

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL
COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE Y FIBRA DE VIDRIO EN
UNA MATRIZ DE RESINA EPÓXICA.**

**OSVALDO ALFONSO NAVARRO GARCÍA
ANDRÉS DAVID RAMÍREZ ZAMBRANO**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
BARRANQUILLA
2014**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL
COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE Y FIBRA DE VIDRIO EN
UNA MATRIZ DE RESINA EPÓXICA.**

**OSVALDO ALFONSO NAVARRO GARCÍA
ANDRÉS DAVID RAMÍREZ ZAMBRANO**

Proyecto de grado para optar al título de INGENIERO MECÁNICO

Asesor disciplinar: Ing. Msc Ricardo Mendoza

**BARRANQUILLA
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Barranquilla, Febrero de 2014

Agradecimiento

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado. A la Universidad Autónoma Del Caribe por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Le doy gracias a mis padres María Smith Zambrano y Luis Alfonso Ramírez, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el trascurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A Arturo, Mariana y Yesenia por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, a Olmer, Fernando, Milena por llenarme la vida de alegría y mucho amor cuando más lo he necesitado.

A Sthefany Orozco, por ser parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

A Osvaldo Navarro por haber sido un excelente compañero de tesis y amigo, por haberme tenido la paciencia y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

A mi director de tesis, ing. Msc. Ricardo Andrés Mendoza Quiroga por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como

docente, por sus consejos, que ayudaron a formarme como persona e investigador. Su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Andrés David Ramírez Zambrano

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por bendecirme y brindarme la oportunidad de culminar con éxito esta etapa y el haberme dado fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida. A la Universidad Autónoma Del Caribe por darme la oportunidad de estudiar y desarrollarme profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi formación profesional a las que quiero agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía a lo largo de mi carrera.

Agradezco a mis padres por apoyarme y ser parte fundamental de mi vida, por brindarme siempre toda su confianza y dedicación a lo largo de este proceso.

Gracias también a cada uno de los que son parte de mi familia, y fueron fundamentales en este maravilloso logro obtenido. Gracias a mi compañero tesis y amigo Andrés Ramírez que a pesar de los obstáculos siempre mostro su tenacidad y carácter para sacar adelante este proyecto.

A mi director de tesis, el Ingeniero M.sc Ricardo Mendoza Quiroga por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y motivación me ha guiado para lograr terminar este proyecto con éxito.

Gracias también a mis compañeros y amigos, que me apoyaron y de alguna manera colaboraron en este proyecto.

Para ellos muchas gracias y que Dios los bendiga!

Oswaldo Alfonso Navarro García

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo principalmente a Dios por bendecirme y guiarme a lo largo de mi vida. A mis padres Leyden García Sierra y Osvaldo Navarro Mercado que siempre me han guiado y cuidado con mucho amor. Gracias de corazón por todas las oportunidades que me han brindado. A mi hermana Lizeth Paola Navarro García que siempre ha estado conmigo en todo momento. Gracias por tu tiempo, tus consejos, tu apoyo incondicional y tu cariño. A James Camelo por ser un gran apoyo para mi familia. A mis amigos y familiares que siempre estuvieron a mi lado para apoyarme, dándome ánimo para terminar este proceso.

¡Gracias, los quiero mucho!

Osvaldo Alfonso Navarro García

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos.....	6
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1 Marco teórico	7
4.1.1 Clasificación de los materiales compuestos	8
4.2 Marco conceptual	13
4.2.1 Planta de fique.....	13
4.2.2 Fibras.....	20
4.2.3 Fibras de vidrio	23
4.2.4 Resinas.....	34
4.3 Estado del arte.....	38
4.3.1 Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique.....	38

4.3.2	Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique.	39
4.3.3	Conformado y caracterización físico-mecánica de materiales compuestos basados en polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales de fique. .	40
4.3.4	Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas.....	42
5.	METODOLOGÍA.....	43
5.1	Caracterización de las fibras	43
5.1.1	Determinación de diámetros promedio.....	43
5.1.2	Pruebas de tensión	43
5.2	Caracterización de la resina	44
5.2.1	Pruebas de tensión	44
5.2.2	Pruebas de flexión.....	44
5.2.3	Pruebas de impacto	45
5.3	Caracterización del material compuesto	45
5.3.1	Pruebas de tensión	45
5.3.2	Pruebas de flexión.....	46
5.3.3	Pruebas de impacto	46
6.	CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE Y VIDRIO E	46
6.1	Determinación del diámetro de las fibras.....	46
6.1.1	Distribución diámetro fibra de vidrio E.....	48

6.2	Densidad lineal.....	49
6.3	Pruebas de tensión	50
6.3.1	Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibras	53
7.	CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA	58
7.1	Proceso de curado	58
7.1.1	Obtención de las probetas.....	60
7.1.2	Fundición de la resina.....	61
7.2	Ensayo de tensión.....	62
7.3	Ensayo de flexión	64
7.4	Ensayo de impacto.....	67
7.5	Selección de la mezcla.....	71
8.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	72
8.1	Diseño de experimento	72
8.2	Obtención de las probetas del material compuesto.....	74
8.3	Estructura laminar del compuesto	77
8.4	Ensayo de tensión.....	79
8.5	Ensayo de Flexión compuesto	82
8.6	Ensayo de impacto.....	85
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87

9.1	Ensayo de tensión.....	87
9.2	Ensayo de flexión.....	88
9.3	Ensayo de impacto.....	89
9.3.1	Costo beneficio de la propiedad más relevante del compuesto impacto	89
10.	CONCLUSIONES	93
11.	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo, y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos	8
Figura 2. Morfologías de compuestos reforzados con fibras.....	9
Figura 3. Clasificación de materiales laminados	10
Figura 4. Las interacciones matriz-refuerzo	12
Figura 5. Planta de fique (fúrcrea, cabuya, maguey, motua).	14
Figura 6. Fibra de vidrio tipo mat.	27
Figura 7. Fibra de vidrio tipo woven roving.	29
Figura 8. El super gun roving.....	31
Figura 9. Fibras de vidrio tipo velo superficial.	33
Figura 10. Durómetro del laboratorio de tratamientos térmicos de la universidad autónoma del caribe.....	47
Figura 11. Distribución de diámetros de fibras de fique	47
Figura 12. Procedimientos de obtención de probetas para ensayo de tracción...	51
Figura 13. Montaje y ensayo de la probeta.....	52
Figura 14. Modelo general de curado	58
Figura 15. Modelo del molde de madera	61
Figura 16. Fundición de la resina.....	62

Figura 17. Ensayo de tensión en resina.....	63
Figura 18. Ensayo de flexión.....	66
Figura 19. Mt 3016, probador al impacto	69
Figura 20. Diagrama de funcionalidad del proceso de manufactura de materiales compuestos laminados.....	72
Figura 21. Modelo de molde material compuesto	75
Figura 22. 6 capas de fibra fique (100/0)	77
Figura 23. 4 capas de fibra fique , 2 capas de fibra de vidrio E (67/33)	77
Figura 24. 3 capas de fibra fique, 3 capas de fibra de vidrio E (50/50)	77
Figura 25. 2 capas de fibra fique, 4 capas de fibra de vidrio E (33/67)	78
Figura 26. 6 capas de fibra de vidrio E (0/100)	78
Figura 27. Pulido y corte de las probetas de compuesto.	78
Figura 28 Esfuerzo tensión compuesto.....	80
Figura 29 Deformación de tensión en el material compuesto	81
Figura 30 Módulo de elasticidad en tensión del material Compuesto	81
Figura 31 Esfuerzo máximo de flexión en compuesto	83
Figura 32 Deformación de Flexión	84
Figura 33 Módulo de Elasticidad de Flexión	85
Figura 34 Energía Absorbida en Impacto del material Compuesto.....	86
Figura 35. Comportamiento A Tensión Del Compuesto Reforzado Con Fibras....	88
Figura 36 Costo Beneficio.....	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estructura física de la hoja de fique.	16
Tabla 2. Composición química de la hoja de fique.....	22
Tabla 3. Propiedades de la fibra de vidrio.....	24
Tabla 4. Diámetro de fibra de vidrio con sus resistencias.....	25
Tabla 5 Propiedades fibra de vidrio tipo E (González, 1992).....	26
Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas de algunos tipos de fibras de vidrio.	48
Tabla 7. Densidad lineal del fique	50
Tabla 8. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de fique a una velocidad de 1 mm/min	53
Tabla 9. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier fibra de fique a una velocidad de 1 mm/min.....	53
Tabla 10. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de fique a una velocidad de 50 mm/min.....	54
Tabla 11. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier para la fibra de fique a una velocidad de 50 mm/min.....	54
Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de vidrio E a una velocidad de 1 mm/min.....	55
Tabla 13. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier para la fibra de vidrio E a una velocidad de 1 mm/min.....	55

