

DESARROLLO MATERIAL POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS
NATURALES

Presentado por:

Diego Andrés Parra Páez

Miguel Ángel Sánchez Zarate



UNIVERSIDAD EAN

Facultad Ingeniería

Ingeniería de Producción

Bogotá, Colombia

2012

DESARROLLO MATERIAL POLIMÉRICO REFORZADO CON FIBRAS
NATURALES

Presentado por:

Diego Andrés Parra Páez

Miguel Ángel Sánchez Zarate

TESIS DE GRADO

Dirigido por:

Ing. Diego Adolfo Rodríguez Cantor

UNIVERSIDAD EAN

Facultad Ingeniería

Ingeniería de Producción

Bogotá, Colombia

2012

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, Colombia. 2012

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Dios que nos ilumino de sabiduría y entendimiento, a nuestros padres y familiares los cuales nos apoyaron en el transcurso de nuestra carrera, a los directivos y docentes de la Universidad EAN, especialmente a los profesores José Divitt Velosa y Diego Adolfo Rodríguez Cantor que nos sirvieron de guía y pilar de sabiduría para el exitoso logro de este proyecto.

A todos y cada uno GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido figuras.....	ix
Tabla de contenido tablas.....	xi
Resumen	xiii
1. INTRODUCCION.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.1 Problemas ambientales de las fibras sintéticas	17
2.2 Problemas de salud por manejo de fibras sintéticas	18
2.3 Problemas de producción y manejo	20
3. Fibra de vidrio	21
3.1 Usos	22
3.2 Propiedades	23
3.3 Ventajas y desventajas.....	24
3.4 Costo de la fibra de vidrio	25
4. OBJETIVOS.....	26
4.1 Objetivo general	26
4.2 Objetivos específicos.....	26
5. JUSTIFICACION.....	27
6. MARCO REFERENCIAL	28
6.1 Marco Teórico.....	28
6.1.1 Comportamientos de las fibras sintéticas 1950-1990.....	28

6.1.2 Siglo XX de los materiales compuestos	29
6.1.3 Modelo de la cadena productiva de fibras naturales (Agenda Interna para la Productividad y Competitividad, 2007).....	31
6.2 Marco Conceptual	32
6.2.1 Material compuesto	32
6.2.2 Matriz	33
6.2.3 Fibra natural	33
6.2.4 Yute.....	33
6.2.5 Asbesto	34
6.2.6 Lechuguilla	34
6.2.7 Maguey	34
6.2.8 Miraguano	34
6.2.9 Sisal	35
6.2.10 Probeta.....	35
6.2.11 Tensión	35
7. METODOLOGÍA	36
7.1 Diagrama de actividades.....	36
7.2 Plantilla de producción (miles de toneladas de fibras naturales) participación mundial.....	37
7.3 Descripción fibras naturales	39
7.3.1 Yute.....	39
7.3.2 Sisal	40
7.3.3 Abacá	40

7.3.4 Fique	40
7.3 Consumo mundial de fibras naturales	41
7.4 Selección de fibras naturales.....	41
7.5 Inicio y desarrollo experimental	43
7.5.1 Ciclo PHVA	44
7.5.2 Norma NTC OHSAS 18001:00 Sistemas De Seguridad Industrial Y	
Salud Ocupacional.....	45
7.5.3 Listado de materias primas	46
7.5.4 Listado de maquinaria y herramientas	47
7.5.5 Normalización de las probetas (ISO).....	47
7.5.6 Polímero empleado	49
7.5.7 Tratamiento para las fibras naturales	50
7.5.8 Desarrollo de los moldes.....	51
7.5.9 Probeta finalizada sin el refuerzo	53
7.5.9.1 Producto final.....	54
7.5.10 Diseño de experimentos.....	55
8. RESULTADOS	58
8.1 Desarrollo del diseño de experimentos	58
8.1.1 Estimación de efectos	58
8.1.2 Análisis de la varianza.....	59
8.1.3 Efectos significativos	61
8.1.4 Calculo de la media prevista	62
8.2 Características físico-mecánicas de las fibras naturales utilizadas	62

8.1.1 Fibra de coco.....	62
8.2.2 Fibra de sábila.....	63
8.2.3 Fibra de hoja de plátano.....	63
8.3 Características físico-mecánicas de la resina poliéster y fibra de vidrio	64
8.3.1 Resina poliéster.....	64
8.3.2 Fibra de vidrio.....	64
8.4 Evaluación de la resistencia al impacto de los materiales compuestos.	65
8.4.1 Densidad vs porcentaje de fibra.....	65
8.4.2 Longitud de la fibra.....	66
8.4.3 Prueba de impacto charpy	66
8.4.3.1 Parámetros de ensayo.....	67
8.4.4 Evaluación de la adhesión de la fibra a la matriz	74
9. PRESUPUESTO.....	75
9.1 Costeo de fabricación con fibra natural vs fibra de vidrio	76
10. Conclusiones	78
bIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS.....	81

TABLA DE CONTENIDO FIGURAS

Figura 1: Cadena productiva de fibras.....	31
Figura 2: Diagrama de actividades para el desarrollo material polimérico reforzado con fibras naturales.....	36
Figura 3: Producción mundial de fibras naturales.....	38
Figura 4: Consumo mundial de fibras naturales.....	41
Figura 5: Precios de fibras naturales.....	43
Figura 6: Plano probeta de ensayo charpy	49
Figura 7: diagrama de flujo para el tratado de las fibras naturales.....	51
Figura 8: Plano del molde para las probetas de material compuesto.....	53
Figura 9: Matriz con 100% resina poliéster	53
Figura 10: Formato de verificación de dimensiones de las probetas.....	54
Figura 11: Variación de la densidad del material compuesto con fibras de 1 mm de ancho.....	66
Figura 12: Prueba de impacto charpy resina-coco	67
Figura 13: Prueba de impacto charpy resina-sábila	68
Figura 14: Prueba de impacto charpy resina-hoja de plátano.....	69
Figura 15: Prueba de impacto charpy matriz resina	69
Figura 16: Prueba de impacto charpy resina-coco-sábila-hoja de plátano...70	
Figura 17: Prueba de impacto charpy resina-coco-sábila.....	71

Figura 18: Prueba de impacto charpy resina-coco-hoja de plátano.....	71
Figura 19: Prueba de impacto charpy resina-sábila-hoja de plátano.....	72
Figura 20: Comparación de las pruebas realizadas a todas las probetas.....	73

TABLA DE CONTENIDO TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la fibra de vidrio.....	24
Tabla 2: Producción de fibras a nivel mundial.....	37
Tabla 3: Descripción de algunas fibras naturales en Colombia.....	39
Tabla 4: tabla de calificación para la selección de fibras naturales.....	45
Tabla 5: Cuadro de evaluación por atributos para la selección de las fibras.....	42
Tabla 6: Ciclo PHVA “material polimérico reforzado con fibras naturales”.....	45
Tabla 7: Materias primas utilizadas en la fabricación de las probetas.....	46
Tabla 8: Maquinaria y herramienta utilizada en el desarrollo del trabajo.....	47
Tabla 9. Valores máximos y mínimos de fibra para reforzar la matriz de resina.....	55
Tabla 10. Tabla general de diseño de experimentos.....	56
Tabla 11. Estimación de efectos.....	59
Tabla 12. Análisis de la varianza 1.....	60
Tabla 13. Análisis de la varianza 2.....	60
Tabla 14. Caracterización de fibra de coco.....	62
Tabla 15. Caracterización de fibra de sábila.....	63
Tabla 16. Caracterización de fibra de hoja de plátano.....	63

Tabla 17. Caracterización de la resina poliéster.....	64
Tabla 18. Caracterización de la fibra de vidrio.....	65
Tabla 19. Parámetros de ensayo Charpy.....	67
Tabla 20. Costeo pieza en resina reforzada con fibra de sábila.....	76
Tabla 21. Costeo pieza en resina reforzada con fibra de vidrio.....	77

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron las fibras de coco, de hoja de plátano y de sábila con el motivo de conocer su potencial y determinar si es posible utilizar los polímeros reforzados con fibras naturales en vez de utilizar la fibra de vidrio.

Se realizaron tratamientos previos a la fibras para mejorar la adhesión entre matriz/fibra.

Se realizaron pruebas mecánicas en un péndulo “charpy” para determinar la tenacidad del material compuesto.

1. INTRODUCCION

El fundamento de los llamados materiales compuestos de la modernidad, son definidos como polímeros sintéticos. Uno de ellos es la baquelita, el cual fue uno de los primeros polímeros totalmente sintéticos, fabricado en 1909. Iniciando de esta creación, es probable en la actualidad, adaptar y generar novedades en los polímeros que pueden llegar a ser producidos para sectores específicos. Por ejemplo se han desarrollado nuevos tipos o clases de polímeros que no presentan defectos a largo plazo por corrosión. Es posible producir polímeros sintéticos con diversas propiedades como de rigidez, tensión o flexibilidad, y en cuanto a características visuales se pueden generar transparencias y opacidad, también presentar propiedades como dureza.

En la historia en cuanto a la utilización de polímeros y también de materiales definidos como compuestos para usos como la construcción, se fomenta de una forma muy casual y definida en la Segunda Guerra Mundial, cuando se genera un eficaz adelanto en la fabricación de las primeras casetas para la protección de diversos equipos electrónicos. Se usaron las fibras de poliéster con un reforzamiento con fibras de vidrio debido a su propiedad de transparencia a las ondas electromagnéticas.

En década de los 40 se evidencia un continuo uso del poliéster, a pesar de su alto costo. Igualmente el material compuesto seguía siendo atractivo por la facilidad que presentaba al darle formas y capacidad de moldeado, grandes diseñadores

rápidamente identificaron estas características y empezaron a darle uso en los años de los 50's como laminas translucidas.

En 1990, los materiales sintéticos de fibras naturales se convierten en nuevas alternativas para los composites, o materiales compuestos, que se refuerzan con fibras de vidrio en diversas aplicaciones. Los materiales compuestos con fibra natural como por ejemplo cáñamo (fibra-epoxy), fibras de lino polipropileno (PP), y también como la caña china fibra (PP) son especialmente llamativos en aplicaciones automotrices debido a sus bajos costos y también densidades evidenciadas.

En la actualidad el mercado de productos naturales se ha venido estableciendo durante las últimas décadas en las aplicaciones de manufactura de productos amigables con el ambiente, lo que genera un incremento en cuanto a las normas de calidad y su mejoramiento continuo en las prácticas de laboratorio con fibras naturales. Por eso, Colombia interviene en la investigación sobre el uso de los recursos evidenciados en zonas del país para la generación de nuevas ideas, ya así generar comercialización con sus productos teniendo en cuenta las características exigidas, por sociedades extranjeras.

Las fibras naturales poseen un número determinado de propiedades que las definen como una muy buena alternativa para procesos como el refuerzo en gran variedad de materiales de carácter polimérico. Ellas se caracterizan por:

- Ser renovables y también biodegradables, generando un bajo impacto ambiental.
- Posees bajos costos comparándolas con otras fibras como la fibra de vidrio que es la más utilizada en la industria.
- Por presentar un bajo peso.
- Presentan propiedades como aislantes térmicos y también acústicos.
- Evidenciar una alta resistencia al impacto y tensión.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los polímeros son utilizados en gran cantidad de aplicaciones industriales y en casos donde se desea un mejor tipo de material, en cuyo caso el polímero es mezclado con una fibra particular llamada fibra de vidrio que mejora las características físicas de este; sin embargo en ocasiones la producción en masa de este polímero reforzado se vuelve compleja y tediosa por el uso de la fibra mencionada, ya que puede presentar riesgos para la salud y complejos manejos en su manufactura.

Al identificar estos aspectos se investiga como primera medida el uso de otro componente o fibra de origen natural que al igual que la fibra de vidrio mejore las características del polímero o en el peor de los casos iguale sus características, haciéndolo mucho más eficaz y resistente, posteriormente se observará que tan factible sería la producción de este nuevo material y de esta manera ayudar a una

producción limpia, menos compleja y sin la presencia de riesgos en el área laboral los cuales son factores importantes en las fábricas modernas.

Colombia cuenta con una gran variedad de flora y fauna, también con una gran producción de plantas a nivel mundial, con ayuda de estos recursos se investigara que fibras naturales son asequibles en costos, que sea fácilmente Manufacturable, que sea un material amigable con el medio ambiente y por último que tenga una buena disponibilidad en el mercado, todo esto con el fin de que uso de reforzamiento de polímeros sea un proyecto viable.

Se pretende aprovechar los recursos suministrados por diversas zonas del país, como se mencionó se pueden identificar gran variedad de fibras que en su mayoría son exportadas y usadas en un sector específico, pues evidenciando esto, se pretende ampliar el uso de las fibras en el país dándoles una novedosa implementación que podría beneficiar a diversos sectores industriales según los requerimientos que posean del material usado en dichos sectores.

