

CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO (POLIURETANO DE BAJA DENSIDAD) REFORZADO CON FIBRAS CORTAS NATURALES (GUADUA) OBTENIDO POR EL MÉTODO DE INYECCIÓN

AUTOR:

González Sierra Carlos Javier

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ -COLOMBIA
2017**

CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO (POLIURETANO DE BAJA DENSIDAD) REFORZADO CON FIBRAS CORTAS NATURALES (GUADUA) OBTENIDO POR EL MÉTODO DE INYECCIÓN

AUTOR:

González Sierra Carlos Javier

DIRECTOR:

Ing. Sierra Cetina Mauricio

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ -COLOMBIA
2017**

DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo en este proceso y en cada paso que doy, por darme la salud y entendimiento para lograr las metas propuestas colocando personas en mi vida que han sido el soporte durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Gustavo y Zenaida, por haber confiado en mí, por haberme apoyado en los momentos difíciles, por sus consejos, perseverancia, valores que me han permitido convertirme en una persona de bien, por sus regaños que me dieron el valor para salir adelante y poder alcanzar este logro.

A mi familia, mi hermana Adriana por ser mi mano derecha y apoyo constante, a mi hermano, cuñado y primos que fueron parte esencial para realizar este proyecto y a todas esas personas que directa o indirectamente fueron partícipes de este logro.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ANTECEDENTES	2
2.1	PROPIEDADES DE ADHESIÓN (UNIÓN FIBRA- MATRIZ)	2
2.2	CARACTERÍSTICAS DE LA GUADUA	3
2.3	TIPOS DE FIBRAS.....	5
2.4	ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y PROCESO DE MANUFACTURA	7
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4	JUSTIFICACIÓN.....	10
5	OBJETIVOS	11
5.1	OBJETIVO GENERAL.	11
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
6	MARCO CONCEPTUAL	12
7	MARCO LEGAR Y NORMATIVO	14
8	MARCO TEÓRICO	15
8.1.1	Materiales Compuestos.....	15
8.1.1.1	Tipos de materiales compuestos	15
8.1.2	FIBRAS NATURALES:	17
8.1.3	Calsificación fibras naturales.	17
8.1.4	Ensayos destructivos:.....	20
8.1.4.1	Ensayo de Impacto Charpy.	20
8.1.4.2	Ensayo de Tracción de los Plásticos:	21
8.1.4.3	Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos reforzados:....	22
8.1.5	INYECCIÓN	22
	Ciclos del Proceso de Inyección.	23
8.1.6	Calandrado.....	23
8.1.6.1	Fases del proceso de calandrado.	23
8.1.7	GUADUA.....	24
8.1.7.1	Propiedades Físicas y Mecánicas.	27
9	MARCO METODOLÓGICO	28
9.1	METODOLOGÍA.....	28
9.2	DISEÑO DE EXPERIMENTO	29

9.3	MÉTODO UTILIZADO.....	29
9.4	VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA INVESTIGACIÓN	29
9.4.1	Variables independientes	29
9.4.2	Variables dependientes	30
10	OBTENCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES ...	33
10.1	INTRODUCCIÓN.....	33
10.2	PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE GUADUA.	33
10.2.1	TRITURADO DE LA FIBRA DE GUADUA.....	34
10.2.2	PROCESO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA FIBRA	36
10.3	TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) AL 5%.	37
10.4	PROCESO DE MANUFACTURA	40
10.4.1	PRE LAMINADO DE PASTICO.....	43
10.4.2	PROCESO DE INYECCIÓN MANUAL	44
10.5	NORMALIZACIÓN DE LAS PROBETAS.....	45
10.5.1	Probetas para Impacto.....	45
10.5.2	Probetas para Tracción	46
10.5.3	Probetas para Flexión	47
11	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO.....	49
11.1	RESULTADOS:.....	50
11.1.1	Ensayo de Tracción	50
11.1.2	Ensayo de Flexión.....	53
11.1.3	Ensayo de Impacto.....	55
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
13	BIBLIOGRAFÍA.....	60
14	ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Clasificación de las fibras Naturales</i>	<u>17</u>
<i>Tabla 2 Características ambientales para el crecimiento de la guadua.</i>	<u>25</u>
<i>Tabla 13 Parámetros de operación de la curva característica. Apéndice V</i>	<u>31</u>
<i>Tabla 3 Parámetros para la inyección de poliuretano</i>	<u>42</u>
<i>Tabla 4 Parámetros Proceso de Calandrado.</i>	<u>43</u>
<i>Tabla 5 Probetas a fallar bajo ensayos destructivos</i>	<u>48</u>
<i>Tabla 6 Dimensiones de las probetas ensayo de tracción</i>	<u>50</u>
<i>Tabla 7 Resultados ensayo de tracción</i>	<u>50</u>
<i>Tabla 8 Dimensiones de las probetas</i>	<u>53</u>
<i>Tabla 9 Resultado ensayo de flexión</i>	<u>53</u>
<i>Tabla 10 Dimensiones de probetas Impacto</i>	<u>56</u>
<i>Tabla 11 Resultados ensayo impacto izod</i>	<u>56</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1 Clasificación material compuesto</i>	16
<i>Ilustración 2 Comparación de rigidez y resistencia</i>	16
<i>Ilustración 4 Angulo de las fibras efecto de orientación de las fibras</i>	19
<i>Ilustración 5 Dimensiones de la muesca y probeta]</i>	20
<i>Ilustración 6 Proceso de Inyección</i>	22
<i>Ilustración 7 Guadales</i>	24
<i>Ilustración 8 Clasificación plantas leñosas</i>	25
<i>Ilustración 9 Partes de una guadua</i>	26
<i>Ilustración 10 Características mecánicas de la Guadua</i>	27
<i>Ilustración 46 Secuencia para alcanzar los objetivos</i>	28
<i>Ilustración 47 Curva característica de operación]</i>	31
<i>Ilustración 11 Fibra de guadua trapichada</i>	
<i>Ilustración 12 Fibra con limpieza de epidermis</i>	33
<i>Ilustración 13 Listón de guadua</i>	34
<i>Ilustración 14 Listones de guadua en proceso de extracción de la parte exterior</i>	34
<i>Ilustración 15 Sierra de disco</i>	35
<i>Ilustración 16 Residuo de Guadua triturada</i>	35
<i>Ilustración 17 Tamizado de Fibras</i>	36
<i>Ilustración 18 Características de las Fibras de Guadua.</i>	37
<i>Ilustración 19 hidróxido de Sodio</i>	37
<i>Ilustración 20 Pesado de Fibra</i>	38
<i>Ilustración 21 Calentamiento de la mezcla al 5%</i>	38
<i>Ilustración 22 Lavado fibra con tratamiento</i>	39
<i>Ilustración 23 Secado de la fibra de guadua</i>	39
<i>Ilustración 24 Fibra sin tratamiento</i>	39
<i>Ilustración 25 Fibra con tratamiento de mercerizado al 5%</i>	40
<i>Ilustración 26 Mezcla de pellets de poliuretano y material de refuerzo</i>	41
<i>Ilustración 27 Inyectora de plástico</i>	41
<i>Ilustración 28 Valores para la temperatura del Cilindro</i>	42
<i>Ilustración 29 Material compuesto</i>	42
<i>Ilustración 30 Corte transversal</i>	42
<i>Ilustración 31 Proceso de pre Laminado (Calandrado)</i>	43
<i>Ilustración 32 Residuos del proceso de mezclado</i>	44
<i>Ilustración 33 Inyección Manual</i>	44
<i>Ilustración 34 Probetas inyectadas</i>	45
<i>Ilustración 37 Fresado probetas tracción</i>	47
<i>Ilustración 38 Dimensiones probetas de tracción</i>	47
<i>Ilustración 39 Fresado probetas ensayo de flexión</i>	48
<i>Ilustración 40 Dimensiones probeta ensayo de flexión</i>	48
<i>Ilustración 41 Curvas “fuerza vs desplazamiento “generadas durante el ensayo de tracción</i>	52

<i>Ilustración 42</i> Curvas “ Esfuerzo vs deformación “ generadas durante el ensayo de tracción _____	52
<i>Ilustración 43</i> Curvas “ Fuerzas vs Desplazamiento” obtenidas en el ensayo de flexión _____	54
<i>Ilustración 44</i> Curvas “Esfuerzo vs deformación “obtenidas en el ensayo de flexión. _____	55
<i>Ilustración 45</i> Propiedades físicas del péndulo implementado en la prueba _____	57

1 INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de nuevos materiales, los compuestos forman parte esencial en la consecución de nuevos campos de acción, donde la combinación de las propiedades de la fibra de refuerzo y la matriz son parte fundamental propiciando el estudio de nuevos materiales de refuerzo que generen mayor resistencia, disminuyendo del peso y bajando los costó de producción.

Dada las características mecánicas, físicas y químicas de las fibras naturales como la guadua y aspectos ambientales como su fácil obtención. Se realizó un estudio comparativo de las propiedades mecánicas de materiales reforzados con fibras cortas de guadua tratadas con procesos alcalinos para remoción de la lignina presente de forma natural en estas, transformadas en proceso de inyección para la obtención de especímenes los cuales fueron expuestos a pruebas de tracción, flexiona e impacto para general datos comparativos con respecto al material estándar utilizado.

2 ANTECEDENTES

2.1 PROPIEDADES DE ADHESIÓN (UNIÓN FIBRA- MATRIZ)

Las fibras naturales se han convertido en una posibilidad en el ámbito de los materiales compuestos, por esta razón en el 2003 se realiza el estudio por (HERRERA F,PJ y GONZÁLEZ V,A) que lleva por título “*Mechanical propoities of continuous natural fibre-reinforced polymer composites*” en este estudio se utilizaron fibras continuas encaminado a promover la unión fibra-matriz con agentes en proporciones adecuadas, sin embargo la utilización inadecuada de agentes para unión de estos componente arrojó que la resistencia o adhesión disminuía en proporciones considerables.[13.]

Las características mecánicas de las fibras de refuerzos en los materiales compuestos son parte fundamental de la resistencia mecánica del material a obtener. Con este argumento se realizó en 2005 el siguiente estudio dirigido por (GEETHAMMA,V ; KALAPRASAD,G;Y GROENINCKX, Gabrie) llevando como nombre” *Dynamic mechanical behavior of short coir fiber reinforced natural rubber composites*”. Con la finalidad de observar el comportamiento dinámico y la adhesión de las fibras cortas de coco como refuerzo en goma obtenida caucho natural, así mismo se estudió el comportamiento que tienen las fibras en la amortiguación de las fuerzas en los materiales compuestos. Obteniendo como resultado que los materiales que poseen problemas de adherencia interfacial tienden a disipar más energía que los materiales en donde esta adherencia es la adecuada.[11.]

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA GUADUA

Debido al cambio constante en la sociedad y a la búsqueda de nuevos materiales para suplir necesidad en diferentes áreas, el estudio de las fibras naturales como elemento de refuerzos en estos materiales se convierten en un campo atractivo para la obtención de elementos con características específicas. Por tal razón en el 2006 se realizó el estudio de (MORENO M,Luis;OSORIO S,Lina; Y TRUJILLO, Efraín. E) Titulado “*Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de guadua angustifolia*”. En este estudio se determinaron las propiedades mecánicas de los haces de guadua angustifolia mediante ensayo de tensión, teniendo en cuenta tres aspectos de las fibras como lo son: altura, espesor y edad del culmo. Obteniendo como resultado que los que los haces intermedios poseen la mayor resistencia a la tensión que las fibras más rígidas encontradas en la parte exterior de este elemento. También se pudo observar que la elongación promedio obtenida en estos haces es similar a las fibras utilizadas como elementos de refuerzos, volviéndose una alternativa en la búsqueda de materiales novedosos. [21.]

Los materiales tales como guadua, coco y sisal en algunos casos superan las propiedades del acero bajo ensayos destructivos, a causa de estos el estudio de las propiedades de estos elementos para obtener materiales con características particulares se ha convertido en una opción interesante en la búsqueda de nuevos materiales. Como el realizado en 2007 por (PALM, Sara; Y LINDHOLM, María) titulado” *Guadua chacoensis in Bolivia an investigation on mechanical properties of a bambo species*”. Tomando diferentes especies de bambú, las cuales fueron sometidas a ensayos para obtener información acerca de su módulo de elasticidad y otras características, arrojando que este material es un elemento con flexibilidad media que se puede

utilizar en construcciones de vivienda y puentes, gracias a su gran capacidad de absorber las vibraciones.[23.]

El estudio del comportamiento de la resistencia de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales de tipo agrícola se ha convertido en un campo atractivo para los investigadores. Por esta razón en el 2007 se desarrolló por (H,Savastono Jr; M, Radonjic; Y W.O,Sobeyejo) que lleva por nombre “fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites”. En el cual se analizó el crecimiento de grietas microestructurales por el método de microscopía, y por medio de espectroscopía se verificó la energía disipada. Evidenciando que los materiales compuestos reforzados con fibras naturales presentan un comportamiento favorable a los esfuerzos que corresponden a una fisura por fatiga estable, siendo considerados como material apto para la fabricación de viviendas por su resistencia.[2.]

En la búsqueda de elementos que puedan remplazar materiales tales como metales y fibras de refuerzos que son perjudiciales para el medio ambiente por producir polución al degradarse. En el 2009 se desarrolla la investigación de (LUCENA, Maria P; SUAREZ, Alejandro; Y ZAMUDIO, Ivonne) que lleva por nombre “*desarrollo de un material a base de fibras de bambu para aplicaciones aeronáuticas*” que se enfocó en la obtención de la fibra, ya que esta presenta un porcentaje de humedad elevado interfiriendo con la unión de fibra y la matriz. Es así que en este estudio se utilizó el método desarrollado en la provincia de Yunnan y Sicuan en china, donde las fibras no son manipuladas químicamente ni manualmente y las cuales son regidas por la norma ISO 9000 e ISO 14000. En el cual se pudo observar que las probetas que fueron reforzadas con estas fibras superaron las propiedades mecánicas de aluminio de aviación, pero para poderlas comparar con otros materiales como la fibra de carbono se deben realizar numerosas pruebas para obtener esta información.[19.]