Tabla 14. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra vidrio E a una velocidad de 50 mm/min.....	56
Tabla 15. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier fibra vidrio E a una velocidad de 50 mm/min.....	56
Tabla 16. Formulación de las mezclas.....	59
Tabla 17. Mezclas definidas por componentes.....	60
Tabla 18. Propiedades a la tensión de las resinas.....	63
Tabla 19. Propiedades a la flexión de las mezclas de resina epoxica	67
Tabla 20. Características generales del Mt 3016, probador al impacto	70
Tabla 21. Resultados de la energía absorbida (J) del ensayo de impacto aplicado a las diferentes mezclas	70
Tabla 22. Ordenamientos de los refuerzo del material compuesto	73
Tabla 23. Dimensiones probetas para ensayos	74
Tabla 24. Materiales para la obtención del compuesto	76
Tabla 25. Resultados obtenidos del ensayo de tensión aplicado al compuesto. .	79
Tabla 26. Resultados obtenidos de la prueba de flexión al material compuesto .	83
Tabla 27. Resultados de la energía absorbida (J) del ensayo de impacto aplicado a las diferentes mezclas de material compuesto.....	86
Tabla 28. Densidad del compuesto.....	90
Tabla 29. Relación De Costo Por Probeta	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexos 1. Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto de grado	99
Anexos 2. Presupuesto Global del Proyecto.....	100
Anexos 3 Ficha Técnica Del Material Compuesto Reforzado Con Fibra De Fique Y Fibra De Vidrio En Una Matriz De Resina Epóxica.	101
Anexos 4 Ficha técnica Resina Epoxi-Viniléster De Rakane Momentum™ 411-350	103
Anexos 5 Ficha técnica de fibra de vidrio tejida woven roving.....	104
Anexos 6 Ensayo de tensión a fibra de fique a velocidad de 50 mm/min	105
Anexos 7. Ensayo de tensión a fibra de vidrio E a velocidad de 50mm/min	106
Anexos 8 Ensayo de tensión a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min	107
Anexos 9 Ensayo de tensión a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min	108
Anexos 10 Ensayo de tensión a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min	109
Anexos 11 Ensayo de flexión a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min	110
Anexos 12 Ensayo de flexión a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min	111

Anexos 13	Ensayo de flexión a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min	112
Anexos 14	Ensayo de impacto a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min	113
Anexos 15	Ensayo de impacto a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min	114
Anexos 16	Ensayo de impacto a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min	115
Anexos 17	Ensayo de tensión del compuesto	116
Anexos 18	Ensayo de flexión al compuesto	118
Anexos 19	Ensayo de impacto al compuesto	120

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está trabajando con intensidad en la fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales como una alternativa a los compuestos más clásicos reforzados con fibras derivadas del petróleo. Estos presentan una importante alternativa en el reemplazo de los compuestos reforzados con fibras sintéticas cuyas propiedades resultan en ocasiones superiores; las fibras naturales tienen un muy bajo costo al igual que una baja densidad lo que las lleva a tener una buena resistencia específica, además, son biodegradables y no presentan efectos abrasivos como las fibras de vidrio entre otras.

En el refuerzo de fibras naturales se han empleado como matrices tanto termoplásticos como termoestables aunque las más ampliamente utilizadas han sido las primeras debido a las excelentes propiedades mecánicas obtenidas, por incorporación de las fibras naturales.

Dentro de las fibras naturales se utilizan como refuerzo, una gran cantidad como fique, cáñamo, sisal, plátano, algodón, lino, abacá, coco, bambú.

El fique es una planta proveniente de nuestra región que solo se utiliza para la fabricación de bolsos, e implementos artesanales. Quedando como interrogante ¿se podría utilizar la fibra de fique para el refuerzo de un material compuesto? estas inquietudes surgen de la idea de investigar si sería útil la implementación de la fibra de fique como un nuevo material compuesto.

La condición de refuerzo se debe a la resistencia de las fibras, y la cantidad de fibra en el compuesto final que viene condicionada por la orientación y

ordenamiento de las fibras en la matriz, resulta fundamental determinar el comportamiento mecánico de los compuestos reforzados con fibras naturales, analizando al tiempo la mejora o modificación de las fibras con objeto de conseguir una mejor adherencia con la matriz que asegure una buena interface. (fibra-matriz)

En particular el estudio se enfoca en determinar las propiedades mecánicas del compuesto reforzado con fibra de vidrio y fibra de fique en matriz de resina epoxica, donde el compuesto será sometido a ensayos de tensión, flexión, impacto con el fin de aprovechar las fibras de tipo natural para obtener compuestos con mejores propiedades mecánicas que algunas fibras sintéticas ya existentes, con el motivo de proveer información que validen su aplicación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de fibras sintéticas en los últimos años ha tenido un crecimiento considerable y todo apunta a que siga aumentando en el futuro. Esto se debe a que las fibras son resistentes y durables, es por esto que su fabricación e implementación está en crecimiento.

Entre las fibras sintéticas, existen una gran variedad, como lo son la fibra de vidrio, poliéster, carbono, la primera es muy utilizada actualmente en la industria por sus propiedades como aislante térmico, resistencia al fuego, en el sector de la construcción e industria eléctrica se usa como material aislante, la fibra de vidrio además es utilizada como refuerzo de plásticos, para la carrocería de lanchas acuáticas, tanques, tablas de surf, etc. Pero este tipo de fibras son contaminantes, tóxicas, fenómeno que afecta considerablemente al medio ambiente.

En la actualidad, uno de los mayores problemas medioambientales lo representan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se componen, en un elevado porcentaje, de materiales plásticos de la cual están hechas las fibras sintéticas, que pueden permanecer en nuestro entorno sin alterarse decenas de años. El reciclado es un método importante, pero es una solución que se produce sobre el residuo ya generado y además no siempre da una respuesta efectiva en el caso de algunos materiales plásticos. Otra de las alternativas actualmente utilizadas es la incineración, que genera, gases tóxicos y de efecto invernadero, por tanto, el reciclado, como la incineración presentan limitaciones a la hora de ayudar al medio ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN

Las fibras naturales biodegradables son una solución al problema de los residuos sólidos de materiales sintéticos, ya que los productos realizados con esta materia no generan un residuo al descomponerse, Además estos materiales suponen un ahorro importante de petróleo, debido que es un material base de las fibras sintéticas de uso común.

La idea de mezclar fibras sintéticas con fibras naturales, es una iniciativa atractiva como propuesta para disminuir los impactos ambientales ocasionados por los plásticos y materiales sintéticos de uso común y de otro lado como una alternativa para el aprovechamiento de los recursos naturales de las regiones propias del país, obteniendo nuevos productos conteniendo fibras de fique incrementado su propiedades mecánicas.¹

Las características relacionadas con estos tipos de materiales formando un nuevo compuesto, indican un potencial de refuerzo, combinando resistencia y ligereza más las ventajas desde el punto de vista ecológico y por qué no, la capacidad de sustituir en muchas aplicaciones algunos materiales tales como los metales.

Las fibras de tipo natural tales como el yute, fique, etc. Que a diferencia de las sintéticas estas son biodegradables y amigables con el entorno, además presentan gran resistencia a altas temperaturas y otras propiedades. Este tipo de

¹ RAMON, Bladimir: conformado y caracterización fisicomecanica de materiales compuestos basados en polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales de fique. {2012} universidad de pamplona.

fibras podrían ser combinadas con fibras de tipo sintéticas formando un nuevo material compuesto.

Por lo anterior se requiere realizar un análisis para disminuir la contaminación y ayudar al entorno analizando una mezcla de fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio en una matriz de resina epóxica.

3.2 Objetivos específicos

- Preparar las mezclas del material compuesto de fibra de fique y fibra de vidrio con resina epóxica para sus posteriores ensayos mecánicos.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los compuestos a partir de ensayo de tensión, flexión e impacto acorde por la norma ASTM.
- Analizar los resultados su comportamiento y propiedades, sus ventajas, desventajas y compararlos con las propiedades de las fibras sintéticas.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco teórico

Materiales compuestos

Un material compuesto está formado por dos o más componentes y se caracteriza porque las propiedades del material final son superiores a las que tienen los materiales constituyentes por separado.

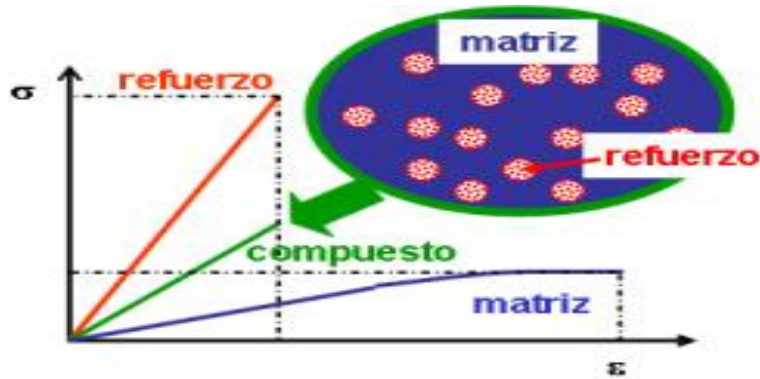
Los materiales compuestos están formados por dos fases; una continua denominada matriz y otra dispersa denominada refuerzo. El refuerzo proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto y la matriz la resistencia térmica y ambiental. Matriz y refuerzo se encuentran separados por la interface.²

La idea principal en el desarrollo de compuestos es combinar las propiedades de distintos materiales. Los compuestos se forman a partir de dos o más materiales, produciendo propiedades que no se encuentran en un solo material.³

²Fuente:http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/materia_comp/tema-1-introduccion-a-los-materiales-compuestos.pdf [consultada 09/08/2013].

³ ASKELAND, Donald; FULAY, Pradeep; fundamentos de ingeniería y ciencia de los materiales. 2 edición 2010[consultada 09/08/2013].

Figura 1. Propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo, y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos



Fuente: http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/materia_comp/Course_listing.html
[consulta realizada el 08/08/2013]

Las propiedades de los materiales compuestos dependen de una serie de factores:

- Propiedades de la matriz y del refuerzo
- Contenido de refuerzo
- Orientación del refuerzo
- Método de producción del material compuesto

4.1.1 Clasificación de los materiales compuestos

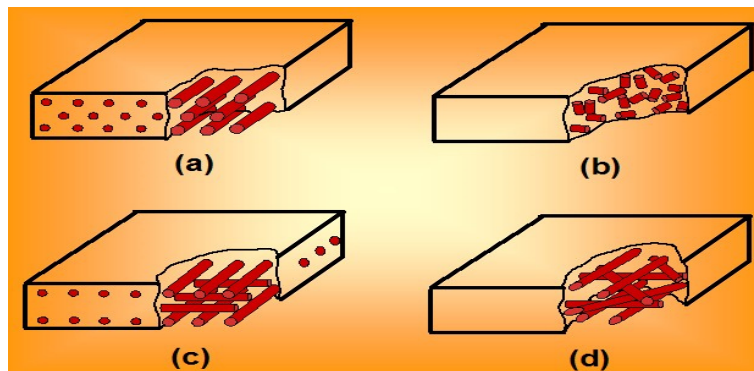
Los compuestos se pueden clasificar según la forma o la naturaleza de los constituyentes y según el tamaño de la fase dispersa.

