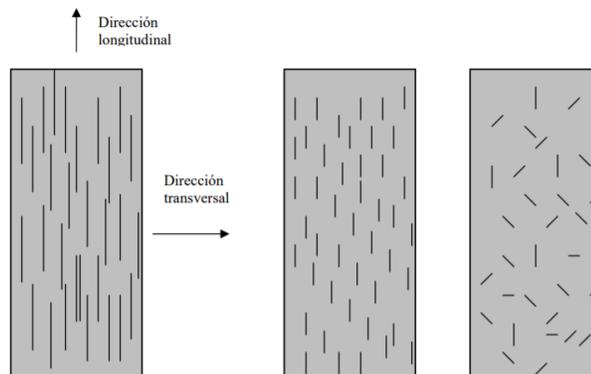
Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican a su vez en dependencia del tamaño de las mismas.

Tomando como referencia el refuerzo, para que el efecto sea significativo, éstas deben de ser continuas, “ya que los materiales reforzados con fibras cortas pueden ser considerados a los reforzados con partículas que veremos a continuación” (Dávila et al., 2011).

### Influencia de la orientación y colocación de las fibras

Es importante dentro de las propiedades de los materiales compuestos la cantidad y la orientación de las fibras que lo refuerzan (Dávila et al., 2011). Donde se puede encontrar dos situaciones extremas:

- i) Encontramos fibras perfectamente alineadas. Cuando los materiales compuestos están reforzados con fibras continuas.
- ii) Encontramos las fibras totalmente al azar. Se debe tomar en cuenta que los tejidos y no tejidos pueden existir con diferente organización.



**Figura 2.** Orientación de la fibra: a) continuas y alineadas, b) discontinuas y alineadas y c) discontinuas y orientadas al azar.

Fuente: (Dávila et al., 2011)

Los polímeros más utilizados como matriz dentro de los materiales compuestos, los más importantes son: resinas epoxi y resinas poliéster insaturadas. De las cuales la resina poliéster es baratas, pero generalmente no tan fuertes como las resinas epoxi. Dentro de las aplicaciones más comunes de material compuesto con resina poliéster se encuentran cascos de buques, paneles de construcción y paneles estructurales para automóviles, aeronaves y accesorios (Dávila et al., 2011). Por otro lado, los materiales compuestos con resina epoxi, tienen ventajas especiales

como buenas propiedades de resistencia a tracción, y una menor contracción después del proceso de curado que las resinas poliéster dejando detrás la desventaja de su alto costo.

### Refuerzos con fibra natural para compuesto con de matriz termoestable

Tamayo (2012) dice que “Las fibras presentan propiedades inherentes a su naturaleza, lo que permite determinar su aplicación como refuerzo en matrices poliméricas. Dichas características están directamente relacionadas con las propiedades mecánicas que adicionan al material (matriz), específicamente resistencia a esfuerzos de tracción, flexión, compresión. Se debe tomar en cuenta algunos parámetros importantes para determinan la facilidad de producción y rendimiento.

En la tabla 3 se detallan ejemplos de propiedades obtenidas con algunas matrices para dos tipos de refuerzo de fibra de vidrio. En la tabla, se detallan propiedades de compuestos de fibra corta de vidrio como refuerzo de los diferentes plásticos.

**Tabla 3.**

*Propiedades de los compuestos de varias matrices con dos diferentes refuerzos de fibra de vidrio*

<b>30% malla de fibra de vidrio reforzando compuestos con matriz</b>	<b>UP</b>	<b>PP</b>
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	1,4	1,14
Resistencia a la tracción, MPa	100	90
Módulo elástico a tracción, GPa	6	4,5
<b>65% tela de fibra de vidrio reforzando compuestos con matriz</b>	<b>UP</b>	<b>EP</b>
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	1,9	1,9
Resistencia a la tracción, MPa	300	400
Módulo elástico a tracción, GPa	15	24

*Nota:* Tomado de “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación”

**Tabla 4.**

*Propiedades de fibra corta de vidrio para reforzar plásticos*

		Matrices termoplásticas			
		PP	PA	PC	PEEK
Densidad,	g/cm <sup>3</sup>	1,1 – 1,2	1,3 – 1,4	1,35 – 1,5	1,5
Resistencia a la tracción,	MPa	40 – 70	100 - 160	90 - 160	150 - 180
Módulo elástico a tracción,	GPa	4 – 8	5 - 9	6 - 10	9 - 12
Elongación a la rotura	%	2 – 3	4 -7	2 - 4	2 - 3

Matrices termoplásticas					
		PP	PA	PC	PEEK
Resistencia al impacto con muesca	J/m	45 -160	130 - 160	90 - 200	95 - 130
Temperatura de deformación a (1,8MPa)	°C	120 - 140	230 - 260	140 - 150	290 - 315
Coefficiente de expansión térmica	10 <sup>-5</sup> /°C	2 - 3	2 - 3	2 - 4	1,5 - 3
Resistividad	Ohm.cm	10 <sup>16</sup> -10 <sup>17</sup>	10 <sup>12</sup> -10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup> -10 <sup>16</sup>	10 <sup>15</sup> -10 <sup>17</sup>
Matrices termoestables					
		UP	PF	MF	EP
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	2	1,7 - 2	1,5 - 2	2
Resistencia a la flexión	MPa	60 - 100	60 - 200	35 - 180	40 - 200
Módulo elástico a flexión	GPa	7 - 11	10 - 25	11 - 20	10 - 30
Elongación a la rotura	%	1 - 3	1	1	1
Temperatura de deformación a (1,8MPa)	°C	160 - 250	150 - 250	170 - 310	120 - 260
Coefficiente de expansión térmica	10 <sup>-5</sup> /°C	1,5 - 3	1,5 - 3	1 - 3	2 - 3
Resistividad	Ohm.cm	10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup> -10 <sup>13</sup>	10 <sup>10</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>14</sup> -10 <sup>15</sup>

*Nota:* Tomado de “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación”

En la tabla 5 se detallan propiedades mecánicas a tracción de varios materiales compuestos de matrices termoestables y termoplásticas reforzadas con varias fibras naturales y sintéticas (Tamayo, 2012).

**Tabla 5.**

*Propiedades a tracción de diferentes materiales compuestos*

Fibra/matriz	Fracción volumétrica	Esfuerzo Máximo a Tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad GPa
Malla de vidrio/poliéster	0,25 - 0,35	60 - 150	6 - 9
Sisal/poliéster	-	34 - 41	-
Yute/poliéster	45	60	7
Sisal/Epoxi	-	250 - 300	8,5
Cáñamo/Poliuretano	21	23	2
Cáñamo/Poliuretano	19	27	3
Cáñamo Alcalizado/Poliuretano	20	35	2
Celulosa/PLA	0,30 (wt)	68,89	3,65
Kenaf/PLA	0,40 - 0,80	45 - 62	4,5 - 6,3
Lyocell/PLA	0,621 (wt)	100,5	5,55
Vidrio/PLA	0,39 (wt)	80	-
Lino/PLA	0,2	66	5,7
Lino/PLA	0,30 (wt)	53±3,1	4,5±0,5
Lino/PHB	0,2	64,4	6,197
Lino longitudinal/TPS	0,40 (wt)	73±3	5,9±0,6
Lino transversal/TPS	0,40 (wt)	53±5	4,5±0,5
Bambú/PP	0,2	16	2,5
Caña de azúcar/PP	0,2	16	0,6
Sisal /LDPE	0,2	16,5	0,93
Madera/PP	0,3	38	-
Cáñamo/almidón	0,5	153	-

Yute/biopol	0,25 (wt)	33,58	-
Paja/biopol	0,10 (wt)	14	1,4
Paja/biopol	0,30 (wt)	14	1,7
Celulosa/PHB	0,40 (wt)	-	6,26
Piña/PHB	0,20 (wt)	46	2,158
Bámbu/PES	0,28 (wt)	85,5	8,5
Lyocell/PHBV	0,632(wt)	108,8	2,46

*Nota:* Tomado de “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación” (p. 95)

### **Propiedades y comportamiento de materiales compuestos**

Tamayo (2012) dijo que el comportamiento y propiedades de los materiales compuestos “Dependen directamente de las propiedades de las partes que lo conforman, dependen de la matriz, el refuerzo y la interfaz formada por los dos elementos”.

Como funciones principales tienen que:

- Aumentar la resistencia a la tracción, compresión y corte.
- Aumentar el módulo de elasticidad y rigidez.
- Aumentar la temperatura de deformación por calor.
- Disminuir la contracción.
- Mejorar el comportamiento en fluencia.
- Mejorar la resistencia al impacto.

En la tabla 6 se detallan propiedades mecánicas de ensayos a tracción y flexión, también se detalla los principales resultados obtenidos en la incorporación de fibras naturales en distintas matrices poliméricas, sin embargo cabe recalcar que estos valores son solo una guía (Tamayo, 2012).

**Tabla 6.**

*Propiedades mecánicas promedio de ensayo a tracción y flexión de compuestos de matriz poliéster con refuerzo de diferentes fibras*

Tipo de material	Fibra de refuerzo	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad a tracción (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Módulo de elasticidad a flexión (MPa)
Poliéster	----	28,67	1492	56,62	1867
Compuesto de fibra corta de 10 mm, 30 vol.%	ábaca	29,24	5323	45,52	2685
Compuesto de fibra corta de 10 mm, 25 vol.%	ábaca	25,76	5426	51,80	3521
Compuesto de fibra longitudinal, 35 vol.%	ábaca	136,95	3990	109,89	4605
Compuesto de fibra longitudinal, 25 vol.%	ábaca	120,34	4364	105,00	3546
Compuesto de fibra longitudinal, 15 vol.%	ábaca	73,97	5330	11,05	4482,74
Fibra corta de ábaca (A) Mat de fibra de vidrio (V)					
Compuesto de fibra corta, 20 vol.%	25A/75V	69,77	2770	84,02	3420
Compuesto de fibra corta, 20 vol.%	50A/50V	54,35	3132	77,48	3604
Compuesto de fibra corta, 20 vol.%	75A/25V	32,76	2109	81,69	3589
Fibra unidireccional de ábaca (A) Mat de fibra de vidrio (V)					
Compuesto de fibra unidireccional, 20 vol.%	25A/75V	115,02	3357	116,04	5024
Compuesto de fibra unidireccional, 20 vol.%	50A/50V	93,48	2457	127,74	5545
Compuesto de fibra unidireccional, 20 vol.%	75A/25V	137,77	4473	126,73	5091
Tejido plano de ábaca (A) Mat de fibra de vidrio (V)					
Compuesto de tejido plano, 20 vol.%	25A/75V	94,05	2941	109,13	4110
Compuesto de tejido plano, 20 vol.%	50A/50V	85,37	2149	79,06	2918
Compuesto de tejido plano, 20 vol.%	75A/25V	84,61	2522	79,53	3157
Tejido sarga de ábaca (A) Mat de fibra de vidrio (V)					
Compuesto de tejido sarga, 20 vol.%	25A/75V	78,54	2683	80,03	3037
Compuesto de tejido sarga, 20 vol.%	50A/50V	72,40	2274	70,97	2750
Compuesto de tejido sarga, 20 vol.%	75A/25V	52,86	2385	68,64	2667
Fibra corta de coco (C) Mat de fibra de vidrio (V)					
Compuesto de fibra corta, 10 vol.%	100C/0V	18,72	1857	43,98	1798
Compuesto de fibra corta, 10 vol.%	25C/75V	25,95	3286	63,79	2793
Compuesto de fibra corta, 10 vol.%	50C/50V	35,71	3722	72,42	3042
Compuesto de fibra corta, 10 vol.%	75C/25V	38,27	4232	77,56	3303

Compuesto de fibra corta, 15 vol. %	100C/0V	17,19	1843	44,69	2011
Compuesto de fibra corta, 15 vol. %	25C/75V	23,77	2940	63,72	3118
Compuesto de fibra corta, 15 vol. %	50C/50V	38,56	3960	89,23	4095
Compuesto de fibra corta, 15 vol. %	75C/25V	54,28	4987	110,32	4483

*Nota:* Tomado de “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación”

### **Estratificación manual**

Se ha convertido en la técnica más sencilla para obtener material compuesto de matriz termoestable. Son de fácil procesamiento las resinas termoestables por tener una buena mojabilidad de la fibra como refuerzo, gracias a su estado líquido a temperatura ambiente (Pachacama N, 2015).

#### **Proceso de estratificación manual:**

- Agregar un agente desmoldante para facilitar la extracción de la pieza final.
- Adicionar la resina poliéster de acuerdo a la medida determinada distribuyéndolo por todo el molde.
- Colocar el material de refuerzo e impregnar con la resina poliéster. Mediante un rodillo impregnar las capas de refuerzo y eliminar el aire atrapado en el laminado.
- Dejar curar la pieza a temperatura ambiente. El tiempo de secado está en función del sistema catalítico y cantidad del iniciador. Posteriormente desmoldamos la pieza.



**Figura 3.** Método de estratificación manual aplicado en la fabricación de un domo.  
Fuente: J. D. V. H Guerrero-Nuevos Materiales

### **Ventajas**

- Proceso sencillo.
- Permite la fabricación de fabricar piezas grandes como piscinas, cascos de embarcaciones, yates, paredes laterales de buses y componentes de aviones como fuselaje (Dávila et al., 2011).

### **Desventajas**

- El método implica alta uso de mano de obra.
- Resulta difícil controlar el espesor de la pieza.
- Buen acabado en solo un lado de sus caras.

### **Moldeo por compresión**

Los moldes empleados son de tipo macho-hembra, lo que permite aplicar la presión requerida de manera fácil ya que su diseño es simple. Dicha técnica puede utilizarse en materiales termoplásticos como en termoestables y consiste en intercalar láminas de matriz y

refuerzo en forma de pre-impregnado en un molde que es posteriormente prensado (Dávila et al., 2011).



**Figura 4.** Moldeo por compresión fibra de Nylon  
Fuente: Autor

En materiales termoestables, los componentes son pre mezclas de matriz-refuerzo determinando sus cantidades de la cual depende la resina a utilizada y que permite que pueda o no requerir calor. Una característica básica es que el contenido de fibra puede alcanzar el 30% (Dávila et al., 2011).

Para preparar la matriz termoestable se debe preparar el material con las cantidades determinadas y ponerlas en el molde inferior (hembra), la parte superior del molde se cierra rápidamente dependiendo de la formulación de la resina. Luego de este proceso se procede al curado del material, liberación de presión y extraer la pieza (Dávila et al., 2011).

En el moldeo por compresión existen fases que deben ser tomadas en cuenta: preparación, moldeo y enfriamiento y en este proceso de debe controlar los parámetros como temperatura, presión y tiempo. A continuación, se detallan los pasos del proceso:

1. Se debe tratar el molde con el agente desmoldante y preparar la fibra de acuerdo a la cantidad determinada de acuerdo a la norma utilizada para alcanzar el espesor deseado.
2. Se debe cerrar el molde y ubicar en una prensa hidráulica con la presión establecida hasta alcanzar la fusión de los componentes.
3. Después del proceso de fusión y moldeo se debe dejar transcurrir el tiempo y que alcance la fase de enfriamiento hasta que el material se solidifique.
4. Por último, la probeta se retira del molde.

En la figura 4 se detalla un esquema del material compuesto moldeado por compresión.

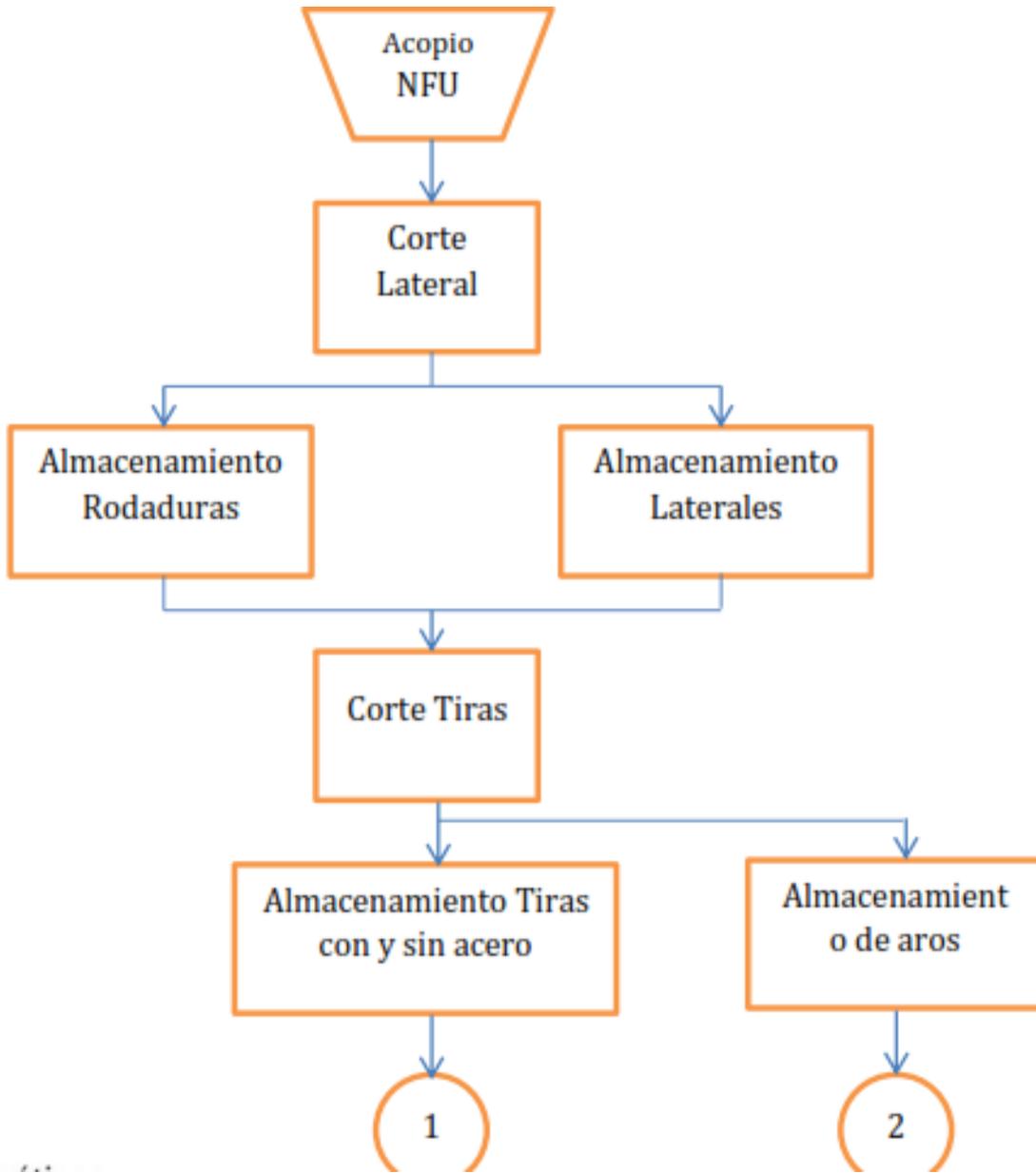
ITEM	Proceso	Descripción	Imagen
1	Preparación	Preparar el molde, matriz y fibra de acuerdo a la fracción requerida	
2	Estratificación	Se debe impregnar el refuerzo con la matriz de acuerdo a las cantidades determinadas	
3	Compresión	Se debe cerrar el molde y aplicar la presión para evitar la formulación de poros	

4	Solidificación	Dejar transcurrir el tiempo hasta alcanzar la fusión  Mantener la presión  Proceder al desmoldeo	
---	----------------	--	---

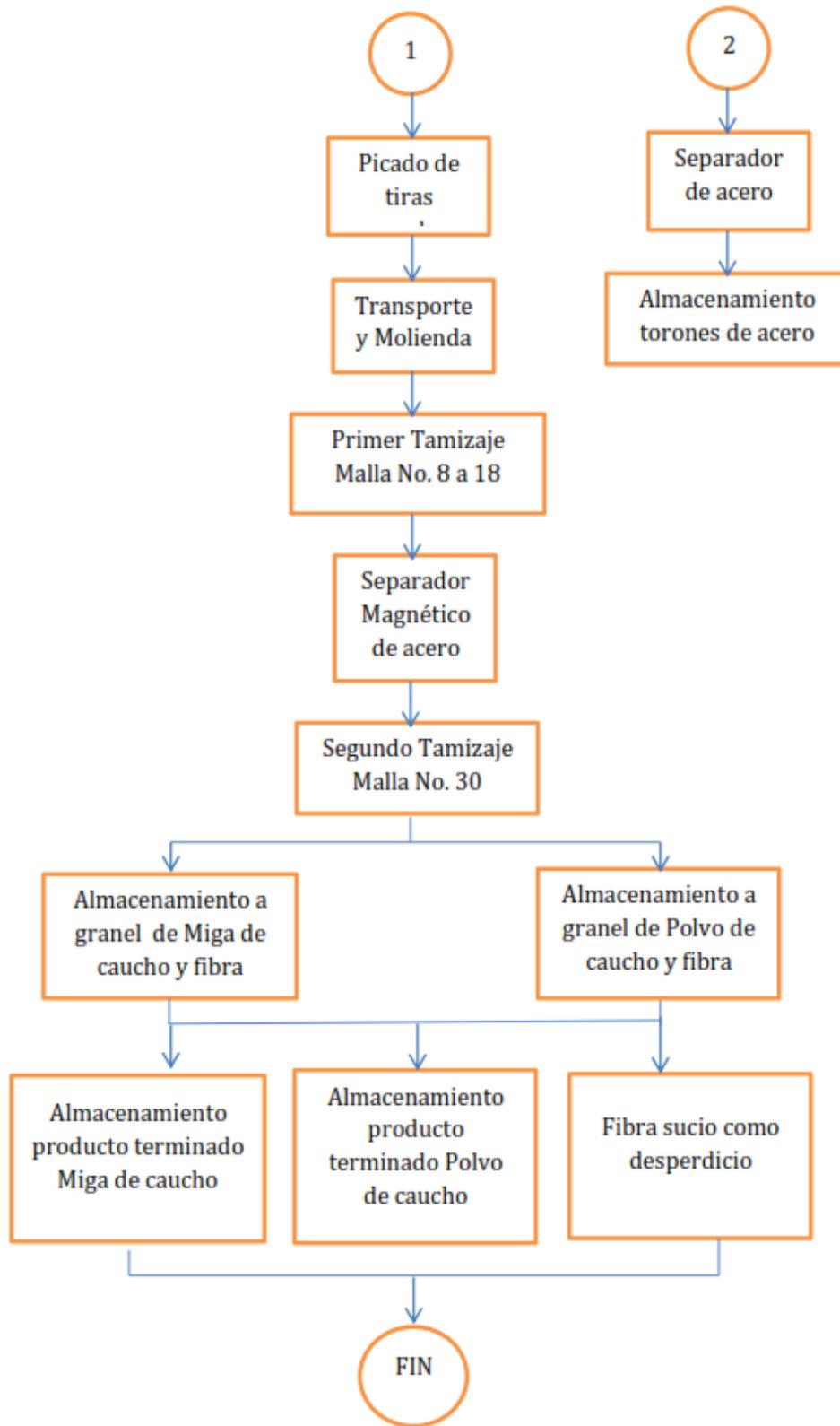
**Figura 5.** Esquema de moldeo por compresión  
Fuente: Autor

Para iniciar con la caracterización del Nylon resultante del proceso de reciclaje de neumáticos es importante indicar el proceso de obtención del Mismo.