El cambio constante en la ingeniería y el crecimiento en los diferentes campos de nuestra vida ha llevado a la consecución de nuevas tecnologías como materiales compuestos reforzados con fibras naturales a bajo costo y con materiales locales por este motivo en 2012 se realizó el estudio dirigido por (KUMAR, Pramendra ;SINGH, Inderdeep;Y MADAN, Jitendra) titulado “*tribological behavior or natural fiber reinforced PLA composites*”. Con la finalidad de reforzar biopolímeros termoplásticos con tres tipos de fibras naturales (nettle, rewia, optiva and sisal) obtenida con el proceso de laminación en caliente y los cuales fueron caracterizados bajo diferentes parámetros como velocidad, carga y distancia de deslizamiento. Arrojando como resultados que los materiales que fueron reforzados con estas fibras mejoraron el comportamiento al desgaste y el desgaste específico se redujo en un 70% en comparación con los elementos de matriz pura. [17.]

2.3 TIPOS DE FIBRAS

La innovación en el área de los materiales ha llevado al estudio de las diferentes variables que influyen en la interacción de materiales novedosos para suplir necesidades en forma eficiente. Por tal motivo en el 2012 se lleva a cabo por (A.S, Singha; y k, Rana) el estudio que lleva por nombre “*natural fiber reinforced polystyrene composites effects of fiber loading, fiber dimensions and modification on mechanical properties*”. Donde se explora la influencia que tienen la modificación de la superficie los refuerzos en el comportamiento mecánico de elemento a estudiar, variando el porcentaje en peso de la cantidad de refuerzos. Este estudio se pudo observar que el refuerzo con partículas arroja mejores resultados que el refuerzo con fibras cortas o largas. Adicional a esto se pudo obtener que los elementos reforzados con el 20% en peso de fibras optimizan las propiedades mecánicas del material. [1.]

Las propiedades de los materiales compuestos llevan al estudio de los elementos de refuerzos. La matriz trasmite a las fibras los esfuerzos a los cuales son sometidos estos materiales. El estudio realizado en 2012 liderado por (F.Z;Arrakhiz; M:El Achaby;M ,Malha; et al.) denominado “*Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites Doum/low density polyethylene*”. En este estudio se analizó la influencia de las hebras Doum tratadas superficialmente para limpiarlas y mejorar la adhesión en estos materiales, se realizaron diferentes pruebas variando la cantidad de fibras y matriz para obtener la composición adecuada para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y térmicas. En el cual se pudo percibir que los especímenes que tuvieron contacto con las fibras doum aumentaron significativamente sus propiedades mecánicas, pero en el análisis térmico se notó una disminución en las propiedades térmicas de elemento predominante (matriz) y la cristalinidad.[10.]

Los ensayos destructivos son herramientas que permiten obtener parámetros y características de materiales a analizar arrojando comportamientos bajo tensión compresión e impacto. Por esta razón en el 2012 motivó el estudio realizado por (XIANGMING ,Zhou ;HAMIDREZA,Ghaffar; et al). Que lleva como designación “*Fracture and impact properties of short discrete jute fibre-reinforced cementitious composites*”. El cual examino la resistencia al impacto que tienen las fibras cortas de yute en los materiales compuestos con matriz de cemento, esta prueba se realizó con probetas de dimensiones de 200x200x20 mm bajo el ensayo de péndulo y evaluados bajo el patrón de grietas. Como consecuencia los especímenes reforzadores con fibras naturales disipan de mejor forma la energía absorbida por este elemento al contacto con el péndulo, debido a que estas ondas son transmitidas de la matriz a las fibras.

2.4 ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y PROCESO DE MANUFACTURA

Los diferentes estudios realizados a los materiales compuestos, han dado la oportunidad de enfocarse en los aspectos que influyen en el comportamiento en la vida de trabajo estos materiales, por tal motivo el 2013 se realizó el estudio liderado por (SENTHIL K,K; SIVA,I; JEYARAJ,P; et al.) titulado “*sinergy of fiber length and content on free vibration and damping natural fiber reinforced polyester composite beams*”. El cual fue el resultado de múltiples experimentos, poniendo a prueba las características de vibración en las fibras corta de sisal (SFPC) y fibras cortas de plátano (BFPC) con matriz de poliéster, en las cuales se variaron el porcentaje, la longitud y la orientación. Concluyendo que los elementos reforzados con fibras de sisal poseen mayor capacidad de dispersión que las fibras de plátano y por consecuencia arrojando mejores características mecánicas de los materiales compuestos.[25.]

Las exposiciones de los materiales compuestos a ensayos destructivos permiten observar el comportamiento bajo compresión tensión e impacto de los materiales a estudiar, obteniendo características las cuales brindan información suficiente con la cual podemos decidir la aplicación de este material según sus características. Debido a este problema en 2012 se realizó el estudio dirigido por (RAMESH,M; PALANIKUMAR, K; y REDDY,Hemachandra) denominado “*Mechanical propety elaluation sisal-jute –glass reinforced polyester composites*”. En esta investigación analizó las propiedades interfaciales, formación y propagación de grietas y el comportamiento estructural de estos materiales el cual fue analizado por medio de microscopio de barrido. Como conclusión se obtuvo que los materiales reforzados con sisal aumentaron la resistencia en los ensayos de tracción e impacto con valores máximos de 229.54MPa y 18.67 julios respectivamente, mientras que los compuestos formados por yute presentaron mejor

comportamiento a la flexión obteniendo su valor máximo en 3KN con un desplazamiento de 14.2 mm. [24.]

La obtención de los materiales con refuerzos naturales en la mayoría de los casos se realiza de forma manual siendo un proceso complicado e ineficiente. Es así como en el 2013 se realizó el estudio dirigido por ((VALAREZO.J, Luis. E) Titulado “*Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzado con fibras naturales de guadua angustifolia proveniente del Ecuador*”. En este estudio se experimentó con diferentes procesos de manufactura, tipos de obtención de fibra y tipo de matriz polimérica. Obteniendo que el proceso más fiable para la obtención de las probetas es el proceso de inyección y extrusión, ya que en estos se evidencia una distribución de los haces de fibra y una correcta unión entre fibra y matriz.[28.]

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el cambio constante y desarrollo de la sociedad han implicado cambios en su estructura tecnológicas trayendo consigo evolución y desarrollo de nuevos materiales compuestos, este tipo de material reforzado o compositos se obtienen de la unión mecánica o física de diferentes elementos los cuales proporcionan mejoras en las propiedades de estos. [18.]

Se han documentado más de 1500 usos de esta planta desde la leña a las lámparas [18], desde la medicina, al veneno, desde los juguetes y la aviación. Teniendo en cuenta los estudios realizados a las fibras de guadua, se identificó que este material posee propiedades mecánicas muy altas las cuales incrementaran la resistencia de estos materiales variando su tamaño su orientación y la cantidad de las mismas.

En la producción y caracterización de este material compuesto se desea conocer la influencia que poseen los materiales fibrosos en las propiedades mecánicas del material compuesto, los cuales dependes de diferentes aspectos como lo son la relación fibra – matriz (composición), la cual variaremos hasta obtener la composición adecuada, el tipo de unión fibra – matriz, forma, orientación y longitud de las fibras. El proceso de manufactura es parte esencial para obtener nuestras probetas, por tal motivo en este proyecto se estudiará la influencia que tiene este en las propiedades mecánicas y la obtención del material. [22.]

4 JUSTIFICACIÓN

Conociendo de antemano estudios y proyectos de investigación que han analizado y caracterizado materiales compuestos reforzados con fibras naturales y los estudios realizados por medio de ensayos destructivos a fibras de guadua, se observa que las fibras reciben la tensión a la que se somete el material, debido a su módulo de elasticidad, adquiriendo propiedades mecánicas únicas que algunos casos superan las del acero y al ser comparadas con una lámina de metal normal, se percibir que los materiales compuestos de fibras naturales son menos sensibles a las vibraciones, los costos de ensamblaje son menores, se reduce el peso y además se puede lograr una superficie más lisa mediante el proceso de producción, bajando los riesgos toxicos para los operarios ya que las fibras no se volatilizan.[22]

Es así como para este proyecto de investigación se busca caracterizar por técnicas de ensayos destructivos (tensión, flexión e impacto) un material compuesto (matriz de poliuretano de baja densidad) reforzado con fibras naturales (guadua) que posea la resistencia química del poliuretano y las propiedades mecánicas que nos proporcionan las fibras naturales de guadua, y así analizar luego de este estudio la influencia de estas fibras en las propiedades de material y la importancia del proceso de manufactura, generando patrones comparativos con materiales similares en la industria y proporcionando un material de innovación y con el cual podremos suplir diferentes necesidades, las cuales con materiales con las mismas características serian costosas.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL.

Analizar mediante ensayos destructivos (tensión, flexión e impacto) el efecto que tienen las fibras naturales (guadua) y proceso de obtención de las probetas en las propiedades mecánicas del material compuesto

(Poliuretano de baja densidad -guadua)

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Examinar la relación existente entre fibras y matriz y la influencia de la temperatura del proceso de obtención (inyección) en las propiedades de adhesión material compuesto.

Analizar el comportamiento mecánico del material compuesto reforzado con fibras naturales bajo ensayos de tensión, flexión impacto.

Evaluar la influencia que tienen las fibras naturales y el proceso de manufactura en el mejoramiento de las propiedades mecánicas en el material polimérico.

6 MARCO CONCEPTUAL

- **Caracterización de materiales:** conjunto de pruebas y ensayos que nos dan información del comportamiento de un material bajo diferentes pruebas, datos que nos sirven para generar patrones del material a estudiar.
- **Dureza:** Oposición que ofrecen los materiales a ser penetrado[12.]
- **Inyección:** Proceso por el cual se inyecta polímeros en estado plástico o mezcla fundida con fibras cortas, disposición aleatoria y a alta presión [16.]
- **Maquinado:** Uso de herramientas con filos de diferentes formas, ejemplo torneado y fresado.
- **Materiales compuestos** Es el conjunto de materiales formados por diferentes elementos con una combinación dispuesta entre de dos o más constituyentes.[14.]
- **Matriz:** Material continuo en el cual se alojan las fibras y actúa como material de unión entre la fibra y la matriz. [14.]
- **Pellets:** material aportante de resina en estado reciclado o virgen el cual se suministra para ser fundido en diferentes procesos de manufactura. [7.]
- **Poliuretano:** Material polímero formado por cadenas orgánicas, él se fabrica mediante reacciones químicas en cadena de los monómeros. Este puede encontrarse en forma líquida o sólida[7.]
- **Refuerzo:** Material incorporado en fase discontinua, el cual nos proporciona un aumento en las características mecánicas del material resultante.[14.]

- **Relación de poisson:** Es la concentración transversal entre las diferentes capas en la dirección de la fuerza de estiramiento aplicada a este material.[12.]
- **Tracción:** Fuerza producida cuando el material es sometido a una carga que tiende a deformarlo.[6.]
- **Válvula de retención de flujo:** Este tipo de válvulas permite el flujo de material en un solo sentido, evitando que el material inyectado se devuelva y provoque daños de los componentes de la máquina.[16.]
- **Mercerizado:** Tratamiento químico superficial para remover impurezas y la lignina en las fibras.
- **Calandrado:** Proceso de manufactura para obtener laminas, utilizando el movimiento de rodillos en sentido opuesto.
- **Lignina:** Componente de origen natural que actúa como fijador celular entre las fibras de tipo leñosa.

7 MARCO LEGAR Y NORMATIVO

Designation: ASTM D 256 “Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of plastics: Describe el método o prueba de impacto para materiales plásticos, proporciona los parámetros a tener en cuenta de las probetas a utilizar. [4]

Designation ASTM D 3039M-08 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials: Describe el método de la prueba estándar de resistencia a la tracción en materiales plásticos, proporciona las características que deben tener los especímenes que van a ser utilizados en esta prueba (longitud, grosor y características que deben llevar estos). [6]

Designation: ASTM D7264M-07 “Standard Test Method for Flexure Matrix Composite Materials: Esta norma detalla las particularidades que tiene el ensayo de flexión en materiales plásticos, características de las probetas y normas que rigen la puesta en funcionamiento de este método. [9]

Designation ASTM E 11/95 Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes describe los requisitos para la construcción de tamices de tela de alambre para la clasificación de materiales de acuerdo al tamaño. [31]

8 MARCO TEÓRICO

8.1.1 Materiales Compuestos

Es el conjunto de materiales formados por diferentes elementos con una combinación dispuesta entre de dos o más constituyentes separadas una capa de otra, las cuales difieren entre ellas en forma, composición química y son esencialmente insolubles entre sí.

Este tipo de elementos se clasifican en función de la forma o la naturaleza de la fase dispersa en materiales compuestos reforzados con partículas, filamentos o fibras. La unión de la matriz y la fibra es parte esencial en la resistencia de estos compuestos, los cuales poseen mayor resistencia que los elementos que los componen por separados. Estas fibras reciben la fuerza que es transmitida por el material de la matriz y son las que toleran la mayor parte de las fuerzas aplicadas a estos materiales. [5.]