- a) Clasificación según la forma de los constituyentes

- Compuesto fibrosos:

El refuerzo es una fibra (Figura 2), es decir, un material con una relación longitud-diámetro muy alta. Las fibras pueden ser continuas o discontinuas (estas últimas pueden ser aleatorias o unidireccionales). Ejemplo: epoxi con fibra de vidrio.

Figura 2. Morfologías de compuestos reforzados con fibras.



Fuente: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html [consulta realizada el 08/08/2013]

- Compuesto particulados

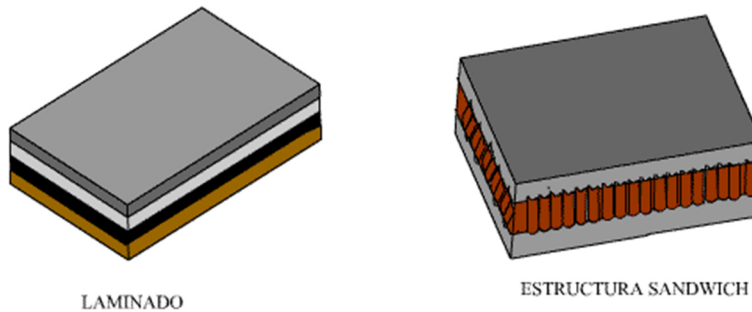
El refuerzo son partículas equiaxiales (es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales en todas las direcciones).

- Compuesto estructurales

Son materiales constituidos por la combinación de materiales compuestos y materiales homogéneos. Se clasifican a su vez en materiales laminados (constituidos por apilamiento de láminas paralelas) o paneles sándwich

(compuestos de núcleo y tapas) (Figura 3).⁴

Figura 3 Clasificación de materiales laminados



Fuente: <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema14/tema14-2.htm> [consulta realizada el 08/08/2013]

b) Clasificación según la naturaleza de los constituyentes

- Compuesto de matriz orgánica (polímeros).
- Presentan baja densidad
Posibilidad de obtención de piezas complicadas
- Son los más utilizados en la actualidad

Entre sus desventajas se incluye la poca resistencia frente al fuego.

- Compuesto de matriz metálica (aleaciones de aluminio, titanio y magnesio)
- Mayor duración
- Elevada conductividad térmica y eléctrica

⁴ Julián Rodríguez Montes, Lucas Castro Martínez, Juan Carlos del Real Romero Editorial Visión Libros, 2006 - 282 páginas

- No absorben humedad
 - Mayor resistencia al desgaste
 - Su principal desventaja es su alto precio

 - Compuesto de matriz mineral (cerámica)

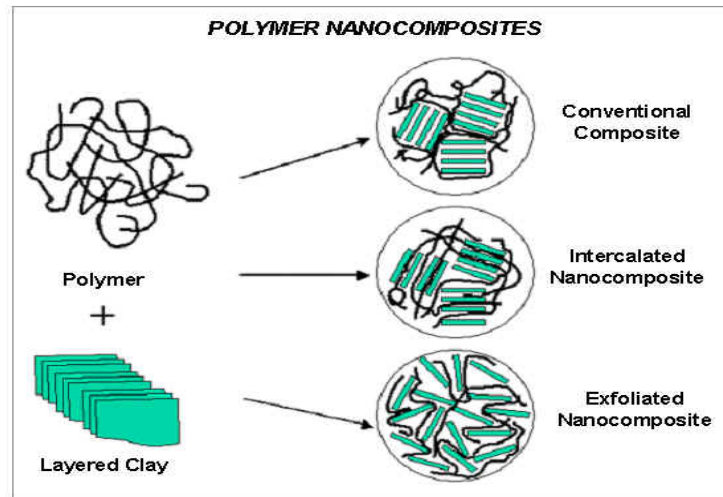
 - Destacan porque resisten temperaturas elevadas y su principal desventaja su fragilidad y baja resistencia a choques térmicos.
- c) Clasificación según el tamaño de la fase dispersa

- Microcompuesto o compuesto convencionales

El tamaño del refuerzo es del orden de la micra (10^{-6} m). A pesar de las mejores propiedades mecánicas de estos compuestos, también presentan problemas, dificultad de procesado no se pueden procesar para obtener láminas o fibras, estos problemas son consecuencia de la diferencia de tamaño entre el refuerzo y los componentes de la matriz (cadenas de polímero en el caso de los compuestos de matriz orgánica). Esta diferencia da lugar a interacciones débiles entre la matriz y la interface. Para evitar este problema y mejorar las interacciones se ha desarrollado un nuevo tipo de compuesto:

- Nanocompuesto: el tamaño del refuerzo es del orden del nanómetro (Figura 4). (10^{-9} m = 10^{-3} micras). En este caso, las interacciones matriz-refuerzo se dan a nivel molecular.

Figuran 4. Las interacciones matriz-refuerzo



Fuente: <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/imi/research/polymer-nanocomposites.html> [consulta realizada el 08/08/2013]

Aplicaciones y limitaciones de los materiales compuestos

Las aplicaciones actuales exigen materiales de baja densidad y buenas propiedades mecánicas (elevada rigidez y resistencia). Esta combinación de propiedades no se puede conseguir con los materiales convencionales: metales, polímeros y cerámicos. El desarrollo de los compuestos ha permitido la mejora de las propiedades de los materiales.

Ventajas que presentan los materiales compuestos

- Alta resistencia específica (resistencia/densidad) y rigidez específica (rigidez/densidad)
- Versatilidad en el diseño de formas complicadas.

Limitaciones

- Necesidad de un control riguroso de la fabricación ya que las propiedades del material dependen del método empleado.
- Elevados precios de las matrices y fibras.
- Reducción de la ductilidad de los materiales

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Planta de fique

El Fique (*Furcraea* spp.), son plantas grandes, de tallo erguido, su altura varía entre 2 y 7 m, densamente poblado de hojas de color verde, en forma radial, largas (1 a 3 m), angostas (10 y 20 cm), carnosas, puntiagudas, acanaladas, y dentado espinosas, en algunas variedades, presentando líneas o estrías tenues de unos 3 mm de largo; las plantas jóvenes consisten en un rosetón de hojas gruesas, carnosas de color verde azulado, a medida que la planta crece, se desarrolla en la base un tronco corto que lleva de 75 a 100 hojas cuya longitud varía de 150 a 200 cm y su anchura de 15 a 20 cm en la parte más ancha cerca de la mitad, angostándose a 10 cm cerca de la base, la cual tiene un espesor de 6 a 8 cm (figura 5). Su flor es de color blanco verdoso, llamada magüey o escapo, sólo florece una vez en su ciclo de vida y luego le sobreviene la muerte. Las semillas germinan en la misma planta y sus propágulos (bulbillos) caen ya formados al suelo por lo que su vida varía entre 10 y 20 años. Su vida útil (producción de fibra, jugos, etc.) comienza entre los 3 y 6 años, dependiendo de las condiciones que enfrente.⁵

⁵Fuente:http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2007222154336_GuiaAmbientaIFiguera206.pdf [consultado 02/08/2013]

Su análisis científico la define:

- Reino: Vegetal
- Phylum: Tracheophyta
- Subclase: Monocotyledonae
- División: Spermatophyta
- Clase: Angiospermae
- Orden: Liliales
- División: Spermatophyta
- Familia: Agavaceae

4.2.1.1 Características del fique

Figura 5. Planta de fique (fúrcrea, cabuya, maguey, motua).



Fuente: <http://fichas.infojardin.com/crasas/furcraea-bedinghausii-furcraea-cabuya-fique-maguey-motua.htm> [consulta realizada el 08/08/2013]

- Nombre científico: *furcraea bedinghausii* véase figura 5.
- Nombre vulgar: fique, fúrcrea, cabuya, fique, maguey, motua
- Familia: agavaceae (agaváceas).
- Origen: México.
- Planta carnosa de 1,5 m de altura y diámetro.

- Tiene hojas basales en forma de espada.
- Emite un tallo floral muy grande, con una espectacular inflorescencia.
- La planta muere cuando las flores se marchitan.
- De ella salen múltiples bulbillos que enraízan donde caen al suelo; también pueden guardarse durante años.
- Cultivo muy fácil.
- Plantar en un lugar muy caluroso y soleado.
- Suelo bien drenado.
- Resiste heladas débiles (-4°C)⁶.

Sus hojas son de color verde claro por encima y ceniza por debajo; se distingue por sus espinas encorvadas en sus bordes y un aguijón pequeño en las puntas. Además; emite hijuelos en el tronco. Esta especie, prefiere los suelos secos y crece bien en los climas medios cafeteros. Produce muy buena cantidad y calidad de fibra.

Es de larga vida productiva. Susceptible a la gotera, macana, estrella y a la dormidera. El largo de la hoja es de 1.50 m a 2.00 m, con un ancho entre 8 cm. Y 14 cm. Y un contenido de fibra entre 4.5% a 8%, dependiendo la calidad del suelo. Se cultiva principalmente en el departamento del Cauca y Nariño.