2.1 Problemas ambientales de las fibras sintéticas

La contaminación que se presenta con fibras sintéticas y productos plásticos, han sobrepasado sus límites evidenciando residuos de estos materiales desechos en todas las partes del mundo. Inclusive playas vírgenes contienen desechos plásticos de tamaño microscópico mezclado en la arena. Las partículas químicas que contienen estos materiales se esparcen por todo el mundo contaminando no solo a los animales sino también a las plantas, situación que perjudica a las personas por

que al momento de ingerir algún alimento, puede este presentar algún tipo de partícula que podría indisponer a la persona por haberlo ingerido

El constante uso material plástico en el mundo acarrea producir grandes cantidades de petróleo para su fabricación y cuando dejan de utilizarse pasan a ser parte de miles de toneladas de desechos.

Los materiales plásticos producen 1.5 millones de toneladas de desechos en el año únicamente en Estados Unidos. Para producir esa cantidad de material es necesario emplear 178 millones de litros de petróleo al año.

Estos materiales difícilmente pueden ser reintegrados a los ciclos normales de la naturaleza y por este motivo, se acumula por años.

2.2 Problemas de salud por manejo de fibras sintéticas

La gente se expone a la fibra de vidrio cuando se manipula claramente sin los implementos necesarios para su uso, las personas pueden quedar expuestas por medio del contacto generado en la piel y ojos, peor aún si esa fibra al darle un mal manejo queda expuesta en el aire y es aspirada.

Si una persona presenta una exposición continua a altas cantidades de fibra de vidrio en el aire pueden presentar a largo plazo problemas del asma o de bronquitis.

No se identificar en su totalidad, cuales son los posibles efectos a largo plazo en la salud relacionados con la fibra. Sin embargo, estudios en personas que trabajan constantemente con fibra de vidrio no han presentado un notable aumento

en problemas de salud a largo plazo, como enfermedades respiratorias, cáncer o sensibilización alérgica.

Para poder trabajar directamente con fibra de vidrio hay que tener en cuenta las siguientes indicaciones

Usar ropa suelta, que tengan mangas largas con guantes. Esto evitara que se genere algún tipo de contacto con la piel y así reducir las posibles irritaciones.

Si llegara a existir algún tipo de contacto con al fibra, hay que lavarse con abundante agua y jabón para evitar irritaciones.

Obligatoria mente y con mayor importancia hay que usar un respirador 'N95' aprobado por NIOSH (Instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional) para proteger la nariz, la garganta y los pulmones.

Usar protectores visuales, gafas con protección lateral para proteger efectivamente los ojos.

Para poder manipular este tipo de material hay que tener presente:

- Formación en cuanto al uso debido de fibras de vidrio.
- Contar con las herramientas mínimas para la manipulación del material.
- Poseer recursos e instalaciones apropiadas para el manejo debido de las fibras de vidrio.

2.3 Problemas de producción y manejo

En los últimos meses se ha observado que la fibra de vidrio es un problema para las grandes entidades. Se estima que miles de estudiantes han sido afectados por este problema, pero el Ministerio de Educación no ha sido capaz de resolverlo. Sin embargo, el uso de este material no es nuevo. La pregunta es: ¿Por qué surge este problema ahora? (Espino, 2012)

La fibra de vidrio se genera cuando arena y diversos materiales se calientan hasta el momento de derretirse y posteriormente son procesados para convertirlo en vidrio. El vidrio que será transformado en fibras de diversos tamaños que se unen con la ayuda de resinas para que no se desprendan. Principalmente se utiliza como material aislante para las tuberías, techos, conductos, automóviles y otros.

Los problemas que se generan principalmente son por un mal manejo de la fibra de vidrio la cual permite la contaminación en diversas áreas.

3. FIBRA DE VIDRIO

Principales propiedades	Dureza
	Transparencia
Maleabilidad	Mientras se encuentre en su etapa de fundición
Temperatura de fusión	1250°C
Compuestos	Sílice
	Arena
	Carbonato de sodio

El vidrio presenta unas propiedades de dureza, transparencia y fragilidad. Mientras se encuentre en su etapa de fundición puede ser maleable. La temperatura en la que se funde es 1250°C. Está conformado por sílice arena o carbonato de sodio.

La fibra de vidrio conocida también como GF (glass fiber), es una especie de tejido realizado a partir de hilos de vidrio entrelazados produciendo una malla uniforme. Los hilos de vidrio, se producen con la ayuda de una herramienta llamada (spinerett) en la cual se introduce vidrio en estado líquido, es un tubo con un número determinado de orificios por los cuales sale el material ingresado, en este caso vidrio en estado líquido.

Después se deja enfriar el material en un tiempo determinado, ese tiempo debe ser exacto para garantizar la flexibilidad de la fibra y poder conformar los tejidos.

3.1 Usos

La fibra de vidrio por sus diversas propiedades es empleada para usos tanto industriales como artísticos, en los cuales se destacan:

- producción de fibra óptica
- manualidades o bricolaje.
- Piezas neumáticas.
- Tablas de surf.
- Veleros, lanchas, industria naval.
- Parachoques, guardabarros, tableros, industria automotriz.
- Esculturas y piezas complejas que requieran precisión.
- Construcción de tanques de agua, piscinas, tejas.
- Rejillas de fibra de vidrio.
- Materiales de aislamiento térmico en construcciones.
- Fabricación de instrumentos musicales.

3.2 Propiedades

Entre sus principales propiedades se pueden identificar:

- Puede ser moldeable.
- Es transparente.
- Es frágil.
- Es dúctil.
- Alta resistencia mecánica.
- Bajo peso, facilitando transporte e instalación.
- Resistencia a corrosión y la intemperie.
- Menor necesidad de mantenimiento.
- Excelente aislante térmico.
- Inerte a muchas sustancias incluyendo los ácidos.
- Gran maleabilidad.
- Altamente resistente a la tracción.

3.3 Ventajas y desventajas

A continuación en la tabla 1 se indican las ventajas y desventajas que se evidenciaron en el material fibra de vidrio.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Es un material maleable.	1. Es un material costoso.
2. Si se cuenta con equipos y herramientas es fácil de usar.	2. Presenta inconvenientes si no se tienen los equipos y herramientas necesarias para
3. Es un material transparente.	3. No es biodegradable.
4. Posee bajo peso.	4. Es perjudicial no solo para el medio ambiente sino también para las personas que trabajan con él.
5. Presenta propiedades de aislamiento.	5. Es la desventaja que más afecta al material y es su fragilidad .

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la fibra de vidrio.

Como se indica en la tabla 1, la fragilidad es la principal desventaja ya que en las áreas o sectores industriales donde se emplea, requieren materiales que sean resistentes al impacto, es común encontrar automóviles con los parachoques afectados con un mínimo impacto, no es necesario que el material se afecte a altos choques, no solo en automóviles también en yates, lanchas hasta veleros. Sin embargo tiene un número alto de propiedades que aventajan al material pero se ven opacadas por su fragilidad este es uno de los principales motivos por los cuales se realiza este trabajo (**refuerzo de polímeros con fibras naturales**).

3.4 Costo de la fibra de vidrio

La fibra de vidrio tiene diversas modalidades de venderse, puede venderse por peso, por metro cuadrado, depende de su grosor y también varía según el sector donde se haga la cotización y el uso que se le va a dar. Por esas clasificaciones que se le da al momento de su venta se promedió y se indica que el costo total es de = \$15.500 kg (Resineco.com, 2012).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Investigar y experimentar la aleación de un polímero fortaleciéndolo con diferentes tipos de fibras naturales y concluir si es posible lograr una reducción de los costos de producción.

4.2 Objetivos específicos.

- Realizar un diseño de experimentos para calcular el número de pruebas necesarias y determinar el correcto manejo de materiales y tiempos reduciendo pérdidas.
- Analizar los datos obtenidos a partir de las pruebas.
- Proponer nuevas técnicas de reforzamiento con fibras naturales.
- Realizar un análisis de viabilidad en cuanto a costos.

5. JUSTIFICACION.

La investigación se realiza por que las fibras usadas en la industria actualmente son costosas, perjudiciales para la salud, difíciles de producir y demoradas de tratar para su posterior producción. Lo que se busca con este trabajo es proponer nuevas técnicas de reforzamiento con fibras naturales de diferente tipo para encontrar la que genere los resultados más similares que al usar las fibras más comunes en la industria, en particular la fibra de vidrio. Estas fibras naturales tienen la ventaja en cuanto a costos, reducción de tiempos de producción y otro número de ventajas que se resaltarán a más profundidad posteriormente.

Las investigaciones encontradas, indican que estas fibras se han utilizado en décadas para distintas áreas de producción como se indicara posteriormente en el marco teórico y por ese motivo se amplía en esta tesis el uso de estas fibras naturales en otros sectores industriales para darles un uso novedoso.

Los estudios y datos se recolectarán mediante pruebas de ensayo de probetas hechas de las aleaciones obtenidas, estos ensayos o pruebas se realizaran mediante una máquina de impacto que probará la resistencia de cada una de las probetas, las cuales se someterán a esta máquina para la recolección de datos.

6. MARCO REFERENCIAL.

6.1 Marco Teórico

En cuanto a la investigación de refuerzos con fibras naturales se encuentra gran variedad de usos, en distintas áreas como el área textil, industrial, civil entre otras.

De acuerdo al país se disponen de distintos tipos de fibras con características específicas según la región.

A continuación se presentara una línea de tiempo con distintos tipos de fibras manejadas en los últimos años clasificados en naturales y sintéticos.

6.1.1 Comportamientos de las fibras sintéticas 1950-1990

En esta línea se observa un comportamiento en el que se usan específicamente fibras sintéticas del año 1950 a 1990, a partir de estas fechas se retoma el concepto de fibras naturales:

- Se reporta en 1936 un refuerzo de bambú para el hormigón este es el primer uso que se le da a fibras naturales como refuerzo natural.
- Se desarrollan fibras de asbestos en 1950 por la Compañía Elemendorf Research Inc. los cuales desarrollaron cemento que contenía fibras de asbesto.

- En las décadas de los 60's en Gran Bretaña realiza estudios y fibras de vidrio y acero.
- A partir de esta década se retoma el tema de fibras naturales.
- En 1966 se obtiene una patente por parte de Bremant, del uso de fibras naturales como miraguano o yute para reforzar el concreto.
- En 1971 Nilson realiza estudios para reforzar hormigón con fibras de sisal.
- En 1981 en México Castro y Nutman presentan un estudio sobre el maguey fibras de lechuguilla en hormigón.
- En 1989 se estudian dos tipos de fibra celulosa para refuerzo de hormigón gracias a Bentur y Arkerst.
- En 1990 se evidencia una decaída en la producción y cultivos de las fibras naturales por grupos gubernamentales en el oriente.
- A partir de la fecha, el uso de fibras naturales ha tenido una acogida e implementación en diversos sectores industriales.

6.1.2 Siglo XX de los materiales compuestos

En 1990, los materiales sintéticos de fibras naturales se convierten en nuevas alternativas para los composites que se refuerzan con fibras de vidrio en diversas aplicaciones. Los materiales compuestos o composites con fibra natural como por ejemplo cáñamo (fibra-epoxy), fibras de lino polipropileno (PP), y también como la

caña china fibra (PP) son especialmente llamativos en aplicaciones automotrices debido a sus bajos costos y también densidades evidenciadas.

Así pues, durante el siglo XX la ciencia de los materiales ha avanzado con la incorporación de productos sintéticos al mercado industrial. Estos avances han sido bien aprovechados por sectores tradicionalmente innovadores como la automoción o la aeronáutica, pasando muchos de los considerados nuevos materiales a formar parte de objetos cotidianos de nuestras vidas.