8.1.1.1 Tipos de materiales compuestos .

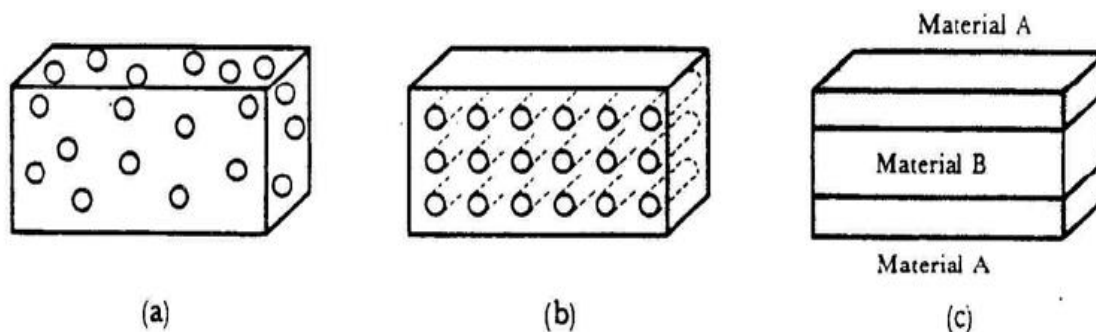
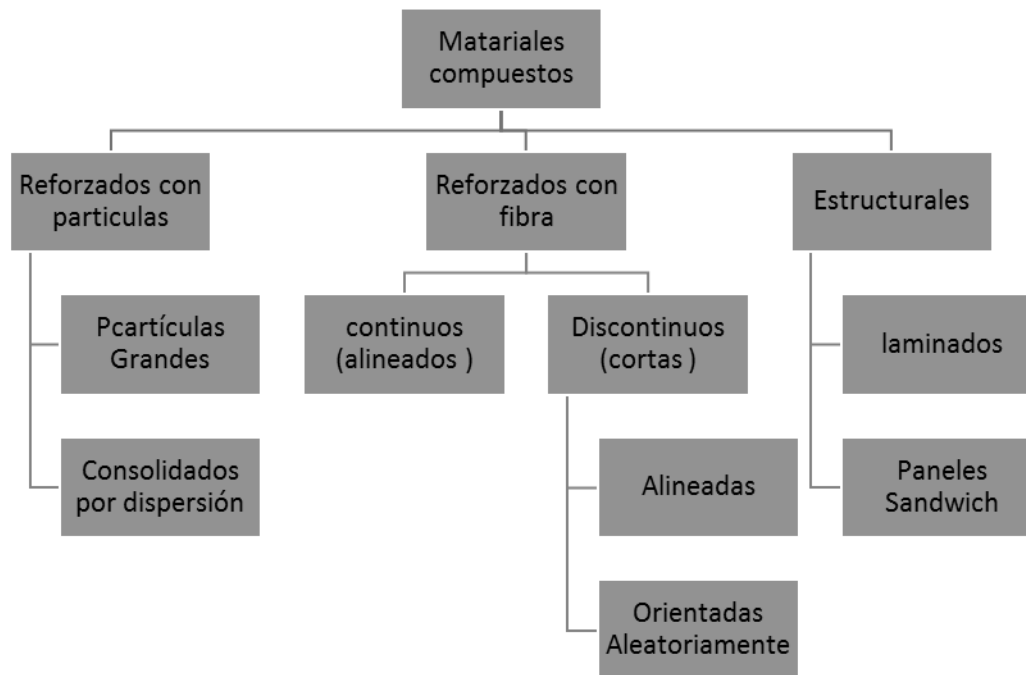


FIG. 13-1 Comparación de los tres tipos de materiales compuestos. (a) Con partículas, (b) reforzado con fibras, y (c) laminar.

Fuente:[12]

Los materiales compuestos se pueden clasificar de la siguiente manera. Como lo muestra la ilustración 1.

Ilustración 1 Clasificación material compuesto



Fuente autor del proyecto

Para este proyecto se utilizarán refuerzo con fibras cortas con orientación aleatorias, en la ilustración 2 podemos observar la resistencia de diferentes fibras comparadas con su rigidez.

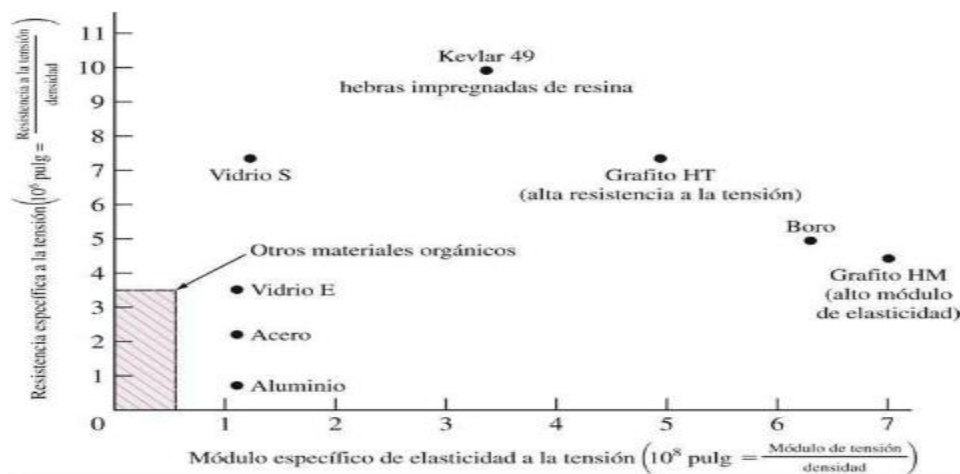


Ilustración 2 Comparación de rigidez y resistencia Fuente:[12]

8.1.2 FIBRAS NATURALES:

Este tipo de fibras han marcado un hito en la obtención de materiales compuestos en las últimas décadas, estas fibras son utilizadas en diversos materiales compuestos debido a sus grandes propiedades mecánicas, estas fibras son utilizadas como material de refuerzo obteniendo un incremento en el módulo elasticidad del material a obtener.

Este tipo de fibras o filamentos se reúnen en forma de hilos, hebras y mechas, una mecha contiene varios cientos o más de cien filamentos sin retorcer, en los hilos se retuercen aproximadamente 10.000 filamentos los cuales son necesarios para producir una fibra. [27.]

8.1.3 Calsificacion fibras naturales.

Tabla 1 Clasificación de las fibras Naturales

CLASIFICACION DE LAS FIBRAS NATURALES										
DE ORIGEN ANIMAL	De glándulas Sedosas	Seda	Un filamento de seda es un hilo continuo de gran fuerza tensora que mide entre 500 y 1 500 metros de longitud, con un diámetro de 10 a 13 micras..							
	De folículo piloso	Lana	<table border="1"> <tr> <td>Pura lana virgen</td> <td rowspan="6">La lana tiene un ondulado natural y patrones de escala que la hacen fácil de hilar. Las telas hechas de lana tienen mayor grosor que otros textiles,.</td> </tr> <tr> <td>Rica lana virgen</td> </tr> <tr> <td>Lana regenerada</td> </tr> <tr> <td>Lana peinada</td> </tr> <tr> <td>Lana cardada</td> </tr> <tr> <td>Lana clorada</td> </tr> </table>	Pura lana virgen	La lana tiene un ondulado natural y patrones de escala que la hacen fácil de hilar. Las telas hechas de lana tienen mayor grosor que otros textiles,.	Rica lana virgen	Lana regenerada	Lana peinada	Lana cardada	Lana clorada
Pura lana virgen	La lana tiene un ondulado natural y patrones de escala que la hacen fácil de hilar. Las telas hechas de lana tienen mayor grosor que otros textiles,.									
Rica lana virgen										
Lana regenerada										
Lana peinada										
Lana cardada										
Lana clorada										

		Pelo	Alpaca	La fibra de alpaca es parcialmente hueca, de 20 a 70 micras en diámetro y viene en 22 colores naturales. Es ligera, más fuerte que la lana de oveja y provee excelente aislamiento..
			Angora	El sedoso pelo blanco del angora es una fibra hueca clasificada como lana. Con un diámetro de 14 a 16 micras, es una de las fibras animales más sedosas.
			Camello	La fina fibra que cae de un camello Bactriano, tiene un promedio de cerca de 20 micras de diámetro y su longitud varía de 2.5 a 12.5 cm.
			Cachemira	Tiene un rizado natural, que permite que sea hilada en finos tejidos ligeros..
			Yak	El diámetro del yak está entre las 23 micras en la primera esquila hasta las 38 micras en los animales más viejos. Luminosa y aislante, su fuerza de tensión es significativamente más alta que aquella de la lana de merino.
DE ORIGEN VEGETAL	De semilla	Algodón	El algodón es casi celulosa pura, con suavidad y permeabilidad al aire que lo han hecho la fibra natural más popular del mundo..	
	De tallo	Lino	Como el algodón, la fibra de lino es un polímero de celulosa, pero su estructura es más cristalina haciéndola más fuerte, rizada y rígida para manejar	
		Cáñamo	Largas, fuertes y durables, las fibras de cáñamo son cerca del 70% de celulosa y contienen bajos niveles de lignina (alrededor de 8 a 10%). El diámetro de la fibra está entre 16 y 50 micras.	
		Yute	Llamada la "fibra dorada", el yute es largo, suave y brillante, con una longitud de 1 a 4 metros y un diámetro de entre 17 a 20 micras.	

		Ramio	La fibra de ramio es blanca con un brillo sedoso, similar al lino en absorción y densidad, pero más basta (25 a 30 micras).
	De hoja	Abacá	Abacá es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%.
		Pastos y Juncos	Trigo, Avena ,Cebada ,Arroz, Bagazo, Caña, Maíz *centeno, Colza, Esparto, Bambú, Pasto elefante y Pasto

Ilustración 3. Fuente Actualidad y Futuro de la Arquitectura de bambu en Colombia (OSCAR, 2003)

Uno de los aspectos importantes en los materiales reforzados con fibra en su orientación, la ilustración 4 nos permite identificar el esfuerzo aplicados a estos materiales con respecto a la orientación de sus fibras.

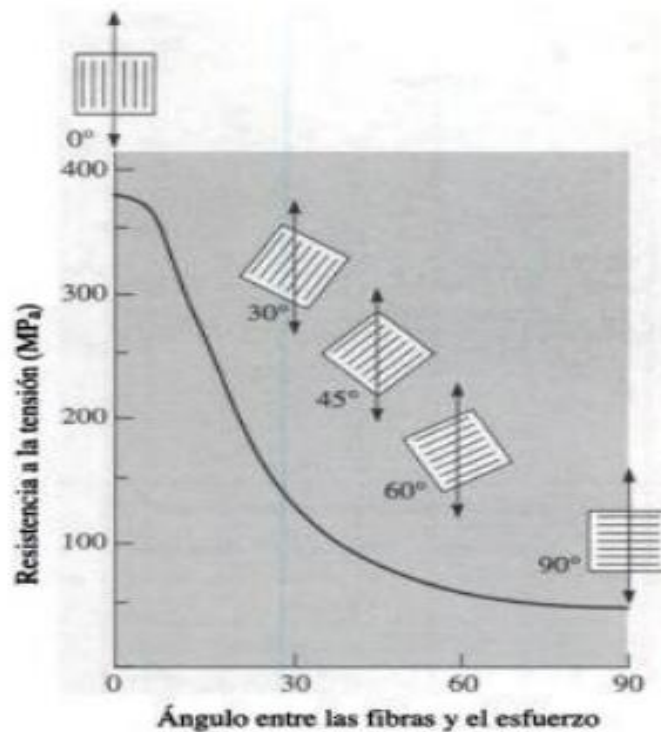


Ilustración 3 Ángulo de las fibras efecto de orientación de las fibras [1]

8.1.4 Ensayos destructivos:

Los ensayos destructivos son pruebas a las cuales son sometidas diferentes materiales para verificar las propiedades de estos, como dureza, resistencia mecánica, ductilidad y tenacidad, esto con el fin de examinar la calidad de dicho material y así aprovechar al máximo sus características y hacer un correcto manejo en los diferentes procesos que se requiera. Estos ensayos muestran las proporciones del desempeño de los materiales en distintas situaciones. [26.]

8.1.4.1 Ensayo de Impacto Charpy.

Este ensayo destructivo es utilizado para conocer la resistencia a la rotura por coque provocada por oscilación de un péndulo normalizado montado en una máquina estandarizada. Este tipo de ensayo aconseja que las probetas posean una muesca realizada por el proceso de fresado, para así garantizar que las concentraciones de tensiones hagan fallar al material por su parte más dúctil.

En este ensayo se puede observar la energía absorbida por las probetas en términos de su ancho. [4] como lo muestra la ilustración 5.

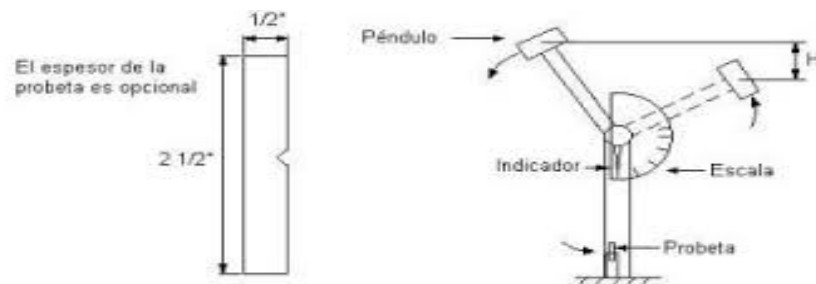


Ilustración 4 Dimensiones de la muesca y probeta [4]

En este ensayo las máquinas han sido estandarizadas y debe cumplir ciertos requisitos para asegurar la precisión en cada prueba entre ellas podemos encontrar la altura en la cual se soltará el péndulo, resultando en una velocidad fija del martillo al hacer contacto con la probeta.

Además, los fabricantes pueden utilizar diferentes tipos de longitudes y diferentes tipos de rigidez para sus péndulos.[4.]

8.1.4.2 Ensayo de Tracción de los Plásticos:

Con este ensayo podemos precisar las propiedades a la tracción de los diferentes plásticos, ya sea con matriz de refuerzo o sin ella. En esta prueba se pueden utilizar todo tipo de materiales con espesores menores de 14mm (0.55pulgadas), sin embargo, para láminas delgadas de menos de 1,0mm (0.04pulgadas) se recomienda utilizar el ensayo ASTM 3039M-08 para garantizar un resultado adecuado como la relación de poisson a temperatura ambiente. [8.]

Esta prueba es proyectada para arrojar información acerca de las características y comportamiento de los diferentes plásticos sometidos a tracción. Esta información puede variar con la velocidad y en entorno en el cual se realiza la prueba, en todos los casos se debe garantizar que todas pruebas sean preparadas correctamente.

La velocidad de estas pruebas es la velocidad de las mordazas o elementos de sujeción utilizados para este ensayo, esta velocidad se determina por medios de tablas y con especificaciones del material a utilizar. Cuando la velocidad de la prueba no se especifica esta debe ser la más baja mostrada en las tablas según las especificaciones geométricas de la probeta.