Su vida útil va de 12 a 20 años, en algunos casos llega hasta los 40-50 años. El número, tamaño de hojas y calidad de la fibra dependen del suelo y de las condiciones climáticas.

⁶ fuente: *Fique* <<http://fichas.infojardin.com/crasas/furcraea-bedinghausii-furcrea-cabuya-fique-maguey-motua.htm>>, [consulta realizada el 08/08/2013]

Las principales variedades que se conocen son la ceniza, castilla o borde de oro, uña de águila. Las hojas son persistentes, siempre verdes, sésiles, simples, son carnosas.

La hoja de fique posee una estructura ver tabla 1. La planta de fique presenta estructuras peculiares de defensa contra condiciones de aridez, como hojas carnosas de reducido número de estomas, con capa cerosa y presión osmótica dentro de las células relativamente baja. Resiste una sequía relativa. Poco resistente a la humedad excesiva.

Tabla 1. Estructura física de la hoja de fique.

Componente	Porcentaje en la hoja	Porcentaje útil	Usos
Fibra	5	4	En la industria textil, empaques
Jugo	70	40	Extracción de esteroides
Estopa	8	3	Pulpa de papel
Bagazo	17	10	Material de construcción, abonos

Fuente: http://www.cortolima.gov.co/sigam/nuevas_guias/fique.pdf [consulta realizada el 09/08/2013]

4.2.1.2 Partes de la planta de fique

Morfología

La descripción morfológica de la planta de fique es la siguiente:

- **Raíces**

Son primarias formadas por el desarrollo de la radícula de los bulbos o de los hijuelos, estas se ramifican y dan origen a las raíces secundarias. Su forma es fasciculada, son perennes y profundas.

- **Tallo**

Rosomatoso, corto o bien desarrollado y de forma cilíndrica. Crecimiento erguido, superficie ligeramente rugosa en la que se encuentran visibles las cicatrices foliares que han caído. Al comienzo el tallo es bulboso y a medida que va creciendo se vuelve estipitoso.

- **Yemas**

Su posición es terminal, aunque existen yemas laterales y adventicias, generalmente durmientes, que permanecen inactivas por periodos largos, hasta que encuentran un ambiente propicio para su desarrollo, dando origen a ellos. La mayoría de las yemas son de hojas, pero hay una yema terminal florífera.

- **Hojas**

Son persistentes, verticiladas, sésiles y simples. Su forma es laminar lanceolada, más o menos diez veces más largas que anchas y acuminadas. En algunas variedades recurrentes, los bordes según la variedad pueden ser enteros, dentados; Tienen vernación con voluta y cuando están desarrolladas son carnosas. Pueden llegar a medir hasta 3 metros.

- **Fruto**

Es una cápsula en donde se alojan varias semillas aladas.

- **Semillas**

Tienen endospermo carnoso que rodea el pequeño embrión.⁷

4.2.1.3 Usos actuales de la planta de fique

Colombia es el principal productor de fique del mundo por sus condiciones climáticas. Aunque también se produce en otros países de la América tropical, es Colombia el país que ha adoptado el cultivo de esta fibra y ha promulgado por su incursión en nuevos mercados. En el marco del año internacional de las fibras naturales Colombia comparte las bondades de esta maravillosa planta para contribuir con el desarrollo de nuevas industrias, nuevos mercados y nuevas formas de comercio justo y amigable con el medioambiente.

El fique no sólo sirve para hacer empaques, también se puede utilizar como protección y nutriente de cultivos; refuerzo de materiales para construcción y como cuerdas para cercar sembrados.

El fique o cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono; además, no contamina el agua y permite hacer producción limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como de economía, facilidad y calidad.

Sin embargo, el fique ha sido desplazada por otros materiales como el plástico; adicionalmente el uso de sacos para empaque de café, en Colombia, ha disminuido notoriamente, situación que se refleja en la crisis existente entre los cultivadores de la fibra.

⁷ Fuente <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/fique-furcraea-bedinghausii-t1251/078-p0.htm> [consulta realizada el 22/07/2013]

De la planta sólo se utiliza un 4% que es fibra; el otro 96% se desecha porque se desconocen sus innumerables usos.

Por tal razón expertos colombianos han creado diferentes opciones para usar el fique, entre éstas la sustitución de las cuerdas de plástico que sostienen las plantas de plátano y otros cultivos, por cuerdas de fique pues este producto se degrada , es más económico y no se pierde tiempo al recogerlo.

La fibra, al ser biodegradable, se usa además como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agrotexil para reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos.

También se pueden elaborar sacos reciclables de fique para empacar latas, vidrios y plásticos, remplazando las bolsas de basura tradicionales.

Colombia produce cerca de treinta mil toneladas de fique al año, principalmente en los departamentos de Cauca, Nariño, Santander y Antioquía. En estos sitios los agricultores y campesinos se han asociado en agremiaciones de fiqueros e hilanderas, entre otros.

Originaria de la América Tropical, especialmente en Colombia, Venezuela, Ecuador y Costa Rica. Colombia es el principal productor de esta fibra en el mundo por sus condiciones climáticas y ha estado relacionada con las actividades de la vida campesina desde tiempos prehistóricos.

Por la escasa producción de esta fibra en los países como Venezuela, Ecuador y Costa Rica, se estima que solo es producida para consumo interno, considerado además como un sector poco atractivo para estos países; mientras que en Colombia se exporta esta fibra en productos terminados.

Mientras Colombia produce cerca de 24.000 mil toneladas de fique al año; Venezuela, Ecuador y Costa Rica cuentan cada uno con una producción estimada de 1.000 toneladas por año para cada uno.

Dentro de dichas fibras naturales se puede hablar de dos tipos: la fibra dura y la fibra blanda. La principal diferencia entre estas fibras radica en que la primera proviene de la hoja de la planta, mientras que la segunda del tallo.⁸

4.2.2 Fibras

Se obtiene al separar la corteza de las hojas de las fibras de cabuya que están en su interior. Se hace por métodos manuales o con desfibradora portátil de motor a gasolina o diésel. En la obtención de la fibra, el proceso de fermentado es fundamental a la hora de determinar la calidad de la fibra. La acción de los microorganismos y levaduras aumentan la temperatura, descomponiendo orgánicamente la materia, es decir, soltando el ripio. Los compuestos químicos del jugo hacen que se desprendan los restos de celulosa quedados entre las fibras. El sereno de la noche contribuye a que la fibra blanquee mejor y sea menos agresiva (pica menos en la piel).

La fibra debe tener un proceso de secado (aéreo), ya que cuando la fibra es secada en mangas o potreros se presentan una serie de inconvenientes que afectan la calidad de la fibra y contribuyen a su rechazo. En invierno la cabuya tiende a negrearse o se mohosea; también se dificulta alcanzar el grado de humedad máximo requerido de 12%. La fibra (cabuya) debe estar libre de ripio y suciedades. La fibra se selecciona por diferentes grupos de cabuya seca de acuerdo a las siguientes características: Calidad obtenida, cabuyas cortas y largas, humedad de la cabuya, no mayor del 12%.

⁸ Fuente :<http://www.cccauca.org.co/CONFIGUE/configue.html> [consulta realizada 22/11/2013]

Las diferentes empresas compradoras de cabuya la clasifican en diferentes tipos. Por ejemplo la compañía de empaques, la clasifica en cinco tipos:

- Fina
- Ordinaria
- Corta
- Sin separar
- Desperdicio.

Las tres primeras tienen las siguientes características:

- **Fina**

Bien desfibrada; longitud mayor de 90 cms; ripio bajo; libre de nudos y amarras; libre de enfermedades y plagas; libre de enredos; manojo de 1.5-2 kg., y color claro.

- **Ordinaria**

Regular desfibrado; longitud mayor a 90 cms; regular y alto ripio; libre de nudos, amarras y enredos; manojo de 1.5-2 kg., y color variable.

- **Corta**

Bueno a regular desfibrado; longitud menor a 90 cms; libre de nudos y amarras; con posibilidad de enredos; manojo de 1.5- 2 kg., y color variable. Como generalidades de la fibra del fique podemos decir que es dura, fina brillante y blanca.

4.2.2.1 Composición de las fibras naturales de origen vegetal

Las condiciones climáticas, edad y procesamiento influyen no solo la estructura de las fibras sino también su composición química. Las fibras naturales de origen vegetal principalmente se encuentran constituidas por celulosa, hemicelulosa y lignina. En la tabla 2 se encuentra la composición química de la fibra vegetal fique, tomadas de varios autores. La cantidad de celulosa determina la resistencia mecánica de la fibra, mientras que la lignina protege a la fibra del medio ambiente, principalmente del agua.

Tabla 2. Composición química de la hoja de fique.

Fibra		Jugo	Bagazo	
Cenizas	0.7%	Clorofila	Cenizas	12.2%
Celulosa	73.8%	Carotenoides	E.E.	3.64%
Resinas, ceras y grasos	1.9%	Saponinas Azúcares	Proteína Elementos Nitrogenados	9.84% 71.29%
Lignina	11.3%	Resinas	Calcio	21.65%
Pentosanos	10.5%	Flavonoides Ácidos orgánicos	Fósforo Magnesio	0.09% 0.2%
TOTAL	98.2%	Alquitranes Agua Lignina Calcio Lipoides Fósforo	Fósforo Sodio Cobre Hierro Manganeso Zinc	1.81% 0.04% 14 ppm 647 ppm 33 ppm 17 ppm

Fuente: http://www.cortolima.gov.co/sigam/nuevas_guias/fique.pdf, [consulta realizada el 22/07/2013]

Las cadenas de celulosa se agrupan en haces paralelos o micro fibrillas de 10 a 25 nm de espesor. Las micro fibrillas se combinan mediante las hemicelulosas producidas por los dictiosomas, formando una estructura llamada macro fibrilla, de hasta medio millón de moléculas de celulosa en corte transversal. La hemicelulosa y la pectina contribuyen a unir las micro fibrillas de celulosa, y al ser altamente hidrófilas ayudan a mantener la hidratación de las paredes jóvenes. Entre las

sustancias que se incrustan en la pared celular se encuentra la lignina, molécula compleja que le otorga rigidez.