En la figura 5 y 6 se presenta el diagrama de Flujo del proceso de reciclaje de neumáticos



**Figura 6.** Diagrama de flujo de proceso de reciclaje neumáticos  
Fuente: Autor



**Figura 7.** Continuación del diagrama de flujo del proceso de reciclaje neumáticos

### Proceso de reciclaje de neumáticos – Planta Rubberaction

Proceso de reciclaje – Planta Rubberaction (2016): La trituración mecánica es un proceso físico semiautomático en el cual se descompone la llanta o NFU (neumático fuera de uso) en sus elementos constituyentes, caucho, acero y fibra, mediante la utilización de maquinaria que corta, muele, tamiza, separa y entrega productos de diferentes dimensiones (PRADO, 2017).

Acopio de NFU.

Los NFU se reciben en espacios adoquinados, son clasificados de acuerdo a su tamaño y se apilan en torres de hasta 10 neumáticos o se entrelazan para optimizar el espacio. Se dispone de una suficiente para mantener un stock de dos meses o 40.000 neumáticos que se encuentran almacenadas bajo techo (PRADO, 2017).

Corte lateral.

De acuerdo al rin, el neumático se coloca uno por uno horizontalmente en la máquina cortadora de laterales y se ajusta, entonces se hace rotar el neumático y una cuchilla baja hasta penetrar entre la rodadura y el lateral, entonces se produce el corte logrando separar las partes con y sin alambre (PRADO, 2017).



**Figura 8.** Máquina para corte lateral de neumáticos

Fuente: Autor



**Figura 9.** Máquina para corte lateral en la Planta Rubberaction  
Fuente: Autor

El mismo procedimiento se realiza por los dos lados del neumático para obtener dos laterales con sus respectivos talones y una rodadura (PRADO, 2017).

Corte en tiras.

Dos rodillos de acero templado que giran en sentidos opuestos, cizallan el caucho del neumático en forma continúa generando tiras de aproximadamente 5 cm de ancho.

Se procesa por separado la rodadura y los laterales para separar los productos con y sin acero. El corte de los laterales se lo realiza hasta el inicio del talón, debido a que éste posee un torón de acero que no puede ser cortado en este proceso (PRADO, 2017).

Picado de las tiras de caucho.

Las tiras de los neumáticos que se obtienen del proceso anterior se alimentan individualmente a una máquina picadora, que arrastra automáticamente el material al interior de

una cámara donde se cortan trozos de aproximadamente 5x5 cm, producto de la rotación de varias cuchillas.

Este producto se denomina “chip de neumático” y puede ser utilizado como combustible en cementeras o dentro de hornos de combustión que superen los 1.350°C; dentro de nuestra línea se lo envía directamente al siguiente paso de molienda (PRADO, 2017).



**Figura 10.** Máquina para picado de las tiras de caucho  
Fuente: Autor

Transporte y molienda del caucho.

Los “chips de neumático” son transportados por una banda elevadora, que los arroja en el interior de dos rodillos para moler el caucho separándolo del acero y de la fibra.

Debido a que el proceso de molienda de caucho es exotérmico, los rodillos tienen un sistema interno de enfriamiento mediante recirculación de agua a temperatura ambiente, que no permite subir de los 50°C las paredes de los rodillos (PRADO, 2017).

Primer tamizaje.

El caucho molido cae sobre un sarán de 7m de largo que tiene una plancha con perforaciones de 2,5 mm, de esta manera separa el caucho, fibra y acero que puede pasar ese calibre, el producto de mayor dimensión retorna al molino para reducir su tamaño.

Entre el 10 y 15% de la fibra de la llanta no atraviesa el tamiz, debido a que mantiene un poco de alambre y caucho en su estructura, esta cantidad constituye un desperdicio del proceso ya que no tiene fin comercial, es retirado del sarán y almacenado hasta ser entregado a la EMGIRS (Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos) (PRADO, 2017).



**Figura 11.** Primer tamizaje de caucho molido  
Fuente: Autor

Separador magnético de acero.

El producto del tamizaje anterior es transportado y elevado por bandas con rodillos magnéticos que captan el acero y lo depositan fuera del proceso en recipientes colectores, mientras que el caucho y fibra caen sobre un segundo sarán (PRADO, 2017).



**Figura 12.** Proceso de separación de acero  
Fuente: Autor

Segundo tamizaje.

Los granos de caucho molido inferiores a 2,5 mm que pasaron por el primer tamiz son separadas en este paso mediante un movimiento de sarán con malla No. 30, se obtiene entonces polvo de caucho inferior a 0,595 mm y partículas entre 2,5 y 0,595 mm que son recolectadas a la salida como primer producto terminado. EL polvo que ha pasado la malla No. 30 es transportado a otro punto para su almacenaje (PRADO, 2017).



**Figura 13.** Segundo tamizaje del polvo de caucho  
Fuente: Autor

Producto terminado.

El caucho molido limpio es embalado por separado en sacos de polipropileno con peso unitario de 25 kg, son almacenados en la bodega de producto terminado hasta su despacho. Al igual que el polvo de caucho menor a 0,595 mm que se lo embala individualmente en sacos de polipropileno de 20kg (PRADO, 2017).



**Figura 14.** Producto terminado – caucho molido limpio  
Fuente: Autor

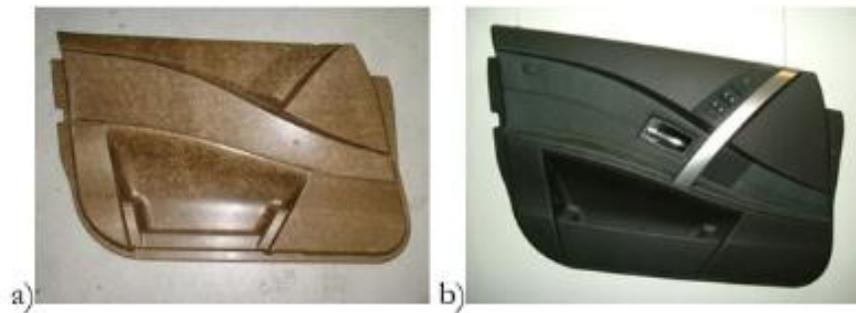
El acero cortado o en limalla, se recoge en un contenedor de 5 toneladas de capacidad hasta su entrega a la empresa siderúrgica.

### **Selección de la autoparte para aplicación de material caracterizado**

Se establecieron algunos principales motivos para la aplicación de fibras naturales en el sector automotriz como mejorar sus propiedades mecánicas, estabilidad, balance con el ambiente y manipulación, con el fin de reducción de peso y bajo costo.

Las aplicaciones y masas más usadas en plásticos con fibras naturales en el sector automotriz son: paneles de puertas interior delanteras (1.2 – 1.8 kg), paneles de puertas traseras (0.8-1.5 kg), respaldo de asientos (1.6-2.0 kg), cubierta de cajuela (1.5-2.5 kg), cabeceras ( $\approx$  2.5 kg), entre otras (Majewski & Bledzki, 2013).

El panel de puerta interior es una de las autopartes de vehículos que son fabricadas con plásticos con refuerzo de fibra, en la figura 15 se muestra el panel de puerta en su estado post construcción y su forma final.



**Figura 15.** (a) Panel de puerta post construcción y (b) panel de puerta acabado final  
Fuente: (Majewski & Bledzki, 2013)

En el listado que se detalla a continuación algunas de las características que deben cumplir los paneles internos de las puertas:

- Resistir a impactos
- Tener peso reducido y ser biodegradable
- No producir ruido ni vibraciones.
- Estar dimensionalmente óptima, acorde al tipo de vehículo (Dimensiones del habitáculo)
- Durabilidad y fácil recambio.
- Resistir los efectos medioambientales, principalmente la humedad y calor; producidos en el interior del vehículo.

- Acabado aceptable
- Bajo costo.

Para aplicación de uso ingenieril en el campo automotriz el material debe cumplir algunas características entre ellas propiedades físicas y mecánicas del material. En la tabla 7 se presenta algunas propiedades de fibras naturales.

**Tabla 7.**

*Propiedades físicas y mecánicas de fibras naturales seleccionadas.*

Nombre de fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tracción	Módulo Tracción	de	Elongación a la rotura
Banana	1.35	600	17.85		3.36
Sisal	1.45	530 – 640	9.4 – 22		3 – 7
Jute	1.46	393 – 800	10 – 30		1.5 – 1.8
Flax	1.5	800 – 1500	27.6 - 80		1.2 – 3.2

Nota: Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz

Pero también se detallan algunas propiedades de polímeros para la construcción de paneles de puerta interior con se detalla en la tabla 8.

**Tabla 8.**

*Propiedades de Polímeros*

Propiedad	PP	LDPE	HDPE	PS
Densidad	0.899-0.920	0.910-0.925	0.94-0.96	1.04-1.06
Absorción de agua -24 horas (%)	0.01-0.02	0.015	0.01-0.2	0.03-0.10
Tg (°C)	-10 a -23	-125	-133 a -100	-
Tm (°C)	160-176	105-116	120-140	110-135
Temperatura de deflexión	50-63	32-50	43-60	Max. 220
Coefficiente de expansión térmica (mm/mm/°Cx10 <sup>5</sup> )	6.8-13.5	10	12-13	6-8
Resistencia a la tracción (GPa)	26-41.4	40-78	14.5-38	25-69
Módulo de elasticidad (GPa)	0.95-1.77	0.055-0.38	0.4-1.5	4-5
Elongación (%)	15-700	90-800	2.0-130	1-2.5
Resistencia al impacto Izod (J/m)	21.4-267	854	26.7-1.068	1.1

Nota: Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz

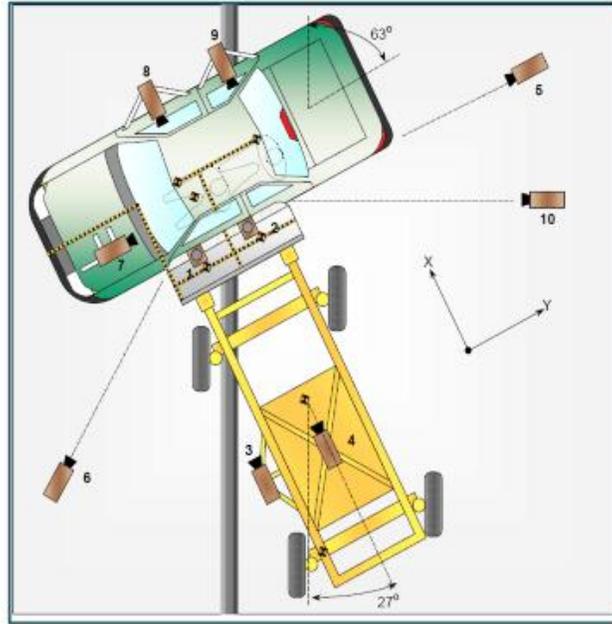
Propiedades y características

El material propuesto para la fabricación debe cumplir algunas propiedades, las mismas que se evalúan en función del uso interior (Gómez, 2017), estas especificaciones se evaluarán de acuerdo a normas de ensayo para verificar propiedades como:

- Físicas: densidad, contenido de humedad, contenido de vacío, fracción de volumen, etc.
- Mecánicas: Resistencia al impacto, tracción, etc.
- Durabilidad: envejecimiento artificial, hinchazón y absorción, etc.
- Térmicas: dilatación lineal, conductividad térmica, acción del calor.
- Fuego: Límite de oxígeno, reacción al fuego.

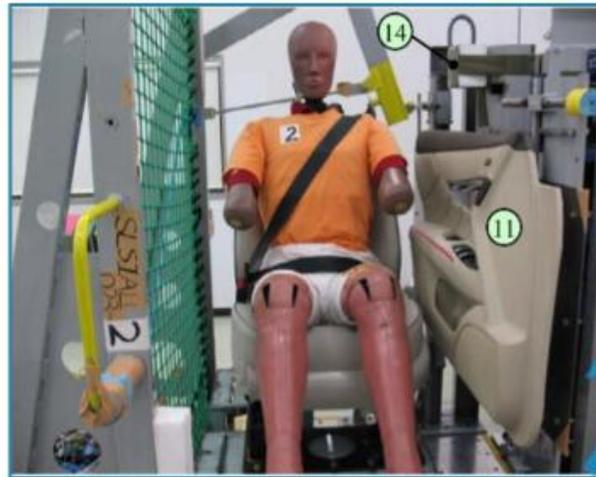
Para realizar la simulación con el panel de puerta interior se toma como referencia los parámetros establecidos en la FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) para realizar las pruebas de seguridad de impacto lateral como se muestra en la figura 16 y 17.

Gómez (2017) dice que después de determinar las condiciones de servicio de la pieza a fabricar se debe satisfacer por parte del material compuesto su comportamiento estático y dinámico. Se analiza las mejores opciones técnicamente, realizando pruebas de acuerdo a estándares internacionales como ASTM, ISO y SAE. Para ello los paneles de puerta interior deben cumplir características y especificaciones técnicas y sobre todo regulaciones de seguridad de los vehículos que establecen pruebas y estándares como resistencia al impacto estipulado en los estándares 201 y 214 según la FMVSS, protección de impacto lateral en la parte 572-Sección F entre otras para cumplir con las regulaciones del departamento de transporte.



**Figura 16.** Test de Impacto

Fuente: <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/import/FMVSS>



**Figura 17.** Esquema del test de dispositivo

Fuente: <https://www.euroncap.com/es>

Para ello se deben cumplir con parámetros de prueba establecidos y rigurosos métodos de prueba para así garantizar su aplicación, a continuación, se detallan los principales parámetros y condiciones:

## Parámetros de prueba

### Remolque y sistemas de orientación

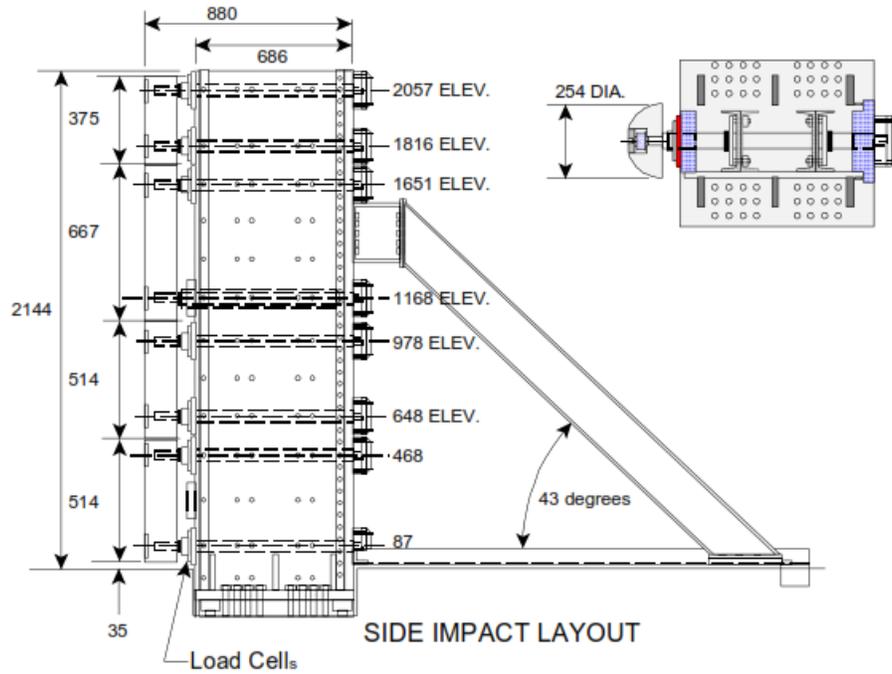
El sistema de remolque debe ser capaz de garantizar que el vehículo de prueba impacta lateralmente en el polo rígido a una velocidad de  $31 \text{ km / h} \pm 0.9 \text{ km / h}$ .

Se requiere un sistema de guía para asegurar que el vehículo de prueba sea propulsado hacia los lados para que la línea de movimiento hacia adelante (para las pruebas de impacto del lado izquierdo) forma un ángulo de 75 grados ( $\pm 3$  grados) con la línea central longitudinal del vehículo y el polo dentro de  $\pm 38 \text{ mm}$  ( $\pm 1.5 \text{ in}$ ) horizontalmente de la línea de referencia de impacto del vehículo (Jones, 2012).

### Poste rígido

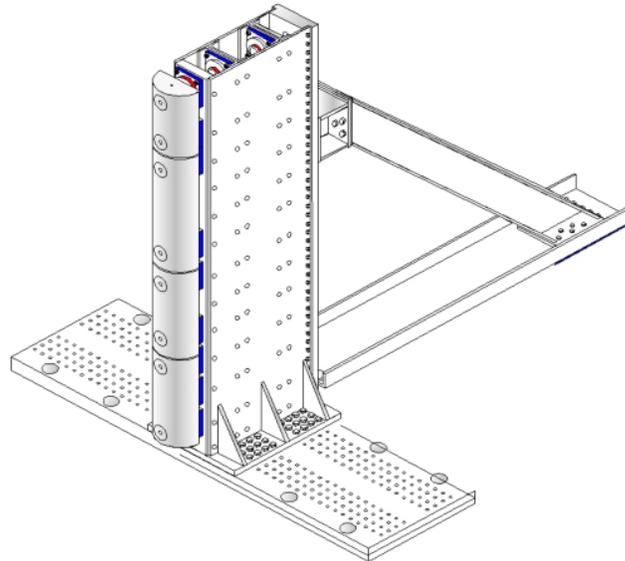
La cara de impacto del poste rígido debe ser una estructura metálica orientada verticalmente con un diámetro de  $254 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  y comenzando a no más de 102 mm por encima del punto más bajo de los neumáticos en el golpeó el lado del vehículo de prueba completamente cargado y se extendió al menos 150 mm por encima del más alto punto del techo del vehículo de prueba. La cara del poste debe estar desviada de su montaje y soporte de modo que el vehículo no contacte con las estructuras de montaje y soporte dentro de los 100 ms desde el contacto inicial de un vehículo a otro (Jones, 2012).

El polo ilustrado en las siguientes figuras es del TurnerFairbank de la Administración Federal de Carreteras Highway Research Center y se proporciona solo con fines ilustrativos.