8.1.4.3 Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos

reforzados:

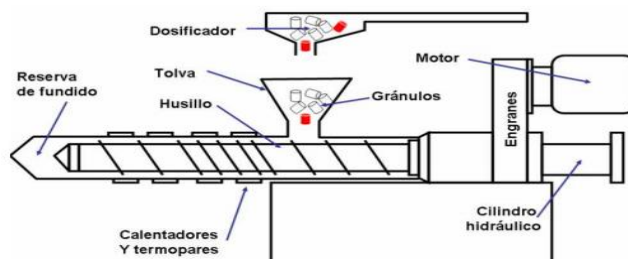
Este ensayo permite conocer las características y propiedades de los plásticos con matriz reforzada o sin ella bajo cargas a flexión, este tipo de ensayo se pueden aplicar a materiales rígidos y semirrígidos. Para este tipo de ensayo se utilizan sistemas de tres cargas y para cargas de cuatro puntos se recomiendan utilizar la prueba.[9.]

La información arrojada por este ensayo muestra el funcionamiento de estos materiales en la parte superficial de la probeta bajo cargas a flexión. Al confrontarlo con el ensayo de tracción esta muestra que la superficie en este ensayo es 4 veces la longitud que las proporcionadas en el ensayo de tracción.

8.1.5 INYECCIÓN

Este proceso de manufactura consiste en alojar gránulos de diferentes materiales en un cilindro el cuales se calienta y lleva el material hasta su punto de fluencia. El tornillo sin fin ubicado en el interior de este cilindro inyecta a presión el material a un molde de acero el cual le dará la forma deseada. El proceso de manufactura utilizado en este proyecto fue la inyección, el cual cuenta con diferentes componentes mostrados en la ilustración 6.

Ilustración 5 Proceso de Inyección



Fuente: [16]

Ciclos del Proceso de Inyección.

Los pellets son acumulados en la parte posterior del buje de bebedero, por medio de presión el tornillo alternativo es movido hacia atrás. Cuando la cantidad de materia es la adecuada el movimiento de este se detiene.

Al verificar que el molde se encuentra en posición y listo el tornillo comienza su movimiento hacia delante el cual es realizado por medio de la presión hidráulica del pistón, llenando como material el molde, bebedero y el buje. Cuando este proceso finaliza el tornillo alternante gira nuevamente para así comenzar el proceso de acumulación de material.

Por último, cuando el polímero utilizado se enfría o solidifica el molde se abre y los pernos de extracción sueltan el molde. [16.]

Este proceso tiene un alto rendimiento debido a su alta productividad, ya que nos permite agregar insertos a diferentes polímeros, las tolerancias de este proceso permiten modelar pequeñas piezas con gran precisión al mismo tiempo nos permite reutilizar los desechos y residuos del material utilizado.

8.1.6 Calandrado

El calandrado es un proceso de manufactura donde se transforman polímeros para la obtención de láminas con espesores reducidos, este proceso consiste en hacer pasar el material por un juego de rodillos dispuestos en configuración en paralelo, arrojando laminas con características predeterminadas en el cilindro de calibración. [34]

8.1.6.1 Fases del proceso de calandrado.

Mezcla: Se determina el tipo de lámina que se va a producir.

Alimentación: teniendo el porcentaje a utilizar seleccionado, son depositados en la tolva del equipo para realizar la producción.

Control de temperatura: este proceso depende del tipo de material utilizado para la obtención de las láminas.

8.1.7 GUADUA

Este tipo de planta se da en estado natural en Colombia, Ecuador y Venezuela conocidas comúnmente como “**guadales**”, concentrándose principalmente en la región andina ubicadas por debajo de los 2000 metros sobre el nivel del mar, observando que su crecimiento se da en las orillas de ríos quebradas, bosques medios y valles interandinos. [33]

En Colombia estos cultivos han florecido de manera óptima en zonas como el eje cafetero, convirtiéndose en una alternativa para la región, la ilustración 7 se observan guadales en el centro nacional del bambú.



Ilustración 6 Guadales Fuente: Cultivo de guadua centro nacional del bambú

las condiciones ambientales son parte esencial en el crecimiento de los guaduales, la tabla 2 arroja condiciones para el crecimiento de estas.

Tabla 2 Características ambientales para el crecimiento de la guadua.

Características	Valor
Región central de los andes	500 y 1500 metros sobre el nivel del mar.
Temperatura °C	17 y 26
Precipitación (mm/año)	2500
Humedad relativa	80 % y 90%
Tipo de suelo	Ricos en cenizas volcánicas con fertilidad moderada

Fuente [28]

La guadua angustifolia es la especie más utilizada en Colombia, siendo la construcción su principal área de aplicación. La especie bambusea morfológicamente pertenece a las plantas leñosas las cuales se clasifican de la siguiente manera, mostrada en la ilustración 8.

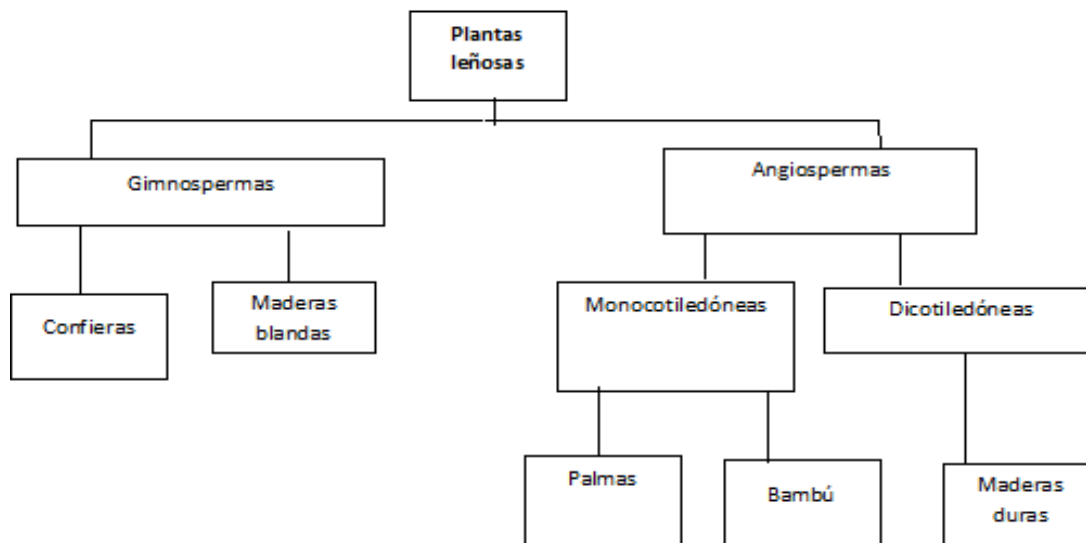


Ilustración 7 Clasificación plantas leñosas Fuente :(Kumar y C.B. Sastry , 2011)

la guadua en las condiciones adecuadas alcanza alturas de 20 metros, pero esta longitud no es utilizada en su totalidad en su gran mayoría la basa y la cepa son utilizadas en la construcción y la copa se utiliza como material orgánico en los guaduales, la ilustración 9 presenta las partes y utilidad.

PARTES DE UNA QUADUA		
DESCRIPCIÓN		UTILIZACIÓN
COPA Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.	20 m. 2 m.	Se repica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.
YARILLON Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	10 m. 3 m.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
ESCORIBASA Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	10 m. 4 m.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formaletear planchas y como postes de espalderes en cultivos.
BASA Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	11 m. 8 m.	De esta sección se elabora generalmente la esterilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaletear planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
CEPA Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	3 m. 3 m.	Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.
RIZOMA Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "camán"	0 m. -2 m.	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Ilustración 8 Partes de una guadua Fuente:[33]

8.1.7.1 Propiedades Físicas y Mecánicas.

Esta especie es considerada el “**acero natural**” por sus características bajo la acción de fuerzas externas. Gracias a su gran versatilidad, muy bajo peso y el económico desarrollo de las plantaciones se ha convertido en una nueva opción para el desarrollo de las regiones.

En la ilustración 10 se presentan valores calculados para especímenes de guadua bajo los parámetros establecidos por el instituto colombiano de normas técnicas y certificación **ICONTEC** y las normas American Society for Testing and Materials **ASTM**.

Características mecánicas de la Guadua

Unidades en kg/cm ²	Módulo de elasticidad a tracción	Módulo de elasticidad a compresión	Módulo de elasticidad a flexión
MATERIAL			
Guadua	190.000	184.000	179.000
Otras maderas	Entre 90.000 y 180.000	Entre 96.000 y 169.000	Entre 108.000 y 128.000

En el caso del bambú, las propiedades mecánicas dependen de las características físicas del material que en particular sea utilizado construcción y no corresponden a valores absolutos o comparables con otras muestras, ya que las condiciones varían notablemente. Estos gráficos corresponden sólo a un esquema comparativo general ya que casi siempre, para un mismo material sus resistencias pueden variar.

Unidades en kg/cm ²	Resistencia a Tracción	Resistencia a Compresión		Resistencia a Flexión
		Perpendicular a la fibra	Paralelo a la fibra	
MATERIAL				
Guadua	430	560	650	740
Aliso	108	68	357	460
Arboloco	Entre 500 y 1500	132	405	390
Otras maderas	1.000	Entre 50 y 144	400	Entre 500 y 720

Ilustración 9 Características mecánicas de la Guadua Fuente (OSCAR, 2003)

9 MARCO METODOLÓGICO

9.1 METODOLOGÍA

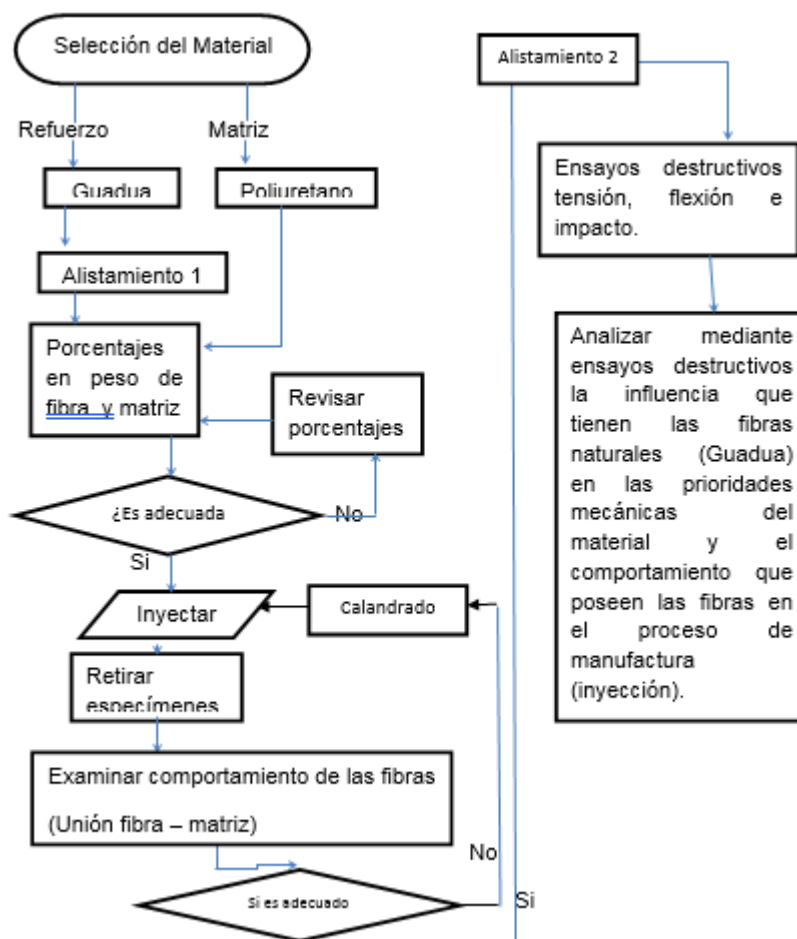


Ilustración 10 Secuencia para alcanzar los objetivos

Recopilación de bibliografía: Se hace necesario iniciar con una investigación que tomará en principios los campos de interés en los que está enfocado el proyecto con el fin de adquirir un conocimiento detallado del tema a investigar, en esta etapa se tendrá en cuenta los antecedentes, los métodos y presupuesto necesario para el proyecto.

Alistamiento 1: En este paso se realizará el corte de las fibras en las dimensiones obtenidas de los antecedentes anteriormente analizados. Se realiza su debido curado por el método de

mercerización con hidróxido de sodio en el porcentaje adecuado para mejorar la unión entre fibra y matriz.

Examinar comportamiento fibra- matriz: En esta etapa se realizará una examinación con microscopio para asegurar que los porcentajes fibra- matriz sea adecuada y así obtener los mejores resultados posibles.

Alistamiento 2: En este proceso se realizará en laboratorios de herramientas la preparación de las probetas (dimensiones y características) para realizar los ensayos destructivos con los cuales caracterizaremos el material compuesto.

9.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO

9.3 MÉTODO UTILIZADO

El método a utilizar en este proyecto es el diseño experimental 2^k debido a que es óptimo para estudiar simultáneamente el efecto de varios factores sobre la respuesta y sus interacciones, además su eficacia, facilidad y campo de acción permiten tener resultados acordes al proceso. [20.]

9.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA INVESTIGACIÓN

9.4.1 Variables independientes

- Cantidad de material de refuerzo (guadua), son las que definirán el comportamiento del material compuesto bajo ensayos destructivos.
- Tamaño de las fibras de refuerzos, están permitirán realizar la inyección del material, y así un mejor proceso de adhesión fibra matriz.

9.4.2 Variables dependientes

- Temperatura de inyección de material compuesto.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a la tracción.
- Resistencia a la flexión.

Para determinar el número de réplicas en un diseño experimental factorial se puede emplear las curvas de operación característica, encontrando un parámetro de no centralidad en función del número de repeticiones por medio de la diferencia especificada entre medias.

$$\Phi^2 = \frac{naD^2}{2b\sigma^2}$$

Ecuación 1 Parámetros de no centralidad

Dónde:

Φ : Cantidad relacionada con el parámetro de no centralidad.

σ : Desviación estándar.