6.1.3 Modelo de la cadena productiva de fibras naturales (Agenda Interna para la Productividad y Competitividad, 2007)

CADENA PRODUCTIVA DE FIBRAS

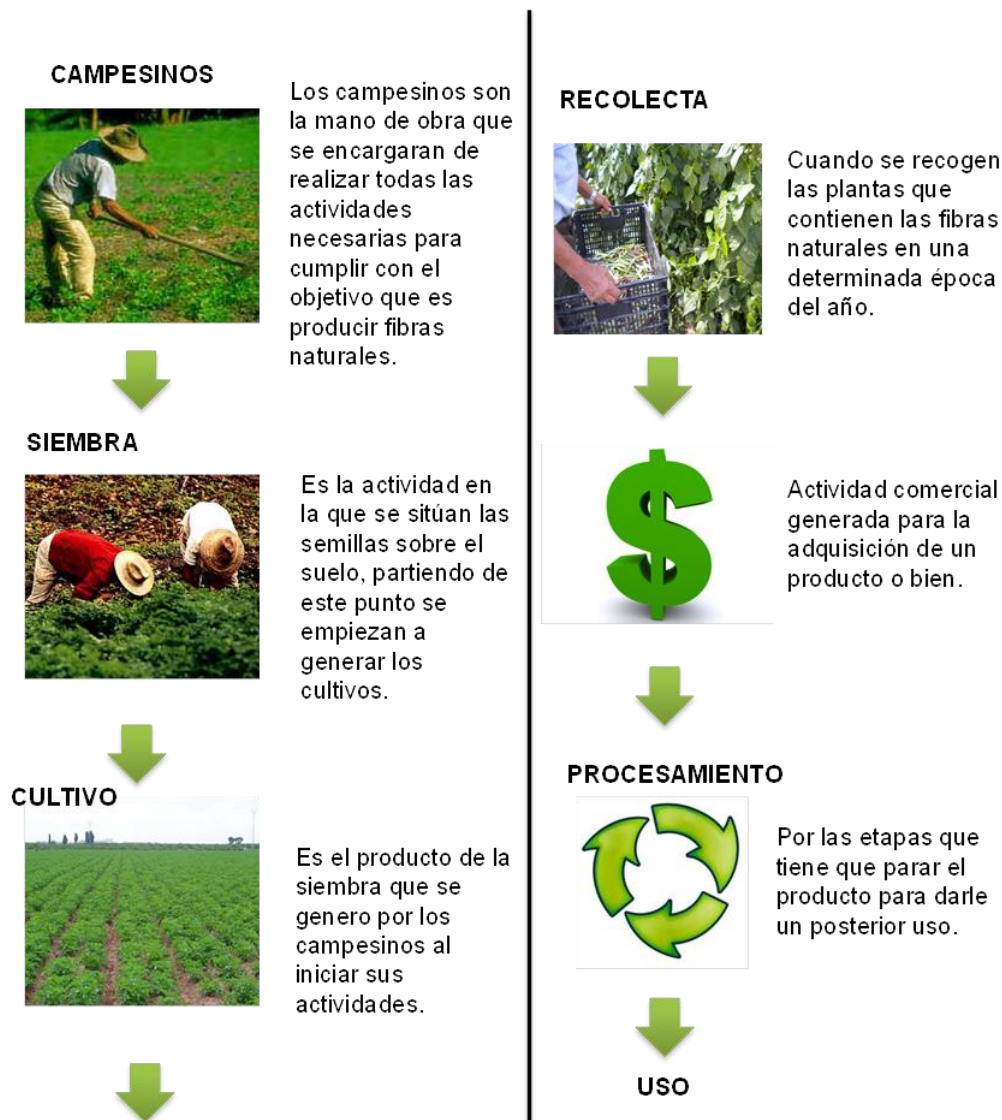


Figura 1: Cadena productiva de fibras

6.2 Marco Conceptual

A continuación se relacionan algunos términos relevantes para la comprensión del presente trabajo:

6.2.1 Material compuesto

En ciencia de materiales reciben el nombre de materiales compuestos aquellos materiales que se forman por la unión de dos materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales. Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad. Los materiales son compuestos cuando cumplen las siguientes características:

- Están formados de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interface.
- Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).

- No pertenecen a los materiales compuestos, aquellos materiales polifásicos; como las aleaciones metálicas, en las que mediante un tratamiento térmico se cambian la composición de las fases presentes.

6.2.2 Matriz

Compuesto o material que contendrá y protegerá las características físicas y químicas de las fibras naturales, en este caso resina poliéster

6.2.3 Fibra natural

Sustancia extraída de las plantas o animales mediante procesos físicos o mecánicos.

6.2.4 Yute

Es una planta que crece en zonas cálidas principalmente en Europa convirtiéndose en el principal exportador, es una planta que mide de 4 a 5 metros de largo, el uso que se le da es para fabricar cuerdas resistentes.

6.2.5 Asbesto

es un material a base de minerales que se usa como aislador, compuesto por gran cantidad de fibras que al desprenderse pueden ser aspiradas y perjudicar la salud.

6.2.6 Lechuguilla

también conocida como agave, es una planta que se encuentra en abundancia en algunas regiones desérticas, se usa especialmente para confeccionar cuerdas y tapetes por sus hojas rígidas y fuertes.

6.2.7 Maguey

es el sinónimo de agave, es una planta con muchas similitudes con la lechuguilla ya que pertenecen a la misma familia lo único que la diferencia es el uso que se le da.

6.2.8 Miraguano

Es un fruto que se extrae de una palmera para fines textiles.

6.2.9 Sisal

Es una planta ubicada en la familia de plantas de agave, su uso es para la producción de cuerdas muy similar a las anteriores.

6.2.10 Probeta

Muestra de cualquier sustancia o material para probar su elasticidad, resistencia, etc. graduada.

6.2.11 Tensión

Consideremos una varilla cilíndrica de longitud l_0 y una sección transversal de área A_0 sometida a una fuerza de tensión uniaxial F . (unalmed.edu.co)

- a) Barra antes de aplicarle la fuerza
- b) Barra sometida a una fuerza de tensión uniaxial F que alarga la barra de longitud l_0 a l

Por definición, la tensión s en la barra es igual al cociente entre la fuerza de tensión uniaxial media F y la sección transversal original A_0 de la barra.

7. METODOLOGÍA

Para dar inicio a la metodología, se realiza a continuación un diagrama de flujo de actividades donde se representa y evidencian los pasos a seguir para poder cumplir los objetivos propuestos y definidos desde un comienzo. Como se enumeran las actividades, así mismo se describirá la metodología que se llevara a cabo para realizar las actividades que se identificaran en el diagrama.

7.1 Diagrama de actividades.

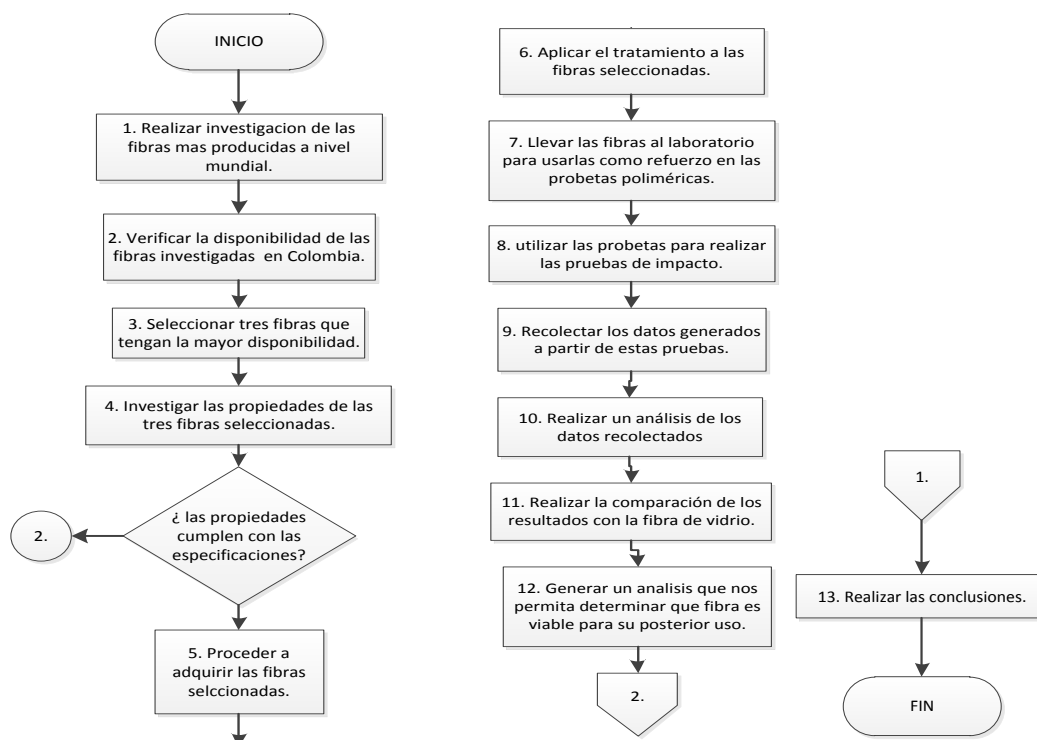


Figura 2: Diagrama de actividades para el desarrollo material polimérico reforzado con fibras naturales.

7.2 Plantilla de producción (miles de toneladas de fibras naturales) participación mundial.

Se investiga las fibras producidas a nivel mundial por que se pretende utilizar materiales que tengan una buena participación en el mercado, que al momento de no solo investigar sino también de adquirirlo no existan muchas restricciones en cuanto a su información, propiedades y también es su fácil adquisición.

Posición	Fibra	País	Producción (miles de toneladas)	Participación mundial
1	Yute	India	1.900.000	57%
2	Yute	Bangladesh	800.000	24%
3	Sisal	Brasil	191.103	6%
4	Abaca	Filipinas	70.356	2%
5	Yute	China	68.000	2%
6	Sisal	México	41.856	1%
7	Abaca	Ecuador	27.194	1%
8	Yute	Myanmar	26.169	1%
9	Sisal	Kenya	25.000	1%
10	Fique	Colombia	22.000	1%
Total			3.350.437	100%

Tabla 2: Producción de fibras a nivel mundial.

Fuente (MARD) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)

Como se puede observar en la tabla 2, se identifica la posición a nivel mundial en la parte izquierda, posteriormente se indica el tipo de fibra que corresponde a esa posición acompañado de su país. Las fibras que ocupan los tres primeros puestos

son Yute, Sisal y abacá según los datos investigados, que corresponden a los países de India, Bangladesh, Brasil y Filipinas.

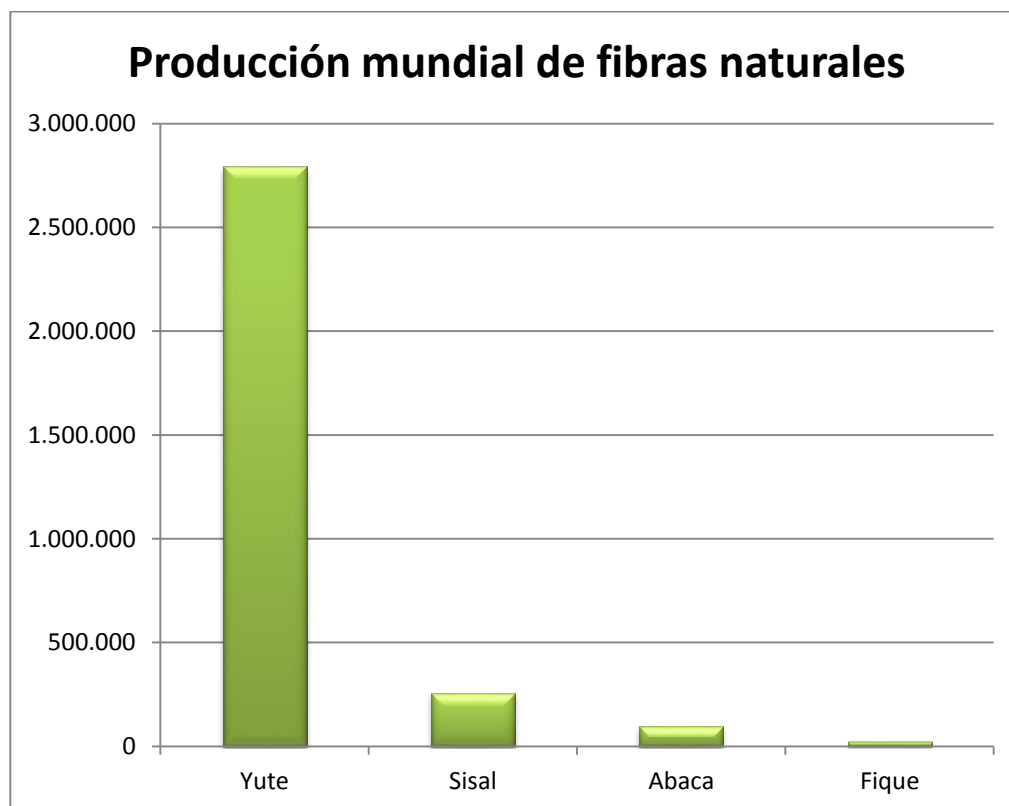


Figura 3: Producción mundial de fibras naturales.

En la figura 3 se identifican las fibras naturales con mayor participación a nivel mundial según los datos tomados por el ministerio de agricultura. El yute es la que a nivel mundial predomina con una producción de 2.794.169, seguido por el sisal con una participación de 257.959, abacá con 97.550 y por último se coloca la fibra de fique debido a que es un material producido en Colombia y es ventajoso a nivel económico y también a nivel informativo ya que podemos tener fácil acceso al

momento de la compra y al momento de investigar la fibra, también es de resaltar que tiene también una gran importancia e influencia a nivel mundial.

7.3 Descripción fibras naturales

Las fibras que predominan a nivel mundial en producción, son yute, sisal, abacá y fique, las cuales se definirán en la tabla 3:

YUTE	FIQUE	SISAL	HENEQUEN	KENAF	ABACA
(Tiliaceae <i>Corchorus</i>)	(Furcraea <i>bedinghausii.</i>)	(Agavácea <i>Agave sisalana</i>)	(Agavácea <i>Agave fourcroydes</i>)	(Malvaceae <i>Hibiscus cannabinus</i>)	(Musaceae <i>Musa textiles</i>)
Fibra blanda	Fibra dura	Fibra dura.	Fibra dura	Fibra blanda	Fibra dura
India y Bangladesh	Colombia	Brasil.	México y Cuba	India, China y Tailandia	Filipinas, Ecuador.
Fabricación de hilos, tejidos, sacos, alfom- bras y en nuevos productos como los geotextiles.	Fabricación sacos o empaques, artesanías, sogas, hilos, telas, relleno de colchones y cojines, papel artesanal, entre otros.	Fabricación en cordelería, costales, hilaza para alfom- bras, hamacas, rellenos de colchones, pasta para papel, entre otros.	Fabricación de hilos, sogas, cordeles, alfombras, hamacas, sombreros, sacos etc.	Elaboración de papel, cartón, empaques, acolchados de alfombras, sustitutos de fibra de vidrio, etc.	Se emplea esencialmente para la fabricación de textiles.