La pared celular vegetal tiene tres partes fundamentales: la pared secundaria, la pared primaria y la laminilla medial. La pared secundaria se forma una vez que se ha detenido el crecimiento celular y se relaciona con la especialización de cada tipo celular; a diferencia de la pared primaria, contiene una alta proporción de celulosa, lignina y/o suberina. La pared primaria está presente en todas las células vegetales, usualmente mide entre 100 y 200 nm y es producto de la acumulación de 3 o 4 capas sucesivas de micro fibrillas de celulosa. Por último, la laminilla media, que es la zona en la que se unen una célula con otra, es rica en pectina y otras sustancias adhesivas.

4.2.3 Fibras de vidrio

Fibra de vidrio es vidrio en forma de filamentos. Los filamentos pueden ser hechos con diversos tipos de vidrio, designados con las letras a, e, c, ar y s algunas de las características se pueden observar en la tabla 3. Los más comúnmente utilizados para refuerzo de productos son los tipos e (eléctrico), ar (álcali resistente) y c (con resistencia química) el proceso mediante el cual se producen los filamentos de vidrio es el siguiente: en un reactor son incorporados todas las materias primas finamente divididas en forma de polvo, donde son hundidas. El vidrio fundido fluye a través de canales que tienen gran cantidad de pequeños hoyos. El vidrio fundido sale desde estos hoyos como un filamento continuo. Estos filamentos continuos pasan sobre un aplicador que les impregna con un cubrimiento químico (o apresto) el cual le dará características especiales para su procesamiento posterior. Este apresto aumenta la habilidad del vidrio para adherirse a otros materiales y es muy importante para determinar la calidad del material. Los filamentos así tratados son curados en estufas para terminar su procesamiento.

Tabla 3. Propiedades de la fibra de vidrio.

Propiedades	Fibras de vidrio				
	Vidrio E	Vidrio R	Vidrio ECR	Advantex®	Vidrio S
Densidad [kg/m ³]	2620	2550	2670	2620	2480
Coefficiente de dilatación [K ⁻¹]	5,4·10 ⁻⁶	4,1·10 ⁻⁶	5,9·10 ⁻⁶	6,0·10 ⁻⁶	2,0·10 ⁻⁶
Viscosidad:					
- Punto de reblandecimiento [°C]	850	950	880	915	1050
Resistencia a la tracción [MPa]	3450	3400	3450	3500	4890
Módulo de elasticidad [GPa]	72,0	85,0	72,0	81,0	87,0
Alargamiento [%]	4,8	4,6	4,8	4,6	5,7
Índice de permitividad a 1 MHz	6,6	6,0	6,9	6,8	5,3

Fuente: <http://patentados.com/patente/fibras-de-vidrio-termicamente-estables/> [consulta realizada el 22/07/2013]

4.2.3.1 Características y propiedades de las fibras de vidrio

La fibra de vidrio es de origen mineral, es decir inorgánico. Se fabrica moldeando o soplando el vidrio fundido hasta formar hilos. Con ellos se elaboran diversos tipos de refuerzos para diferentes aplicaciones. La fibra que se utiliza en este caso es la fibra de vidrio tipo E, según la norma ASTM D 578 se define como “una familia de fibras de vidrio compuesta principalmente de óxidos de calcio, aluminio y silicón”, de una elevada resistencia a la tracción y gran elasticidad. Posee además excelente estabilidad química, fuerza, resistencia al fuego, al agua y también resistencia a la corrosión y a la intemperie.

Los tejidos de fibra de vidrio solos o combinados con resinas constituyen un muy buen aislamiento eléctrico, además forman un compuesto que combina la solidez y estabilidad química del vidrio con la resistencia al impacto del plástico. Algunas de las ventajas de la fibra de vidrio son: su bajo peso, lo que facilita su transporte e instalación, además del bajo costo de las herramientas y una menor necesidad de mantenimiento. El vidrio en masa tiene una baja resistencia mecánica que

intuitivamente lo podemos saber, pero éste en forma de fibra se comporta completamente diferente. En la tabla 4 se muestran algunos diámetros de fibras con su resistencia específica a la rotura a tracción (tomada por antiguas investigaciones de un fabricante), lo que nos hace ver que a medida que el diámetro de la fibra disminuye, su resistencia es mayor. La resistencia de un vidrio en masa puede ser en algunos casos de 7 kg/mm² y en forma de fibra puede llegar a 1000 kg/mm².

Tabla 4. Diámetro de fibra de vidrio con sus resistencias.

Diámetro (micras)	Resistencia específica a tracción	
	kg/mm ²	kg/mm ²
50	30	-
20	40	-
13	-	122
10	60	148
9	-	148
7	-	155
6	100	155
5	-	180
3	500	-
1	1000	-

Fuente <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcin322s/doc/bmfcin322s.pdf>[consulta realizada el 22/08/2013]

En general existen diferentes tipos de vidrio, los más utilizados para fabricar fibras son el vidrio tipo a, el vidrio e y el c, también están los tipo r y s que son utilizados en el área aeroespacial por su alta resistencia.

El vidrio a tiene un alto contenido de álcali y ha sido desplazado por el vidrio e que tiene un bajo contenido de éste material y posee buenas propiedades eléctricas,

mecánicas y químicas. La fibra de vidrio c es utilizada para obtener una alta resistencia química y también tiene un alto contenido de álcali, aunque menor que el vidrio a. Es importante mencionar que el contenido de álcali determina el envejecimiento de la fibra de vidrio, se ha constatado que las fibras que contienen menos de 14% de óxidos alcalinos presentan una alteración menos pronunciada cuando se someten a la influencia de agentes atmosféricos o acciones químicas desfavorables.

Tabla 5 Propiedades fibra de vidrio tipo E (González, 1992).

Características	Unidades	
Densidad (en fibras)	2,54	g/cm ³
Dureza (escala de Mohs)	6,5	
absorción agua a 20°C y 65% HR	< 0,1	%
índice de refracción	1,55	
Propiedades mecánicas		
módulo de elasticidad a tracción	73	Gpa
resistencia a la tracción sobre filamentos vírgenes	3,5	Gpa
resistencia a la tracción referida al vidrio en un compuesto unidireccional	2,2	Gpa
alargamiento a la rotura (en el compuesto)	3	%
Propiedades térmicas		
coeficiente de conductividad térmica	1	W/m°C
calor específico	0,2	cal/g°C
coeficiente de dilatación térmica	5,10 ⁻⁶	1/°C
punto de reblandamiento dilatometrico	710 a 720	°C
punto de recocido	660	°C

Propiedades eléctricas		
tensión de arco	10^8	V/m
constante dieléctrica	6 a 10^{-6}	Hz
tangente del ángulo de pérdida	$30,10^{-4}$ a 10^6	Hz
resistividad	10^{12} a 10^{19}	Ωcm
Resistencia al ataque químico		
resistencia el agua y a los álcalis	Buena	
resistencia a los ácidos	Débil	

4.2.3.2 Tipos de fibras de vidrio

❖ Mat de hilos cortados:

Figura 6. Fibra de vidrio tipo mat.



Fuente: <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/mat.asp>[consulta realizada el 11/09/2013]

Está fabricado con hilos de vidrio tipo E unidos por un ligante en varias capas, soluble en estireno, que le confiere una excelente compatibilidad con las resinas poliéster y viniléster.

La fibra cortada se utiliza para relleno de partes de difícil acceso.

Características

- Excelente impregnación.
- Facilidad de corte.
- Mayor productividad.
- Menor desgaste de cuchillas y rodillos de hule.
- Mayor seguridad.
- Empaque mejorado.

Beneficios

- Versatilidad de uso.
- Compatible con sistemas de resina poliéster, epóxica y viniléster.
- Minimiza el riesgo de errores por mezclar productos.
- Excelente impregnación.
- Mayor productividad en la fabricación de partes.
- Menor consumo de resina al evitar sobre esparcido entre capas y pérdida de resina entre laminados.
- Saturación total en un tiempo mínimo.
- Mejor apariencia
- Atractivos acabados superficiales.
- Alto desempeño en la fabricación de laminados.
- Laminación consistente y uniforme.
- Limpieza durante la fabricación por bajo desprendimiento de fibras.
- Mejor aprovechamiento de transporte y almacenaje.
- Mayor densidad de rollos, reduce costos de transporte y almacenaje.⁹

⁹ Fuente <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/MAT.asp> [consulta realizada el 7/10/2013]

❖ **Tejido woven roving:**

Figura 7. Fibra de vidrio tipo woven roving.



Fuente: <http://www.hegardt.es/en/products/p99-800-gr-sqm-fabric> [consulta realizada el 11/09/2013]

Es un tejido producido a partir de mechas continuas de fibra de vidrio tipo E, con agentes de acoplamiento compatibles con resinas poliéster, viniléster y epóxica. Se utiliza en el moldeo de piezas en plástico reforzado en general y es recomendado para la laminación manual de partes que exigen alta resistencia a la corrosión, como embarcaciones y tanques para industrias químicas.

Propiedades

- Alta velocidad de impregnación.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Alta translucidez.

Aplicaciones

Está diseñado para moldeo de partes en las que se requiere alto contenido de vidrio, usado principalmente en proceso manual (*hand lay-up*) y en la fabricación de partes donde se requiere una alta resistencia mecánica.

Características

- Consistente comportamiento en laminados y fabricación
- Multicompatibilidad de resinas
- Rápida humectación
- Buen acomodo sobre el molde
- Buen compartimiento en su aplicación.