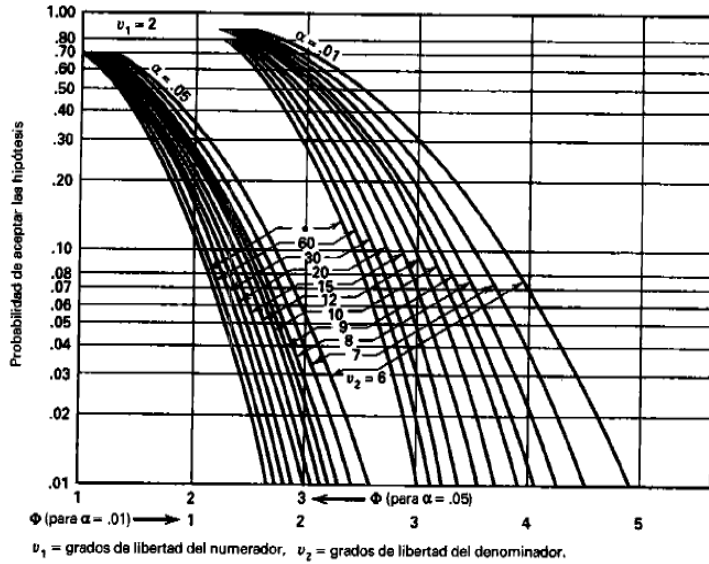
D: Diferencia en las medias.

a: Grados de libertad numerador

b: Grados de libertad denominador

n: Número de repeticiones.

En la ilustración 47 podemos observar los parámetros operaciones obtenidos para nuestro proyecto los cuales fueron consignados en la tabla 13.



“Adaptada con permiso de *Biometrika Tables for Statisticians*, vol. 2, E.S. Pearson y H.O. Hartley, Cambridge University Press, Cambridge

Ilustración 11 Curva característica de operación. Apéndice V [35]

Tabla 3 Parámetros de operación de la curva característica. Apéndice V

Factor	V1: Grados De Libertad Del Numerador	V2: Grados De Libertad Del Denominador
A	a-1	ab(n-1)
B	b-1	ab(n-1)

Para este proceso se tomarán datos del estudio realizado por VALAREZO.J, Luis. E. Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzado con fibras naturales de guadua angustifolia proveniente del Ecuador, realizado en 2013 en el cual se presentaron materiales reforzados con fibras cortas y variando el porcentaje de estas para obtener la mezcla adecuada, arrojando los siguientes datos necesarios para realizar este diseño.

$$([28.]a=3(\text{grados de libertad})-1=2$$

$$b=3(\text{grados de libertad})-1=2$$

D: 3.7mm

$$\sigma=2.58$$

$$\emptyset^2 = \frac{nbD^2}{2a\sigma^2}$$

$$\emptyset^2 = \frac{n * 2 * 3.7^2}{2 * 2 * 2.58^2}$$

$$\emptyset^2 = 1.024n$$

Con un $\emptyset^2 = 1.024n$ y un $\alpha=0.05$ (probabilidad de rechazar la hipótesis verdadera) se obtienen los valores de n mostrados en la tabla 14

n	\emptyset^2	\emptyset	V1:grados de libertad del numerador	V2: grados de libertad del denominador	β
2	2.048	1.43	2	9	0.65
3	3.072	1.75	2	18	0.28
4	4.096	2.02	2	27	0.15
5	5.12	2.26	2	36	0.065

Tabla 14 Numero de repeticiones fuente : [35]

Para obtener una probabilidad de rechazar la hipótesis nula del 94% y teniendo la probabilidad de no rechazar la hipótesis nula. (β) del 6% se determina que con 5 repeticiones será satisfactorio el resultado obtenido.

Con las variables involucradas definidas ahora se involucra el diseño factorial 2^k determinado con el número de repeticiones para determinar el número de probetas necesarias.

$$\text{Numero de probetas} = 2^k n$$

Donde **k** son los parámetros y **n** el número de repeticiones

$$\text{Numero de probetas} = 2^2 \times 5 = 20$$

10 OBTENCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES

10.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se precisará el método experimental que se llevó a cabo para obtener un material compuesto matriz de poliuretano reforzado con fibras naturales cortas de guadua, para ser caracterizado bajo ensayos destructivos, este proceso se realizó en los laboratorios de la Universidad Libre y la Universidad Nacional de Colombia.

10.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE GUADUA.

El proceso de extracción de la fibra inicio con la recolección de la materia prima la cual viene proveniente de la región de eje cafetero, en este paso se utilizaron especímenes de 6 a 9 meses de edad con diámetros de 12 cm de ancho, las cuales fueron pasadas por un proceso de trapichado para obtener esterillas de guadua como lo muestra la ilustración 11, luego se realiza una limpieza de la epidermis para obtener una fibra de mejor calidad como se observa ilustración 12 .[3]



Ilustración 12 Fibra de guadua trapichada

Fuente: Autor del proyecto



Ilustración 13 Fibra con limpieza de epidermis

Fuente: Autor del proyecto

Para el siguiente paso se procede a obtener listones de guadua mostrado en la ilustración 13.



Ilustración 14 Listón de guadua Fuente : Autor del proyecto

10.2.1 TRITURADO DE LA FIBRA DE GUADUA

Para este proceso los listones de guadua son depositados en un recipiente con agua, por tiempo de 24 horas o más, para garantizar que a estos se les pueda retirar la parte exterior y poder obtener fibras de mejor calidad. [3] La ilustración 14 nos permite percibir el proceso de extracción de la parte exterior de los listones de guadua.



Ilustración 15 Listones de guadua en proceso de extracción de la parte exterior Fuente: Autor del proyecto

Cumplido el tiempo de las 24 horas se procedo a retirar la parte exterior de la guadua, con un objeto corto punzante como lo muestra la ilustración.



Fuente autor del proyecto

En el proceso de trituración de la fibra se empleó una sierra de disco la cual fue aptada para realizar cortes de 4mm a 5 mm de longitud como lo evidencia la ilustración 15, el residuo obtenido en este proceso fue utilizado para obtener el material compuesto, como lo muestra la ilustración 16.



Ilustración 16 Sierra de disco Fuente: autor del proyecto



Ilustración 17 Residuo de Guadua triturada Fuente autor del proyecto

10.2.2 PROCESO DE SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA FIBRA

Las fibras obtenidas en el proceso de triturado son sometidas a un tamizado manual cumpliendo con la norma ASTM -E11/95 para obtener el tamaño y diámetro indicado para la obtención del material compuesto. [31]

El primer paso es hacer pasar la viruta obtenida por una malla de apertura grande para sacar las partes que puedan interferir con el proceso, paso seguido el residuo pasa por una malla N° 35 y N° 45 obteniendo fibras con diámetros de 0.5 mm y 0.355 como lo indica la norma. Obteniendo fibras con diámetros promedios de 0.3 mm y longitud de 4mm a 5mm, garantizando que el material compuesto cumpla los requerimientos de estudios realizados anteriormente. [31] La siguiente secuencia nos exhibe el proceso de tamizado de las fibras naturales, como se puede observar en la ilustración 17.

Tamizado manual de las fibras



Tamizado malla N°35



Tamizado malla N°45



Ilustración 18 Tamizado de Fibras Fuente: Autor del proyecto

El diámetro promedio obtenido en el proceso de tamizado es de 3mm y longitud 4mm a 5 mm observado en la ilustración 18.



Ilustración 19 Características de las Fibras de Guadua. Fuente Autor del proyecto

10.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) AL 5%.

Este proceso se realiza principalmente para eliminar grasas, aceites y lignina de procedencia natural que nos impiden realizar un proceso de adhesión entre la fibra de refuerzo y la matriz, en este proyecto se realiza un proceso alcalino con hidróxido de sodio (NaOH), en concentración del 5 %, eliminando impurezas superficiales.

FASES DEL TRATAMIENTO DE MERCERIZADO

En este tratamiento se utilizó los residuos alojados en la malla N°45 según la norma ASTM 11/95.

Para preparar la mezcla al 5%, se emplearon 50 gr de hidróxido de sodio (NaOH) diluido en 1000ml de agua destilada en un vaso precipitado, los cuales son mezclados por un agitador manteniendo una temperatura promedio de 30 °C. Contemplado en la ilustración 19. [34]

Hidróxido de sodio



Agua destilada

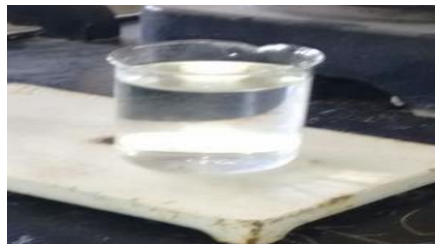


Ilustración 20 hidróxido de Sodio Fuente: Autor del proyecto

El material triturado de guadua obtenido fue pesado, obteniendo 60 gr de guadua utilizando una balanza electrónica para mantener una precisión adecuada ilustración 20.



Ilustración 21 Pesado de Fibra Fuente: Autor del proyecto

Este contenido fue vertido en un vaso precipitado para realizar el tratamiento de mercerizado al 5 %, con un agitado de vidrio la mezcla fue revuelta alrededor de 30 minutos garantizando que todas las fibras recibieran el tratamiento de igual forma, en la ilustración 21 se pueden observar los elementos empleados en este proceso.

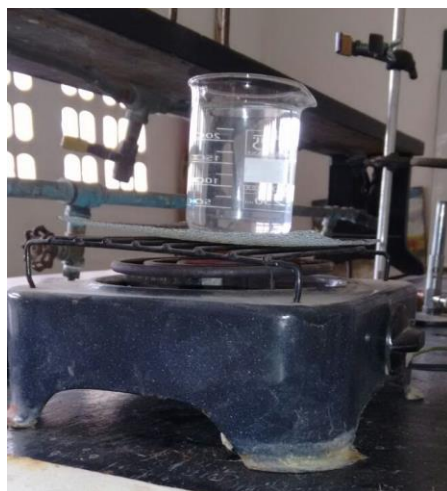


Ilustración 22 Calentamiento de la mezcla al 5% Fuente: Autor del proyecto

Después de realizar el tratamiento superficial a las fibras esta fueron lavadas con agua destilada con pH neutro, utilizando un filtro de papel para extraer en su totalidad las impurezas alojadas en ellas. [34]. La ilustración 22 se percibe el tipo de filtro utilizado para la remoción de exceso de mercerizado.



Ilustración 23 Lavado fibra con tratamiento Fuente: Autor del proyecto

Luego las fibras fueron colocadas en una bandeja para realizar el secado de las mismas, este proceso se realizó en un horno challenger eléctrico esterilizado a una temperatura de 205°C, por un tiempo aproximado de dos horas. Obteniendo una fibra seca como lo muestra la ilustración 23.



Ilustración 24 Secado de la fibra de guadua Fuente autor del proyecto

En las siguientes ilustraciones 24 y 25 respectivamente podemos percibir el resultado del tratamiento superficial para la remoción de la lignina e impurezas presentes en las fibras de forma natural.



Ilustración 25 Fibra sin tratamiento Fuente autor del proyecto



Ilustración 26 Fibra con tratamiento de mercerizado al 5% Fuente: Autor del proyecto

10.4 PROCESO DE MANUFACTURA

En este proyecto el proceso de manufactura seleccionado es el proceso de inyección con el fin de obtener probetas experimentales de material compuesto de matriz polimérica (poliuretano) reforzado con fibras cortas de guadua, con tratamiento alcalino de hidróxido de sodio (NaOH) al 5%.

Se ha decidido realizar una prueba piloto para ver el comportamiento del material bajo el proceso de manufactura seleccionado. A continuación, podemos observar el proceso experimental para la obtención del material compuesto. El mezclado de la matriz y el material de refuerzo es el primer paso para obtener el material deseado., la ilustración 26 nos muestra el proceso de mezclado de estos materiales.



Ilustración 27 Mezcla de pellets de poliuretano y material de refuerzo. Fuente: Autor del proyecto

El proceso de obtención de las probetas piloto por el método de inyección consistió en el vertimiento de la mezcla de poliuretano y fibra en la tolva de la inyectora, pasando por el cilindro y una boquilla, las cuales se mantiene bajo temperatura estable para garantizar la calidad de misma. Este proceso se realizó en una inyectora automática ilustración 27 y con los siguientes parámetros. [32]



Ilustración 28 Inyectora de plástico Fuente :[32]

Los parámetros de producción para el material compuesto forman parte esencial, siendo la temperatura una de las preocupaciones para este proyecto. En la ilustración 28 se divisan los valores de temperatura del cilindro y la tabla 3 arroja los datos utilizados para la obtención del material compuesto.

Valores para las temperaturas del cilindro en °C		
Dureza Shore	Temperatura cilindro	Temperatura boquilla
60 A-80 A	170-210	200-210
85 A-95 A	190-220	210-225
98 A-74 D	210-230	220-240

Ilustración 29 Valores para la temperatura del Cilindro Fuente :[7]

Tabla 4 Parámetros para la inyección de poliuretano

Parámetros	Valor
Presión de inyección (Bar)	502.03
Tiempo promedio de plastificación (s)	10
Velocidad promedio de inyección (mm/s)	211
Fuerza para abrir el molde (KN)	18.98
Perfil de temperatura °C	170-178

Fuente: Autor del proyector

Obteniendo como resultado el material compuesto que veremos en la siguiente ilustración 29.



Ilustración 30 Material compuesto Fuente: Autor del proyecto

El material obtenido es sometido a un corte en su parte transversal. con el fin, de verificar que este tenga una homogeneidad en su totalidad como se puede percibir en la ilustración 30.



Ilustración 31 Corte transversal Fuente: Autor del proyecto

Con los resultados obtenidos en el paso anterior podemos observar que el comportamiento del material compuesto bajo el proceso de manufactura no es el adecuado. Por tal razón, se decide

realizar un proceso previo de pre laminado para obtener una distribución adecuada de la mezcla fibra (guadua) matriz(poliuretano), esto con el propósito de mejorar el proceso de producción de las probetas.