**Figura 18.** Polo rígido 300 K

Fuente: Procedimiento de prueba de impacto lateral de poste rígido

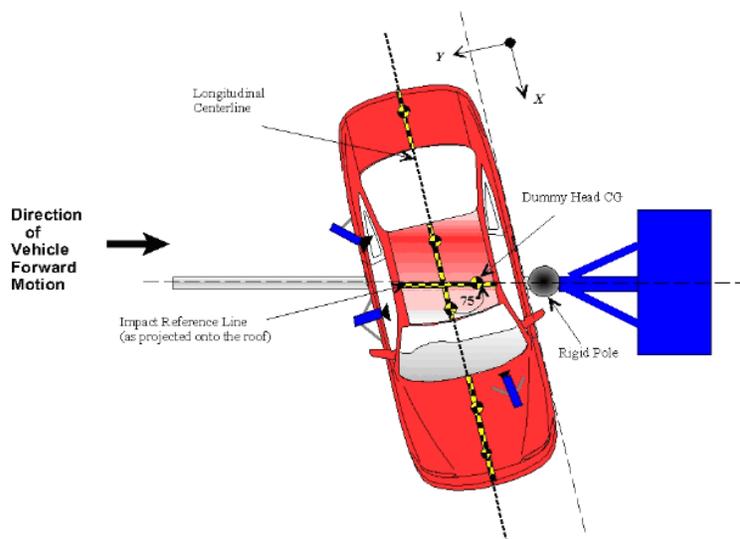


**Figura 19.** Polo rígido 300 K vista  $\frac{3}{4}$

Fuente: Procedimiento de prueba de impacto lateral de poste rígido

Medición de la velocidad del vehículo de prueba

La velocidad del vehículo de prueba debe ser constante (esencialmente con aceleración cero o desaceleración) durante un mínimo de los últimos 1,5 m de recorrido antes del impacto. La velocidad de impacto final es medida después de que el sistema de remolque se libera, cuando el vehículo de prueba está dentro de  $305 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  de la superficie de contacto inicial del poste. La velocidad de impacto final se mide por no menos de dos conjuntos de dispositivos de temporización con una precisión de  $\pm 0.08 \text{ km / y}$  y calibrados por un instrumento trazable a la Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). La velocidad de impacto final notificada deberá tener en cuenta todas las características de respuesta de la medición de velocidad completa sistema utilizado en su determinación (Jones, 2012).



**Figura 20.** Esquema de prueba de impacto

Fuente: Procedimiento de prueba de impacto lateral de poste rígido

### **Método**

La investigación se enfocara en la caracterización del Nylon reciclado de neumáticos, mediante la investigación exploratoria tomando como referencia estudios previos realizados y la investigación descriptiva estableciendo las variables para lo cual se debe realizar las probetas de resina con refuerzo de Nylon y la posterior obtención de propiedades mecánicas, conductividad térmica lo que permitirá verificar los resultados para su posterior aplicación mediante una investigación cuantitativa.

### **Metodología**

Para la obtención de las probetas se aplicará la metodología experimental, lo que permitió determinar los valores y porcentajes de las variables para la matriz y el refuerzo a través del método de estratificación manual por compresión en moldes.

### **Materiales**

#### **Fibra de Nylon**

Para realizar el estudio de utilizará la fibra de Nylon reciclado de neumáticos para la elaboración del material compuesto, tanto en su forma tipo lana, como también en forma de hilo para la adición en las probetas de acuerdo a nuestro requerimiento, configuración, disposición y cantidades. La fibra de Nylon utilizada fue entregada por la planta Rubberaction que realiza el proceso de reciclaje de neumáticos ubicada en Checa-Quito, las fibras fueron sometidas a un proceso de limpieza con aire a presión con el fin de realizar la separación de las partículas de cauchos presentes. En la figura 20 se muestra la fibra de Nylon antes y después de su proceso de limpieza.



(a) (b)

**Figura 21.** (a) y (b) Fibra de Nylon

Fuente: Autor

### Resina Poliéster

La matriz utilizada fue la resina poliéster, Cimpa S.A.S., cuyas características se adaptan al requerimiento de la investigación. A continuación, se detallan en la tabla 9 las principales propiedades.

**Tabla 9.**

*Propiedades de la resina*

Resistencia a la tracción	70 MPa
Módulo de elasticidad en tracción	4300 MPa
Elongación a la ruptura	2 %
Resistencia a la flexión	110 MPa
Módulo de elasticidad en flexión	4300 MPa
Temperatura de distorsión	66 °C

Nota: [www.cimpa.com.co/cimpa@cimpa.com.co](http://www.cimpa.com.co/cimpa@cimpa.com.co)

La resina poliéster, que se utiliza como matriz del compuesto en el presente trabajo de investigación, requiere un agente externo para su paso de estado líquido a sólido. Para ello se utilizaron dos compuestos como agentes externos: (i) octoato de cobalto que actúa como iniciador del proceso de curado y (ii) peróxido de metil-etil cetona (MEKP), cuya función es como acelerador del proceso de curado. También se añade estireno a la resina, el cual disminuye su viscosidad y mejora la mojabilidad de las fibras siendo su objetivo principal, también siendo

parte importante en llegar a tener una adecuada interfaz matriz-refuerzo. Todos los componentes mencionados se utilizan en conjunto con la resina, se debe tener en cuenta que los porcentajes de cada uno vienen especificados por el fabricante en la ficha técnica. Los porcentajes recomendada en partes por peso para el curado en frío de la resina poliéster de manera general es la que se muestra en la Tabla 10 (Duque, 2012).

**Tabla 10.**

*Partes por peso de componentes recomendadas para el curado*

<b>Materiales</b>	<b>Partes por peso</b>
Resina	100
Estireno	1
Octoato de Cobalto	0,2 a 0,5
MEK	1,0 a 2,5

Nota: Tomado de “Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación”

## Equipos

En los diferentes ensayos se utilizaron probetas cuyas dimensiones están determinadas para ello se deben utilizar moldes que garanticen sus especificaciones. Las normas usadas son: ASTM D 3039-08 para tracción, ISO 8302 para conductividad térmica y ASTM D 7264-07 para flexión. Los moldes empleados para la fabricación de las probetas se muestran en la Figura 21.

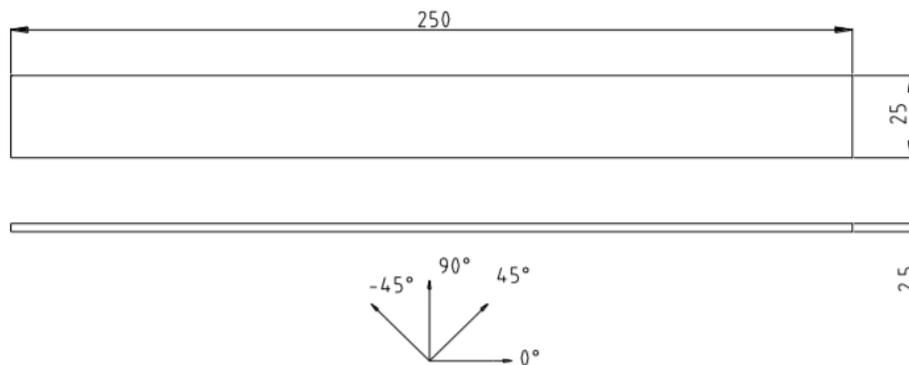


**Figura 22.** Moldes para: (a) ensayo a tracción; (b) ensayo a flexión  
Fuente Autor

### Medición de las propiedades de tracción

Los ensayos de tracción se van a desarrollar de acuerdo a la norma ASTM D3039-08 para el análisis de resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y deformación a la rotura en los laboratorios de la Universidad de la Politécnica Nacional.

El molde de la figura 21 (a), se utiliza para obtener probetas de ensayo a tracción con las dimensiones especificadas como se observa en la figura 23 (International, 2017).

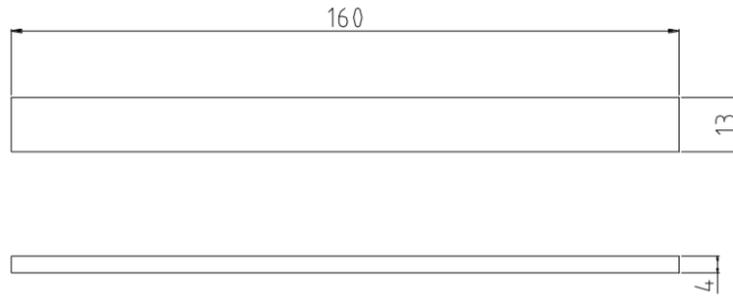


**Figura 23.** Probeta para ensayo a tracción y sus dimensiones, según la norma ASTM D3039-08  
Fuente: (International, 2017)

### Medición de las propiedades de flexión

El análisis de la resistencia a última flexión y el módulo a flexión se realizó de acuerdo a la norma ASTM D7624-07.

El molde mostrado en la figura 21 (b), se utiliza para obtener probetas para ensayo a flexión con dimensiones normalizadas las cuales se detallan en la figura 23.



**Figura 24.** Probeta para ensayo a flexión indicando sus dimensiones, según la norma ASTM D 7624-07

Fuente: (ASTM, 2007)

### Conductividad térmica

La conductividad térmica es la propiedad con más importancia en el procesado de los plásticos porque afecta en la distribución de la temperatura y también en la masa fundida durante el proceso de enfriado. Pero muy necesario para obtener un proceso de simulación seguro de la extrusión e inyección del molde, lo que lleva a un incremento de productividad y mayor calidad debido a su predicción y conocimiento (ISO, 1991).

Este ensayo se realizará de acuerdo a la norma ISO 8302 en los laboratorios del INER.



**Figura 25.** Probeta para ensayo de conductividad térmica con sus respectivas dimensiones, según la norma ISO 8302

En la figura 25 se presenta una balanza digital CAMRY que se utilizó para determinar el peso de la fibra así también las probetas con refuerzo de fibra de Nylon como material compuesto, cuya capacidad es de 6000 g y una apreciación de 0.2 g.



**Figura 26.** Balanza digital CAMRY  
Fuente: Autor

En la figura 26 se puede observar una prensa hidráulica que se utiliza para aplicar la presión aplicada para el moldeo de las probetas cuya capacidad tiene 40 T.



**Figura 27.** Prensa hidráulica manual  
Fuente: Autor

A continuación, se detalla las especificaciones del equipo utilizado para medir propiedades de tracción y flexión de las probetas de materiales compuestos que se presenta en la figura 27.

Máquina universal de ensayos:

- Marca: Tinius Olsen,
- Modelo: H25K-S;
- Capacidad nominal máxima 25 KN;
- precisión utilizada: 0,01 N.

Calibrador de vernier (Utilizado para medir las dimensiones de las probetas)

- Marca: Mitutoyo,
- Modelo: Absolute Digimatic (12" /300 mm)
- Precisión: de 0,01 mm.



**Figura 28.** Máquina Universal de ensayos marca Tinius Olsen modelo H25KS

Fuente: LANUM Laboratorio Nuevos Materiales Politécnica Nacional

El extensómetro es utilizado para el ensayo de las probetas de tracción y flexión en conjunto de las mordazas mostrado en la figura 28.



**Figura 29.** Mordazas y extensómetro

Fuente: LANUM Laboratorio Nuevos Materiales Politécnica Nacional

Para el ensayo de las probetas de flexión se los realiza en el equipo para este fin en 3 puntos como se muestra en la figura 29.



**Figura 30.** Equipo de flexión a tres puntos

Fuente: LANUM Laboratorio Nuevos Materiales Politécnica Nacional

El proceso de curado de las probetas se realizó a una temperatura de 40 °C en un horno de electrodos marca Lenco, mostrado en la figura 31.



**Figura 31.** Horno marca Lenco  
Fuente: Autor

### Obtención de probetas de Nylon

Basados en valores de experimentos desarrollados en el laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM), como también la ficha técnica de la resina CIMPA (se adjunta anexo), se determinó la mejor configuración de los componentes para la elaboración de la matriz de resina poliéster y presión a aplicarse en la fabricación de las probetas (Tamayo, 2012). Basado en este estudio se realizó las probetas preliminares, se presenta la configuración para la elaboración en la tabla 11:

**Tabla 11.**

*Porcentaje de componentes para elaboración de las probetas y presión aplicada*

<b>Materiales</b>	<b>Partes por peso</b>
Estireno	10%
Octoato de cobalto	0,50%

Peróxido de metil-etil Mek	1%
Presión	1000 psi

El tiempo de curado de las probetas se encuentra entre los 60 y 90 minutos lo que proporciona las dimensiones requeridas por las normas.

Se realizaron 3 configuraciones diferentes para las probetas de tracción debido a la forma del refuerzo, 3 configuraciones diferentes para las probetas de flexión y 1 configuración para la probeta de conductividad térmica.

### Cálculo de fracción volumétrica

La fracción volumétrica permite determinar la cantidad del refuerzo a introducir en la matriz para obtener el material compuesto, donde la unidad es su límite superior (Tamayo, 2012).

La ecuación para determinar el volumen del material compuesto bien expresada por la suma del volumen de la matriz ( $V_m$ ), del refuerzo ( $V_f$ ) y de la porosidad ( $V_p$ ):

$$V_t = V_f + V_m + V_p \quad (1)$$

Para determinar la masa la consideración es simplificar la relación de los tres contribuyentes. La porosidad es un conjunto de espacios huecos ocupados por aire o gases de la resina; se considera que no contribuye al peso, la masa total ( $m_t$ ) se expresa como la suma de la masa de refuerzo ( $m_f$ ) y de la matriz ( $m_m$ ):

$$m_t = m_f + m_m \quad (2)$$

Se define una ecuación similar para la densidad:

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} = \frac{m_f + m_m}{V_t + V_m + V_p} \quad (3)$$

En la tabla 12 se presentan las ecuaciones de la fracción volumétrica, másica y la densidad para cada componente:

**Tabla 12 .**

*Definiciones de fracciones volumétricas y densidad*

	Fracción Volumétrica		Densidad	
Fibra	$V_f = \frac{v_f}{v_t}$	(4)	$\rho_f = \frac{m_f}{v_f}$	(5)
Matriz	$V_m = \frac{v_m}{v_t}$	(6)	$\rho_m = \frac{m_m}{v_m}$	(7)
Porosidad	$V_p = \frac{v_p}{v_t}$	(8)		

## Procedimiento

Se detalla las actividades desarrolladas para obtener de las probetas de material compuesto. Detallando la designación asignada a cada una de las configuraciones para las probetas de tracción, flexión y conductividad térmica. También se presentan las disposiciones del refuerzo en su forma tipo hilo y lana.

## Estrategia Metodológica

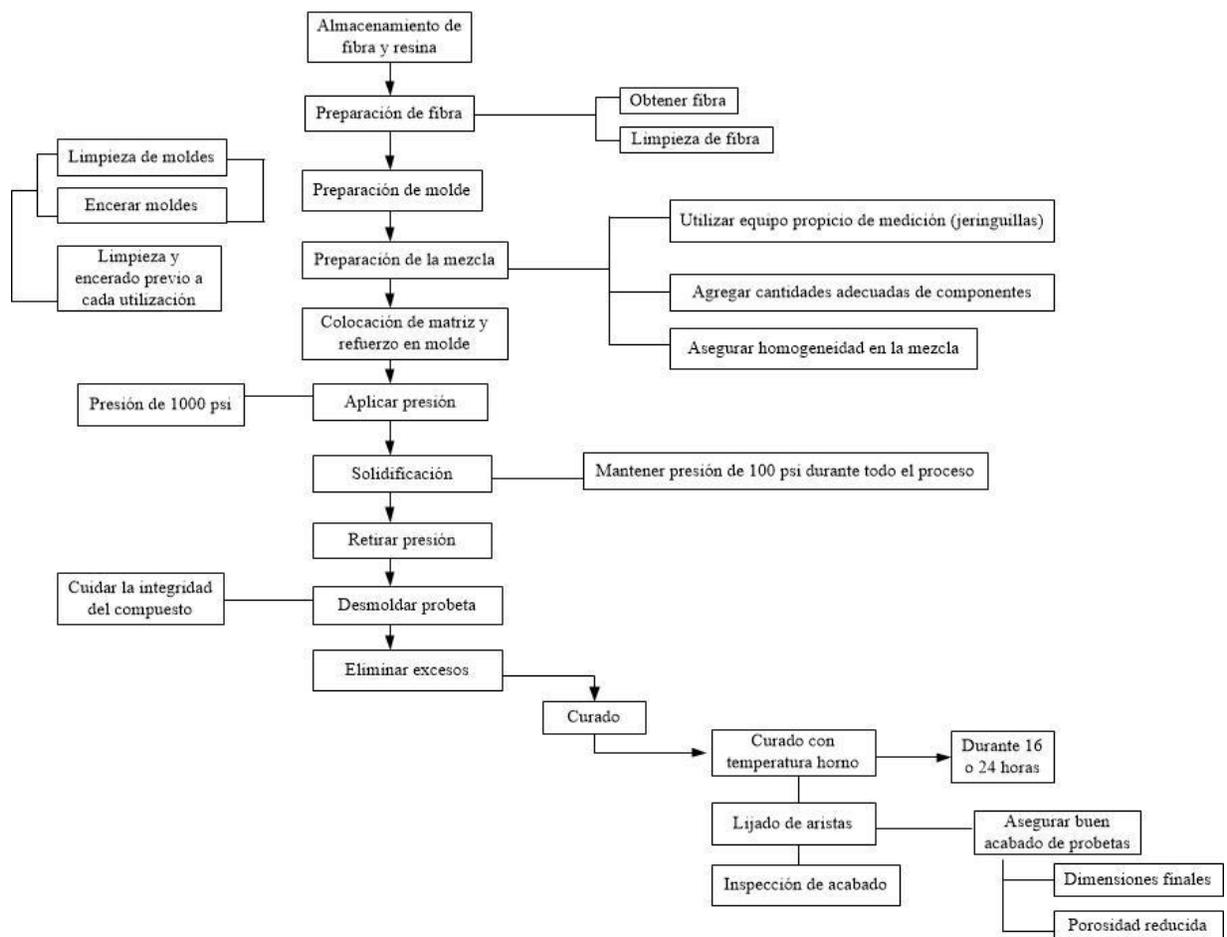
Se realizó una secuencia de actividades para cumplir los objetivos planteados. Se elaboraron probetas con diferente fracción volumétrica, para la fibra tipo lana y para la fibra tipo hilo, se realizó el curado de las probetas con la temperatura especificada. Por último, se realizó mediante ensayos de tracción y flexión la caracterización mecánica para especificar las propiedades y determinar la mejor entre todas las ensayadas.

También se retiró el estireno como componente añadido a la resina, se las caracterizó para determinar si sus propiedades disminuían o incrementaban.

Para cada una de las configuraciones se ensayaron 7 probetas con el objetivo de eliminar los 2 valores menos acordes a los resultados, de esta manera se garantiza los cinco valores requeridos por la norma y se evita cualquier alteración no deseada en los resultados.

### Elaboración de probetas

La caracterización mecánica a tracción y flexión de acuerdo a normas ASTM D3039/D3039M-17 y ASTM D7264/D7264M-15 respectivamente y la norma ISO 8302 para conductividad térmica para las cuales se deben seguir lineamientos para la fabricación de las probetas adecuadas que se presentan en el esquema de la figura 31 a continuación.



**Figura 32.** Esquema de elaboración de probetas

Para cada una de las probetas se define previamente el porcentaje de resina requerido el cual depende del valor en masa de la fibra de Nylon. Por ello fue realizada la mezcla del volumen de resina con intervalo de 1gr de fibra, con esto permitió confirmar si la fibra se impregnaba totalmente de la resina.

Pasos a seguir:

- Preparación del refuerzo, se obtuvo la fibra de Nylon en forma de lana y tipo hilo para después pasar por un proceso de limpieza con aire a presión
- El molde debe estar libre de impurezas para evitar residuos ajenos al material compuesto.
- Aplicar cera desmoldante en toda la superficie del molde, lo que permite extraer la probeta cuando se alcanza la solidificación.



**Figura 33.** Aplicación de cera desmoldante

Fuente: Autor

Después de encerar el molde se prepara la mezcla a ser utilizada como matriz:

- Colocar en un recipiente el porcentaje del volumen requerido de la resina poliéster.

- Añadir estireno en una cantidad del 10% de volumen de la resina.
- A la mezcla resultante adicionar el 0,5% de Octoato de cobalto el cual inicia el proceso de curado, la sustancia adquiere una coloración violeta como se muestra en la figura 33.



**Figura 34.** Mezcla obtenida al mezclar resina, estireno y Octoato de cobalto  
Fuente: Autor

Después de obtener la composición homogénea se agrega la fibra en forma tipo lana para lograr una correcta mezcla con la resina, adicionar el Mek quien acelera el curado y alcanzar la solidificación. Después de añadir el Mek, la mezcla toma una coloración gris como se muestra en la figura 34.



**Figura 35.** Mezcla de final resina, fibra de la matriz  
Fuente: Autor

La mezcla obtenida se vierte en los moldes de acuerdo a la cantidad requerida, mostrado en la figura 35.



**Figura 36.** Estratificación del compuesto  
Fuente: Autor

El molde se cierra cuidadosamente verificando que la tapa selle en todas sus partes como se observa en la figura 36.



**Figura 37.** Cierre de molde  
Fuente: Autor

Después de cerrar el molde y colocarlo en la prensa hidráulica para aplicar presión tal como se muestra en la figura 37.