Tabla 3: Descripción de algunas fibras naturales en Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)

7.3.1 Yute

El yute es largo, suave y brillante, con una longitud de 1 a 4 metros y un diámetro de entre 17 a 20 micras. Es una de las fibras naturales vegetales más fuertes y sólo está en segundo lugar con el algodón en términos de cantidad de producción. El yute tiene propiedades altamente aislantes y antiestáticas, moderadas reabsorción de humedad y baja conductividad térmica.

7.3.2 Sisal

Es una fibra brillante y de un blanco cremoso, la fibra de sisal mide cerca de 1 metro de longitud, con un diámetro de 200 a 400 micras. Es una fibra basta, dura e inadecuada para textiles o telas. Pero es fuerte, durable y alargable, no absorbe humedad fácilmente, resiste el deterioro del agua salada, y tiene una textura superficial fina que acepta una amplia gama de teñidos.

7.3.3 Abacá

La 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%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada, y por el largo de su fibra - más de 3 metros. Las mejores clasificaciones del abacá son finas, brillantes, de un color habano claro y muy fuertes.

7.3.4 Fique

Estas fibras poseen propiedades especiales para la producción de pulpa de papel, materiales para la construcción, biomantos, aislantes térmicos entre otros, por sus características fibrosas se convierte en una excelente alternativa para este sector y contribuye con la conservación ambiental.

7.3 Consumo mundial de fibras naturales

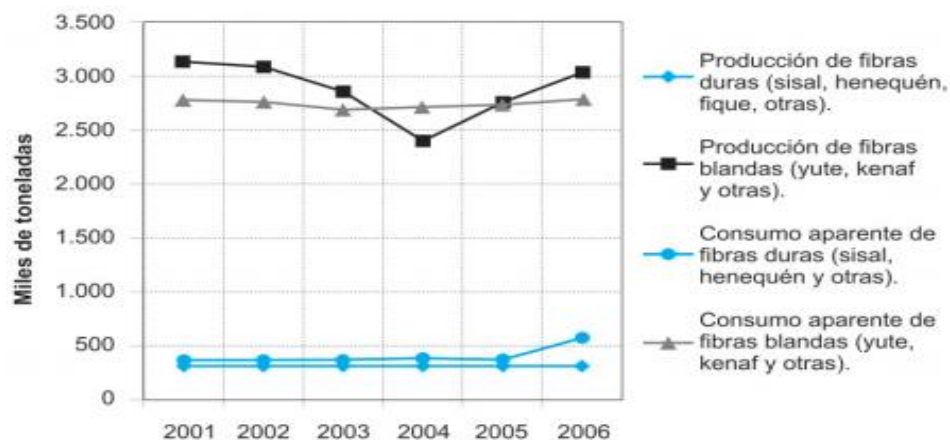


Figura 4: Consumo mundial de fibras naturales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)

Como se puede evidenciar en la figura 4, las fibras de mayor consumo son Yute y kenaf las cuales presentan los niveles más altos de consumo en el año de 2001, 2002, 2003, 2005, y 2006, con un promedio de 2.500.000 - 3.000.000 toneladas en el transcurso de los años mencionados. Seguidas de las fibras de sisal y henequén con un consumo por debajo de 500 mil toneladas, solo se presenta un alza de consumo en el año 2006.

7.4 Selección de fibras naturales

Se seleccionaran las fibras naturales por un método de calificación de 5 atributos dándole una calificación de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta, en la tabla 4 se describe el valor y la descripción de calificación.

Valor de puntuación	Descripción de puntuación
1	Muy malo
2	Malo
3	Bueno
4	Muy bueno
5	Excelente

Tabla 4: Tabla de calificación para la selección de fibras naturales.

Teniendo en cuenta la información de la tabla 4, se iniciara con la valoración que se le dará a cada una de las principales fibras seleccionadas anteriormente:

Fibras/Atributos	Nivel de adquisicion	Nivel informativo	Nivel de consumo	Propiedades optimas	Costo del material	Puntaje total
Yute	4	5	3	4	4	20
Sisal	3	5	4	3	3	18
Abate	3	5	3	4	4	19
Fique	5	5	1	3	3	17

Tabla 5: Cuadro de evaluación por atributos para la selección de las fibras.

El puntaje más alto lo presentaron las fibras:

- Yute.
- Sisal.
- Abacá.

Por el alto puntaje que presentaron, se han seleccionado las fibras cumpliendo con mayor puntuación en los cinco atributos establecidos de la tabla 5. El fique se incluye en la tabla pero no se toma en cuenta porque aunque esta en los principales

productores de fibras naturales, se encuentra en el último puesto y al momento de calificarlos por sus atributos quedo nuevamente en la última posición.

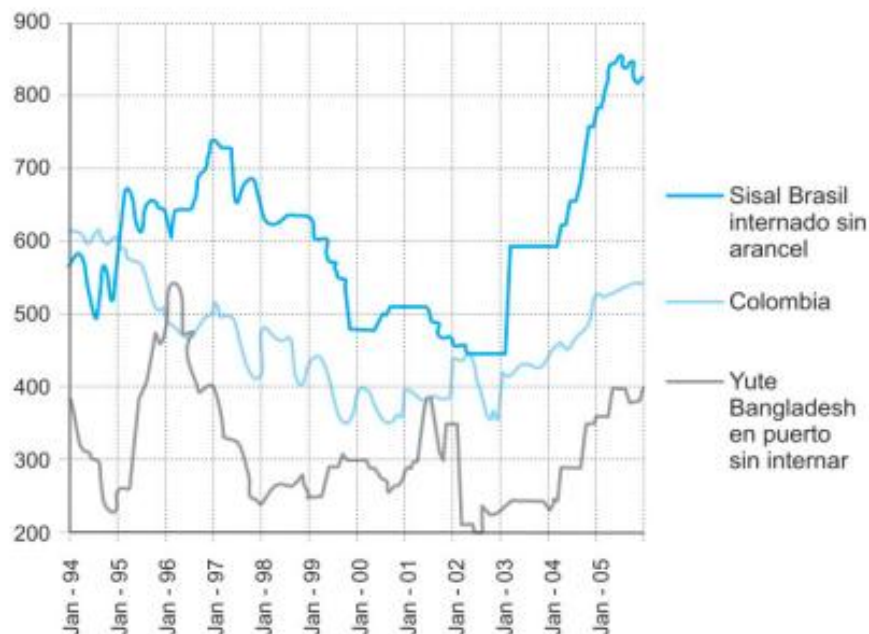


Figura 5: Precios de fibras naturales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)

En la figura 5 se plantea una dinámica de precios de los años indicados, como se observa, los precios desventaja a los que se observan en Colombia en cuanto a fibras naturales e indican que esto puede afectar a la producción nacional, porque el mercado externo ofrece materiales similares al fique y a menor precio de adquisición y en grandes cantidades de producción.

7.5 Inicio y desarrollo experimental

Para dar comienzo al desarrollo y diseño experimental, hay que tener en cuenta como primer medida los equipos y herramientas que se necesitaran al

momento de dar inicio a las actividades, las normas de seguridad que se deben emplear para evitar riesgos de salubridad y seguridad laboral al momento de manipular los elementos químicos.

7.5.1 Ciclo PHVA

Antes de comenzar a realizar las actividades que desarrollaran el proyecto, hay que identificar mediante un ciclo de PHVA la etapa de planeación, desarrollo, verificación, y por último el actuar.

Realizar una investigación acerca de las fibras sintéticas utilizadas en la actualidad e identificar si pueden ser remplazadas por fibras naturales, siempre y cuando cumplan con la mayor cantidad de propiedades de las fibras sintéticas. Esto se realiza con el fin de emplear nuevas propuestas de refuerzo en materiales poliméricos.

Se realiza la investigación por que en la actualidad se identifican pocos materiales que sirven de refuerzo en materiales poliméricos, por los costos elevados que presentan los refuerzos utilizados en la actualidad en sectores industriales específicamente, también por que los materiales que se usan, no son materiales biodegradables, ya en si el polímero se considera un material que al momento de reforzarse no se puede reciclar y genera más contaminación al medio ambiente porque no solo el polímero se desecha también la fibra sintética, pero con las fibras naturales, al momento de biodegradarse, queda únicamente el polímero que se

reforzó el cual tendría una mayor posibilidad de ser reciclado y no desechado, dándole más vida útil al material.

Planeación	Verificación
Tener en cuenta la norma NTC OHSAS 18001 de seguridad industrial y salud ocupacional.	Verificar que cada una de las probetas con las medidas que están en la norma.
Realizar una lista de la materia prima que se va a utilizar para el diseño de experimentos.	Verificar que se estén empleando herramientas y equipos necesarios.
Realizar un listado de la maquinaria o herramientas necesarias para poder iniciar con el diseño de experimentos.	Verificar que las probetas estén reforzadas con la fibra indicada.
Tener presente la normalización de las probetas de ensayo según la norma ASTM D38	Revisar que el equipo de impacto este buenas condiciones para su uso.
Investigar el polímero al cual se le hará el refuerzo.	Actuar
Hacer	Realizar las pruebas de impacto a las probetas
Usar las herramientas y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto.	Tomar los datos que estén generando esas pruebas.
Realizar o desarrollar las probetas.	Realizar la comparación de comportamientos de las diferentes fibras.
Reforzar las probetas con fibras naturales y una con fibra de vidrio.	Desarrollar las conclusiones.

Tabla 6: Ciclo PHVA “material polimérico reforzado con fibras naturales”

7.5.2 Norma NTC OHSAS 18001:00 Sistemas De Seguridad Industrial Y Salud Ocupacional.

OHSAS 18001 es una norma de gran ayuda para las empresas con la cual se puede identificar, evaluar, manejar y gestionar la salud ocupacional y riesgos laborales. Hay que aclarar que el evitar los riesgos no se puede definir como un gasto sino como una inversión. La norma pretende, indicar las precauciones que se deben tener en cuenta la momento de realizar las actividades por los operarios o

personal laboral cuando dichas actividades generen algún tipo de riesgo asociado con la salud del personal, esto quiere decir que esté involucrado directamente con el proceso, y así mismo generar un mejoramiento continuo en los procesos y procedimientos que se estén llevando a cabo en un sector específico con la ayuda de la herramienta ciclo PHVA (planear-hacer-verificar-actuar).

7.5.3 Listado de materias primas

Materia prima	Unidades	Unidades/mm
Laminas de aluminio	5	
Estaño	3	
Fibras de platano	100	
Fibras de coco	100	
Fibras de savila	100	
Resina poliester		1000
Catalizador		200
Acelerador		200

Tabla 7: Materias primas utilizadas en la fabricación de las probetas.

La tabla 7 indica los materiales que se deben tener a disposición para empezar con el desarrollo de las probetas y sus posteriores actividades.

7.5.4 Listado de maquinaria y herramientas

Maquinaria y herramientas	Unidades
Regla	1
Marcador	2
Visturi	1
Cuaderno	1
Esfero	1
Lapiz	1
Guantes indsutriales	2
Gafas protectoras	2
Bata	2
Maquina de ensayo de impacto	1
Cautin	1

Tabla 8: Maquinaria y herramienta utilizada en el desarrollo del trabajo.

La tabla 8 indica la herramienta-maquinaria empleada para el desarrollo del presente trabajo.

7.5.5 Normalización de las probetas (ISO)

Según la Norma ISO 179-1:2010 (Plastics -- Determination of Charpy impact properties -- Part 1: Non-instrumented impact test).

Este método tiene un mayor rango de aplicabilidad que la dada en la norma ISO 180 (ensayo al impacto Izod) y es más adecuado para el ensayo de los materiales que muestran fractura interlaminar cortante o de materiales que exhiben efectos de superficie, debido a factores ambientales.

El método es adecuado para su uso con la siguiente gama de materiales:

- Moldeado termoplástico rígido y materiales de extrusión (incluyendo llenado y reforzado compuestos, además de los tipos sin relleno) y las hojas de termoplásticos rígidos.
- Los materiales de moldeo termoestables rígidas (incluidos los compuestos cargados y reforzados) y hojas rígidas termoestables (incluyendo laminados); Los materiales compuestos de fibra reforzada termoendurecibles y termoplásticas que incorporan refuerzos unidireccionales o multi-direccional (tales como alfombras, telas tejidas, mechas tejidas, hebras cortadas, combinación y refuerzos híbridos, mechas y fibras molidas) o en hojas que incorporan hechas desde la pre-impregnados materiales (pre impregnados), incluyendo compuestos rellenos.
- Los polímeros termotrópicos de cristal líquido

La probeta tiene 10 mm en cuadrado y 55 mm de longitud y sobre una de sus cargas una ranura centrada de 2 mm de profundidad, con un ángulo de 45° y un radio el vértice de 0.25 mm. La probeta se coloca en como una viga apoyada libremente, con 40 mm entre los soportes y un péndulo (de altura y masa variables) la golpea en el lado opuesto de la ranura. La energía absorbida se puede calcular a partir de la masa y altura del péndulo antes y después del impacto. La cantidad de energía absorbida es una medida de la fragilidad del material.