Desempeño superior en fabricación y laminación, como resultado de una mejor consistencia, uniformidad en su caída y conformabilidad, presentando un patrón de tejido firme y plano, que proporciona un procesamiento excelente, ayudando a optimizar el tiempo en moldeo manual (*hand-lay-up*) y permitiendo la producción de partes con calidad para cubrir las necesidades de los clientes a un costo competitivo.

- Multicompatibilidad de resina

El petatillo es compatible con sistemas de resinas poliéster, epóxicas y viniléster.

- Humectación

La rápida humectación permite hacer más piezas en el mismo tiempo, aumentando la productividad y mejorando la posición competitiva en el mercado.

- Mejor apariencia

La consistencia y uniformidad superior del hilo suave y blanco usado como insumo, produce un tejido más plano con “ventanas” más pequeñas en el petatillo que reducirá el fotografiado en el laminado, esto permite una superficie cosmética atractiva para cubrir las necesidades de apariencia del uso final de las piezas.¹⁰

❖ Filamentos de fibra de vidrio roving

Figura 8. El super gun roving



fuelle: <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/roving185a.asp> [consulta realizada el 11/09/2013]

Son rovings fabricados con vidrio tipo E, bobinados sin torsión, en forma cilíndrica. Son destinados a obtener excelentes resultados en aplicaciones de proyección simultánea con resinas poliéster insaturadas de uso general.

Propiedades:

- Facilidad al corte.
- No produce electricidad estática.

¹⁰ Fuente <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/petatillo.asp> [consulta realizada el 7/10/2013]

- Excelentes propiedades para proyección en paredes verticales.
- Impregnación rápida.
- Fácil eliminación de burbujas.
- Excelentes propiedades mecánica.

Aplicaciones

El super gun roving está diseñado para sistemas de resina poliéster y es ideal para operaciones de aspersión con un amplio rango de aplicaciones en la fabricación de piezas en diferentes mercados:

- Construcción
- Marino
- Transporte
- Recreación

Características

- Excelente impregnación.
- Facilidad de corte.
- Mayor productividad.
- Menor desgaste de cuchillas y rodillos de hule.
- Mayor seguridad.
- Facilidad de desembobinado.
- Reduce el tiempo de impregnación.
- Reducción de la pérdida de resina entre laminados.
- Mayor número de piezas fabricadas en menor tiempo.¹¹

¹¹ Fuente <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/SGR.asp>[consulta realizada el 7/10/2013]

❖ Velo superficial

Figura 9. Fibras de vidrio tipo velo superficial.



Fuente:http://www.comargo.com/castellano/productos/fibra_vidrio/velo-superficie.asp. [Consulta realizada el 11/09/2013]

Esta fibra de vidrio es una fibra suave y ligera, se utiliza como refuerzo para proporcionar una capa rica en resina con mejor resistencia química y frente al ambiente exterior, para asegurar una unión adecuada entre la capa rica en resina y el núcleo del laminado, evitar la formación de grietas, mejora la resistencia al impacto y a la abrasión debido al grado de elasticidad, y para dar una buena terminación a una superficie. Se fabrica con vidrio c o con fibras sintéticas.

Propiedades:

- Excelente transparencia.
- Fácil de moldear.
- Impregnación rápida.

4.2.4 Resinas

4.2.4.1 Características y propiedades de las resinas

Las resinas son plásticos que están constituidos por polímeros. El plástico es un compuesto de elevado peso molecular que está formado por moléculas gigantes y en menor porcentaje algunas de bajo peso molecular. Cuando estos compuestos presentan una estructura definida, con repetición de cadenas elementales reciben el nombre de polímeros y aquellos de bajo peso molecular se denominan monómeros. Podemos decir entonces que “los polímeros son moléculas lineales o ramificadas, formadas por la repetición indefinida de grupos funcionales simples (monómeros) que se componen básicamente de C, H, O, N”. (Shackelford, 1998).

El número de veces que se repite un monómero en la formación de una molécula grande se denomina grado de polimerización. Cuando el grado de polimerización es bajo, se obtienen líquidos a temperatura ambiente, como aceites sintéticos y ceras, ahora si el grado de polimerización aumenta se logra un material sólido a temperatura ambiente.

Tienen un bajo peso, su peso específico se encuentra dentro de 0.9 y 1.8 g/cm³.

Son excelentes aislantes eléctricos para corriente alterna y continua, es por esto que son:

- Ampliamente utilizados como dieléctricos.
- Tienen una gran resistencia a la corrosión.
- Poseen una apariencia atractiva.
- Su resistencia mecánica es elevada.
- Es un buen aislante térmico, los plásticos son malos conductores del calor.
- Poseen propiedades adhesivas.

❖ **Resinas termoplásticas**

Estos plásticos se ablandan por calentamiento y vuelven a su estado inicial por enfriamiento lo cual es reversible. Entre los más conocidos tenemos: pvc, polietileno, polipropileno, poliestireno, etc.

❖ **Resinas termoestables**

Cuando estos plásticos se calientan (están en estado líquido) sus grandes moléculas se vuelven más grandes y después que se solidifican no pueden volver a su estado líquido inicial, si se calienta nuevamente estas se carbonizan. Las resinas pertenecen a los termoestables.

4.2.4.2 Tipos de resinas

Existen dos grandes grupos de resinas que son usadas generalmente en la industria de plásticos reforzados, las resinas de poliéster y las resinas epoxicas. Cabe añadir la resina epoxica, ya que será importante en el transcurso del tema.

Resinas de polister

Los poliésteres pueden ser saturados e insaturados. En los primeros se encuentra el grupo de las fibras textiles, como ejemplo podemos nombrar una fibra comúnmente llamada dacrón, y los insaturados que son entrecruzados mezclándolos con un monómero.

- **Propiedades y características de las resinas de poliéster**

La principal característica de las resinas de poliéster es la propiedad de polimerizar bajo ciertas condiciones. Por acción de un catalizador, el poliéster y el monómero copolimerizan por sus grandes grupos insaturados para dar una resina dura y tridimensional. La reacción de la resina al polimerizar es exotérmica, para grandes espesores la mala conductividad térmica de la resina la puede llevar a elevadas temperaturas, lo que daña la calidad del material.

Las resinas de poliéster aún con los catalizadores no endurecen, o lo hacen lentamente y por debajo de 10°- 15°c. Las resinas de poliéster insaturado son materiales de baja viscosidad que pueden mezclarse con gran cantidad de materiales de relleno y de refuerzo, pueden contener hasta un 80% en peso de fibra de vidrio. Cuando curan tienen una notable resistencia mecánica, de 172 a 344 Mpa, al impacto y química.

- **Aplicaciones importantes**

Estas resinas se utilizan para hacer paneles de automóviles y piezas de carrocería, para los cascos de barcos pequeños y en la industria de la construcción para paneles y componentes del baño, como bañeras. También su uso abarca tubos, tanques, y conductos donde se requiere buena resistencia a la corrosión.

Resina epoxica

Las resinas epoxis provienen de materiales termoestables que no generan productos de reacción durante el curado (entrecruzamiento) y por ello tienen poca contracción al curar. Se parecen en la forma de trabajar a las de poliéster como en su proceso de curado, pero su comportamiento es diferente, a temperatura

ambiente la dosificación de catalizadores es mayor y este no se desprende, sino que entra a formar parte de la reacción química integrándose en la molécula resultante. “los agentes de curado usados con las epoxicas no siempre actúan como catalizadores, como sucede con los poliésteres, sino que pueden entrar realmente en la reacción del curado y, por tanto, tener efectos bien marcados en las propiedades finales”. (González, 1992).

- **Propiedades y características de la resina epoxica**

El bajo peso molecular de las resinas no curadas en estado líquido les confiere una movilidad molecular excepcionalmente alta durante el proceso. Esta propiedad permite a la resina epoxica líquida empapar rápida y completamente las superficies. Esta acción de mojado es importante para los epoxis utilizados como materiales de refuerzo y adhesivos. Además de la habilidad de mojado es importante para el encapsulado eléctrico. La gran reactividad de los grupos epoxídicos con los agentes de curado como las aminas proporcionan un alto grado de entrecruzamiento y produce gran dureza, resistencia mecánica y química. Puesto que no se generan productos de deshecho durante la reacción del curado, la contracción durante el endurecimiento es pequeña” (Smith, 2000).

Entonces es importante destacar las siguientes propiedades y características.

- No se desprenden gases durante su endurecimiento.
- El material no se contrae una vez terminado el proceso de endurecimiento.
- Tienen buena adhesión sobre los materiales.
- Poseen buenas propiedades mecánicas y como aislante eléctrico.
- No humedecen los paños de fibras tan rápido como las de poliéster y su curado es más lento.

Tienen un buen comportamiento ante el agua, al ataque químico, resistencia a la abrasión, y una absorción de agua mejor que las resinas de poliéster, además de una resistencia ambiental. “Una de las principales ventajas de estas resinas sobre las de poliéster, es su baja contracción (1-2%), que puede reducirse hasta prácticamente cero mediante la adición de cargas” (González, 1992).

Una desventaja que tienen las resinas epoxicas es su precio elevado sobre las de poliéster.

Aplicaciones importantes

La aplicación de estas resinas es muy variada y extensa, como en revestimientos protectores y decorativos por su buena adhesión y resistencia mecánica y química, en especial en revestimientos de latas y bidones, imprimaciones de automóviles, revestimiento de cables. También son utilizadas en la industria eléctrica como aisladores de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores, por ser un buen aislante dieléctrico, su baja contracción en el curado, resistencia ambiental, en especial la humedad y su buena adhesión. Además se utilizan para laminados y como matriz en materiales de plástico reforzado con fibra de vidrio.