**Figura 38.** Ubicación de molde en prensa hidráulica  
Fuente: Autor

Transcurridos de 90 a 120 minutos se alcanza la solidificación completo y a partir de ahí se retira la presión para la extracción de la probeta del molde (Tamayo, 2012). Después del proceso de desmolde verificar las probetas y eliminar las imperfecciones presentes en los filos, de ser así retirarlas con un estilete o tijera. Se recomienda realizar este procedimiento después de la solidificación de las probetas y antes del proceso total de curado. Finalizar con el proceso de curado y así el material compuesto puede adquirir propiedades mecánicas de mejor calidad y completar el proceso con el lijado de las aristas para garantizar un buen acabado superficial.

### Probetas para ensayo a tracción

Se elaboraron en el molde de la figura, de acuerdo a lo indicado por la norma. Se elaboraron 3 configuraciones diferentes, las cuales se obtuvieron variando las variables como refuerzo y estireno. La matriz fue fabricada de acuerdo a los parámetros previamente establecidos en la tabla 13 se observa la cantidad de resina poliéster y demás componentes.

**Tabla 13.**

*Cantidad especificada de componentes que constituyen la matriz para las probetas de ensayo a tracción*

	<b>Fibra tipo lana</b>	<b>Fibra tipo hilo</b>
	<b>Cantidad (ml)</b>	<b>Cantidad (ml)</b>
<b>Elemento</b>	<b>1.15 gr</b>	<b>1 gr</b>
Resina poliéster	60	60
Estireno	6	6
Octoato de Cobalto	0.1	0.1
MEKP	0.6	0.6
	Sin estireno	
Octoato de Cobalto	0.1	N/A
MEKP	0.6	N/A

Se realizó una denominación previa para las diferentes configuraciones del material compuesto obtenido, para ello se debe mencionar las características más relevantes y poder

identificar de la forma más rápida y sencilla a los componentes del compuesto del resultado al que se refiere. En la tabla 14 se detalla las diferentes configuraciones y su significado.

**Tabla 14.**

*Denominación y significado de las probetas para ensayo a tracción*

Configuración	Denominación	Significado
1	NTC 1.5	Probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, 6 ml de estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 1,5% de fibra de nylon reciclada tipo lana.
2	NTSE 1.5	probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, sin estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 1 de fibra de nylon reciclada tipo lana
3	NTH1g	probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, 6 ml de estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 2,3 g de hilo de nylon con 30 mm de longitud

En la figura 38 se muestran probetas para ensayo de tracción sus diferentes denominación y configuraciones.



**Figura 39.** Probetas para ensayo a tracción  
Fuente: Autor

### Obtención de probetas de ensayos a flexión

Se elaboraron en el molde de la figura 21 (b), de acuerdo a lo indicado por la norma. Se elaboraron 3 configuraciones diferentes, las cuales se obtuvieron variando las variables como refuerzo y estireno. La matriz fue fabricada de acuerdo a los parámetros previamente establecidos en la tabla 15 se observa la cantidad de resina poliéster y demás componentes.

**Tabla 15.**

*Cantidad especificada de componentes que constituyen la matriz de las probetas para ensayo a flexión*

Elemento	Fibra tipo lana	Fibra tipo hilo
	Cantidad (ml)	Cantidad (ml)
	1.15 gr	1 gr
Resina poliéster	60	60
Estireno	6	6
Octoato de Cobalto	0.1	0.1
MEKP	0.6	0.6

Se realizó una denominación previa para las diferentes configuraciones del material compuesto obtenido, para ello se debe mencionar las características más relevantes y poder identificar de la forma más rápida y sencilla el resultado al que se refiere. Se detallan las diferentes configuraciones y su significado como se observa en la tabla 16.

**Tabla 16.***Denominación y significado de las probetas de flexión*

<b>Configuración</b>	<b>Denominación</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	NFC 1.5	Probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, 6 ml de estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 1,5% de fibra de nylon reciclada tipo lana
<b>2</b>	NFSE 1.5	probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, sin estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 1 de fibra de nylon reciclada tipo lana
<b>3</b>	NFC1g	probetas para tracción preparadas con: 60 ml de resina poliéster, 6 ml de estireno monómero, 0,1 ml de octoato de cobalto, 0,6 ml de MEKP y 1 g de fibra de nylon reciclada tipo lana

En la figura 40 se observan las diferentes configuraciones para las probetas de ensayo a flexión.



**Figura 40.** Probetas para ensayo a flexión  
Fuente: Autor

### **Probetas para ensayo de conductividad térmica**

Las probetas para el ensayo de conductividad térmica fueron desarrolladas de acuerdo al molde que se muestra en la figura 24. Estas probetas fueron elaboradas con la fibra de Nylon tipo lana, con estireno y un tiempo de curado de 24 horas a temperatura de 40 °C, con una masa de 25 gr.

En la tabla 17 se muestra las cantidades de los elementos que constituyen la matriz fueron determinadas previamente.

**Tabla 17.***Cantidad requerida de componentes para probeta de conductividad térmica*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad (ml)</b>
Resina poliéster	500
Estireno	50
Octoato de cobalto	2.5
Mekp	5

A continuación, se observa la figura 41 a la probeta para ensayo de conductividad térmica con la configuración empleada.



**Figura 41.** Probetas para ensayo de conductividad térmica  
Fuente: Autor

### **Condiciones de ensayo según la norma ASTM D3039/D3039M-17**

- Cantidad de muestras: al menos 5 especímenes
- Velocidad requerida para ensayo: 2 mm/min

Ancho nominal: 25 mm

Longitud nominal: 250 mm

- El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm entre marcas

En la figura 42 se muestra el ensayo de tracción de acuerdo a la norma ASTM D3039/D3039M-17 aplicada a una probeta con refuerzo de fibra de Nylon del material compuesto.



**Figura 42.** Ensayo de tracción realizado a una probeta de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D3039/D3039M-17.

Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales) Politécnica Nacional

### **Condiciones de ensayo según la norma ASTM D7264/D7264M-15**

- Cantidad de muestras: al menos 5 especímenes
- Velocidad requerida de ensayo: 1 mm/min

Ancho nominal: 13 mm

Relación entre el espesor y la distancia entre marcas: 1:32

En la figura 42 se muestra el ensayo de flexión de acuerdo a la norma ASTM D7264/D7264M-15 aplicada a una probeta con refuerzo de fibra de Nylon del material compuesto.



**Figura 43.** Ensayo de flexión realizado a una probeta de material compuesto, siguiendo los parámetros de la norma ASTM D7264/D7264M-15.

Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales) Politécnica Nacional

### **Simulación dinámica y térmica del panel de puerta interior**

Después de obtener las probetas y realizar los ensayos indicados para determinar sus propiedades se procede a realizar la simulación dinámica mediante impacto lateral y simulación térmica del panel de puerta interior en SolidWorks con los resultados obtenidos de resistencia última tracción, módulo de elasticidad, deformación a la rotura y conductividad térmica.



**Figura 44.** Modelado de Panel de puerta interior  
Fuente: Autor

Para realizar la simulación con el panel de puerta interior se toma como referencia los parámetros establecidos en la FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) para realizar las pruebas de seguridad de impacto lateral, el modelado y simulación del panel interior se realizó en Solid Works:

### **Modelado panel interior**

Las dimensiones del panel interior de puerta están establecidas de acuerdo a los parámetros de la FMVSS como medida estándar.



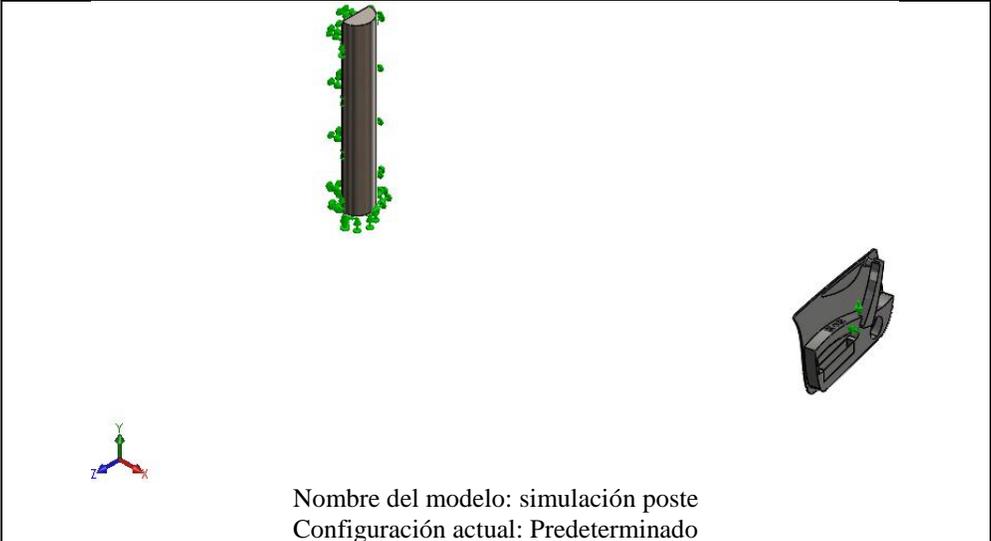
**Figura 45.** Modelado de panel de puerta interior  
Fuente: Autor

**Simulación de impacto del panel interior**

Se debe ingresar las propiedades mecánicas del material original y el material estudiado para realizar la comparación, a continuación, se detallan los pasos a seguir.

**Material PS**

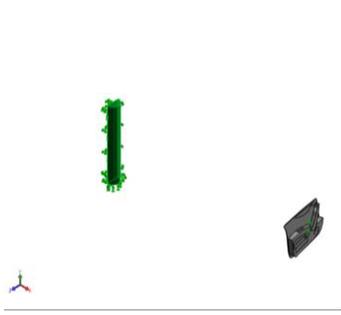
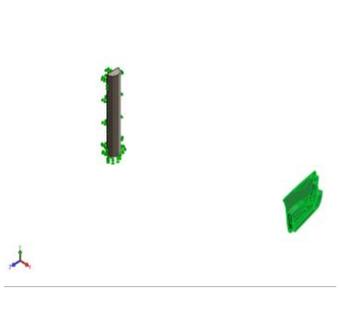
Se procede a establecer las propiedades volumétricas como densidad, volumen y masa, así como también se identifican las unidades para la simulación como se muestra en la figura 46.



Sólidos		
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Saliente-Extruir2 	Sólido	Masa:312.355 kg Volumen:0.0405655 m <sup>3</sup> Densidad:7700 kg/m <sup>3</sup> Peso:3061.08 N
Redondeo2 	Sólido	Masa:6.68526 kg Volumen:0.00654789 m <sup>3</sup> Densidad:1020.98 kg/m <sup>3</sup> Peso:65.5156 N

**Figura 46.** Asignación de propiedades volumétricas al panel y poste del Material PS  
Fuente: Autor

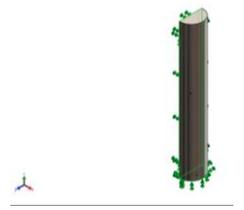
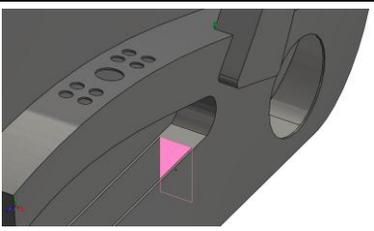
También se asigna las propiedades del material en caso del poste para impacto según el instituto de pruebas se realiza con una estructura metálica y para nuestra simulación se tomó un acero aleado. Las demás propiedades asignadas se observan en la figura 47.

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>Acero aleado</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Límite elástico: <b>6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.28</b> Densidad: <b>7700 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.3e-005 /Kelvin</b>	Sólido 1(Saliente-Extruir2) (poste-1)
	Nombre: <b>PS</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b> Límite elástico: <b>4.34e+007 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>4.48e+007 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>3.2e+009 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.35</b> Densidad: <b>1021 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>6.5e+007 N/m<sup>2</sup></b>	Sólido 1(Redondeo2) (puerta-1)

**Figura 47.** Asignación de propiedades de material al poste de impacto y puerta

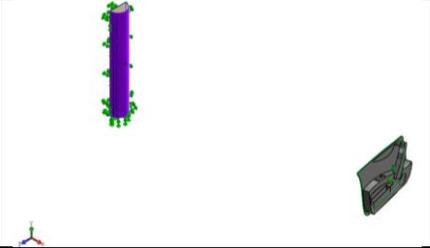
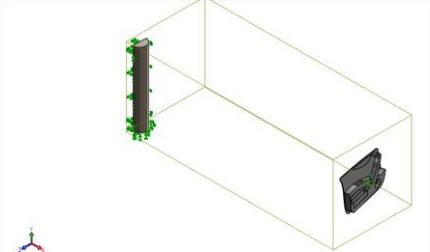
Fuente: Autor

Como siguiente paso se asigna las cargas y sujeciones de cada uno de los componentes, estableciendo como fijo al poste para impacto, la condición inicial y la geometría de referencia como se muestra en la figura 48.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Condición inicial-1		<b>Entidades:</b> 1 componente(s)		
		<b>Referencia:</b> Arista < 1 >		
		<b>Tipo:</b> Utilizar geometría de referencia		
		<b>Traslación:</b> ---, ---, -8.61111		
		<b>Unidades:</b> m		
Fuerzas resultantes				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-1.17059e-005</b>	<b>0</b>	<b>-4.52632e-005</b>	<b>4.67524e-005</b>
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s)		
		<b>Tipo:</b> Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1e-033</b>
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Geometría de referencia-1		<b>Entidades:</b> 1 vértice(s)		
		<b>Referencia:</b> Cara < 1 >		
		<b>Tipo:</b> Utilizar geometría de referencia		
		<b>Traslación:</b> ---, 0, 0		
		<b>Unidades:</b> Mm		
Fuerzas resultantes				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-1.17059e-005</b>	<b>-5.49893e-007</b>	<b>-4.52632e-005</b>	<b>4.67556e-005</b>
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Figura 48.** Asignación de cargas y tensiones al panel de puerta y el poste para impacto  
Fuente: Autor

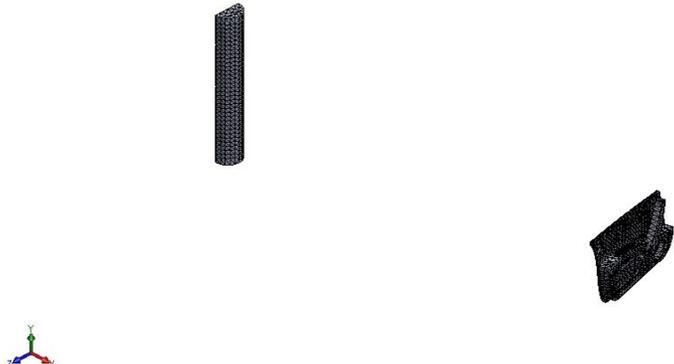
Se establece la superficie de contacto para el impacto entre el poste y el panel de puerta estableciendo una unión rígida como se muestra en la figura 49.

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto			
Contacto-1		<b>Tipo:</b> Sin par de contacto de penetración <b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Avanzado:</b> Nodo a superficie			
Fuerza de contacto/rozamiento					
<b>Componentes</b>		<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de contacto(N)</b>		<b>1.1369E-013</b>	<b>-1.0842E-019</b>	<b>-4.9738E-014</b>	<b>1.2409E-013</b>
Contacto global		<b>Tipo:</b> Unión rígida <b>Componentes:</b> 1 componente(s) <b>Opciones:</b> Mallado compatible			

**Figura 49.** Asignación de superficie de contacto para impacto

Fuente: Autor

También se establecen los detalles de la malla sólida, tamaño de elementos y su calidad tanto para el poste como para el panel de puerta como se muestra en la figura 50.

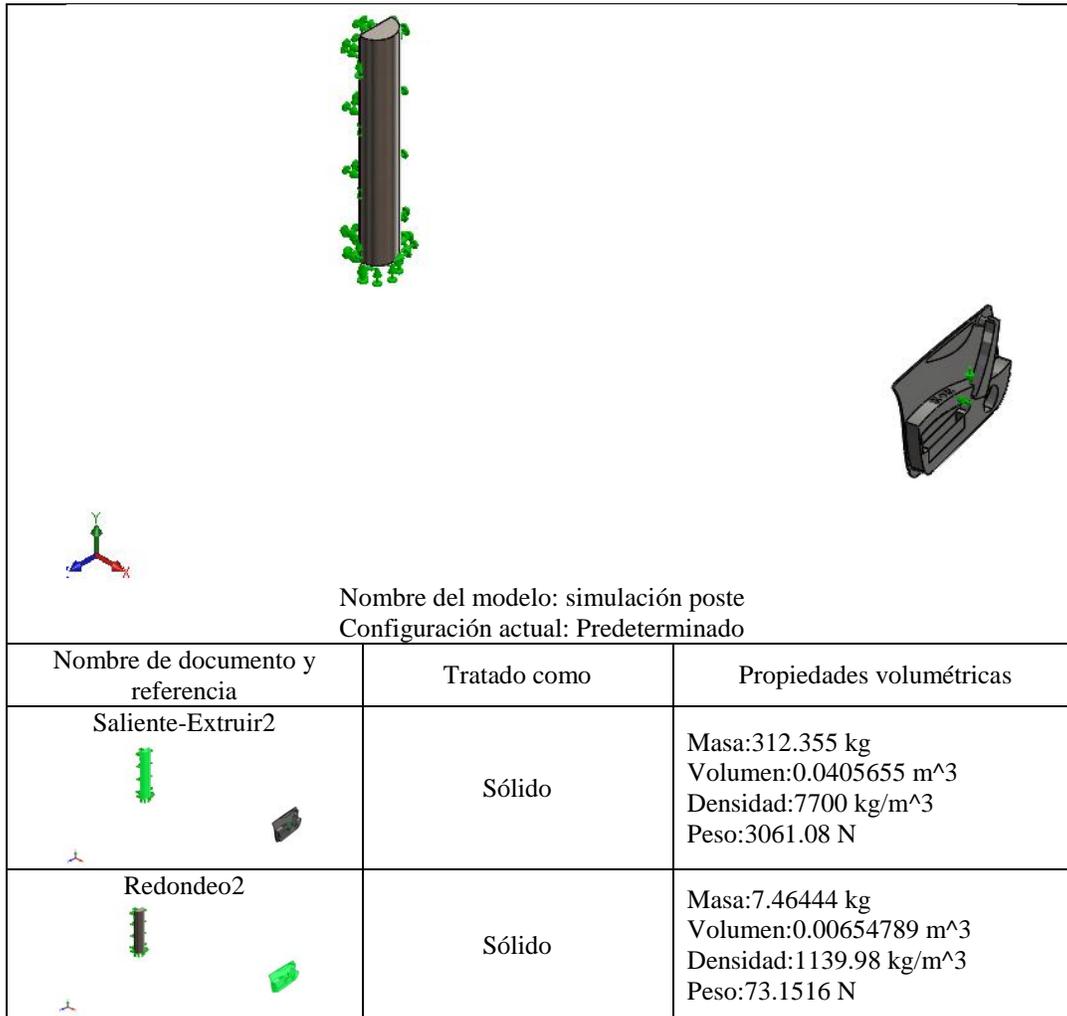
<b>Número total de nodos</b>	22155
<b>Número total de elementos</b>	11676
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	434.91
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	33.7
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	55.7
<small>Nombre del modelo: simulacion poste                      Nombre de estudio: Non lineal HDPE(-Predeterminado-)                      Tipo de malla: Malla sólida</small> 	

**Figura 50.** Asignación de propiedades de malla al poste y panel de puerta

Fuente: Autor

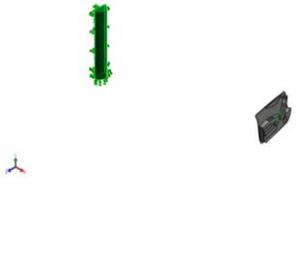
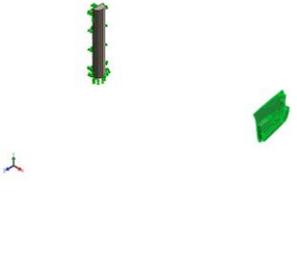
**Nylon Reciclado**

Se asigna las propiedades volumétricas tanto para el panel de puerta como para el poste contra el cual se va a realizar el impacto como se observa en la figura 51.



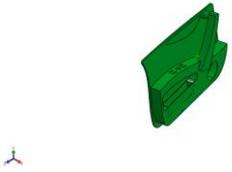
**Figura 51.** Asignación de propiedades volumétricas en poste y panel de puerta  
Fuente: Autor

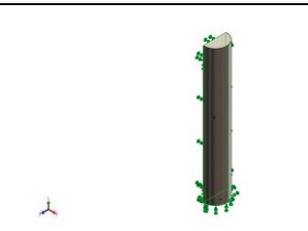
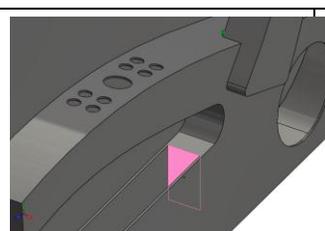
Después se procede a la asignación de las propiedades del material como límite elástico, límite de tracción, módulo elástico, al poste y al panel interior como se muestra en la figura 52.