10.4.1 PRE LAMINADO DE PASTICO.

Este proceso se basa en pasar el material por una serie de rodillos a presión que se utiliza para formar una hoja de la materia lisa. Colocando la cantidad de material requerido, en nuestro caso se realizaron dos procesos uno con el 5% y otro con el 10 % de material de refuerzo. Este proceso se realizó bajo los siguientes parámetros. [35]



Ilustración 32 Proceso de pre Laminado (Calandrado) Fuente: Autor del proyecto

Con la intención de obtener una mezcla uniforme, este proceso se realizó utilizando los siguientes parámetros de temperatura, velocidad y distancia entre rodillos que permitieron la formación de la mezcla adecuada, en la tabla 4 se observan los parámetros empleados para este proceso.

Tabla 5 Parámetros Proceso de Calandrado.

Parámetros	Valor
Temperatura (°C)	190
Velocidad en(rpm)	50
Distancia entre rodillos (mm)	7

Fuente Autor del proyecto

Luego de realizar este proceso los residuos que se depositan en los rodillos, son separados de estos con una espátula. obteniendo una mezcla más homogénea la cual será utilizada para la inyección de las probetas a fallar mostrado en la ilustración 32.



Ilustración 33 Residuos del proceso de mezclado Fuente: Autor del proyecto

10.4.2 PROCESO DE INYECCIÓN MANUAL

Par la obtención de las probetas finales, se utilizó el proceso de manufactura de inyección manual debido los diferentes problemas encontrados en el proceso, lo descrito anteriormente se persive en la ilustración 33.

Inyectora manual



Ilustración 34 Inyección Manual fuente [32]

Para este paso se realizó el depósito de materia prima obtenida después del proceso de premezcla, en la tolva de la inyectora a una temperatura de 190°C. con un tiempo de aproximado de

15 minutos de producción, 10 minutos para alcanzar la temperatura deseada para este proceso y 5 minutos por producción de probetas. [32]

Al realizar este procedimiento se obtuvo especímenes con sobredimensionamiento, las cuales se normalizaron bajo norma ASTM, para cumplir con los requerimientos de los ensayos a realizar expuestos en la ilustración 34.



Ilustración 35 Probetas inyectadas Fuente: Autor del proyecto

10.5 NORMALIZACIÓN DE LAS PROBETAS

En este proyecto de grado se utilizaron dos moldes para la inyección manual de material compuesto, los cuales se dejaron con sobredimensionamiento. Esto con el fin, de llevar los especímenes a fresado y así obtener nuestras probetas para impacto, flexión y tracción bajo los estándares de la norma ASTM.

10.5.1 Probetas para impacto

Este ensayo se realiza bajo los estándares de la norma ASTM D 256 “**Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of plastics**”. El péndulo para este procedimiento fue previamente estandarizado, cumpliendo con requerimientos dictados por esta norma como altura fija. [4]

Las probetas para este ensayo fueron normalizadas bajo los parámetros expuestos en la ilustración 35, obteniendo como resulta especímenes con condiciones óptimas para la realización de este ensayo las cuales podemos verificar en la ilustración 36.

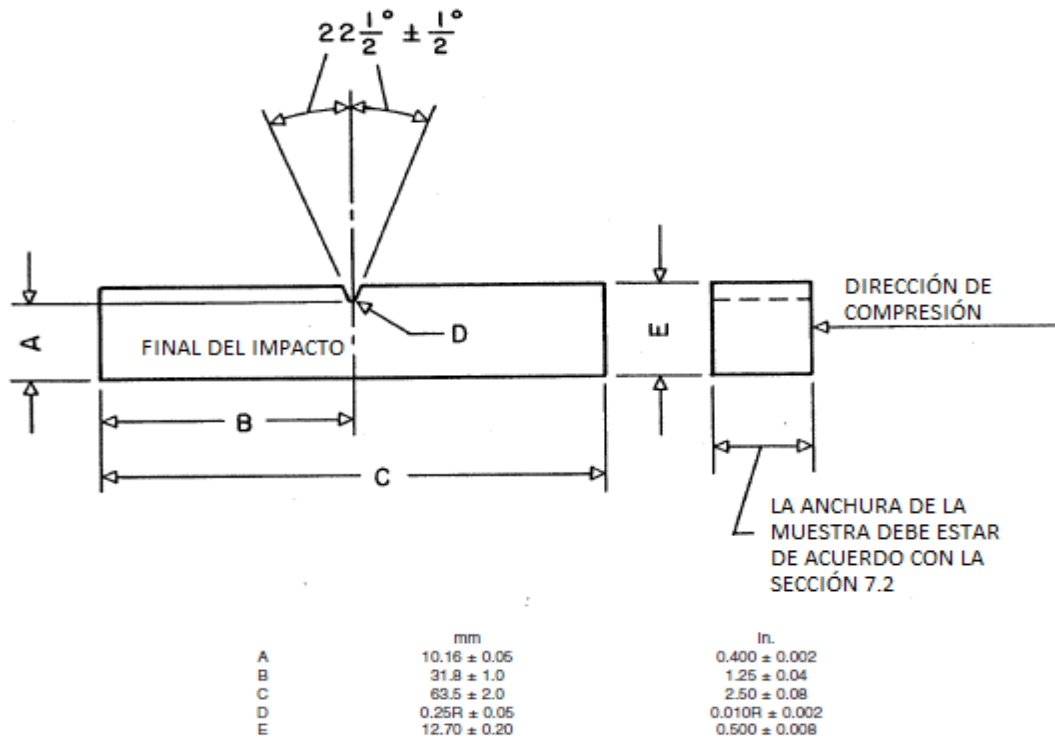


Ilustración 35 Dimensiones probetas de Impacto Fuente: Norma ASTM D 256 Impacto [4]



Ilustración 36 Probetas normalizada ASTM D256

Fuente: Autor del proyecto

10.5.2 PROBETAS PARA TRACCIÓN

este ensayo destructivo fue realizado bajo norma” ASTM D 3039M-08 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials” con el fin de conocer las propiedades del material compuesto .[8]

las probetas para este ensayo se llevaron a fresado para garantizar que las dimensiones, cumplan con los requisitos definidos en la norma. Este procedimiento se realizó en una fresadora “**sexac española # 4**” a una velocidad de 1600 Rpm, en la ilustración 37 se puede contemplar el procedimiento utilizado para la normalización de las probetas con los parámetros evidenciados en la ilustración 38.



Ilustración 36 Fresado probetas tracción Fuente :Autor del proyecto

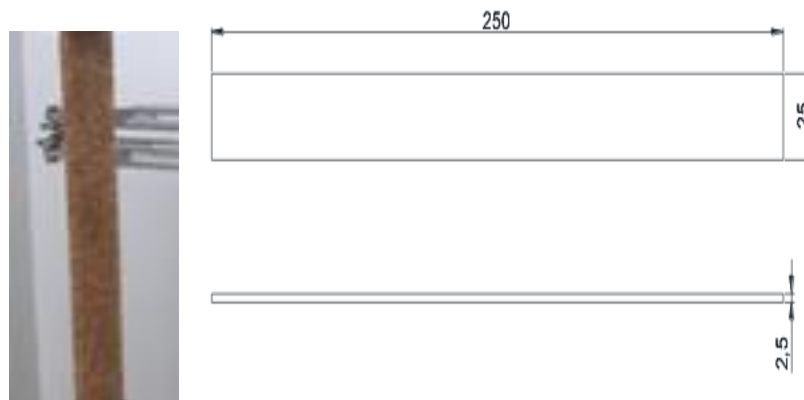


Ilustración 37 Dimensiones probetas de tracción

Fuente: ASTM D 3039M tracción [8]

10.5.3 PROBETAS PARA FLEXIÓN

la metodología implementada para obtener las probetas para realizar el ensayo de flexión es la encontrada en la norma ASTM D7264M-07 “**Standard Test Method for Flexure Matrix Composite Materials** “. Las cuales fueron llevadas a proceso de fresado para satisfacer los requerimientos señalados en esta norma. [9]



Ilustración 38 Fresado probetas ensayo de flexión Fuente Autor del proyecto

las probetas deben ser normalizadas bajo los parámetros descritos en las normas para cada ensayo, como lo muestra la ilustración 40.

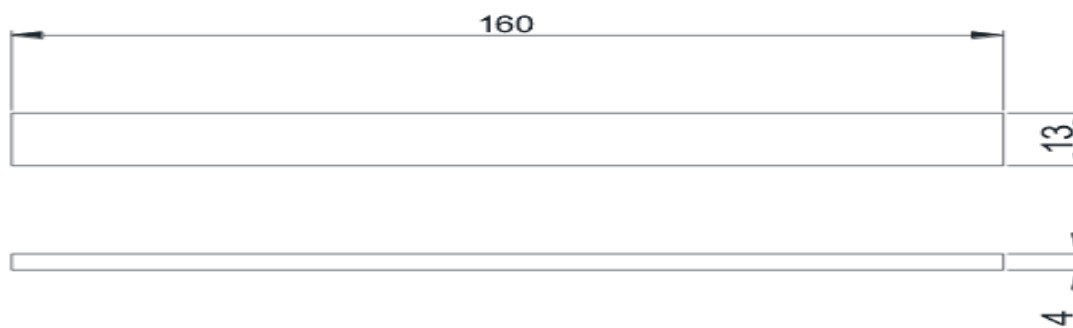


Ilustración 39 Dimensiones probeta ensayo de flexión Fuente: [9]

En la tabla 5 podemos observar las composiciones utilizadas para realizar la caracterización del material compuesto.

Tabla 6 Probetas a fallar bajo ensayos destructivos

Composición	Número de probetas	Ensayo destructivo
5 % material de refuerzo con tratamiento alcalino	Una probeta por composición	Tracción, flexión e impacto por
5% material de refuerzo sin tratamiento		

10% material de refuerzo con tratamiento alcalino		composición
	Una probeta por composición	Tracción, flexión e impacto por composición
10% material de refuerzo sin tratamiento		
Estándar sin refuerzo		

Fuente: Autor del proyecto

11 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

En este proyecto de grado se busca caracterizar el material compuesto obtenido por el método de inyección, este proceso se llevará a cabo por medio de ensayos destructivos flexión, tracción e impacto realizados en los laboratorios de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá. Ver anexo 1.

NOTA

Los ensayos de Tracción y Flexión se realizaron en una Máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu® 5kN, con certificado de calibración No. 4625 expedido por el laboratorio de calibración ICCLAB, en el mes de diciembre del 2015.

El ensayo de Impacto se realizó en una Máquina de Impacto Physical Test Solution - PTS, Model ITC-XJU-22. El instrumento con el que se registraron las dimensiones de las probetas, fue un calibrador Pie de Rey marca Mitutoyo, con una resolución de 0,05mm.

11.1 RESULTADOS:

11.1.1 Ensayo de Tracción

En las tablas 6 y 7 se muestra las dimensiones de las probetas y los resultados obtenidos durante la realización del ensayo respectivamente.

Tabla 7 Dimensiones de las probetas ensayo de tracción

Probeta	Espesor	Ancho	Longitud Calibrada
Estándar	2,3	24,9	150
5% T.	2,6	24,6	
5% Sin	2,8	25,1	
10% T.	2,6	25,1	
10% Sin	2,7	24,9	

Fuente: Autor del proyecto.

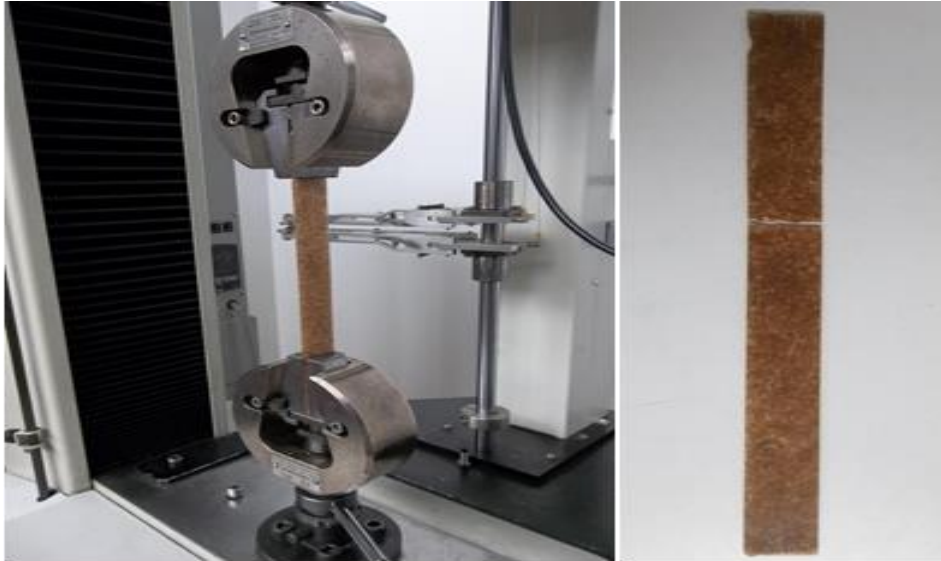
Tabla 8 Resultados ensayo de tracción

Probeta	Fuerza Máx. (N)	Desplazamiento Máx. (mm)	Esfuerzo Máx. (N/mm ²)	Deformación	Modulo de Elasticidad 800-1000 N
Estándar	2444	9,9	41,8	6,6	769,0
5% T. Mercerizado	1253	2,6	19,8	1,7	1022,2
5% Sin Mercerizar	1149	1,5	16,6	1,0	1385,6
10% T. Mercerizado	1127	2,8	17,6	1,8	904,8
10% Sin Mercerizar	1193	2,6	17,5	1,7	964,4

Fuente: Universidad nacional de Colombia sede Bogotá Anexo 1

En las siguientes ilustraciones se muestra la instalación de las probetas y comportamiento al finalizar el ensayo.