4.3 Estado del arte

4.3.1 Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique

Se emplearon fibras cortas de fique (*furcraea spp*) como material de refuerzo de una matriz termoplástica de almidón nativo de yuca (*manihot sculenta crantz*). Se usó el diseño experimental factorial para analizar las propiedades mecánicas: esfuerzo y elongación en tres mezclas de almidón más fibra de fique.

El esfuerzo incrementa cuando se mezclan con fibras de fique cortas, lo cual permite soportar una carga relativamente alta. Las observaciones revelaron que con el incremento del 10% de fibra se obtiene una matriz plastificada, debido a la fusión del gránulo de almidón.

Los resultados mostraron que el material compuesto presenta una menor tg con respecto al tps sin fibra de fique (blanco); este comportamiento pudo haber sido influenciado por la presencia de agua en el compuesto debido a la absorción y a la polaridad de esta en ambos materiales (almidón-fibra). Este tipo de materiales podrían ser empleados en el desarrollo de empaques biodegradables, toda vez que se evalúen otras técnicas de procesamiento (extrusión o inyección) y se evalúe la calidad física y química de las fibras¹².

4.3.2 Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique.

Las fibras naturales han recuperado nuevamente espacios perdidos en el mercado mundial, como insumos que representan una ventaja significativa en conservación del medio ambiente, fácil procesamiento, disponibilidad, bajo costo, bajo peso, alta resistencia, entre otras. Por esta razón se ha motivado el desarrollo de materiales que contengan en su estructura fibras como el sisal, el fique, el yute, etc.

Por tal motivo se ha despertado el interés de muchos sectores industriales, que ponen en marcha investigaciones que buscan maximizar todas las anteriores ventajas. El sector automotriz no es la excepción, por esta razón los esfuerzos se

¹²LUNA Gabriela; VILLADA Héctor; VELASCO Reinaldo, *Almidón Termoplástico De Yuca Reforzado Con Fibra De Fique: Preliminares, Consultado Mayo 2013.*

enfocan a la construcción de autopartes con materiales reciclables, que permitan una reducción considerable del peso del automotor, por ende un menor consumo de combustible, una reducción en los gastos generados y una disminución en los costos de repuestos.

Teniendo en cuenta que estos nuevos materiales suplen algunas necesidades funcionales más no estructurales al interior del vehículo.

Un ejemplo de lo anterior es la empresa sofasa s.a. que desea mejorar el comportamiento de las fibras naturales como el fique, en refuerzos de materiales compuestos. Para optimizar las propiedades mecánicas del sistema, el fique debe someterse a algunos tratamientos químicos de acondicionamiento que faciliten el acoplamiento fibra-matriz¹³

4.3.3 Conformado y caracterización físico-mecánica de materiales compuestos basados en polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales de fique.

Cada día cobra más relevancia el uso de materiales termoplásticos biodegradables como las poliácidas (pla) y de sistemas basados en policaprolactona, por sus innegables aplicaciones en el campo industrial, principalmente en los sectores de envase, embalaje y agrícola además por sus impactos medioambientales al poseer propiedades de degradación. Las propiedades mecánicas y la estabilidad a altas temperaturas de estos polímeros son limitadas por lo que se hace necesario reforzarlos con fibras que mejoren

¹³ CASTRO Cristina; PALENCIA Ana, *Evaluación De La Influencia De Diferentes Condiciones De Tratamientos Superficiales Sobre El Comportamiento De Fibras De Fique*, Consultado Abril 26 De 2013 <http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/Tesisfibrasfique.pdf>

sustancialmente su conducta mecánica y térmica. Por tanto, el fundamento de la siguiente propuesta de investigación se basa en la obtención de materiales compuestos cien por ciento biodegradables basados en resinas biodegradables reforzadas con fibras de fique. Los materiales utilizados en los compuestos biodegradables son en primer lugar, resinas termoplásticas de tipo poliéster como las polilactidas (pla) y la poli-caprolactona (pcl), y como material de refuerzo se emplearan fibras naturales como el fique. Para la elaboración de los compuestos biodegradables se llevaran a cabo, por medio de técnicas convencionales para la preparación de resinas termoplásticas como el moldeo por extrusión, inyección y compresión. Las dosificaciones en el caso de las fibras de fique comprenden rangos entre el 10 y el 50% del peso de total del compuesto. Una vez obtenidos los materiales compuestos biodegradables procedemos a su respectiva caracterización mecánica, determinando los parámetros más significativos tales como el módulo de young, la tensión a la fluencia y el alargamiento a rotura. Otro aspecto importante a determinar son las propiedades térmicas mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (dsc) para las formulaciones pla/%fique y pcl/%fique, en este caso se pretende estudiar el efecto de las fibras de fique en el grado de cristalinidad de la estructura polimérica de las resinas de pla y pcl.

Los análisis dinámico-mecánico (dma) analizaran el comportamiento mecánico de los compuestos frente a un calentamiento de temperatura en el que se explica el impacto de las fibras de fique en las propiedades visco-elásticas de la matriz termoplástica pla y pcl. Por último, se examinará la interface fibra-matriz a través¹⁴

¹⁴ RAMON, Bladimir: *conformado y caracterización fisicomecanica de materiales compuestos basados en polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales de fique. Universidad de pamplona programa de ingeniería mecánica. {2012}*

4.3.4 Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas

La generación masiva de residuos plásticos constituye actualmente un gravísimo problema medio ambiental. Una de las estrategias desarrolladas para paliarlo consiste en el reciclaje de los residuos plásticos y su posterior utilización para diferentes aplicaciones en sectores tales como la construcción. La incorporación de refuerzos en el material reciclado mejora las propiedades mecánicas del mismo. Un posible refuerzo son las fibras de origen vegetal o biofibras, que, además de mejorar técnicamente el producto, presentan ventajas económicas y ambientales. El objetivo de este trabajo es el estudio de varias fibras de origen vegetal (algodón reciclado, lino, cáñamo, kenaf, sisal y fique) que serán utilizadas como material de refuerzo en polietileno de alta densidad reciclado. Se han realizado análisis termo gravimétrico de las fibras para comprobar su estabilidad térmica, así como su resistencia mecánica mediante micro ensayos de tracción y, finalmente, su caracterización morfológica mediante microscopía óptica, electrónica de barrido y de fuerza atómica¹⁵.

El aprovechamiento de fibras vegetales de desecho es perfectamente viable con la peculiaridad de su diferencia en forma y tamaño obligando para así compactarla en esferas o cilindros pequeños de modo de conseguir un menor volumen y una excelente conservación previa y a la utilización de compatibilizantes para obtener el producto final. Estos presentan propiedades mecánicas ligeramente superiores a las del polímero aunque pierden en gran medida su plasticidad y tenacidad

¹⁵ M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí, *Caracterización De Fibras Vegetales Utilizadas Como Refuerzo En Matrices Termoplásticas*, universidad politécnica, Valencia, España. Consultado abril 2013, de http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf

5. METODOLOGÍA

5.1 Caracterización de las fibras

Se determinarán las propiedades físicas y mecánicas de las fibras a través de los siguientes ensayos:

5.1.1 Determinación de diámetros promedio

5.1.1.1 Fibra de fique

Se realizará el análisis de los diámetros de la fibra de fique en un durómetro zwick roell universal ubicado en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Universidad Autónoma Del Caribe. Se tomarán 100 hilos para hacer las mediciones, los datos luego serán analizados mediante métodos estadísticos para así determinar su diámetro promedio.

5.1.1.2 Fibra de vidrio E

Se realizará el análisis de los diámetros de la fibra de vidrio en un durómetro zwick roell universal ubicado en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Universidad Autónoma Del Caribe. Se tomarán 100 hilos para hacer las mediciones, los datos luego serán analizados mediante métodos estadísticos para así determinar su diámetro promedio.

5.1.2 Pruebas de tensión

Las pruebas se realizarán en la máquina universal de ensayos de acuerdo la norma ASTM D5035. Las probetas tendrán forma rectangular con dimensiones 250mm x 50mm y una longitud entre mordazas de 150mm. Los ensayos serán

realizados en una dirección, es decir en forma paralela, para ello se elaborarán 7 probetas de cada configuración, de las cuales serán ensayadas a velocidad de 1mm/min y a una velocidad 50 mm/min.

5.2 Caracterización de la resina

Se implementará un procedimiento para determinar las diferentes proporciones de cada componente, resina, catalizador y thinner, y de esta forma se definirá un número de mezclas con las cuales se fabricarán 3 probetas de cada una para luego realizarles ensayos de tensión, flexión e impacto para así determinar sus propiedades mecánicas respectivamente.

5.2.1 Pruebas de tensión

La prueba de tensión está regida bajo la norma ASTM D3039, la cual se realizará en la máquina universal de ensayos. Se ensayarán 3 probetas por cada mezcla establecida, con dimensiones de 250mm de largo por 12mm de ancho y 8mm de espesor. Se mantendrá una distancia entre mordazas de 150mm y se ensayarán a una velocidad de 5 mm/min para todas las probetas como lo indica la norma. Para observar cuál mezcla es la que ofrece mayor resistencia a tensión.

5.2.2 Pruebas de flexión

Las pruebas se realizarán en la máquina universal de ensayos, el método a utilizar es el implementado en la norma ASTM D790 como ensayo de flexión en tres puntos. La geometría de las probetas será de sección transversal rectangular manteniendo dimensiones de 187mm de largo, 12 mm de ancho y 8 mm de espesor. La distancia entre los apoyos se ajustará a $100 \text{ mm} + 3 \text{ veces el espesor}$ de la probeta como lo indica la norma y la prueba será aplicada a una velocidad de

5 mm/min. Se fabricarán 3 probetas por cada mezcla y serán ensayadas para observar su comportamiento a la flexión.