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: <b>Acero aleado</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b> Límite elástico: <b>6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.28</b> Densidad: <b>7700 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.3e-005 /Kelvin</b>	<b>Sólido 1(Saliente-Extruir2) (poste-1)</b>
	Nombre: <b>NTC NUEVO</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b> Límite elástico: <b>1.85e+007 N/m<sup>2</sup></b> Límite de tracción: <b>1422.26 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>4.99786e+009 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.38</b> Densidad: <b>1140 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>3.582e+007 N/m<sup>2</sup></b>	<b>Sólido 1(Redondeo2) (puerta-1)</b>

**Figura 52.** Asignación de propiedades del material al poste y el panel de puerta  
 Fuente: Autor

Luego se procede a realizar la asignación de cargas y sujeciones para el poste y el panel interior. Para este caso se toma al poste como fijo, en la figura 53 se observa cada uno de los detalles.

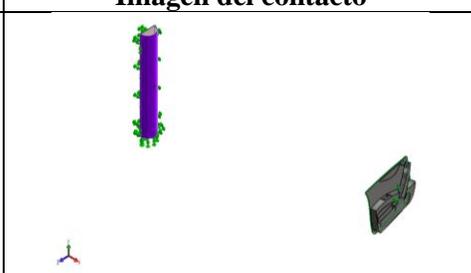
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Condición inicial-1		<b>Entidades:</b> <b>Referencia:</b> <b>Tipo:</b> <b>Traslación:</b> <b>Unidades:</b>	<b>1 componente(s)</b> <b>Arista&lt; 1 &gt;</b> <b>Utilizar geometría de referencia</b> <b>---, ---, -8.61111</b> <b>m</b>			
<b>Fuerzas resultantes</b>						
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>		
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-1.30471e-005</b>	<b>0</b>	<b>-5.04494e-005</b>	<b>5.21092e-005</b>		
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		

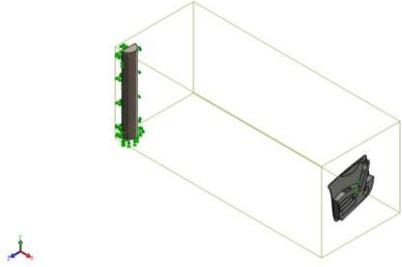
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 2 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1e-033</b>	
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Geometría de referencia-1		<b>Entidades:</b> 1 vértice(s) <b>Referencia:</b> Cara< 1 > <b>Tipo:</b> Utilizar geometría de referencia <b>Traslación:</b> ---, 0, 0 <b>Unidades:</b> Mm			
Fuerzas resultantes					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-1.30471e-005</b>	<b>-7.43299e-007</b>	<b>-5.04494e-005</b>	<b>5.21145e-005</b>	
<b>Momento de reacción (N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

**Figura 53.** Asignación de cargas para el poste y panel de puerta

Fuente: Autor

Se asigna la geometría de contacto para uno de los componentes como se observa en la figura 54.

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto	
Contacto-1		<b>Tipo:</b> Sin par de contacto de penetración	<b>Entidades:</b> 2 cara(s)
		<b>Avanzado:</b> Nodo a superficie	
Fuerza de contacto/rozamiento			

Contacto	Imagen del contacto		Propiedades del contacto	
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de contacto(N)	2.5091E-014	-3.4489E-018	-9.2398E-014	9.5744E-014
Contacto global			Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible	

**Figura 54.** Asignación de contacto para impacto a componentes  
 Fuente: Autor

Se procede con la asignación del tipo de malla sólida, tolerancia y calidad como se observa en la figura 55.

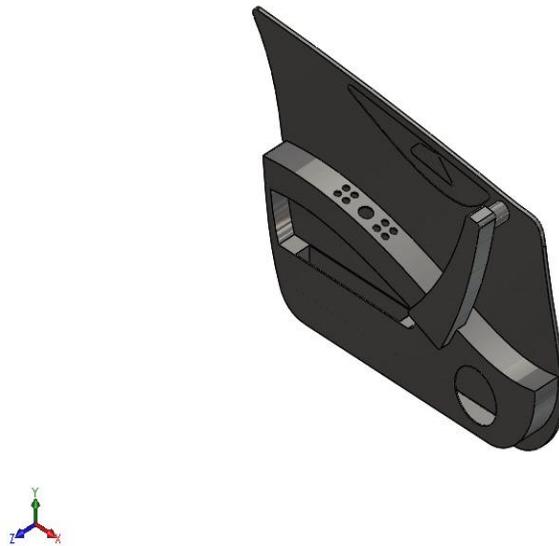
<b>Número total de nodos</b>	22155
<b>Número total de elementos</b>	11676
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	434.91
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	33.7
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	55.7
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh; mm;ss):</b>	00:00:03
Nombre del modelo:simulacion poste Nombre de estudio:Non lineal nuevo material(-Predeterminado-) Tipo de malla: Malla sólida	
	

**Figura 55.** Identificación de detalles de malla  
 Fuente: Autor

### Simulación conductividad térmica

Para verificar la reacción del material sometido a una temperatura determinada se realiza la simulación del panel de puerta tanto para el material original como el material ensayado siguiendo los siguientes pasos:

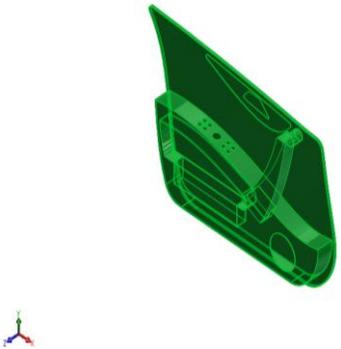
En la figura 56 se puede observar el modelado del panel de puerta.



**Figura 56.** Modelado puerta  
Fuente: Autor

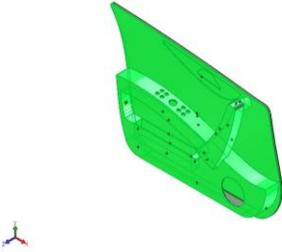
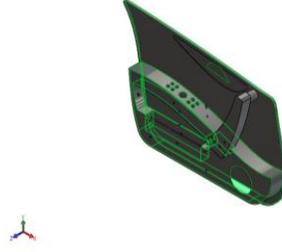
### Material PS

Se proporciona las propiedades del material como la conductividad térmica, calor específico y densidad como se observa en la figura 57.

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: <b>PS</b>                      Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>                      Criterio de error predeterminado: <b>Desconocido</b>                      Conductividad térmica: <b>2.2 W/ (m.K)</b>                      Calor específico: <b>2.144 J/ (kg. K)</b>                      Densidad: <b>1021 kg/m<sup>3</sup></b></p>

**Figura 57.** Asignación de propiedades de material  
 Fuente: Autor

Se asigna las cargas térmicas al modelo tal como se observa en la figura 58.

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		<p>Entidades: <b>25 caras</b>                      Temperatura: <b>100 Celsius</b></p>
Convección-1		<p>Coficiente de convección: <b>65 W/ (m<sup>2</sup>.K)</b>                      Variación de tiempo: <b>Desactivar</b>                      Variación de temperatura: <b>Desactivar</b>                      Temperatura ambiente: <b>288.15 Kelvin</b>                      Variación de tiempo: <b>Desactivar</b></p>

**Figura 58.** Asignación de cargas térmicas  
 Fuente: Autor

En la figura 59 se puede observar los detalles de la malla seleccionada para este caso la malla sólida y la calidad de malla de elementos cuadráticos de alto orden.

Número total de nodos	29254
Número total de elementos	14614
Cociente máximo de aspecto	48.939
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	5.45
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	55.1

Nombre del modelo:puerta  
Nombre de estudio:MATERIAL PS(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



Nombre del modelo:puerta  
Nombre de estudio:MATERIAL PS(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

**Figura 59.** Detalles de malla seleccionada  
Fuente: Autor

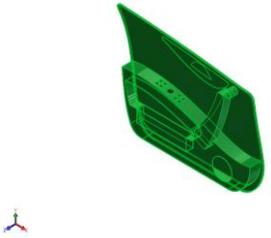
### Nylon Reciclado

Como en la simulación anterior se procede a ingresar las propiedades volumétricas del material a la pieza modelada como se observa en la figura 60.

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Saliente-Extruir19 	Sólido	Masa:7.45339 kg Volumen:0.00653806 m <sup>3</sup> Densidad:1140 kg/m <sup>3</sup> Peso:73.0432 N

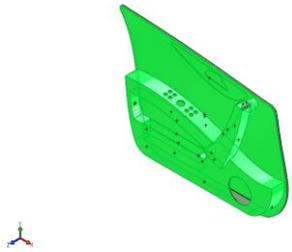
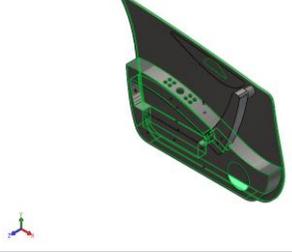
**Figura 60.** Asignación de propiedades volumétricas  
Fuente: Autor

En la figura 61 se puede observar la asignación de propiedades del material.

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: <b>NTC NUEVO</b>                      Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b>                      Conductividad térmica: <b>0.149 W/(m.K)</b>                      Densidad: <b>1140 kg/m<sup>3</sup></b></p>

**Figura 61.** Asignación de propiedades del Nylon reciclado  
 Fuente: Autor

En la figura 62 se puede observar la asignación de cargas térmicas.

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		<p>Entidades: 25 cara(s)                      Temperatura: 100 Celsius</p>
Convección-1		<p>Entidades: 21 cara(s)                      Coeficiente de convección: 65 W/(m<sup>2</sup>.K)                      Temperatura ambiente: 288.15 Kelvin</p>

**Figura 62.** Asignación de cargas térmicas  
 Fuente: Autor

En la figura 63 se pueden observar los detalles de la malla solida asignada.

<b>Número total de nodos</b>	29254
<b>Número total de elementos</b>	14614
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	48.939
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	5.45
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	55.1
<small>Nombre del modelo:puerta Nombre de estudio:MATERIAL NUEVO(-Predeterminado-) Tipo de malla: Malla sólida</small> 	

**Figura 63.** Asignación de malla al modelado  
Fuente: Autor

Luego de realizar la simulación y con los resultados obtenidos se procede a realizar una comparativa con las propiedades del material original y el material estudiado definiendo así su aplicación en el sector automotriz.

## Resultados

### Caracterización de nylon reciclado

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos de caracterización mecánica a tracción y flexión según la norma ASTM D3039/D3039M-17 y ASTM D7264/D7264M-15 respectivamente, realizados en tres grupos de probetas con refuerzo de fibra de nylon y matriz de resina poliéster.

Se entregaron las probetas en el Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional por la persona solicitante.

### ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

#### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN SEGÚN ASTM D3039/D3039M-17

#### Resultados:

La Tabla 18 detalla los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas del material compuesto identificado como "NTC1.5"

**Tabla 18.**

*Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NTC1.5"*

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17								
NTC 1.5								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación a la rotura (%)	Deformación a la fluencia (%)
1	25,52	2,97	75,79	1303,33	17,20	4553,23	0,37	0,37
2	25,04	3,00	75,12	1714,17	22,82	6104,77	0,43	0,43
3	25,29	3,01	76,12	1202,14	15,79	5610,87	0,30	0,30
4	25,59	3,20	81,89	1482,31	18,10	4358,56	0,40	0,40
5	25,41	2,98	75,72	1408,33	18,60	4361,85	-	0,42

Promedio	$\bar{x}$	1422,06	18,50	4997,86	0,38	0,38
Desviación estándar	$S_{n-1}$	194,68	2,64	808,07	0,06	0,05
Coefficiente de variación	$CV$	13,69	14,27	16,17	14,85	13,61

**Observación:** La probeta 4 se rompió fuera de la distancia calibrada para el uso del extensómetro debido a defectos como porosidades e irregularidades superficiales, por lo que no se reporta el valor de deformación a la rotura.

Se puede apreciar en la figura 64 las condiciones de las probetas del material "NTC1.5" después de los ensayos de tracción.



**Figura 64.** Probetas de material compuesto "NTC1.5" después de los ensayos de tracción  
Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas del material compuesto identificado como "NTSE1.5"

**Tabla 19.**

*Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NTSE1.5"*

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17								
NTSE 1.5								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación a la rotura (%)	Deformación a la fluencia (%)
1	25,47	3,33	84,82	1422,50	16,80	4205,93	-	0,51
2	25,79	3,14	80,98	1515,00	18,74	3603,59	-	0,48
3	25,92	3,19	82,68	1792,34	21,68	3205,43	0,72	0,72
4	25,89	3,23	83,62	1539,17	18,41	3662,88	0,60	0,60
5	25,71	3,10	79,70	1649,17	20,69	3322,95	0,63	0,63
	Promedio		$\bar{x}$	1583,64	19,26	3600,16	0,65	0,59
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	141,87	1,93	388,45	0,06	0,10
	Coficiente de variación		CV	8,96	10,03	10,79	9,61	16,37

**Observación:** Las probetas 1 y 2 se rompieron fuera de la distancia calibrada para el uso del extensómetro debido a defectos como porosidades e irregularidades superficiales, por lo que no se reportan los valores de deformación a la rotura.

En la figura 65 se pueden apreciar las condiciones de las probetas del material compuesto "NTSE1.5" después de los ensayos de tracción.



**Figura 65.** Probetas de material compuesto "NTSE1.5" después de los ensayos de tracción.  
Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción en las probetas del material compuesto identificado como "NH1g"

**Tabla 20.**

*Resultados de los ensayos de tracción realizados según la norma ASTM D3039/D3039M-17 en las probetas de material compuesto "NH1g"*

ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3039/D3039M-17								
NH1g								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza última a tracción (N)	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación a la rotura (%)	Deformación a la fluencia (%)
1	24,99	3,86	96,46	989,06	10,27	7986,25	-	0,14
2	25,16	2,87	72,21	918,39	12,72	3348,69	-	0,26
3	24,87	3,26	81,08	974,63	12,02	4128,06	-	0,27
4	27,57	3,21	88,50	848,03	10,35	4686,45	0,73	0,22
5	25,20	3,70	93,24	976,26	10,47	3865,17	-	0,24
	Promedio		$\bar{x}$	941,27	11,17	4802,92	-	0,23
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	58,82	1,13	1843,69	-	0,05
	Coficiente de variación		CV	6,25	10,11	38,39	-	22,91

**Observación:** Las probetas 1, 2, 3 y 5 se rompieron fuera de la distancia calibrada para el uso del extensómetro debido a defectos como porosidades e irregularidades superficiales y falta de planicidad, por lo que no se reportan los valores de deformación a la rotura.

En la figura 66 se pueden apreciar las condiciones de las probetas del material compuesto "NH1g" después de los ensayos de tracción.



**Figura 66.** Probetas de material compuesto "NH1g" después de los ensayos de tracción.

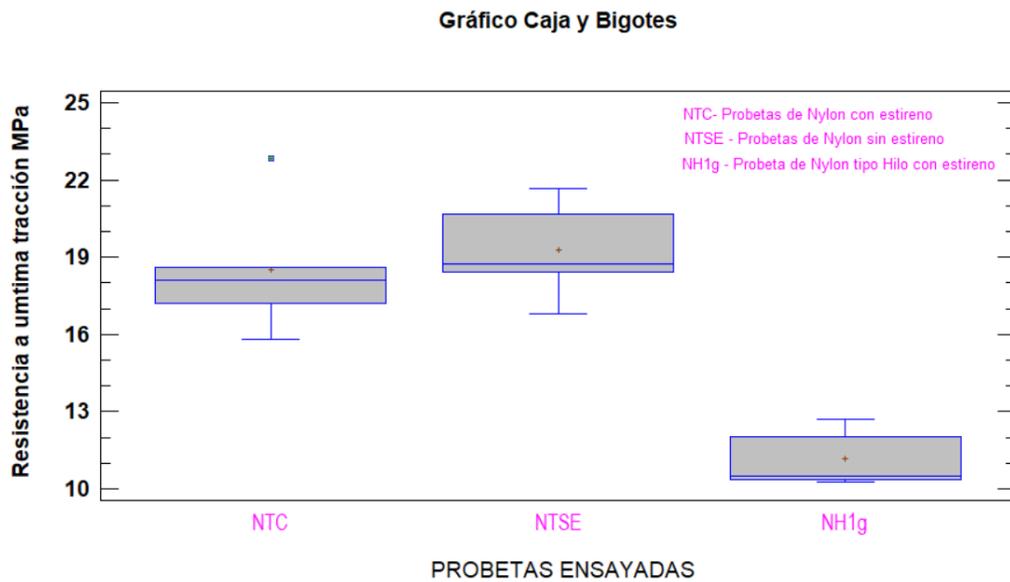
Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

### **Análisis de resultados mediante stargraphics de los ensayos a tracción**

#### **Resistencia a última tracción**

Se utilizó el programa statgraphics para realizar el análisis de los resultados de las probetas ensayadas para cada una de sus configuraciones, se utilizó el grafico de caja y bigotes para verificar la diferencia entre los valores de las probetas como se observa en la figura 67, hay

una diferencia significativa entre las probetas con refuerzo tipo hilo cuyo valor es de 12,72 MPa, y el valor más alto de resistencia a última tracción es de 22,82 MPa para la configuración de probetas con estireno, pero también un valor de 19,26 MPa promedio para la configuración de las probetas sin adición de estireno, determinando así que con el valor 22,82 MPa es recomendable para su uso.



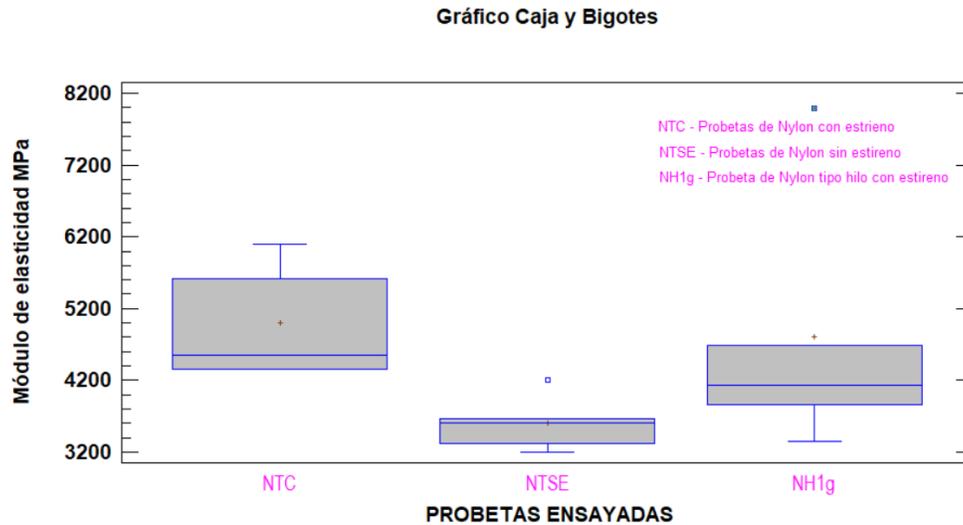
**Figura 67.** Gráfico de caja y bigotes de la resistencia a última tracción en función de la configuración de las probetas ensayadas

Fuente: Autor

### Módulo de elasticidad

En la figura 68 se observa que no hay una diferencia significativa para resultados de las tres configuraciones ensayadas identificando que son homogéneos entre sí, pero también se determinó que hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Pero también se puede identificar que el mayor valor promedio del módulo de

elasticidad es 4997,86 MPa correspondiente a la configuración de las probetas con adición de estireno.

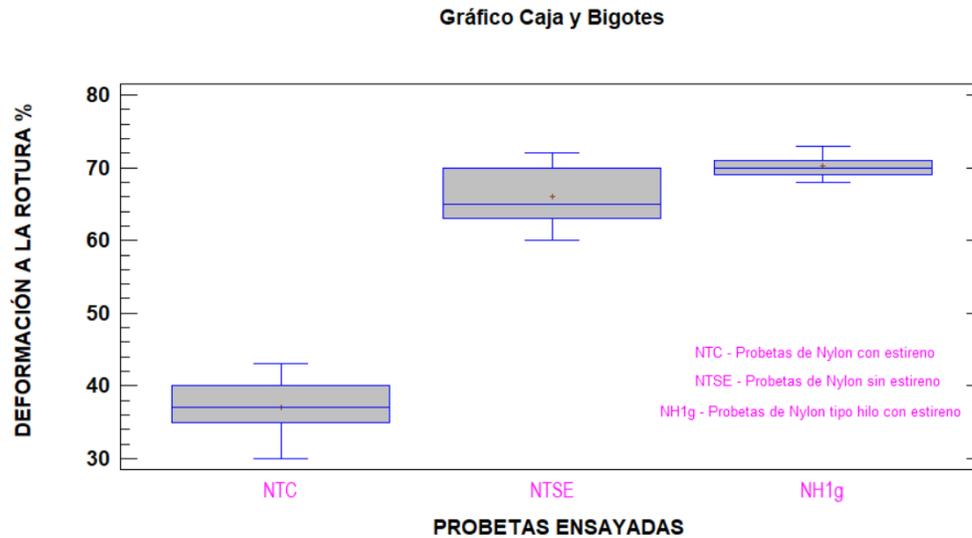


**Figura 68.** Gráfico de caja y bigote del módulo de elasticidad en función de la configuración de las probetas ensayadas

Fuente: Autor

### Deformación a la rotura

Los valores de porcentaje de deformación a la rotura se observan en la figura 69, donde se puede verificar una diferencia significativa entre las probetas con configuración con estireno y las probetas con configuración sin estireno y su refuerzo tipo hilo. Para el caso del análisis de estos resultados se utilizó valores promedios en la configuración de las probetas con refuerzo de la fibra tipo hilo, a diferencia del análisis anterior se puede observar que las probetas con adición de estireno disminuyeron en su capacidad de elongarse, en un rango promedio del 45% en diferencia a la configuración de las probetas sin adición de estireno.