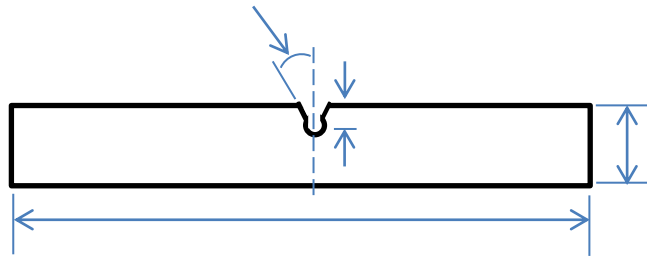


Figura 6: Plano probeta de ensayo charpy.

7.5.6 Polímero empleado

En el desarrollo de la tesis se emplea resina poliéster, debido a su gran número de propiedades que contiene, es una resina apta para diversas aplicaciones, es utilizada en gran parte para las aplicaciones de moldeo, donde se necesitan propiedades como de resistencia mecánica y también resistencia al medio ambiente o intemperie. Es una resina rígida con una viscosidad baja, es también muy caracterizada por su transparencia y también por que ofrece la opción de aplicar color si se desea.

Para usar la resina poliéster se tiene que combinar dos elementos adicionales para poder utilizar la resina en la prueba de ensayo de impacto que es un catalizador (meck) y un acelerador que sirven para el procedo de solidificación de la resina en un periodo más corto de lo habitual.

7.5.7 Tratamiento para las fibras naturales

Como se emplean fibras naturales en el desarrollo de las probetas, existe la posibilidad de que estas fibras absorban alguna cantidad de agua, para evitar este problema y darle una protección a al intemperie, se usan unas sustancias naturales y a la vez económicas para no subir los costos del proceso siempre y cuando cumpliendo con el objetivo de proteger las fibras. A continuación se mencionan las sustancias que se pueden emplear para brindarle protección a las fibras naturales antes de ser usadas como refuerzo.

- Aceite de linaza.
- Parafina.
- Sellador para madera.

Se selecciona el aceite de linaza porque es el que más fácil de adquirir, a continuación mediante un diagrama de flujo, se indicara como se realiza el tratamiento que se le va a dar a la fibra para protegerla.

7.5.7.1 Diagrama de flujo tratamiento de fibras naturales

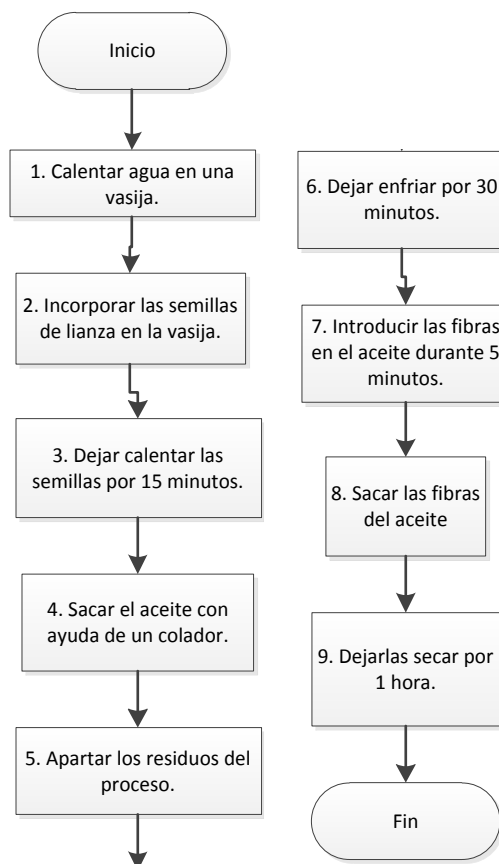


Figura 7: diagrama de flujo para el tratado de las fibras naturales.

7.5.8 Desarrollo de los moldes

Se realizan cotizaciones para el desarrollo de las probetas en universidades que prestaran el servicio, entre estas estaban la universidad nacional, universidad de los andes y por último la universidad javeriana. Al momento de realizar la cotización, incluyendo los análisis en cuanto a las pruebas de impacto se evidencia que el

presupuesto no nos alcanza para poder realizar estos análisis en las instituciones mencionadas.

Por ese motivo se inicia con el desarrollo de los moldes fabricados con las medidas establecidas en la norma ASTM D38 (standard test method for tensile properties of plastic).

El molde se construye a partir de láminas de aluminio, se escoge el material debido a la resistencia a altas temperaturas, debido a que al momento de incorporar la resina poliéster en el molde con el catalizador, se genera una reacción química que genera altas temperaturas.

7.5.8.1 Plano de molde de probetas de ensayo de impacto según la norma ASTM D38.

A continuación, en la figura 8 se muestra el plano acotado del molde siguiendo las medidas especificadas en la norma ASTM D38. Se menciona nuevamente que el material empleado para el desarrollo de los moldes es aluminio.

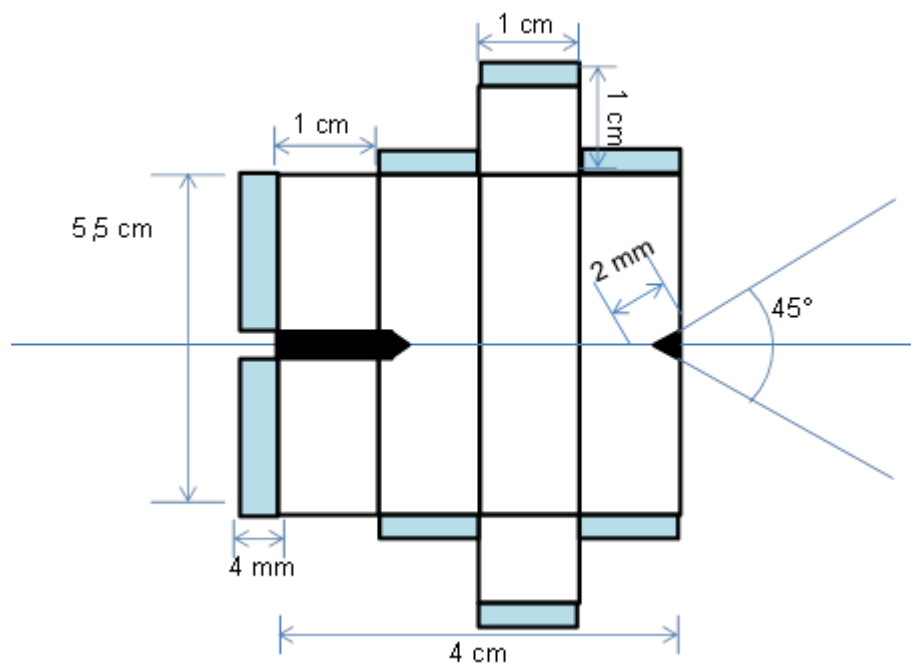


Figura 8: Plano del molde para las probetas de material compuesto

7.5.9 Probeta finalizada sin el refuerzo

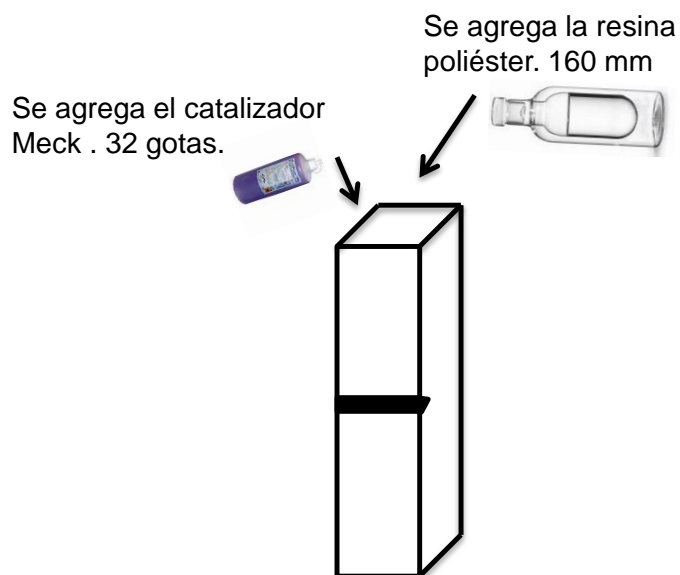


Figura 9: Matriz con 100% resina poliéster

Se agrega un total de 6 ml de resina poliéster pre acelerada, dicha cantidad llena el contenido del molde para posteriormente aplicarle el catalizador meck (peróxido), la cantidad de catalizador se define teniendo en cuanto la cantidad de resina poliéster agregada por el 2 porciento


$6 \text{ ml} \times 0.02 = 0,12\text{ml}$, que es equivalente a 3 gotas de catalizador.

Después de realizar los procedimientos anteriores, se deja el material en el molde durante 2 horas para asegurar la conformidad de la probeta.


7.5.9.1 Producto final

Transcurridas las 2 horas, se procede a rectificar las dimensiones de las probetas, mediante una sencilla lista de chequeo como la figura 10.

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	
Longitud	55	
Profundidad V	2	
Angulo	45	



Aprueba



No Aprueba

Figura 10: Formato de verificación de dimensiones de las probetas

En el formato se diligencia si se aprueba o no se aprueba la probeta según las dimensiones obtenidas después de analizarlas. Si la probeta falla en un atributo, se

desecha ya que esas diferencias pueden generar datos erróneos al momento del análisis, la norma se debe tener en cuenta en un 100% sin presentar desviaciones, las cuales no se mencionan en dicha norma.

7.5.10 Diseño de experimentos

Se realizó un diseño de experimentos para saber el número total de ensayos o probetas que se van a fabricar para realizarle las pruebas de impacto y saber por medio de análisis estadísticos cual será la mejor combinación y/o fibra para reforzar la resina poliéster (polímero).

Como primera medida se determinó que valores máximos y mínimos de fibra natural se debían tener en cuenta para reforzar la matriz de resina.

Material	Min/Max	Cantidad fibras
Sábila	Mínimo	18
	Máximo	26
Hoja de plátano	Mínimo	18
	Máximo	26
Fibra de coco	Mínimo	18
	Máximo	26

Tabla 9. Valores máximos y mínimos de fibra para reforzar la matriz de resina

En la tabla 9, los valores que se adjuntan corresponden a las unidades de fibra que se van a agregar, representadas en un mínimo y un máximo. No se encuentra información acerca de la cantidad necesaria para reforzar un material, debido a que es un tema muy amplio y varía según la industria en la que se quiera implementar este material compuesto. Por ese motivo, se diseña la tabla experimental teniendo en cuenta que 26 fibras son necesarias para cubrir cada lado de la probeta, es decir que para recubrir la probeta en su totalidad debe multiplicarse 26 fibras por los 4 lados que la componen, en conclusión un total de 104 fibras son necesarias para cubrir la totalidad de la superficie de la probeta. El mínimo se establece teniendo en cuenta ese máximo de 26 fibras, dividiéndolo en 2, es decir un total de 18 fibras.

N. Pruebas	Sábila	Platano	Coco
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

2^k factorial

1. Sábila.

2. Plátano.

3. Coco.

$2^3=8$.

Tabla 10. Tabla general de diseño de experimentos.

La tabla 10, se establece el número de pruebas que se tienen que realizar mediante la fórmula de diseño factorial 2^k , donde k es el número de materiales que se está empleando y este resultado es la réplica de las unidades que se tienen que

desarrollar. Como se observa en la tabla, hay 8 unidades las cuales representan las probetas, a continuación de identificar el número de probetas, se indica el material indicando la cantidad de fibras que se debe tener presente al momento de utilizarlas como refuerzo en las probetas, esa cantidad se indica con un (-) indicando mínimo y un (+) indicando máximo. En las 8 probetas se realizan combinaciones de las 3 fibras para identificar el comportamiento que presentan y la viabilidad que pueda existir al implementar este tipo de material compuesto.

Se realizan 5 probetas adicionales, la primera de fibra de vidrio, la segunda con solo sábila, la tercera con coco, la cuarta con plátano y la quinta sin refuerzo de fibra natural (resina), esto con la finalidad de obtener los datos que arrojan los materiales sin realizar ninguna combinación y también identificar si existe algún tipo de viabilidad con los materiales compuestos.

8. RESULTADOS

8.1 Desarrollo del diseño de experimentos

Para desarrollar el diseño de experimentos, como se menciona anteriormente, se utilizó el diseño 2^k en el cual se siguieron los siguientes pasos:

1. Estimación de efectos.
2. Análisis de la varianza.
3. Efectos significativos
4. Cálculo de la media prevista MP.

8.1.1 Estimación de efectos

En la tabla 11 se puede identificar la estimación de los diferentes efectos obtenidos según el diseño de experimentos y del cual el valor respuesta corresponde a los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas con el péndulo Charpy a las probetas fabricadas con los materiales compuestos.

La estimación de efectos nos demostrará el cambio promedio en respuesta entre el nivel alto y el nivel bajo de un factor.