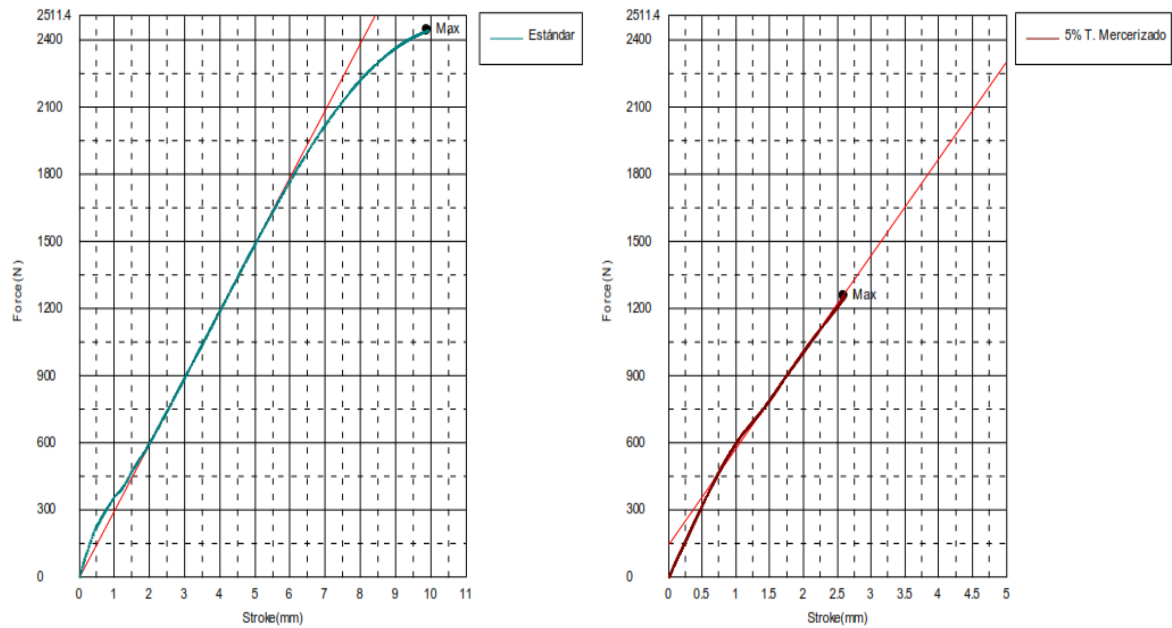
La ilustración de la izquierda: Instalación de la Probeta. Ilustración de la derecha: Probeta ensayada a Tracción.



Fuente : laboratorios universidad Nacional de colombia -sede Bogota.Anexo1

la ilustración 41 muestra el comportamiento del material en función del desplazamiento del cabezal:

Curvas “fuerza vs desplazamiento “generadas durante el ensayo de tracción



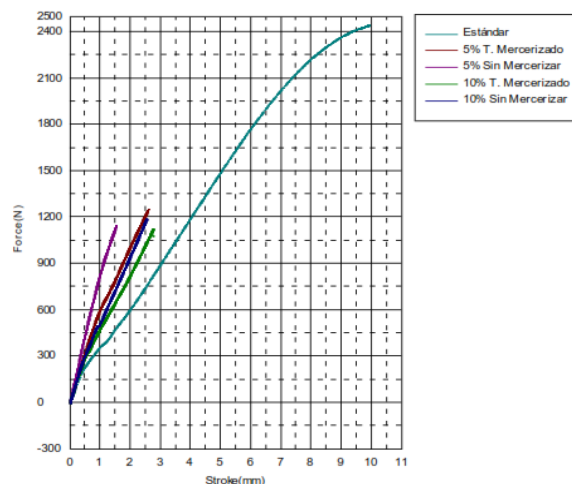


Ilustración 40 Curvas “fuerza vs desplazamiento “generadas durante el ensayo de tracción Fuente: laboratorio universidad nacional sede Bogotá

Este ensayo nos arrojó Curvas esfuerzo vs deformación en las cuales podemos corroborar la información depositada en la tabla 7 teniendo como fuente de comparación la ilustración 42.

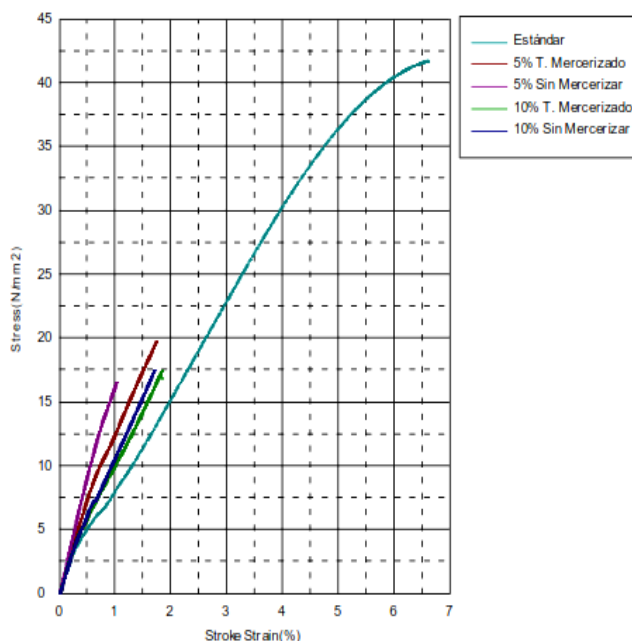


Ilustración 41 Curvas “Esfuerzo vs deformación “generadas durante el ensayo de tracción Fuente: Laboratorio universidad nacional sede Bogotá. Ver anexo 1.

Al observar el comportamiento obtenido en el ensayo de tracción expuestos en la ilustración 41 y 42 podemos afirmar que la composición con 5 % de material de refuerzo y sin tratamiento superficial presenta un aumento en el módulo de elasticidad del 80,18 % en comparación con el material estándar poliuretano de baja densidad.

11.1.2 Ensayo de Flexión

En las siguientes tablas 8 y 9 se muestra las dimensiones de las probetas y los resultados respectivamente obtenidos durante la realización del ensayo.

Tabla 9 Dimensiones de las probetas

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud entre soportes (mm)
Estándar	4,10	13,0	129
5% T. Mercerizado	3,80	13,2	
5% Sin Mercerizado	3,80	13,0	
10% T. Mercerizado	3,65	13,1	
10% Sin Mercerizado	3,95	13,6	

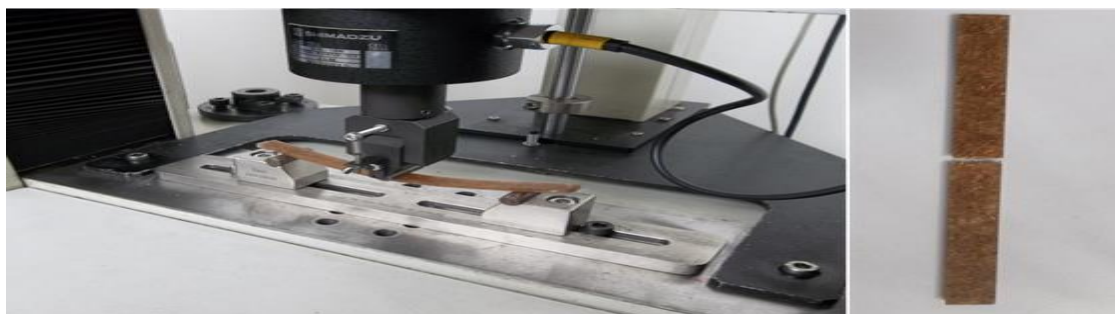
Fuente: Autor del proyecto

Tabla 10 Resultado ensayo de flexión

Probeta	Fuerza Máx. (N)	Desplazamiento Máx. (mm)	Esfuerzo Máx. (N/mm ²)	Deformación Máx (%)	Modulo de Elasticidad 15-30N (N/mm ²)
Estándar	54,1	26,6	47,9	3,9	1793,7
5% T. Mercerizado	48,0	19,1	48,7	2,6	2207,1
5% Sin Mercerizar	48,2	11,6	49,6	1,6	3060,3
10% T. Mercerizado	42,9	15,2	47,6	2,0	2475,4
10% Sin Mercerizar	44,7	13,1	40,8	1,9	2299,0

Fuente: Laboratorio universidad nacional sede Bogotá. Anexo 1.

En las siguientes imágenes se muestra la instalación de una probeta para realizar la caracterización del material compuesto y el comportamiento al finalizar el ensayo de flexión. La ilustración izquierda instalación de la probeta. Ilustración derecha probeta ensayada.



Fuente Laboratorio Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

En las siguientes ilustraciones 43 y 44 se muestra el comportamiento del material en función del desplazamiento del cabezal:

Curvas “Fuerzas vs Desplazamiento” obtenidas en el ensayo de flexión

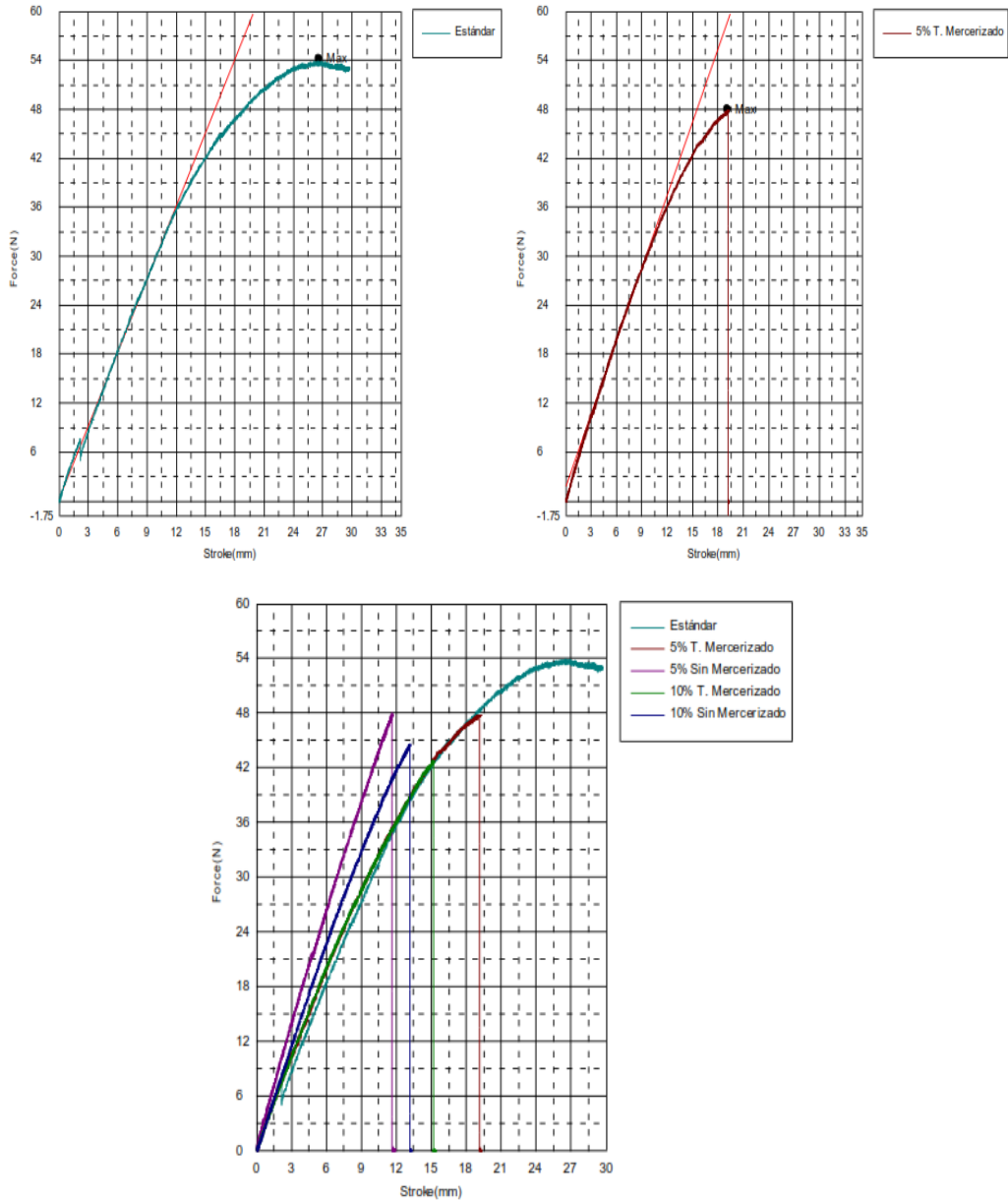


Ilustración 42 Curvas “Fuerzas vs Desplazamiento” obtenidas en el ensayo de flexión Fuente Laboratorio Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Ver Anexo 1.

Curvas “Esfuerzo vs deformación “obtenidas en el ensayo de flexión

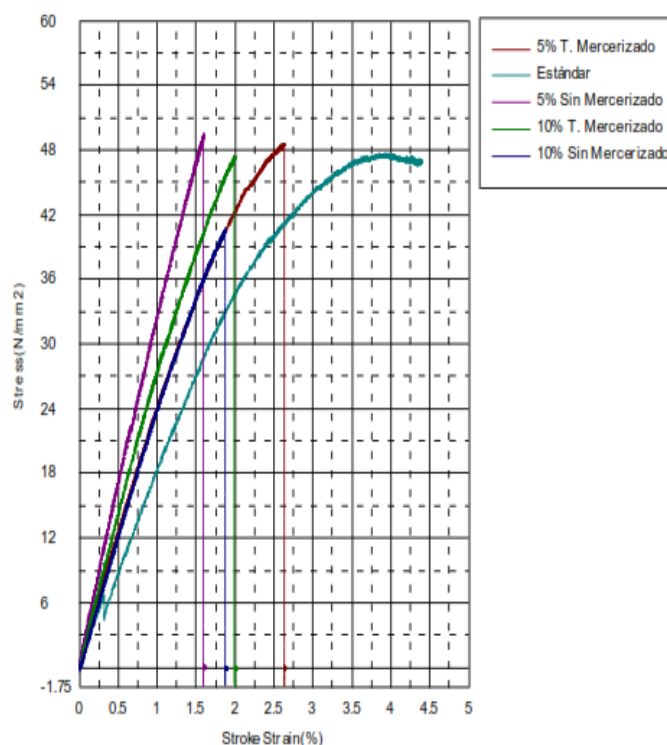


Ilustración 43 Curvas “Esfuerzo vs deformación “obtenidas en el ensayo de flexión Fuente: Laboratorio Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Ver Anexo 1.