**Figura 69.** Gráfico de caja y bigotes de la deformación a la rotura en función de la configuración de las probetas ensayadas

Fuente: Autor

## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SEGÚN ASTM D7264/D7264M-15

### Resultados:

En la Tabla 21 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas del material compuesto identificado como "NFC1.5"

**Tabla 21.**

*Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/D7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFC1.5"*

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15								
NFC1.5								
Muestr a No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Distancia entre apoyos (mm)	Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
1	13,07	4,16	54,37	133,12	38,33	33,85	2409,42	1,47
2	13,07	4,08	53,33	130,56	37,10	33,41	2689,39	1,27
3	13,65	4,10	55,97	131,20	44,17	37,93	2448,28	1,62
4	13,06	4,22	55,11	135,04	41,67	36,29	2418,85	1,62

5	13,14	4,05	53,22	129,60	41,67	37,63	2226,47	1,89
		Promedio	$\bar{x}$	40,59	35,82	2438,48	1,57	
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	2,85	2,10	165,25	0,23	
		Coficiente de variación	$CV$	7,02	5,86	6,78	14,46	

En la figura 70 se pueden apreciar las condiciones de las probetas del material "NFC1.5" después de los ensayos de flexión.



**Figura 70.** Probetas de material compuesto "NFC1.5" después de los ensayos de flexión

Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas del material compuesto identificado como "NFSE1.5"

**Tabla 22.**

Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFSE1.5"

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15								
NFSE1.5								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Distancia entre apoyos (mm)	Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
1	13,60	4,26	57,94	136,32	35,00	29,04	1251,36	3,74
2	13,87	4,43	61,44	141,76	30,83	24,12	1079,48	3,66
3	13,12	4,29	56,28	137,28	32,50	27,76	1210,58	3,88
4	13,05	4,24	55,33	135,68	31,83	27,63	1330,99	3,04
5	13,19	4,29	56,59	137,28	35,00	29,72	1249,88	3,69
			Promedio	$\bar{x}$	33,03	27,65	1224,46	3,60
			Desviación estándar	$S_{n-1}$	1,89	2,16	92,10	0,33
			Coefficiente de variación	$CV$	5,73	7,82	7,52	9,03

En la figura 71 se pueden apreciar las condiciones de las probetas del material compuesto "NFSE1.5" después de los ensayos de flexión.



**Figura 71.** Probetas de material compuesto "NFSE1.5" después de los ensayos de flexión.  
Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

En la Tabla 23 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión en las probetas del material compuesto identificado como "NFC1g"

**Tabla 23.**

*Resultados de los ensayos de flexión realizados según la norma ASTM D7264/7264M-15 en las probetas de material compuesto "NFC1g"*

ENSAYO DE FLEXIÓN ASTM D7264/D7264M-15								
NFC1g								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Distancia entre apoyos (mm)	Fuerza última a flexión (N)	Resistencia última a flexión (MPa)	Módulo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
1	13,21	4,19	55,35	134,08	44,17	38,32	2350,64	1,70
2	13,19	3,90	51,44	124,80	37,50	35,00	2629,73	1,65
3	13,12	4,40	57,73	140,80	32,50	27,06	1800,99	1,56
4	13,40	4,28	57,35	136,96	37,50	31,39	2270,82	1,40
5	13,19	4,40	58,04	140,80	43,33	35,85	1764,38	2,43
Promedio				$\bar{x}$	39,00	33,52	2163,31	1,75
Desviación estándar				$S_{n-1}$	4,80	4,39	372,36	0,40
Coeficiente de variación				CV	12,31	13,08	17,21	22,77

En la figura 72 se pueden apreciar las condiciones de las probetas del material compuesto "NFC1g" después de los ensayos de flexión.

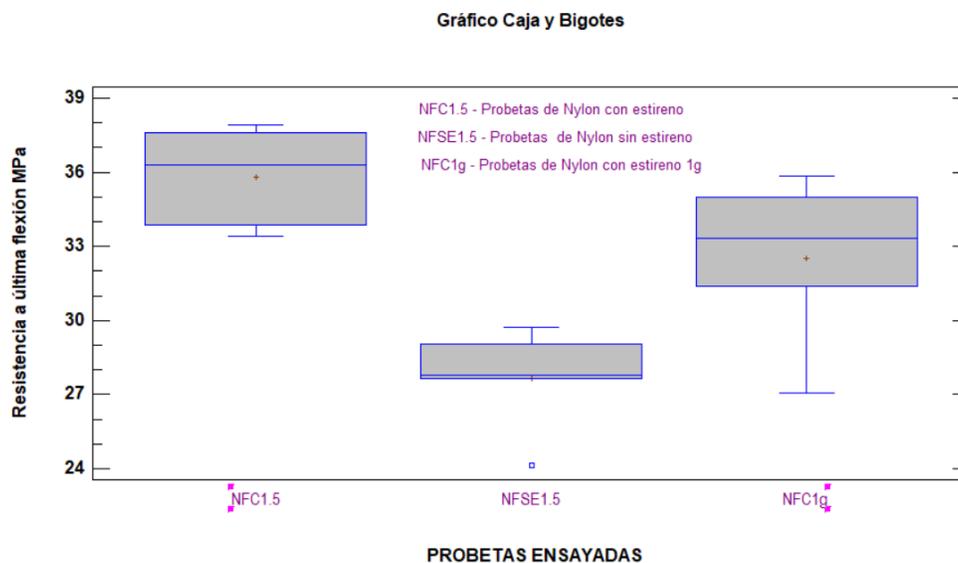


**Figura 72.** Probetas de material compuesto "NFC1g" después de los ensayos de flexión  
Fuente: LANUM (Laboratorio de Nuevos Materiales de la Escuela Politécnica Nacional)

## Análisis de resultados mediante stargraphics de los ensayos a flexión

### Resistencia ultima a flexión

En la figura 73 se observa la existencia de diferencia significativa en resultados de las muestras con configuración sin estireno cuyo valor promedio está comprendido en 27,65 MPa, y que existen grupos homogéneos entre las muestras cuya configuración tienen estireno y las probetas cuya configuración tienen refuerzo de fibra tipo hilo cuyos valores promedio está en 35,82 MPa y 33,52 MPa respectivamente. Para el análisis el valor de las probetas con refuerzo de fibra tipo lana y adición de estireno fue superior.



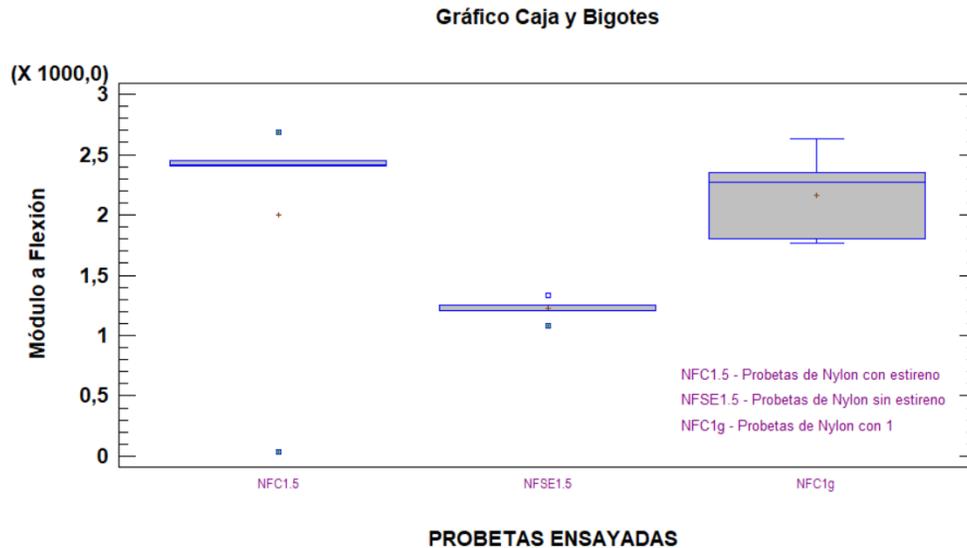
**Figura 73.** Gráfico de caja y bigotes de la resistencia ultima a flexión en función de la configuración de las probetas ensayadas

Fuente: Autor

### Módulo a flexión

En la figura 74 se puede observar que hubo un mayor módulo a flexión entre las probetas con refuerzo de fibra tipo lana y adición de estireno cuyo valor promedio está en 2438,48 MPa,

pero si existe diferencia significativa con las probetas cuya configuración no fue adicionado el estireno cuyo valor está en 1224,46 MPa y las probetas con refuerzo de fibra de 1g cuyo valor promedio es 2163,61 MPa, lo que nos permite determinar que para el caso de estudio utilizar la primera configuración.

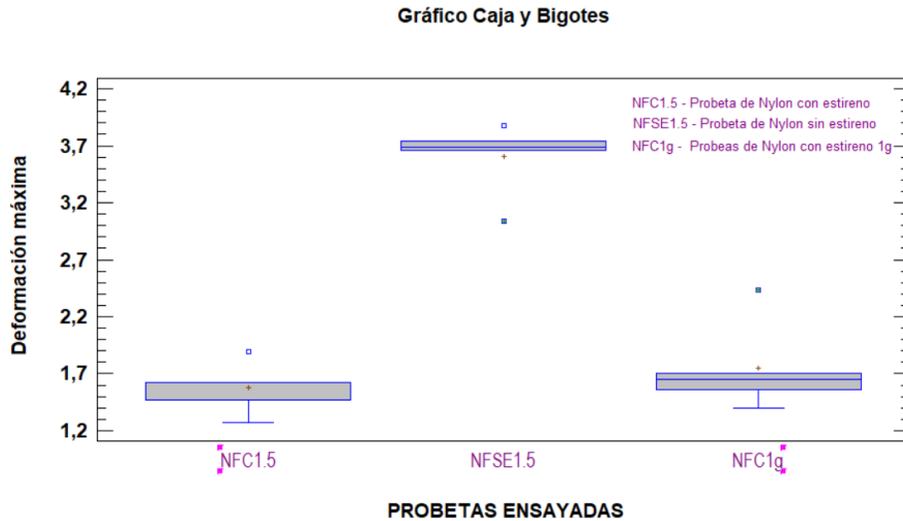


**Figura 74.** Gráfico de caja y bigote del Módulo a flexión en función de la configuración de las probetas ensayadas

Fuente: Autor

### Deformación máxima

En la figura 75 se observa la existencia de diferencia significativa de las probetas con configuración sin estireno cuyo valor está en 3,6 % y las probetas con configuración con estireno, pero menor fracción volumétrica de la fibra cuyo valor está en 1,74 %.



**Figura 75.** Grafica de caja y bigotes de la deformación máxima en función de la configuración de las muestras ensayadas

Fuente: Autor

### Ensayo de Conductividad térmica

El ensayo para la determinación de conductividad térmica es fundamentado en el estándar ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada. El valor de la conductividad se obtiene en condición de estado estable, midiendo el espesor, el flujo de calor y las temperaturas superficiales fija en ambas caras de la muestra (ISO, 1991).

Condiciones de la muestra:

**Tabla 24.**

*Condiciones de las muestras a ensayar*

#	Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. Kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	1804001	148	148	19,87	498,3	1144,9	Bloques de color marrón
2	1804002	148	148	19,76	504,2	1164,9	compuestos de Nylon reciclado y resina

En la figura 76 se pueden apreciar el valor de conductividad térmica tomando en cuenta para las dos muestras ensayadas la temperatura y tiempo.



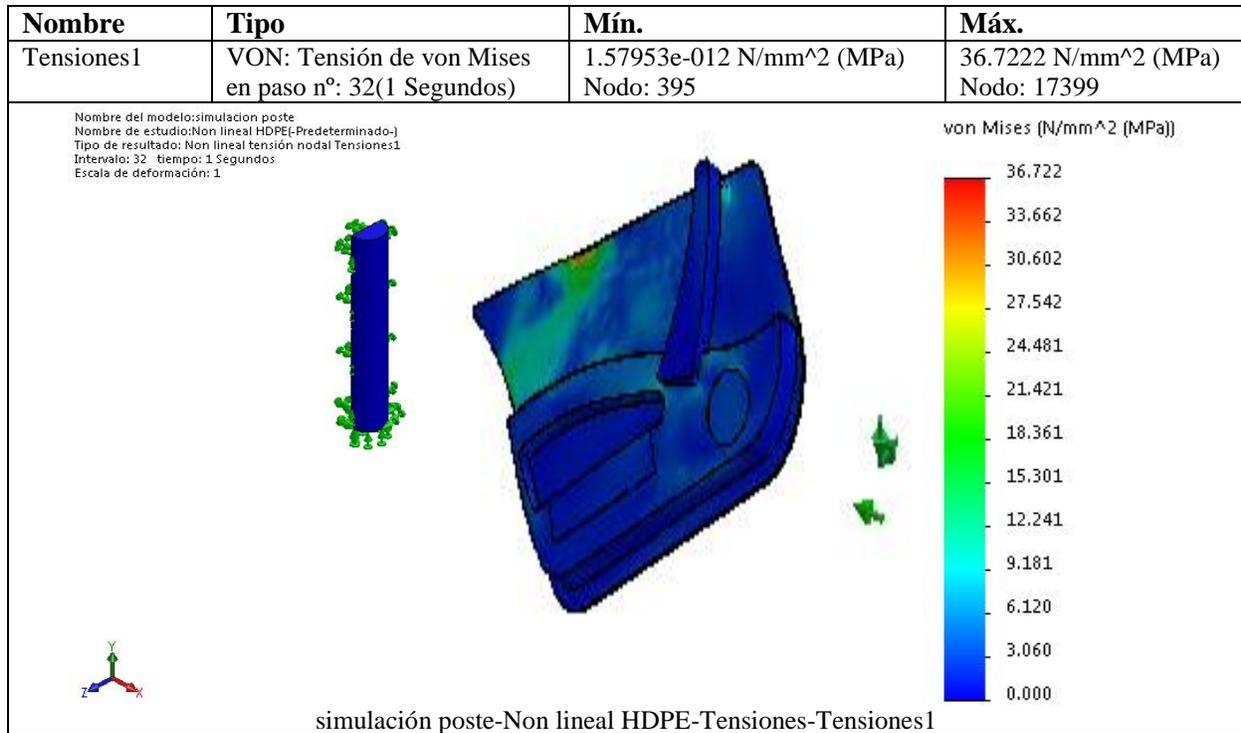
**Figura 76.** Gráfico de ensayo conductividad térmica.  
Fuente: Laboratorio INER

## Simulación mecánica y térmica del panel de puerta interior

### Material PS

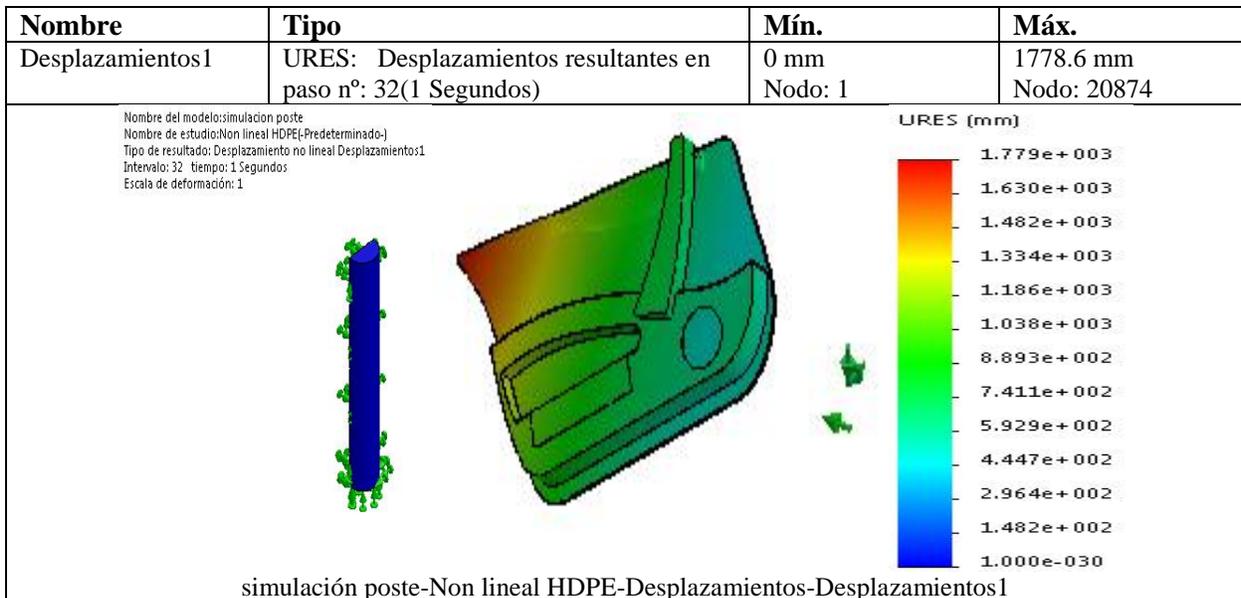
A continuación, se detallan los resultados de tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias (ver figura 77, 78 y 79) obtenidos en la simulación los cuales serán analizados en la discusión.

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 77 se observa el mayor valor de tensión del panel de puerta interior en la parte superior central con un valor máximo de 36.722 MPa.



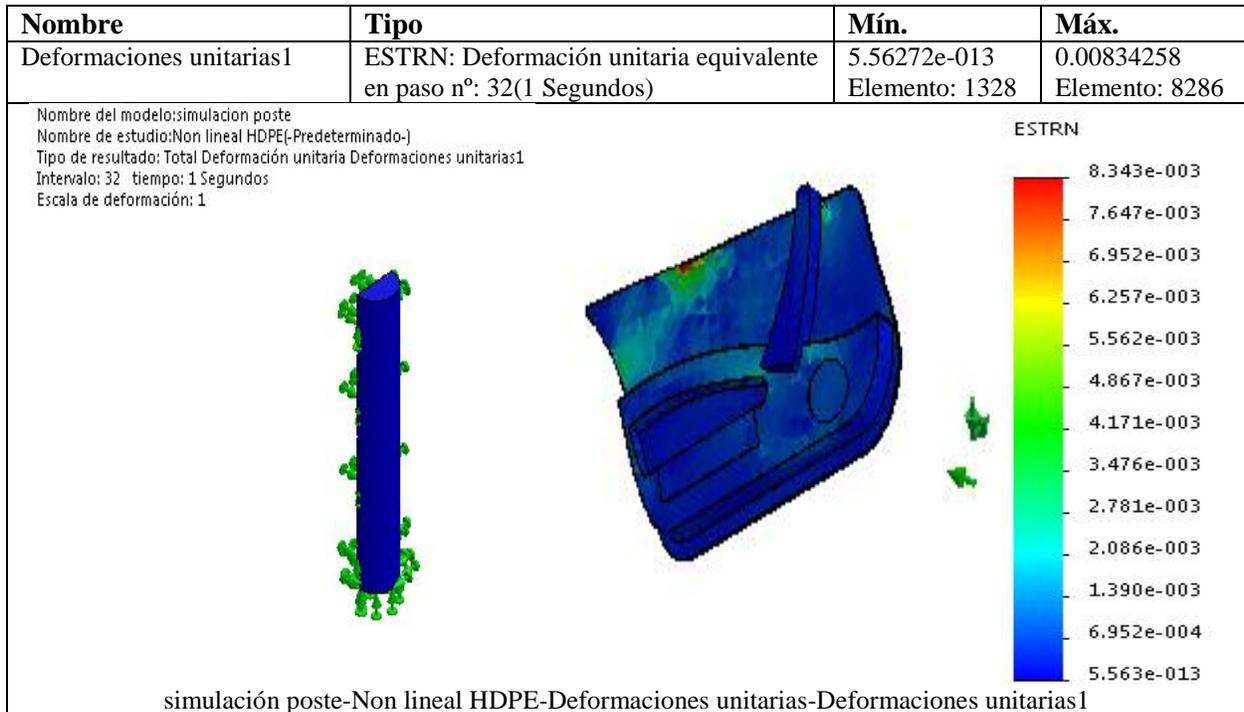
**Figura 77.** Resultado de simulación impacto lateral – Tensiones  
Fuente: Autor

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 78 se observa el mayor valor de desplazamiento del panel de puerta interior en la parte superior izquierda con un valor máximo de 1778.6 mm en el nodo 20874.