A = sábila	Parámetros
B = hoja de plátano	
C = coco	

	A	B	C	AxB	AxC	BxC	AxBxC	VR RESPUESTA
1	-	-	-	+	+	+	-	9,5
2	+	-	-	-	-	+	+	10
3	-	+	-	-	+	-	+	14,38
4	+	+	-	+	-	-	-	10
5	-	-	+	+	-	-	+	9,6
6	+	-	+	-	+	-	-	11,3
7	-	+	+	-	-	+	-	14,62
8	+	+	+	+	+	+	+	10,01
	-1,70	2,15	0,41	-2,80	0,24	-0,29	-0,36	11,18

Tabla 11. Estimación de efectos.

8.1.2 Análisis de la varianza

En la tabla 12 se muestra el análisis de la varianza en el cual se calculan los efectos que son estadísticamente significativos y se demuestra cual o cuales factores tienen o no influencia en la variable respuesta.

EFECTO	S.C.	G.L.	C.M.	F-RATIO	F-TABLAS	P-VALUE
TOTAL	31,56	7	-	-		
A	5,76	1	5,76			
B	9,27	1	9,27			
C	0,34	1	0,34			
AxB	15,65	1	15,65			
AxC	0,12	1	0,12			
BxC	0,17	1	0,17			
AxBxC	0,26	1	0,26			
RESIDUO	0	0	0			

Tabla 12. Análisis de la varianza 1

En la tabla 13 podemos observar los factores que tiene una gran influencia en nuestra variable respuesta y aquellos factores que intervienen en poca medida son agrupados en un residuo para así tener control de todas las variables.

EFECTO	S.C.	G.L.	C.M.	F-RATIO	F-TABLA	P-VALUE
TOTAL	31,56	7	-	-		
A	5,76	1	5,76	26,23	7,709	
B	9,27	1	9,27	42,18	7,709	
AxB	15,65	1	15,65	71,24	7,709	
RESIDUO	0,88	4	0,22	1		

Tabla 13. Análisis de la varianza 2

Obtenemos que los factores A, B y AxB son los factores con mayor significancia en el diseño de experimento planteado.

Luego se calcula el F-Ratio y el F-Tabla para determinar si todos son necesarios o no en el diseño de experimentos y así alcanzar el objetivo de determinar que combinación de materiales es mejor.

8.1.3 Efectos significativos

Dentro de los efectos estadísticamente significativos se debe evaluar cuales optimizan de mejor forma la variable respuesta cumpliendo con lo siguiente:

Si el valor obtenido en F-ratio es mayor o igual que el valor obtenido según la tabla de Fisher (F-Tabla) entonces se puede decir que el efecto optimiza la variable respuesta. (Moreno - Gil, 1995)

A = 26,23 > 7,709, por lo tanto se demuestra que el efecto optimiza nuestra variable respuesta.

B = 42,18 > 7,709, por lo tanto se demuestra que este efecto también optimiza nuestra variable respuesta.

AxB = 71,24 > 7,709, por lo tanto se vuelve a demostrar que el efecto AxB optimiza de mejor manera nuestra variable respuesta.

8.1.4 Calculo de la media prevista

El caculo de la media prevista permite identificar el impacto medio que poseen todos los factores significativos y que optimizan la variable respuesta.

$$MP = X + \sum \text{efectos significativos}$$

$$MP = 11,18 - 1,70 + 2,15 - 2,80$$

$$MP = 8,83$$

8.2 Características físico-mecánicas de las fibras naturales utilizadas

Las fibras fueron sometidas una semana antes a un proceso de secado al aire libre

8.1.1 Fibra de coco

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
PH	-	5
Densidad aparente	g/cm ³	0,020 – 0,094
Elongación	%	15 - 40
Modulo de Young	GPa	6,0
Fuerza de flexión	MPa	220

Tabla 14: Caracterización fibra de coco

La fibra de coco es un material muy rico en carbono C/N =100, lo que le otorga una gran resistencia a la degradación, así como una gran estabilidad.

8.2.2 Fibra de sábila

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Densidad aparente	g/cm ³	0,05 – 0,1
Diámetro aparente	Mm	0,4
Elongación	%	2 – 5
Módulo de Young	GPa	9,4
Fuerza de flexión	MPa	363

Tabla 15. Caracterización de fibra de sábila

8.2.3 Fibra de hoja de plátano

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Densidad aparente	g/cm ³	0,095
Diámetro aparente	Mm	0,20
Fuerza de flexión	MPa	97

Tabla 16. Caracterización de fibra de hoja de plátano

8.3 Características físico-mecánicas de la resina poliéster y fibra de vidrio

8.3.1 Resina poliéster

Los polímeros como el poliéster (resina utilizada en este estudio) pertenece al grupo de los polímeros no higroscópicos los cuales acumulan humedad en la superficie mas no la absorben razón por cual la permite proteger la fibra quien si absorbe la humedad del ambiente.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Densidad aparente	g/cm ³	1,12
Fuerza de tensión	MPa	16,1
Modulo de Young	MPa	89
Fuerza de flexión	MPa	122,4

Tabla 17. Caracterización de la resina poliéster

8.3.2 Fibra de vidrio

Fibra mineral elaborada a partir de sílice, cal, alúmina y magnesita que luego se le aplican óxidos diversos y se trituran consiguiendo una masa homogénea, que más tarde se introducen en un horno a 1.550 °C. El vidrio fundido se extruye y estira, aplicándole un ensimaje y consiguiendo así el filamento. (AITEX, 2005)

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Peso específico	g/cm ³	2,6 – 2,7
Fuerza de tensión	MPa	5380
Fuerza de flexión	MPa	27,5
Elongación	%	4 - 5

Tabla 18. Caracterización de la fibra de vidrio

8.4 Evaluación de la resistencia al impacto de los materiales compuestos

8.4.1 Densidad vs porcentaje de fibra

El primer aspecto a evaluar fue la cantidad de fibras a colocar en las probetas siendo esta una característica importante a la hora de determinada su aplicabilidad. La figura 11 muestra la variación de la densidad del polímero reforzado utilizando fibras de 1mm de ancho

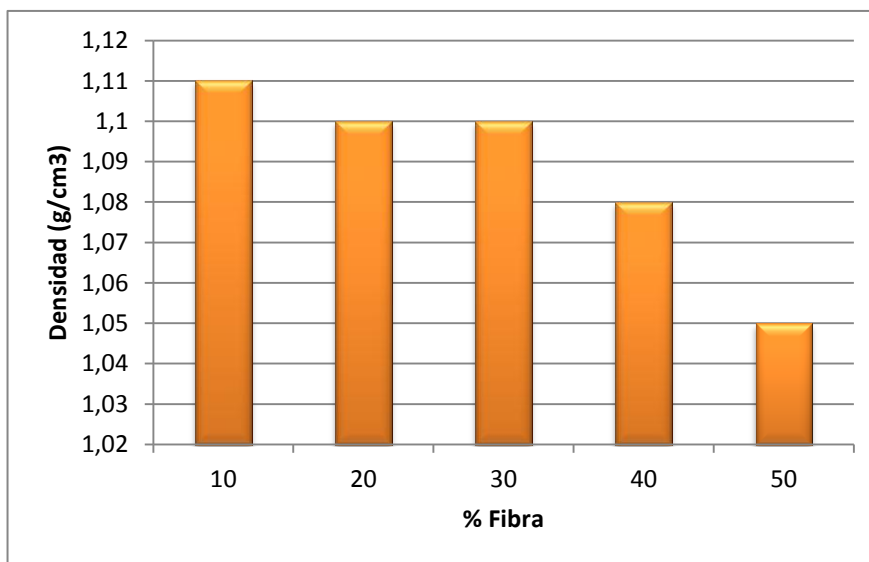


Figura 11: Variación de la densidad del material compuesto con fibras de 1 mm de ancho.

8.4.2 Longitud de la fibra

La longitud de la fibra se determinó por el tamaño de la probeta el cual fue de 55 mm para así reforzar todo el contorno de la probeta y obtener mejores resultados.

8.4.3 Prueba de impacto charpy

Al material compuesto se le realizó una única prueba para determinar su tenacidad la cual se efectuó en un péndulo de impacto “Charpy”, 25 Nm WP 400. En la figura 20 se muestra la relación de los datos obtenidos con la máquina de impacto “Charpy”

8.4.3.1 Parámetros de ensayo

Velocidad de impacto	3,80 m/s
Altura de impacto	1,00 m
Angulo de impacto	150 °
Masa de impacto	1,00 kg
Separación de apoyo de las muestras	40 mm

Tabla 19: Parámetros de ensayo Charpy

A continuación se muestran las gráficas obtenidas de los diferentes materiales compuestos estudiados

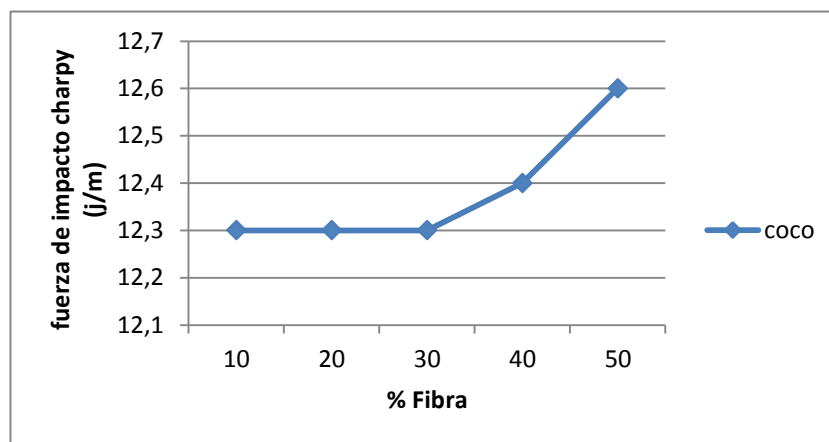


Figura 12: Prueba de impacto Charpy resina-coco

En la figura 12, se observa el comportamiento que tuvo la fibra de coco al momento de someterla a la prueba de impacto, se presenta un incremento en la resistencia de la probeta entre el 20% y 30% y entre el 40% y 50% se evidencia la

mayor resistencia a la prueba de impacto que se obtuvo con un resultado de (15 J/m).

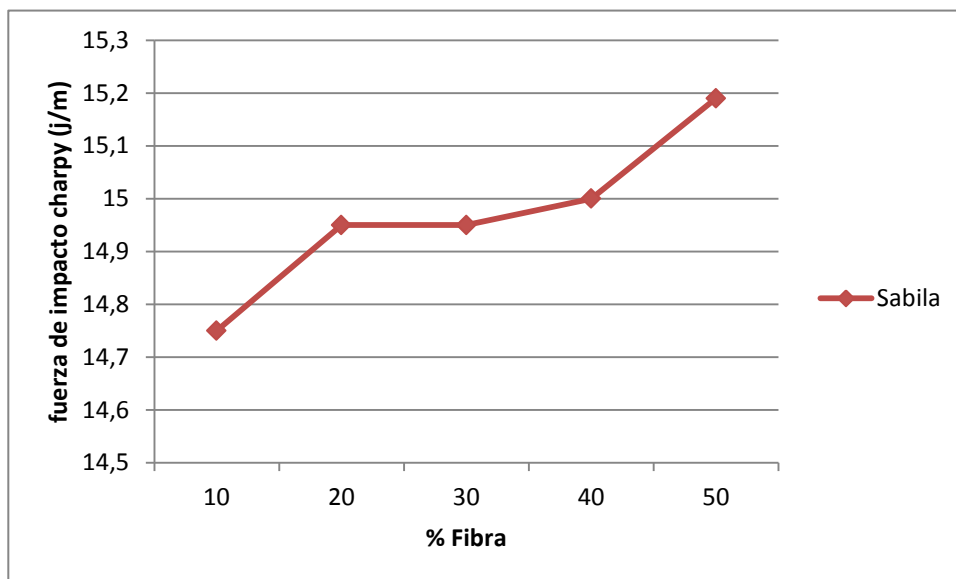


Figura 13: Prueba de impacto charpy resina-sábila

En la figura 13, se evidencia un aumento en cuanto a la resistencia entre un 10% y 20%, a partir del 30% sigue aumentando gradualmente su resistencia hasta alcanzar su máxima capacidad con el 50%, donde se presenta el mayor dato (15,2 J/m).