En la ilustración 43 y 44 podemos observar que el material compuesto que utilizo haces de fibras con tratamientos alcalinos para la remoción del de impurezas superficiales, presenta mejores condiciones a los esfuerzos aplicados que el material estándar, pero a su vez al ser comparado con los materiales sin este tratamiento se evidencia una disminución de su módulo de elasticidad

11.1.3 ENSAYO DE IMPACTO

Las dimensiones de las probetas con entalla se muestran en la siguiente tabla. La distancia de la “Altura”, hace referencia a la distancia entre el borde del péndulo, que hace contacto con la probeta, hasta la bisectriz media de la entalla. La profundidad de la muesca es en promedio de 2.5 mm y para el cálculo del área se resta este valor a la distancia del “Espesor” y el resultado se multiplica por el “Ancho”. [4]

Para el ensayo se implementó el “Método A”, descrito en la norma ASTM D256, en la tabla 10 se exponen las dimensiones de las probetas utilizadas en el ensayo de tracción después de ser llevadas al proceso de fresado.

Tabla 11 Dimensiones de probetas Impacto

Probeta	Espesor	Ancho	Altura (mm)
Estándar	12,2	19,6	22
5% T.	12,5	19,6	
5% Sin	12,2	18,6	
10% T.	12,7	19,8	
10% Sin	12,3	19,8	

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 12 Resultados ensayo impacto izod

Probeta	Energía (J)	Area (mm ²)	Resistencia al Impacto (kJ/m ²)
Estándar	0,469	190,12	2,52
5% T. Mercerizado	0,545	196,00	2,78
5% Sin Mercerizado	0,476	180,42	2,64
10% T. Mercerizado	0,671	196,96	3,32
10% Sin Mercerizado	0,367	194,04	1,89

Fuente: Laboratorio Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

En las siguientes ilustración se presenta una de las probetas, así como la instalación y comportamiento final del ensayo.



Fuente Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Ver Anexo 1

Propiedades físicas del péndulo implementado en la prueba

Define New Test

Parameter

Batch: C3G-Ulibre(18-07-2016) Material: Non-Metal Width: 19.8 Item5: []

Number: 10% Sin Mercerizado Temperature: 22 Height: 12.3 Item6: []

Toughness: 0.002 Style: V Item0: [] Item7: []

Energy: 0.367 Deep: 2.5 Item1: [] Item8: []

Standard: ASTM D256 Area: 194.04 Size: [] Item9: []

TestDate: 18/07/2016 Operator: Augusto Length: 22 Passed?: Pasa Item10: []

Comment: []

Buttons: Bulk One, Batch Build, Modify, Delete One, Delete All, As Default, Custom, OK, Cancel

	Batch	Number	Toughnes	Energy	Standard	TestDate	Operator	Material	Temperat	Style	Deep	Area	Length	Width	Height
1	C3G-Ulibre	Estándar	0.003	0.499	ASTM D256	18/07/2016	Augusto	Non-Metal	22	V	2.5	190.12	22	19.6	12.2
2	C3G-Ulibre	5%T.	0.003	0.545	ASTM D256	18/07/2016	Augusto	Non-Metal	22	V	2.5	196	22	19.6	12.5
3	C3G-Ulibre	5% Sin	0.003	0.476	ASTM D256	18/07/2016	Augusto	Non-Metal	22	V	2.5	180.42	22	18.6	12.2
4	C3G-Ulibre	10% T.	0.003	0.671	ASTM D256	18/07/2016	Augusto	Non-Metal	22	V	2.5	201.96	22	19.8	12.7
5	C3G-Ulibre	10% Sin	0.002	0.367	ASTM D256	18/07/2016	Augusto	Non-Metal	22	V	2.5	194.04	22	19.8	12.3

Ilustración 44 Propiedades físicas del péndulo implementado en la prueba Fuente: laboratorio universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La obtención de las fibras corta de guadua, es un proceso que no presenta dificultad y que no generan costos elevados en la de fabricación del material compuesto, dada las condiciones que anteceden se concluye que la guadua es una atractiva opción para la consecución de materiales compuestos en la industria gracia a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Al analizar los resultados obtenidos en los ensayos destructivos realizados al material compuesto, se observa que el tratamiento superficial con hidróxido de sodio (NaOH) al 5%

realizado en la guadua, elimina por completo la lignina presente de forma natural en las fibras, generando daños en las propiedades mecánicas de los haces de fibra a estudiar.

El proceso de manufactura de inyección para conseguir el material compuesto presenta dificultad elevada, trayendo consigo problemas de consistencia y homogeneidad en las probetas lo que impide que se realicen estudios con fiabilidad. Sobre la base de consideraciones anterior mente expuesta se concluye que para conseguir probetas utilizando este proceso, es necesario realizar un pre mezcla de la fibra de refuerzo y la matriz, para así obtener probetas con condiciones adecuadas.

Se recomienda realizar un proceso de extrusión, luego peletizado y por último inyección automática con las condiciones expuestas en este trabajo, ya que estas no afectan las propiedades del material de refuerzo utilizado para la obtención del material compuesto.

Observando los ensayos anteriormente realizados, se infiere que la composición que presentan mejor comportamiento bajo prueba de impacto es la combinación de 10% de material de refuerzo con tratamiento superficial de NaOH al 5 %, proporcionando un aumento del 43.07 % en la resistencia al impacto en comparación con el material estándar utilizado.

En los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y tracción podemos observar que el modulo elástico del material compuesto reforzado con fibras de guadua en la composición 5% de material de refuerzo sin tratamiento superficial presenta un aumento elevado, dadas las condiciones anteriores se puede concluir que el material compuesto presenta un aumento del 70.67% y 80.10% respectivamente en las propiedades mecánicas a comparación con el material estándar poliuretano de baja densidad.

Observando los ensayos anteriormente realizados, se infiere que la composición que presentan mejor comportamiento bajo prueba de impacto es la combinación de 10% de material de refuerzo con tratamiento superficial de NaOH al 5 %, proporcionando un aumento del 43.07 % en la resistencia al impacto en comparación con el material estándar utilizado.

13 BIBLIOGRAFÍA

- [1.]A S, Singha; y k, Rana. (2012). “natural fiber reinforced polystyrene composites :effectsof fiber loading,fiber dimensions and modification on mechanical propierties.
- [2.](H,Savastono Jr; M, Radonjic; Y W.O,Sobeyejo. (2007). “fracture and fatige of natural fiber-reinforced cementitious composites” .
- [3.](VALAREZO.J, Luis. E . (2013). “Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzado con fibras naturales de guadua angustifolia proveniente del Ecuador”.
- [4.][2]Designation: Designation: ASTM D 256 “ Standard Test Methodos for Determining the Izod Pendulum Impact Resistence of plastics. (s.f.). (s.f.).
- [5.]AKENLAND,Donald R. (2011). *Ciencia e Ingenieria de los Materialez-4ta Edición.*
- [6.]American National Standard . (s.f.). Designation: D 3039M-08 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. (s.f. (s.f.).
- [7.]ASOCIACIÓN TÉCNICA DEL POLIURETANO APLICADO,(atepa). (2009). *LIBRO BLANCO DEL POLIURETANO APLICADO.*
- [8.]Designation: D 638 – 01 AMERICAN NATIONAL STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS. (s.f.). (s.f.).
- [9.]Designation:. : ASTMD7264M-07 “STANDARD TEST METHOD FOR FLEXIRE MATRIX COMPISTE MATERIALS (S.F.). (S.F.).
- [10.] F.Z;Arrakhiz; M:El Achaby;M ,Malha ; et al. (2012). F.Z;Arrakhiz; M:El Achaby;M ,Malha ; M.O, Bensalah; O,Fassi F; R,Rouhfid; “Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites :Doum/low density polyethylene.
- [11.] GEETHAMMA,V ; KALAPRASAD,G;Y GROENINCKX, Gabrie. (2005). ” Dynamic mechanical behavior of short coir fiber reinforced natural rubber composites” . .
- [12.] GERE ,James M ; GOODNO ,Barry J. (s.f.). (2009). *Mecanica de materiales, 7ma edición . .*
- [13.] HERRERA F,PJ y GONZÁLEZ V,A. (2003). “Mechanical propoities of continuous natural fibre-reinforced polymer composites” , .

- [14.] HULL , Derek. . (1987). *MATERIALES COMPUESTOS. REVERTÉ 1987 reimpresión agosto 2003* .
- [15.] KALPAKJIAN,Serope ; SCHMID,Steven R . (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (s.f).
- [16.] KALPAKJIAN,Serope ; SCHMID,Steven R . (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología* .
- [17.] KUMAR , Pramendra ;SINGH, Inderdeep ; Y MADAN,Jitendra. (2012). “tribological behavior or natural fiber reinforced PLA composites” . .
- [18.] Kumar y C.B. Sastry . (2011). *La Red internacional del bambú y el rotén*.
- [19.] LUCENA,Maria P; SUAREZ,Alejandro; Y ZAMUDIO,Ivonne. (2009). “desarrollo de un material a base de fibras de bambu para aplicaciones aeronáuticas” .
- [20.] MONTGOMERY, Douglas C. (s.f). . (s.f). *Diseño Y Análisis De Experimentos. 2 ed*. Mexico D.F: EDITORIAL LIMUSA S.A.
- [21.] MORENO M,Luis;OSORIO S,Lina; Y TRUJILLO, Efraín. E . (2006). “Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de guadua angustifolia” . .
- [22.] MORENO, Luis E;E Efrain ; y TRUJILLO,Lina R. (s.f). *Estudio de las características físicas de haces de fibras de guadua*.
- [23.] PALM, Sara; Y LINDHOLM, María . (2007). ” *Guadua chacoensis in Bolivia an investigation on mechanical properties of a bambo species*.
- [24.] RAMESH,M; PALANIKUMAR,K; y REDDY, Hemachandra . (2012). “Mechanical propety elaluation sisal-jute –glass reinforced polyester composites.
- [25.] SENTHIL K,K; SIVA ,I; JEYARAJ,P; et al. (2013). “sinergy of fiber length and content on free vibration and damping natural fiber reinforced polyester composite beams”.
- [26.] SHACKERLFORD,James F. (1998). *Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros* .
- [27.] SMITH,Willian F;HASHEMI,Javad. (2011). *Fundamentos de la Ciencia e Ingenieria de Materiales*.
- [28.] VALAREZO.J, Luis. E . (2013). *Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzado con fibras naturales de guadua angustifolia proveniente del Ecuador*.

- [29] XIANGMING ,Zhou ;HAMIDREZA,Ghaffar; et al. (2012). “Fracture and impact properties of short discrete jute fibre-reinforced cementitious composites.
- [30] Smith W "Ciencia e ingenieria de materiales". Madrid. Editorial *paraninfo* 2004
- [31] DESIGNATION: : ASTM E 11/95 STANDARD SPECIFICATION FOR WIRE CLOTH AND SIEVES FOR TESTING PURPOSES. (s.f.). (s.f.).
- [32] BODINI.GRANNI,CACHIP.Franco. (1993). “Modelos y maquinas de inyeccion para la trnsformación de plasticos ”.
- [33] LONDOÑO P,Ximena. . “distribucion morfologica , taxonomica anatomica silvicultura y uso de los bambues del mundo”
- [34] ANDRÉ,Parisot (2002).transformaciones estructurales de las fibras para conferirles nuevas propiedades .
- [35] SAVGORODNY,V.K (2002). Transformación de plasticos Editorial Gustavo Hill.

14 ANEXOS

Código: B-LIF-001-FT-10.002.003
 Versión: 0.0
 Página 1 de 12
 Fecha de elaboración: 2016/Julio/21
 Cotización No: LABIEM-2827-041-16



DIRECCIÓN DE LABORATORIOS

LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS INFORME DE ENSAYO

E041-16

DATOS DEL USUARIO

Nombre Institución UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
Dirigido a: Carlos Javier González Sierra
Tipo de usuario Externo
C.C. 1066177010 de Chinú Córdoba
Dirección Carrera 14 # 6a -01 Zipaquirá
Correo-e carlosj.gonzalezs@unilibrebog.edu.co
Tel. 3006081524
Cotización No. LABIEM-2827-041-16

Descripción:

Los ensayos de Impacto, Tracción y Flexión realizados sobre probetas de "Matriz poliuretano con refuerzo de fibras naturales de guadua", fue desarrollado bajo las metodologías definidas en el numeral 10 de la Norma ASTM D256, numeral 11 de la Norma ASTM D3039 y numeral 11 de la Norma ASTM D7264, respectivamente.

El ensayo de Tracción fue realizado el día 07 de Julio, el ensayo de Flexión se realizó el día 08 de Julio y el ensayo de Impacto el día 18 de Julio del año 2016.

Observaciones:

Las condiciones atmosféricas en el momento de realizar el ensayo de Tracción fueron: Humedad Relativa 54,9 % y Temperatura 20°C. Para la realización de las pruebas se implementó una celda de carga de 5KN, y la velocidad del cabezal del equipo se programó a 2mm/min.

Para el ensayo de Flexión se implemento una celda de carga de 1KN, la velocidad del equipo se programó a 1mm/min y las condiciones atmosféricas durante el ensayo fueron: Humedad Relativa 42,2 % y Temperatura 23°C.

Durante la prueba de impacto se tuvieron las siguientes condiciones: Humedad Relativa 48,0% y Temperatura 22°C. Para el ensayo de impacto se instaló un péndulo de 5,5 Jules.

Código: B-LIF-001-FT-10.002.003
Versión: 0.0
Página 12 de 12
Fecha de elaboración: 2016/Julio/21
Cotización No: LABIEM-2827-041-16



DIRECCIÓN DE LABORATORIOS

**LABORATORIO INTERFACULTADES DE ENSAYOS MECÁNICOS
INFORME DE ENSAYO**

Original Firmada por:

A handwritten signature in black ink, appearing to be "C. Bacca", written above a horizontal line.

Ing. César Augusto Bacca González
(Profesional de Apoyo LABIEM)

A handwritten signature in black ink, appearing to be "R. Ramírez", written above a horizontal line.

Ing. Ricardo Emiro Ramírez Heredia
(Coordinador LABIEM)