**Figura 78.** Resultados simulación impacto lateral - Desplazamientos  
Fuente: Autor

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 79 se observa el mayor valor de deformación unitaria del panel de puerta interior en la parte superior central con un valor máximo de 0.008342 mm en el elemento 8286.

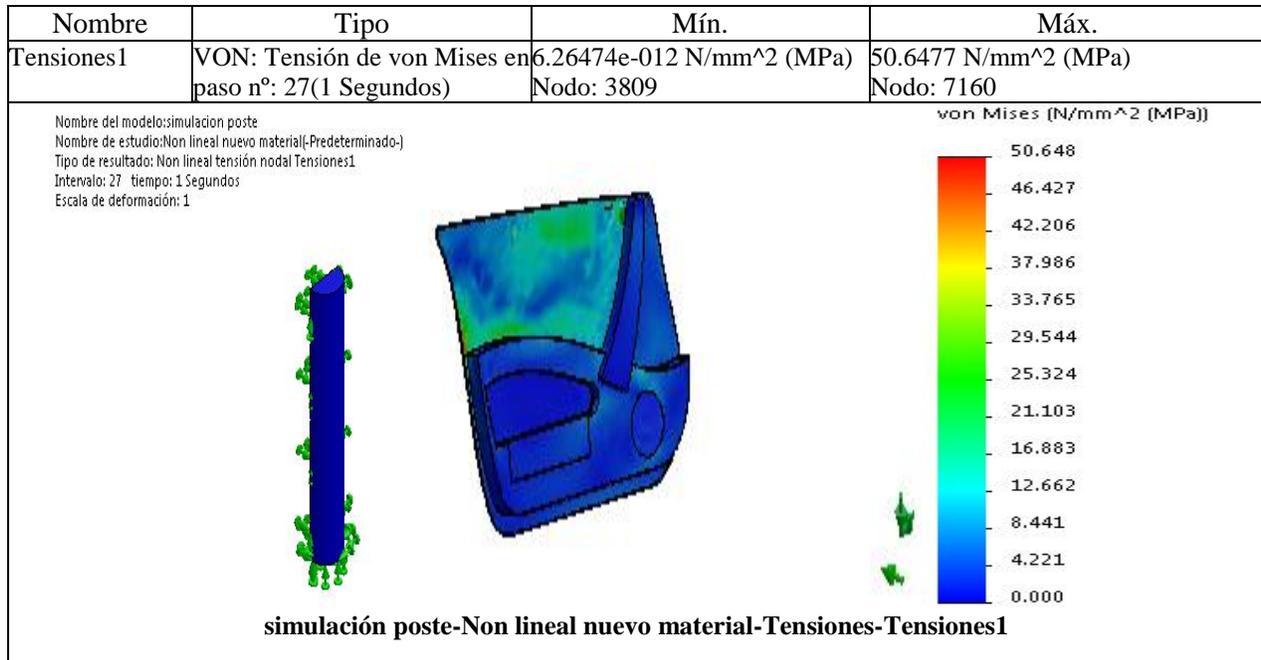


**Figura 79.** Resultado Simulación impacto lateral – Deformaciones unitarias  
 Fuente: Autor

### Nylon Reciclado

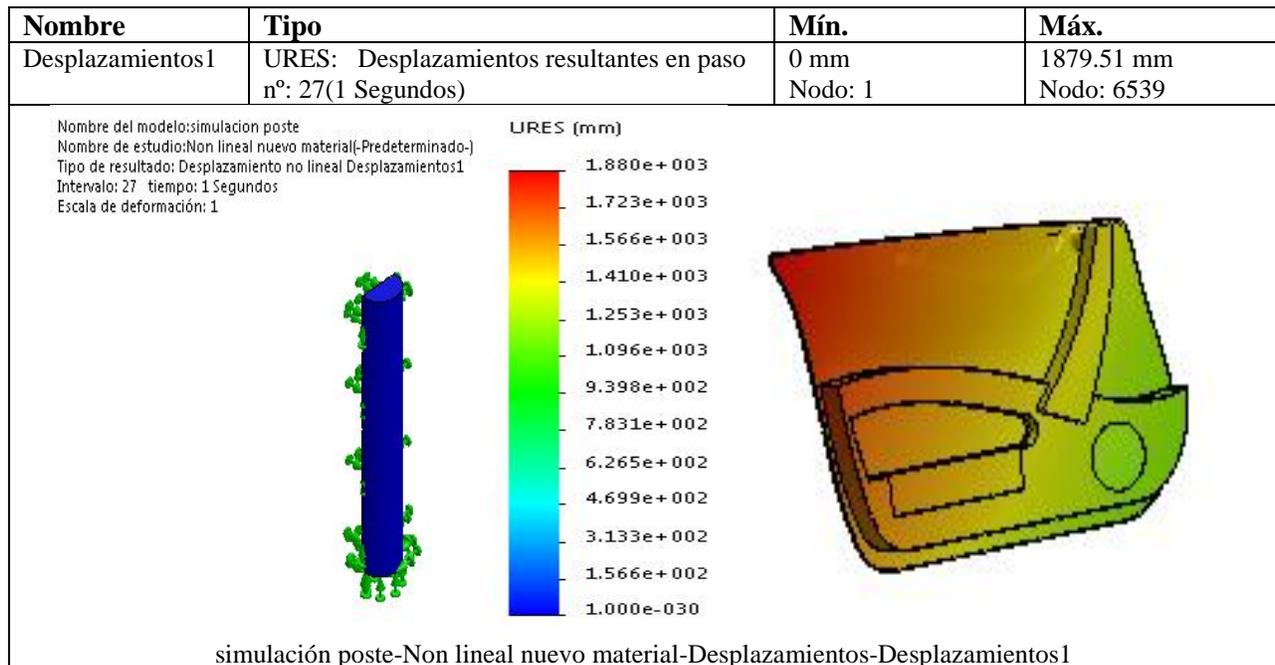
A continuación, se observan los resultados obtenidos de tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias en la simulación de impacto, como se observa en la figura 80, 81, 82 respectivamente.

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 80 se observa el mayor valor de tensión del panel de puerta interior en la parte superior central con un valor máximo de 36.722 MPa.



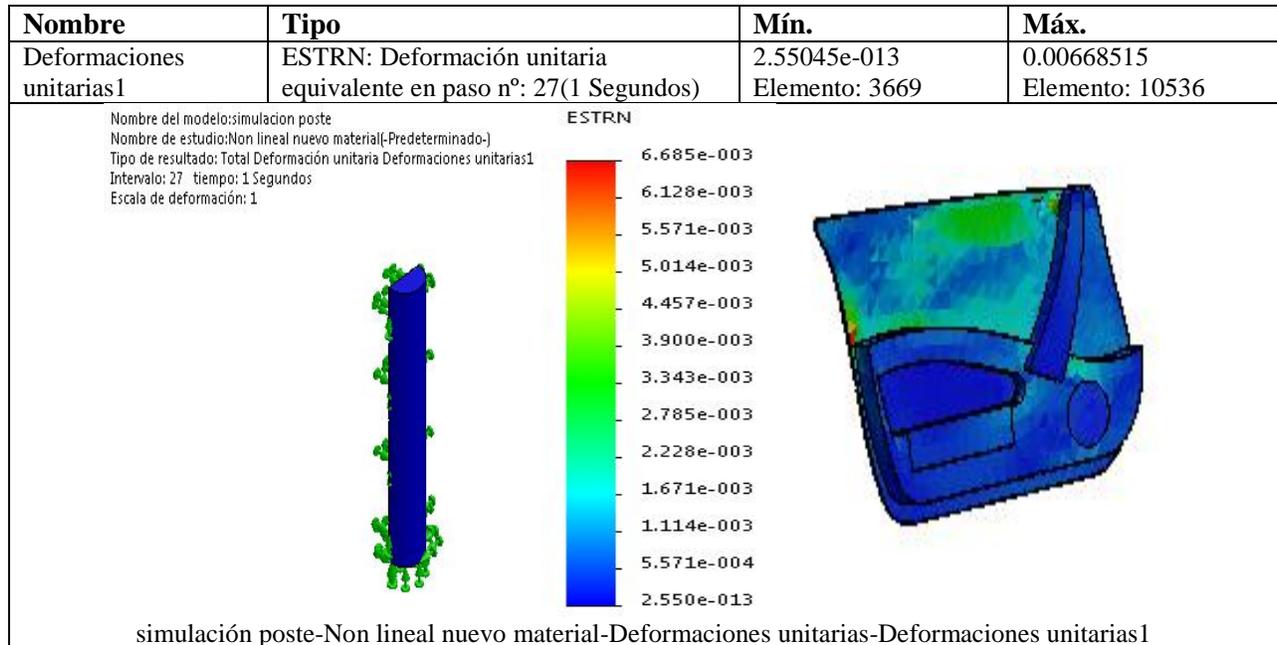
**Figura 80.** Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Tensiones  
Fuente: Autor

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 81 se observa el mayor valor de desplazamiento del panel de puerta interior casi en el 75% con un valor máximo de 1879.51 mm en el nodo 6539.



**Figura 81.** Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Desplazamientos  
Fuente: Autor

De acuerdo al código de colores mostrado en la figura 82 se observa el mayor valor de deformación unitaria del panel de puerta interior en la parte lateral izquierda con un valor máximo de 0.00668515 mm en el elemento 10536.

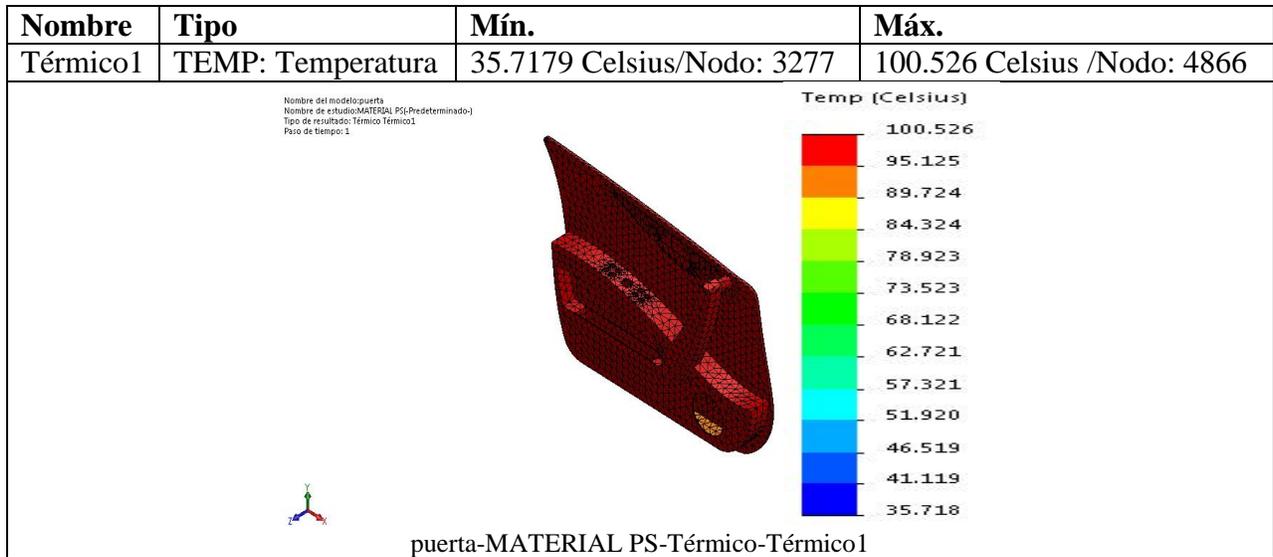


**Figura 82.** Resultados Simulación impacto lateral Nylon reciclado – Deformaciones Unitarias  
 Fuente: Autor

**Simulación conductividad térmica**

**Material PS**

En la figura 83 se puede observar el resultado de la simulación con la temperatura aplicada en el tiempo determinado con un valor máximo de 100.52 °C en el nodo 4866 donde se puede observar que todo el panel de puerta interior alcanza esa temperatura.

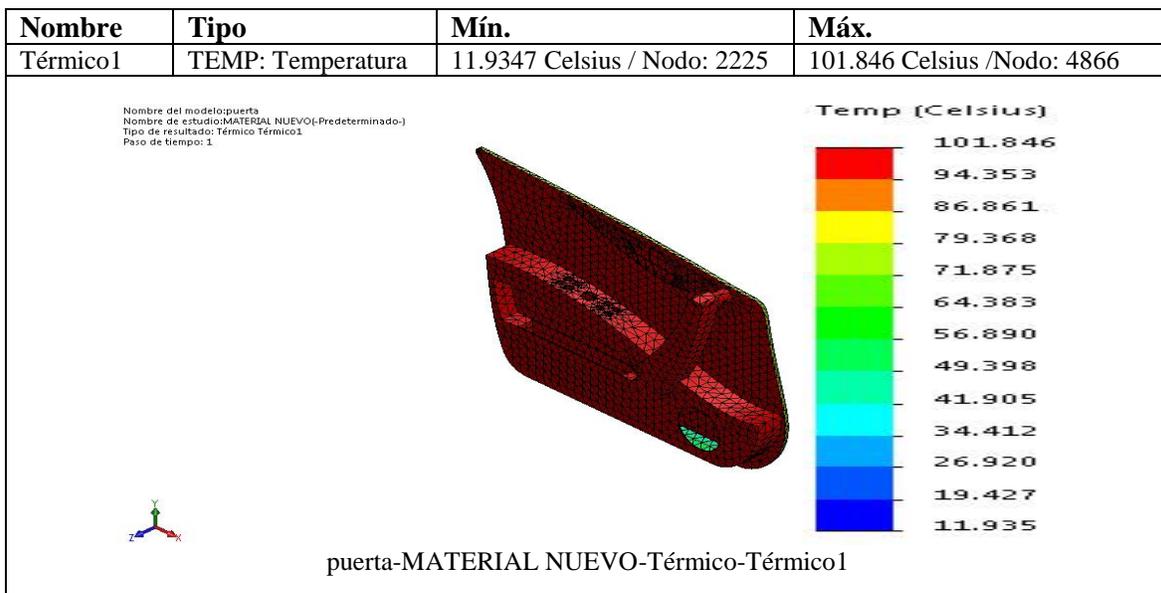


**Figura 83.** Resultado de la simulación térmica

Fuente: Autor

### Nylon Reciclado

En la figura 84 se puede observar el resultado de la simulación térmica en el panel de puerta con el material, de igual manera se observa el comportamiento como el material polímero PS.



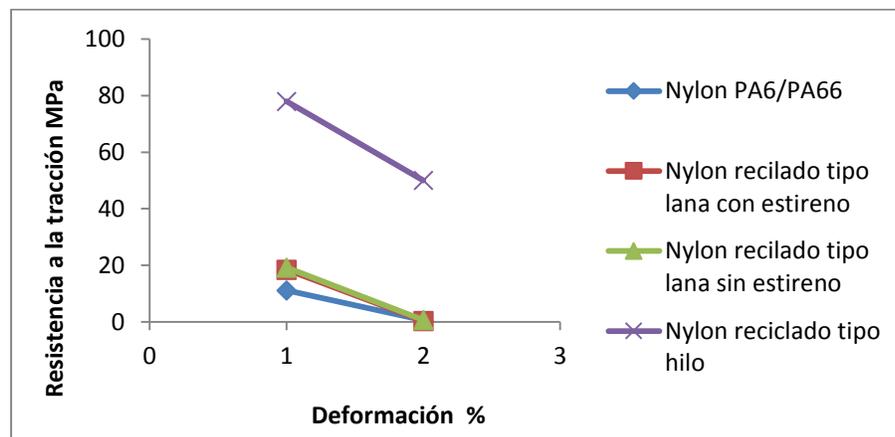
**Figura 84.** Resultado simulación térmica en panel de puerta con material de Nylon reciclado

Fuente: Autor

## Discusión

### Ensayo a tracción

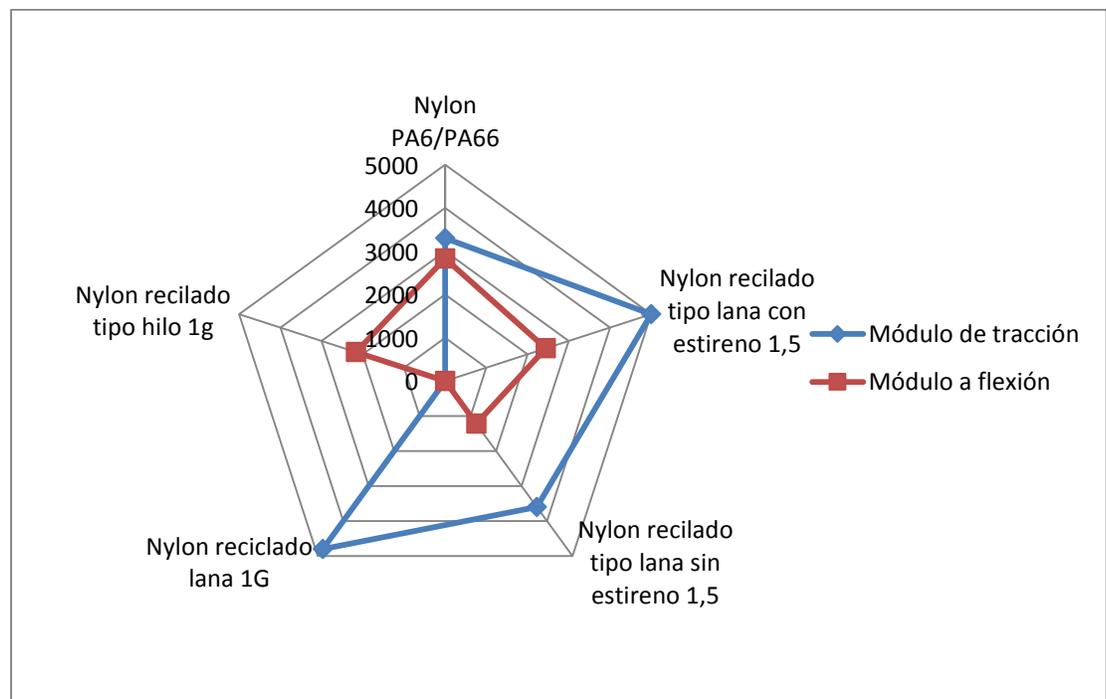
- Al revisar los valores obtenidos en los resultados se obtiene que el valor mayor de resistencia a tracción de 22,82 MPa se encuentra dentro de la configuración de la probetas con refuerzo de fibra tipo lana y adición con estireno, el cual haciendo comparación con resultados de referencia bibliográfica obtenemos el valor de 430-760 MPa para resistencia a la tracción de la fibra de ábaca, el de la resina poliéster está entre 40-90 MPa (Majewski & Bledzki, 2013). La resistencia a la tracción indicada de referencia bibliográfica para el yute es de 40 MPa y 66,01 MPa para el sisal cuya fracción volumétrica son similares. Cabe destacar que el valor obtenido en nuestro estudio es menor a ensayos realizados a otros materiales, pero también es valor obtenido es menor a la resistencia a la tracción de 78 N/mm<sup>2</sup> del Nylon PA6, PA66 presentado en la tabla 1 de esta investigación. En la figura 85 se observa lo descrito anteriormente.



**Figura 85.** Resistencia a la tracción en función de la deformación de compuestos de resina con refuerzo de fibra de Nylon tipo lana e hilo

Fuente: Autor

- Al revisar los valores del módulo de elasticidad de las tres configuraciones se observa una variación considerable obteniendo un valor alto de 7896,25 MPa para la configuración cuyo refuerzo de fibra es tipo hilo, un valor de 6104,77 MPa para la configuración cuyo refuerzo de fibra es tipo lana con adición de estireno pero estos valores corresponden a una sola probeta ensayada en cada configuración y para el caso de estudio se tomará el valor promedio de 4997, MPa correspondiente a la configuración cuyo refuerzo de fibra es tipo lana con adición de estireno cuyo valor es comparable a los resultados obtenidos en ensayos de compuestos con refuerzos de fibra de yute y sisal cuyos valores están en 2130 y 4420 MPa respectivamente (Majewski & Bledzki, 2013). Así también se observa en la figura 86 que el valor obtenido en este estudio es mayor al valor del módulo de elasticidad del Nylon PA6, PA66 el cual se encuentra en 2850 N/mm<sup>2</sup>.