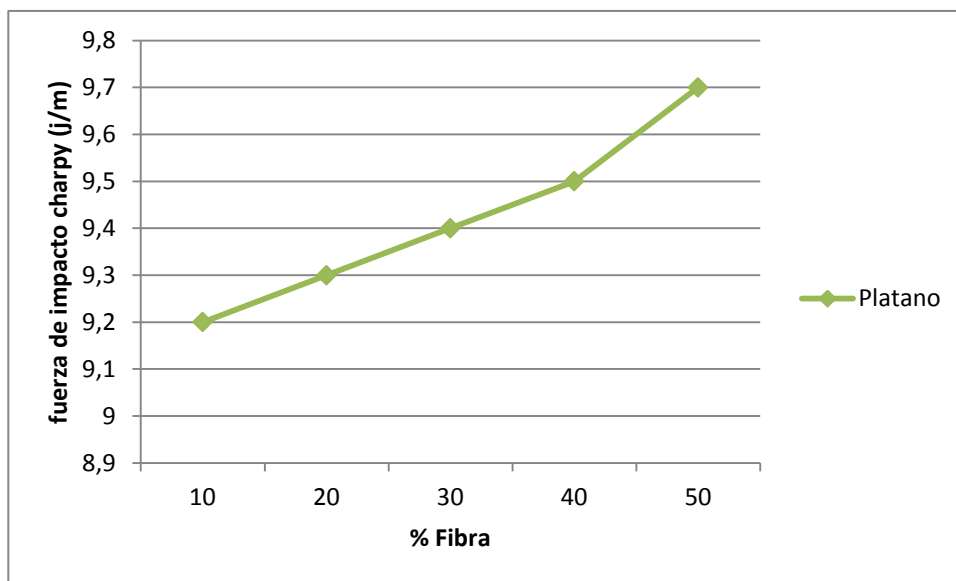


Figura 14: Prueba de impacto charpy resina-hoja de plátano

En la figura 14, al momento de someter el material a la prueba de impacto, se observa un aumento gradual entre el 10% al 40%, a partir de esa serie, al llegar al 50% se observa el mayor dato de resistencia obtenido (9,7 J/m).

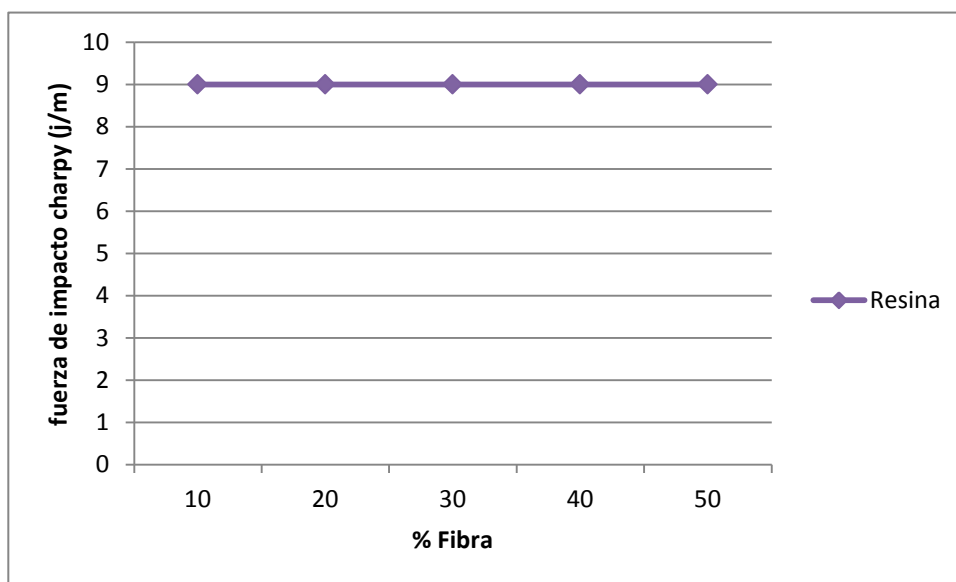


Figura 15: Prueba de impacto charpy matriz resina

En la figura 15, se aprecia el comportamiento estable que presenta la resina poliéster (9J/m), la cual también se colocó a prueba para identificar su comportamiento sin refuerzo alguno.

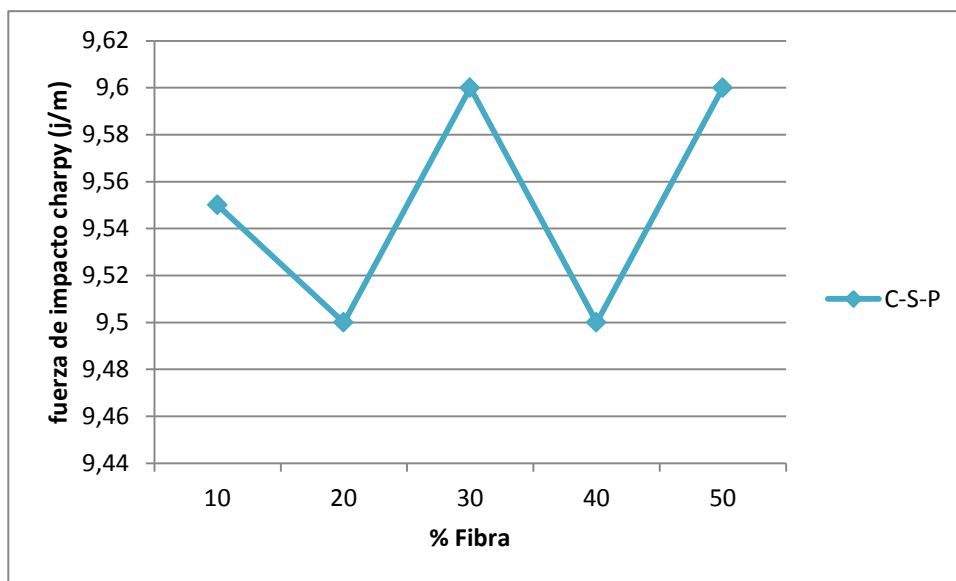


Figura 16: Prueba de impacto Charpy resina-coco-sábila-hoja de plátano

A partir de la figura 16, se evidencian los datos obtenidos al mezclar los tipos de fibra seleccionados, en este caso los datos pertenecen a la unión de las fibras de coco-sábila-hoja de plátano.

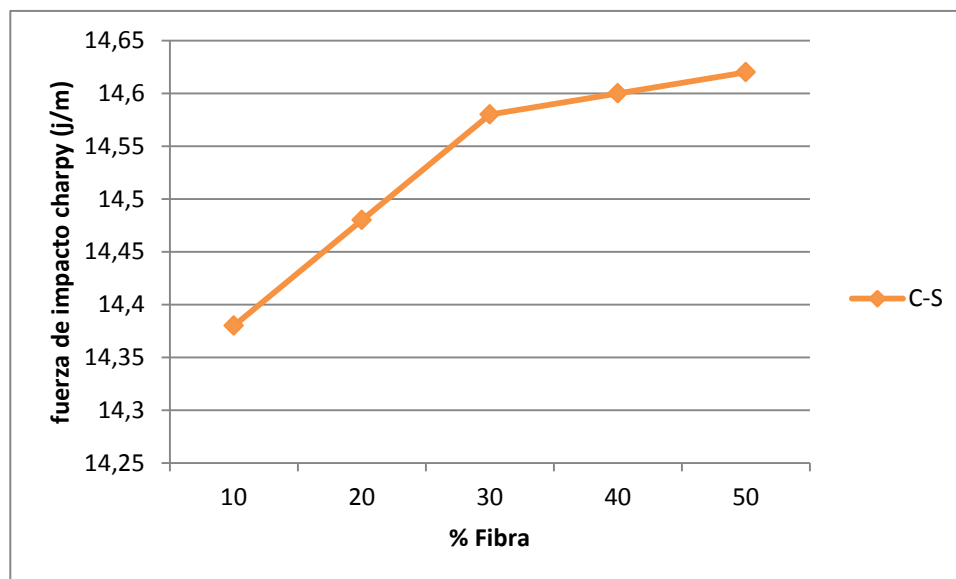


Figura 17: Prueba de impacto charpy resina-coco-sábila.

La figura 17, presenta un incremento del 14.36 (J/m) al 15.56 (J/m) entre un 10% y 30% de fibras, a partir de este punto se presenta un incremento gradual hasta alcanzar 14.63 (J/m) entre un 30% y 50% de fibras naturales.

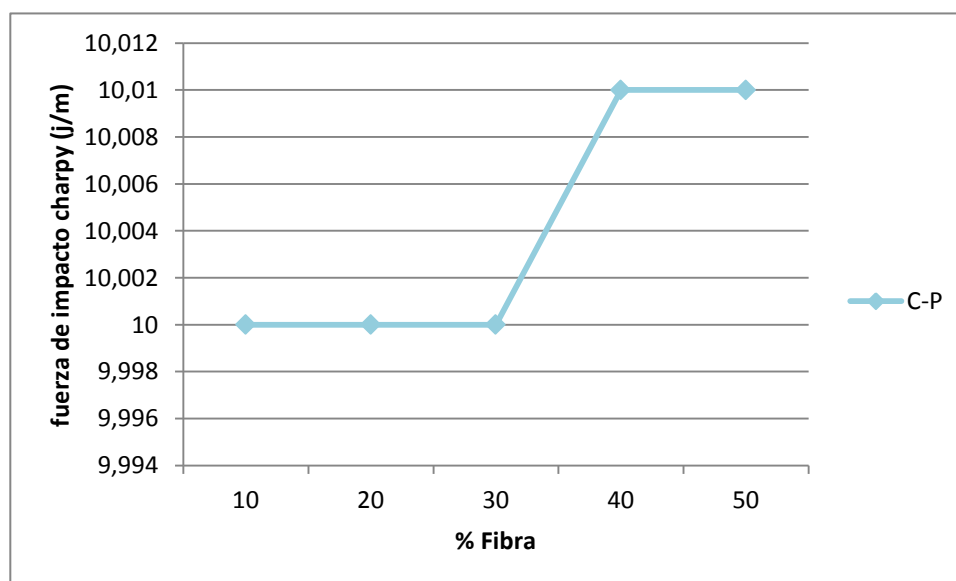


Figura 18: Prueba de impacto charpy resina-coco-hoja de plátano

Se presenta un comportamiento estable de 10 (J/m) entre un 10% y un 30% de fibras naturales, se presenta un incremento en la resistencia hasta 10.01 (J/m) entre un 30% y un 40% de fibras, a partir de este momento se evidencia nuevamente un comportamiento estable entre un 40% y un 50% de fibras naturales.

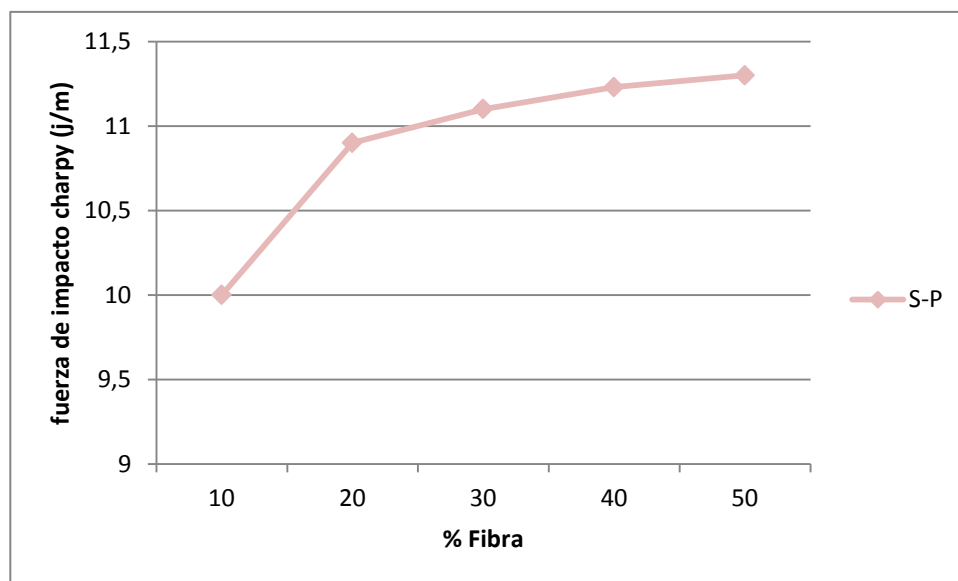


Figura 19: Prueba de impacto charpy resina-sábila-hoja de plátano

En la figura 19, se observa un incremento de resistencia entre 10 (J/m) y 10.59 (J/m) entre un 10% y un 20% de fibras, a partir de estos datos, se presenta un incremento gradual entre 10.59 (J/m) y 11.30 (J/m) resistencias correspondientes entre un 20% a un 50%.

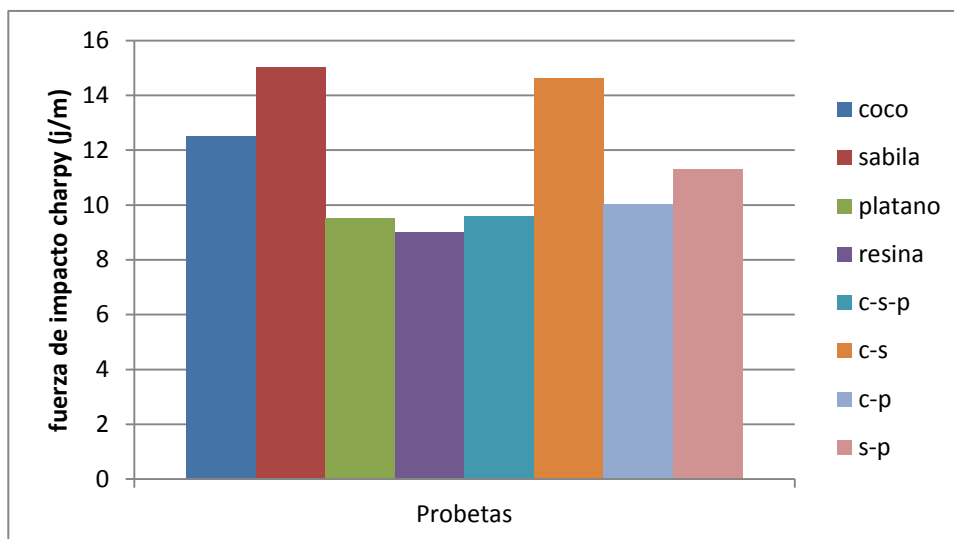


Figura 20: Comparación de las pruebas realizadas a todas las probetas.

Como se puede evidenciar en la figura 20, las tres primeras fibras que predominan en cuanto a su resistencia son sábila, coco-sábila y por ultimo coco. Las fibras naturales que presentaron menos resistencia fueron coco-sábila-plátano, plátano y por ultimo coco-plátano.

Al realizar la prueba de impacto con la probeta reforzada con fibra de vidrio no provoco ninguna fractura puesto que el material compuesto excede las capacidades de la maquina utilizada (péndulo Charpy) y por tal razón se entiende que la matriz reforzada con fibra de vidrio es mejor en cuanto a pruebas de impacto en comparación a las pruebas realizadas con las demás probetas.

8.4.4 Evaluación de la adhesión de la fibra a la matriz

Para poder determinar si en la probeta se habían adherido bien las fibras a la resina poliéster se observó minuciosamente la superficie de la fractura que se originó con la prueba de impacto (charpy).

Los resultados obtenidos indicaron lo siguiente:

- La fibra de coco tuvo una buena adherencia con la matriz (resina poliéster), y que la fibra se rompió mas no se salió de la matriz.
- La fibra de sábila obtuvo los mismos resultados que la fibra de coco.
- La fibra de la hoja de plátano no tuvo una buena adherencia puesto que la fibra se salió de la matriz y luego se rompió.

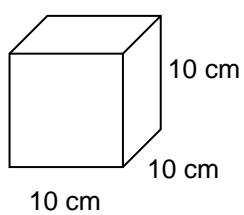
9. PRESUPUESTO

MATERIA PRIMA PROBETAS					
ACTIVIDAD	VALOR	CANT.	UNIDAD	MEDIDA	SUBTOTAL
LAMINAS DE ALUMINIO	\$ 4.000	5	UNIDAD		\$ 20.000
RESINA POLIESTER	\$ 3.500	1	LIBRA		\$ 3.500
CATALIZADOR	\$ 2.000	1	UNIDAD		\$ 2.000
FIBRA COCO	\$ 1.000	1	LIBRA		\$ 1.000
FIBRA SABILA	\$ 1.000	1	UNIDAD		\$ 1.000
FIBRA PLATANO	\$ 1.000	1	UNIDAD		\$ 1.000
			TOTAL 1		\$ 28.500
HERRAMIENTAS					
ACTIVIDAD	VALOR	CANT.	UNIDAD	MEDIDA	SUBTOTAL
REGLA	\$ 2.000	1	UNIDAD		\$ 2.000
MARCADOR	\$ 2.500	1	UNIDAD		\$ 2.500
BISTURI	\$ 3.000	2	UNIDAD		\$ 6.000
CUADERNO	\$ 4.000	1	UNIDAD		\$ 4.000
ESFERO	\$ 1.000	2	UNIDAD		\$ 2.000
LAPIZ	\$ 800	2	UNIDAD		\$ 1.600
			TOTAL 2		\$ 18.100
EQUIPAMIENTO					
ACTIVIDAD	VALOR	CANT.	UNIDAD	MEDIDA	SUBTOTAL
GAFAS	\$ 5.000	2	UNIDAD		\$ 10.000
BATA	\$ 10.000	2	UNIDAD		\$ 20.000
GUANTES	\$ 2.000	2	UNIDAD		\$ 4.000
			TOTAL 3		\$ 34.000
TRANSPORTES					
ACTIVIDAD	VALOR	CANT.	UNIDAD	MEDIDA	SUBTOTAL
BUSES	\$ 1.500	8	UNIDAD		\$ 12.000
			TOTAL 4		\$ 12.000
			TOTAL 1+2+3+4		\$ 92.600

9.1 Costeo de fabricación con fibra natural vs fibra de vidrio

A continuación se mostrara el costeo de una pieza fabricada en resina reforzada con fibra natural (tabla 20), frente a otra pieza de las mismas dimensiones fabricada en resina reforzada con fibra de vidrio (tabla 21).

La pieza a cotizar es un cubo de dimensiones 10 cm X 10 cm X 10cm



MATERIAL	CANT.	UNIDAD	Vr. UNITARIO	
Resina	1,15	kg	\$ 3.500	\$ 8.890
Fibras de sábila	600	und	\$ 1	\$ 600
Catalizador	2,54	und	\$ 1.500	\$ 3.810
			TOTAL	\$ 13.300

Tabla 20: Costeo pieza en resina reforzada con fibra de sábila.

MATERIAL	CANT.	UNIDAD	Vr. UNITARIO	
Resina	1,15	kg	\$ 3.500	\$ 8.890
Fibras de vidrio	0.01	kg	\$ 15.500	\$ 155
Catalizador	2,54	und	\$ 1.500	\$ 3.810
TOTAL			\$ 12.855	

Tabla 21: Costeo pieza en resina reforzada con fibra de vidrio.

Como se puede observar en las tablas 20 y 21, la fabricación de una pieza en fibra de vidrio sale \$ 445 pesos más económica que la reforzada con fibra natural.

La fibra de vidrio al ser un proceso industrializado y tecnificado en grandes volúmenes a la hora de competir con la manera de recolección y preparación de las fibras naturales el cual se realiza manualmente, hace que el precio de fabricación de alguna pieza con fibra natural se eleve por la mano de obra.

10. CONCLUSIONES

La propiedad mecánica al impacto de las fibras del coco, sábila y hoja de plátano reforzando la resina poliéster han sido investigadas.

La resina reforzada presento mejoras frente a la resina sola, lo cual demuestra que el estudio tuvo los resultados esperados y que un siguiente paso es realizar otro estudio para observar en que aplicaciones puede ser utilizada.

Como se puede observar en las figuras 13 y 20 la resina poliéster reforzada con las fibras de sábila demostró mayor resistencia al impacto con valores máximos de 15 J/m en comparación con los demás materiales compuestos.

Otro material con buena resistencia al impacto fue la resina reforzada con fibras de coco y sábila la cual conto con valores máximos de 14,6 J/m como se puede observar en las figuras 17 y 20.

Para poder realizar el material compuesto se debe efectuar un tratamiento previo a la fibra pues esta posee un porcentaje alto de agua y provocaría burbujas o grietas dentro del material y provocar la ruptura del material.

Luego de realizar las probetas de los materiales compuestos se puede concluir que sería recomendable realizar el moldeo de las probetas bajo presión, lo cual permitirá aumentar las capacidades de resina y fibra natural asimismo la adherencia entre la fibra y la matriz.

El estudio de las propiedades mecánicas efectuado con el péndulo de impacto Charpy a las probetas fue satisfactorio y se recolectaron datos importantes que reflejan el potencial de las fibras naturales en aplicaciones que no requieran de

grandes esfuerzos y servirá de referencia a posteriores trabajos que se realicen en la universidad.

El material compuesto frente a la resistencia a la tensión no mejora mucho pero si se obtiene una mayor deformación antes de que se rompa.

El tamaño de la fibra no influyo en el resultado de la prueba mecánica al impacto.

Según las pruebas realizadas se demostró que la resina reforzada con fibra de vidrio es mejor que la reforzada con fibras naturales.

El presupuesto fue entregado por ambos realizadores del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Agenda Interna para la Productividad y Competitividad. (Agosto de 2007).

Scribd. (10 de 07 de 2008). Recuperado el octubre de 2011, de Scribd:

<http://es.scribd.com/doc/6422058/Modulos-de-Elasticidad>

WordReference.com. (2011). Recuperado el 15 de 04 de 2011, de

WordReference.com: <http://www.wordreference.com/definicion/miraguano>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). Obtenido de

<http://www.minagricultura.gov.co/inicio/default.aspx>

Resineco.com. (2012). Obtenido de <http://tienda.resineco.com/fibrasvidrio>

AITEX. (octubre de 2005). Recuperado el abril de 2012, de

<http://www.textil.org/extranet/inf/Revista18/pag19.pdf>

Ballvé, D. G. (11 de mayo de 2007). *Colección de Tesis Digitales Universidad de las*

Americas puebla. Recuperado el noviembre de 2011, de Colección de Tesis

Digitales Universidad de las Americas puebla:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/gonzalez_b_d/

Ballvé, D. G. (11 de mayo de 2007). *UDLAP universidad de las americas puebla.*

Recuperado el 20 de marzo de 2011, de

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/gonzalez_b_d/index.html

Castellanos D., O. F., Torres P., L. M., & Rojas L., J. C. (2009). *Biblioteca digital*

Repositorio Institucional. Recuperado el enero de 2012, de Biblioteca digital

Repositorio Institucional:

http://www.bdigital.unal.edu.co/2078/1/2009__Agenda_Fique.pdf

- Diccionario de la lengua española, E. -C. (2005). *WordReference*. Recuperado el septiembre de 2011, de WordReference: <http://www.wordreference.com/definicion/miraguano>
- Espino, J. C. (28 de Mayo de 2012). *prensa.com*. Obtenido de <http://mensual.prensa.com/mensual/contenido/2008/04/13/hoy/opinion/1320750.html>
- Ibarra, S. (1999). *Maguey o Agave*. Recuperado el septiembre de 2011, de <http://www.elportaldemexico.com/cultura/bebidas/magueyagave.htm>
- ICONTEC. (2007). *Norma técnica colombiana NTC-OHSAS 18001 (primera actualización)*. Bogota.
- ISO. (s.f.). *iso.com*. Obtenido de http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44852
- Juarez Alvarado, C., Rodriguez Lopez, P., Rivera Villareal, R., & Rechy De Von Roth, M. D. (enero de 2004). *Revista Ingenierias*. Recuperado el Septiembre de 2011, de Revista Ingenierias: <http://ingenierias.uanl.mx/22/usodefibras.PDF>
- Moreno - Gil, J. S. (1995). Manual de estadística universitaria inductiva. En J. S. Moreno - Gil, *Manual de estadística universitaria inductiva* (pág. 353). Madrid: ESIC editorial.
- Ortega, Y. (junio de 2006). *Sociedad mexicana de física*. Recuperado el febrero de 2012, de Sociedad mexicana de física: http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_0051.pdf

- Posada V., M. J. (2009). *Año Internacional de las Fibras Naturales 2009*. Recuperado el octubre de 2011, de Año Internacional de las Fibras Naturales 2009: <http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/abaca.html>
- S.L, Z. i. (s.f.). *Zwick*. Recuperado el abril de 2012, de Zwick: <http://www.zwick.es/es/aplicaciones/plasticos/termoplasticos-compuestos-de-moldeo/ensayo-de-impacto.html>
- unalmed.edu.co. (s.f.). Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~cpgarcia/mecanicas.PDF>
- UNCTAD. (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2011, de UNCTAD: <http://r0.unctad.org/infocomm/espagnol/yute/descripc.htm>
- Wikipedia. (diciembre de 2008). *Wikipedia*. Recuperado el septiembre de 2011, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Agave_sisalana

ANEXOS

A continuación se muestra la verificación de medidas realizada a cada una de las probetas

Probeta 1

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 1, cumple a cabalidad con las medidas establecidas, se retoca la superficie para dejar un buen acabado.

Probeta 2

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 2 cumple satisfactoriamente con las dimensiones establecidas. Se retoca para darle un buen acabado superficial.

Probeta 3

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 3, cumple a cabalidad con las dimensiones indicadas en el formato. Para terminar la probeta se retoca la superficie para darle un buen acabado superficial.

Probeta 4

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 4, cumple con las medidas indicadas en el formato. Se realiza retoque superficial para darle un buen acabado.

Probeta 5

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 5, cumple a cabalidad con las dimensiones establecidas. Se retoca para dejarla con un buen acabado superficial.

Probeta 6

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 6 cumple, cumple con las dimensiones indicadas en el formato. Se realiza un retoque a la superficie para un acabado superficial óptimo.

Probeta 7

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 7, cumple a cabalidad con las medidas establecidas, se retoca la superficie para dejar un buen acabado.

Probeta 8

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 8, cumple a cabalidad con las medidas establecidas, se retoca la superficie para dejar un buen acabado.

Probeta 9

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 9, cumple con las medidas indicadas en el formato. Se realiza retoque superficial para darle un buen acabado.

Probeta 10

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 10 cumple satisfactoriamente con las dimensiones establecidas. Se retoca para darle un buen acabado superficial.

Probeta 11

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 11, cumple a cabalidad con las dimensiones establecidas. Se retoca para dejarla con un buen acabado superficial.

Probeta 12

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta 12 cumple, cumple con las dimensiones indicadas en el formato. Se realiza un retoque a la superficie para un acabado superficial óptimo.

Probeta 13

FORMATO DE VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		
Atributos	und. Medida (mm)	Fto. Aprobación
Ancho	10	✓
Longitud	55	✓
Profundidad V	2	✓
Angulo	45	✓

La probeta numero 13, cumple a cabalidad con las dimensiones indicadas en el formato. Para terminar la probeta se retoca la superficie para darle un buen acabado superficial.