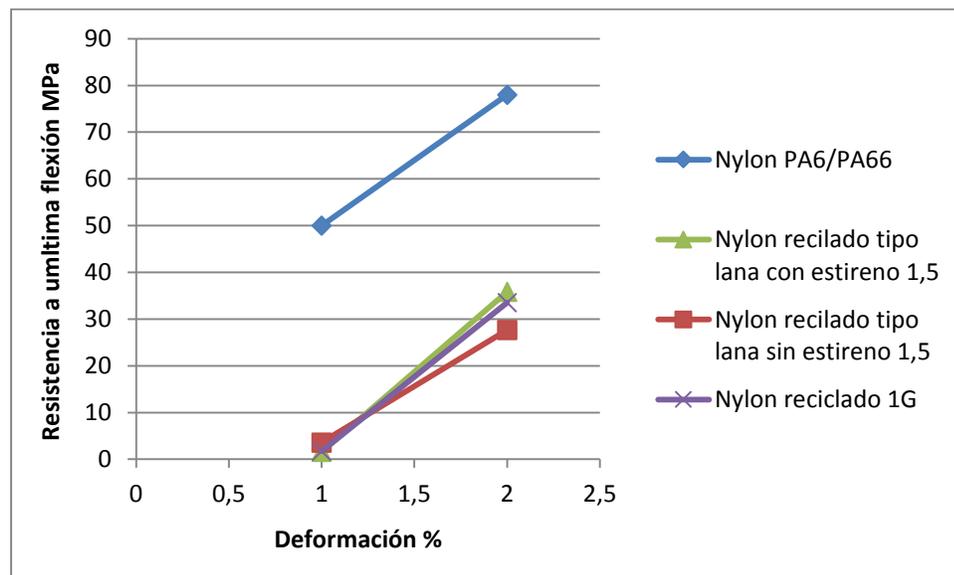
**Figura 86.** Módulo de elasticidad en función del módulo de flexión de los compuestos de resina con fibra de Nylon tipo hilo y Nylon con adición de estireno y sin estireno.

Fuente: Autor

### Ensayo a flexión

- La resistencia última a flexión presentó variación en las tres configuraciones estudiadas entre las cuales hubo un descenso para el material compuesto elaborado con refuerzo de fibra tipo lana sin adición de estireno cuyo valor promedio es 27,65 MPa, pero este valor aumentó en la configuración de refuerzo de fibra tipo lana y adición de estireno cuyo promedio está comprendido en 35,82 MPa. Cabe destacar que el valor obtenido en el material compuesto es de 35,82 MPa menor a los valores obtenidos con refuerzo de fibra de jute y sisal cuyos valores son de 77 MPa y 93,80 MPa respectivamente según referencias bibliográficas (Majewski & Bledzki, 2013).

Se realiza una comparativa de la resistencia última a flexión en función de la deformación para las diferentes configuraciones del Nylon reciclado y el Nylon puro como se observa en la figura 87.



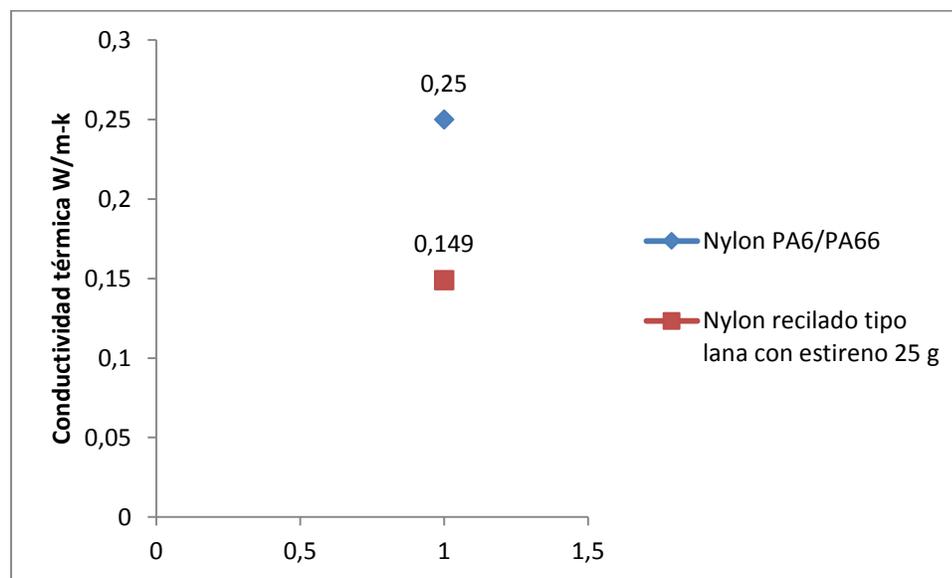
**Figura 87.** Resistencia a última flexión en función de la deformación de compuestos de resina con refuerzo de fibra de Nylon tipo lana e hilo y Nylon PA6/PA66

Fuente: Autor

- El módulo a flexión disminuyó en las muestras ensayadas cuya configuración de material compuesto y el refuerzo de fibra tipo lana sin adición de estireno su valor promedio fue 1224,46 MPa, pero se observó un incremento en los valores obtenidos de las probetas ensayadas cuya configuración del refuerzo de fibra tipo lana con adición de estireno cuyo promedio está comprendido en 2438,48 MPa.

### Conductividad térmica

- Los valores obtenidos de las muestras ensayadas no presentan variación entre si cuyo valor está comprendido en 0.149 W/m-K, pero si presenta una disminución en cuanto al valore de conductividad térmica presentado en la tabla 1 de este estudio para el Nylon PA6, PA66 cuyo valor está en 0,25 W/Km como se observa en la figura 88.

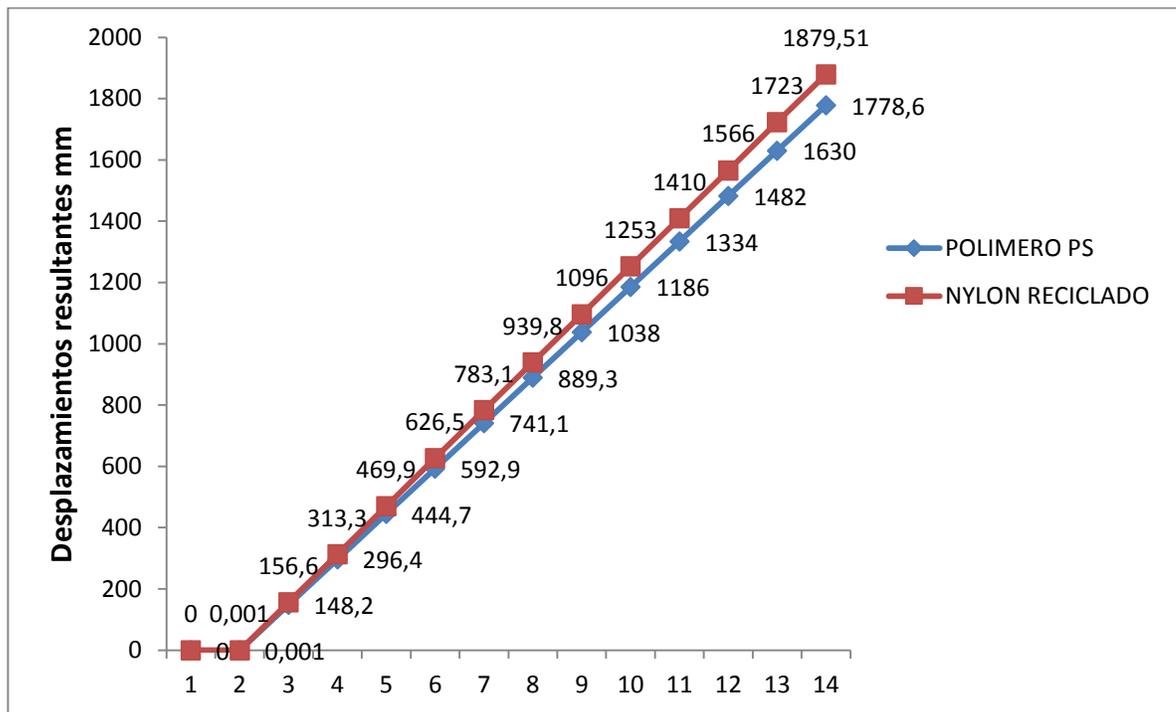


**Figura 88.** Valor de conductividad térmica del Nylon puro y el Nylon reciclado tipo lana con estireno

Fuente: Autor

### Simulación de impacto lateral

Como se mostró en resultados se hizo la simulación de impacto lateral al panel de puerta interior para dos materiales diferentes, para realizar dichas comparaciones entre el material original y el material estudiado. Realizando la comparación de los desplazamientos con resultados de test realizados por la FMVSS para marcas comerciales en el Ecuador como Chevrolet, Toyota, Mazda entre otras sus valores de desplazamiento están comprendidos entre 0,696 y 0,785 m (Fmvss, 1999). El valor de desplazamiento obtenido en nuestra simulación para el Nylon reciclado es de 1,8795 m como se observa en la figura 89.



**Figura 89.** Valores de desplazamientos resultantes del material PS y el Nylon Reciclado  
Fuente: Autor

A continuación, se presenta la comparativa entre cada uno de los resultados de tensiones y deformación unitaria.

Como se observa en la figura 90 el valor de la tensión para el material PS alcanza un valor máximo de 36722 MPa y para el Nylon reciclado un valor máximo de 50648 MPa verificando en ambos casos que sobrepasa el valor de su límite elástico.

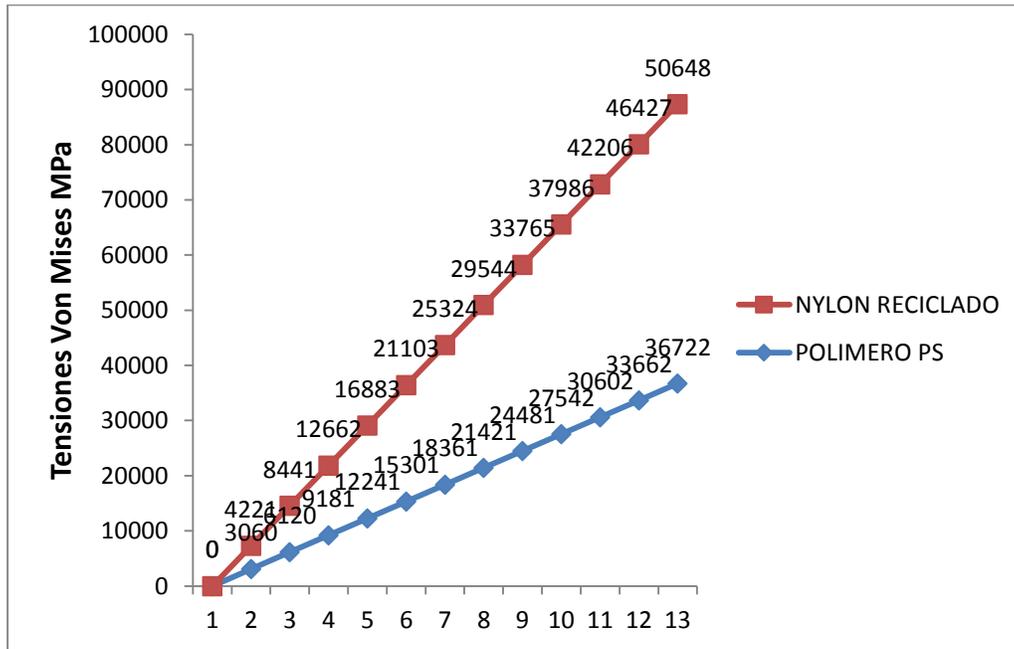
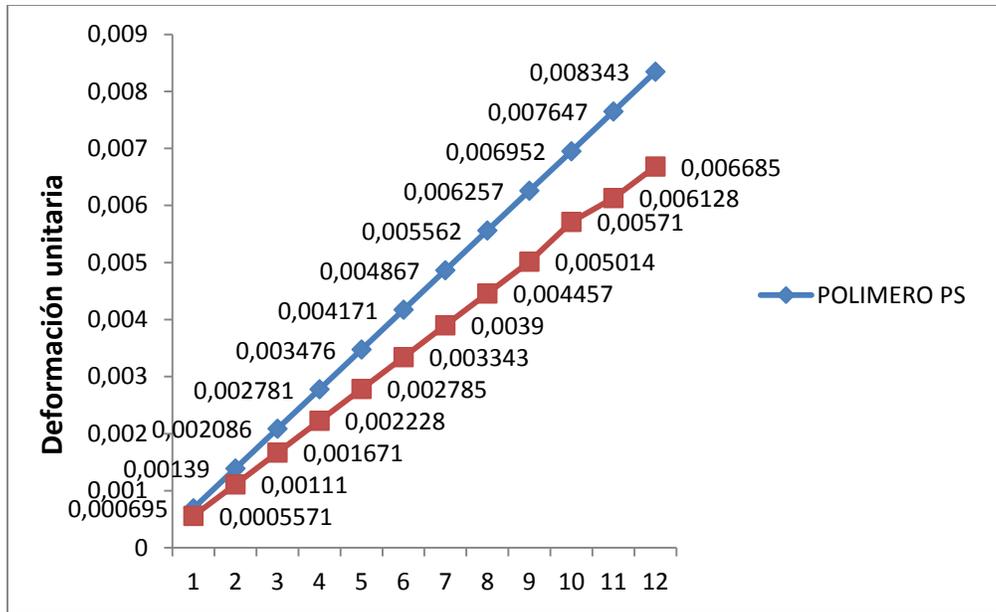


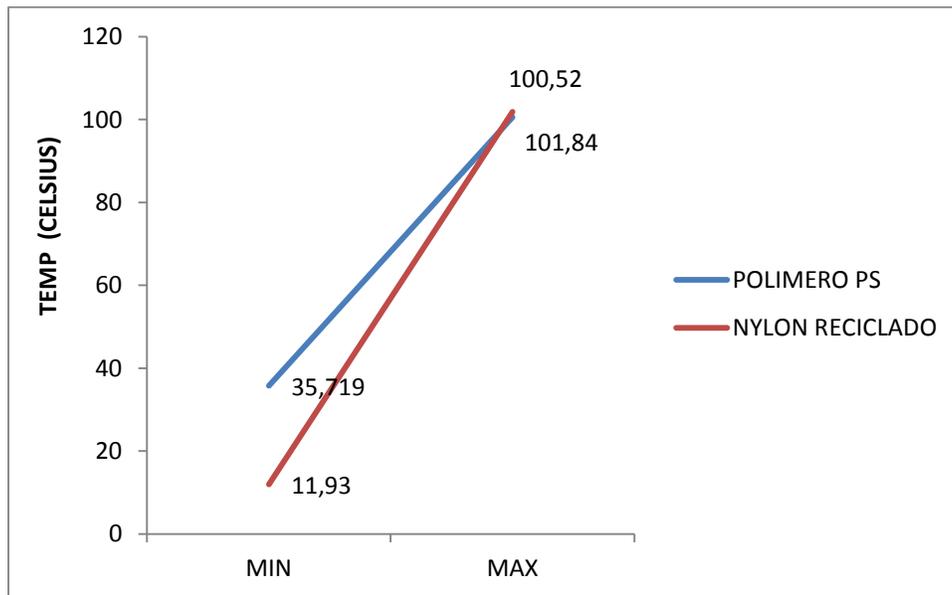
Figura 90. Tensiones Von Mise del Material PS y el Nylon reciclado  
Fuente: Autor

Los resultados de deformación unitaria presentaron variaciones indicando que el Nylon reciclado alcanza menor deformación que el material PS como se observa en la figura 91.



**Figura 91.** Deformación unitaria del material PS y el Nylon reciclado  
Fuente: Autor

Como se detalla en el método de simulación se realizó el ensayo térmico para el material PS y el Nylon reciclado a una temperatura de 100 C, obteniendo valores mínimos y máximos como se observa en la figura 92.



**Figura 92.** Valores de temperatura de la simulación térmica del material PS y el Nylon Reciclado

Fuente: Autor

### Conclusiones

- La fracción volumétrica requerida para realizar las probetas de material compuesto de Nylon-resina tomando en cuenta facilidad de construcción de las probetas y procesamiento fue de 0.37 tanto para las probetas con Nylon tipo lana e hilo, así como también se determinó los valores de cada uno de los componentes que se detallan a continuación:

Elemento	Fibra tipo lana	Fibra tipo hilo
	Cantidad (ml)	Cantidad (ml)
	<b>1.15 gr</b>	<b>1 gr</b>
Resina poliéster	60	60
Estireno	6	6
Octoato de Cobalto	0.1	0.1
MEKP	0.6	0.6

- Después de analizar y comparar los resultados de los ensayos realizados se determinó utilizar los valores del nylon reciclado con adición de estireno caracterizado cuyos valores son:

Resistencia última tracción (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
18,50	4997,86

- Los valores de desplazamientos y tensiones obtenidos en la simulación muestran una diferencia significativa entre los valores del Nylon original, nylon reciclado y el Polímero PS, los cuales se presentan a continuación:

Material	Nylon Reciclado (MPa)	Polímero PS (MPa)
----------	-----------------------	-------------------

<b>Tensiones</b>	50.6477	36.722
------------------	---------	--------

<b>Materiales</b>	<b>Pruebas FMVSS</b>	<b>Nylon Reciclado</b>	<b>Polímero PS</b>
<b>Desplazamiento</b>	0,696-0,785 m	1879,51 mm	1778,6 mm

- El valor de conductividad térmica comprendido en 0,149 W/m-k indica que el material caracterizado puede funcionar como un aislante.
- De acuerdo a los resultados presentados se concluye que el material caracterizado aplicado a la autoparte no cumple con los requerimientos de resistencia al impacto y desplazamiento establecidos en las regulaciones de seguridad del vehículo.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda realizar una limpieza minuciosa de la fibra de Nylon obtenida con el fin de realizar una correcta separación de las partículas de caucho presentes en el material y así garantizar los resultados de la caracterización.
- Verificar el estado de las probetas previo ensayo en el laboratorio con el fin de garantizar los resultados, ya que puede presentar una variación superior a la recomendada.
- Llevar a cabo otro método para caracterizar la fibra de Nylon con el objetivo de realizar la comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- AEADE. (13 de Noviembre de 2017). *ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR*. Recuperado el 1 de 12 de 2017, de [www.aeade.net](http://www.aeade.net)
- ASTM. (2017). *ASTM D5930-17, Método de prueba estándar para la conductividad térmica de plásticos mediante una técnica de línea de fuente transitoria*. Obtenido de [www.astm.org](http://www.astm.org)
- CAHUASQUI, D. S. (Diciembre de 2011). Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzada con fibra natural. *Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzada con fibra natural*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Calhoun, A. (2010). Polypropylene. *Elsevier*, 31-36.
- Duque, N. A. (Junio de 2012). Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ecuador, A. A. (15 de Marzo de 2017). *www.aeade.net*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de [www.aeade.net](http://www.aeade.net): [http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/03/Sector-en-cifras\\_6-Marzo-2017.pdf](http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2017/03/Sector-en-cifras_6-Marzo-2017.pdf)
- Hurtado, J. C. (2017). Diseño de un sistema de supervisión para la extrusión de materiales poliméricos en impresoras 3D de software libre. *Diseño de un sistema de supervisión para la extrusión de materiales poliméricos en impresoras 3D de software libre*. Cali, Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- International, A. (2017). *D3039-3039M -08 Propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica*. Obtenido de [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ISO. (1991). INTERNATIONAL STANDARD ISO 8302. *Thermal insulation - Determination of ateady-state thermal resistance and related properties*. Switserland.
- Joseph T. Belter, A. M. (16 de Abril de 2015). Strengthening of 3D Printed Fused Deposition Manufactured parts Using the Compositing Techniqu. *PLOS ONE TENTH ANNIVERSARY*, 19.
- M. Najafi 1, L. N. (2017). High-performance nylon fiber. *Elsevier*, 46.
- McKeen, L. W. (2017). Polyamides (Nylons). *Elsevier Inc.*, 27.
- Pereira, F. D. (9 de Junio de 2014). Desenvolvimento de um Cabeçote para Extrusao de Filamento Fundido Aplicado a Manufatura Aditiva. Campinas, Brasil: Universidades Estadual de Campinas.

PRADO, F. (06 de 10 de 2017). GERENTE GENERAL PLANTA RUBBERACTION. (E. Valencia, Entrevistador)

Saverio Spadea a, I. F. (2015). Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Elsevier*, 10.

Silveira\*, Z. d. (2014). Design development and functional validation of an. *Inderscience*, 17.

Sosa Pichardo Oscar, R. L. (27 de 04 de 2015). Modelado y Análisis del Pull Cup de una puerta automotriz. *Modelado y Análisis del Pull Cup de una puerta automotriz*. Ticoman, México: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA.

Standard, A. S. (2002). D2256–02. “*Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method*.”. United States: Annual Book of ASTM Standards: Section, 7.

Standard, A. S. T. M. (2013). *Designation: D861 – 07 (Reapproved 2013) Standard Practice for Use of the Tex System to Designate Linear Density of Fibers, Yarn Intermediates, and Yarns*. United States: ASTM International.

Tapia, L. (06 de Agosto de 2015). *MINISTERIO DEL AMBIENTE*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de MINISTERIO DEL AMBIENTE: <http://suia.ambiente.gob.ec/acuerdos-ministeriales>

Woishnis, W. A. (2003). *Plastics and Polymers*. Plastics Design Library.

**ANEXO**