5.2.3 Pruebas de impacto

Estas pruebas serán realizadas en un péndulo charpy bajo el método descrito en la norma ASTM D256. Las probetas constarán de 63 mm de largo, 12 mm de ancho y 8 mm de espesor con sección transversal rectangular. Se fabricarán 3 probetas por cada mezcla y serán ensayadas para observar cuál mezcla es la que absorbe más energía.

5.3 Caracterización del material compuesto

Una vez se haya escogido la mezcla que presente las mejores propiedades mecánicas y de haber determinado el número de capas y composición de las misma, se prepararán las probetas del material compuesto reforzado con fibra de fique y vidrio E, orientadas a lo largo del eje axial en una matriz de la mezcla de resina epoxica escogida. Para determinar sus propiedades mecánicas se someterán a ensayos destructivos tales como ensayo de tensión, ensayo de flexión y ensayo de impacto.

5.3.1 Pruebas de tensión

La prueba de tensión está regida bajo la norma ASTM D3039, la cual se realizará en la máquina universal de ensayos. Se ensayarán 3 probetas por cada mezcla establecida, con dimensiones de 250mm de largo por 30mm de ancho y 8mm de espesor. Se mantendrá una distancia entre mordazas de 150mm y se ensayaran a una velocidad de 5 mm/min para todas las probetas como lo indica la norma, para observar cuál mezcla es la que tiene mayor resistencia a tensión.

5.3.2 Pruebas de flexión

Las pruebas se realizarán en la máquina universal de ensayos, el método a utilizar es el implementado en la norma ASTM D790 como ensayo de flexión en tres puntos. La geometría de las probetas será de sección transversal rectangular manteniendo dimensiones de 187mm de largo y 30 mm de ancho y 8 mm de espesor. La distancia entre los apoyos se ajustará a 100 mm + 3 veces el espesor de la probeta como lo indica la norma y la prueba será aplicada a una velocidad de 5 mm/min. Se fabricarán 3 probetas por cada mezcla y serán ensayadas para determinar su comportamiento a flexión.

5.3.3 Pruebas de impacto

Estas pruebas serán realizadas en un péndulo charpy bajo el método descrito en la norma ASTM D256. Las probetas constarán de 63 mm de largo, 30 mm de ancho y 8 mm de espesor con sección transversal rectangular. Se fabricarán 3 probetas por cada mezcla y serán ensayadas para determinar cuál mezcla es la que absorbe más energía.

6. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE Y VIDRIO E

6.1 Determinación del diámetro de las fibras

Para la determinación del diámetro de la fibras se tuvo en cuenta solo aquellos diámetros que se repetían más de 10 veces, obteniendo un promedio ponderado, para lo cual fueron necesarias 100 muestras de diámetros para realizar el procedimiento.

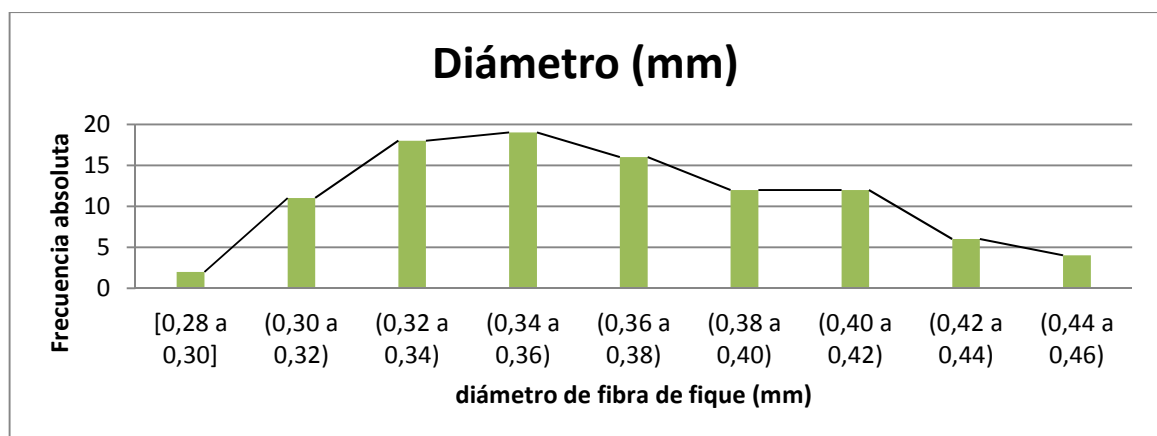
La máquina utilizada para el procedimiento fue durómetro zwick roell zhu del laboratorio de tratamientos térmicos de la Universidad Autónoma Del Caribe (figura 10).

Figura 10. Durómetro del laboratorio de tratamientos térmicos de la Universidad Autónoma Del Caribe.



Los datos obtenidos se tabularon y luego fueron organizados para llenar la tabla de frecuencias. Mediante inferencia estadística, ya que esta es utilizada para el análisis de estudios observacionales o de experimentos diseñados en gran parte de las áreas científicas.

Figura 11 Distribución de diámetros de fibras de fique



Como se observa en el gráfico de distribución de diámetros de fibras de fique, la mayor cantidad promedio de las fibras se encuentra entre los valores de (0,30 – 0,40) con un porcentaje de (90-95) %. Dando un diámetro ponderado de 0,3648mm

6.1.1 Distribución diámetro fibra de vidrio E

La determinación del diámetro de la fibra de vidrio se hizo en colaboración con la Universidad Del Atlántico con la ayuda de un microscopio de 100x, se determinó que el diámetro promedio de las fibras de vidrio se encuentra entre (1.44 y 1.45)mm. Así mismo se contó la cantidad de filamentos en una fibra dando un valor de 2000 filamentos por fibras aproximadamente. Los datos de algunos tipos de fibras de vidrio se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas de algunos tipos de fibras de vidrio.

Tipo	Vidrio A	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de filamento [μm]	5-13	10-20	10	10
Densidad [g/cm^3]	2,5	2,54	2,48	2,59
Módulo de elasticidad [GPa]	69	72,5	86	85
Resistencia a la tracción [GPa]	3,1	3,4	4,59	3,4-4,4
Elongación a la rotura [%]	4,3	4,5	-	5,2

6.2 Densidad lineal

Según la norma ASTM D1577, se seleccionaron 7 muestras de una pulgada de largo, se pesan en una báscula de precisión (Adventure pro, Ohaus). Luego se cuentan el número de fibras contenidas en la muestra.

Se calcula el porcentaje de la densidad lineal de la fibra, para cada muestra que este cerca de 0.1 dtex (0.01denier) usando las siguientes ecuaciones:

$$T_d = \frac{10000 * w}{(L * N)}$$

Ecuación 1

$$D = \frac{90000 * w}{(L * N)}$$

Ecuación 2

Dónde:

- T_d = porcentaje de la densidad lineal de la fibra (dtex)
- D = porcentaje de densidad lineal de la fibra (denier)
- T_{dp} = promedio de la densidad lineal de la fibra (dtex)
- D_p = promedio de la densidad lineal de la fibra (denier)
- T_d estándar =
Desviación estándar de la densidad lineal de la fibra (dtex)
- D estándar =
Desviación estándar de la densidad lineal de la fibra (denier)

Tabla 7. Densidad lineal del fique

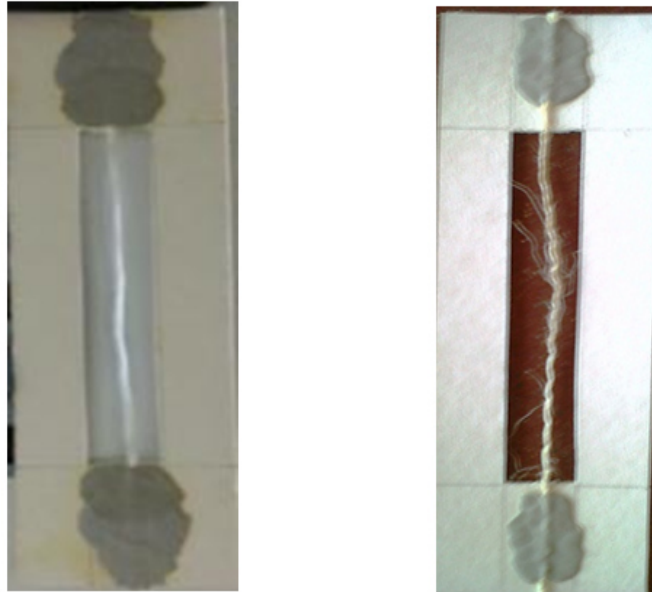
Muestra	Masa [gr]	Peso W (mg)	Número De Hilos	Densidad Lineal [dtex]	Densidad Lineal [denier]
1	0,03	30,00	39,00	302,85	272,56
2	0,03	30,00	39,00	302,85	272,56
3	0,04	40,00	42,00	374,95	337,46
4	0,02	20,00	26,00	302,85	272,56
5	0,02	20,00	27,00	291,63	262,47
6	0,02	20,00	25,00	314,96	283,46
7	0,02	20,00	26,00	302,85	272,56

Promedio	313,28	281,95
Desviación Estándar	28,02	25,22

6.3 Pruebas de tensión

Para el estudio de estas pruebas se tuvo en cuenta la disposición de los 2 tipos de fibras (fique y vidrio) se construyeron 7 probetas en la dirección de las fibras de fique y 7 probetas en la dirección de los fibras de vidrio E, ensayándose de la siguiente manera; para la fibra de fique 7 probetas se usaron para la prueba a una velocidad de 1 mm/min y 7 para la prueba a una velocidad 50mm/min, igualmente se realizó para las probetas de fibra de vidrio E. Para obtener dichas probetas fueron recortadas las fibras de 250 mm de largo, (figura 12); luego colocadas en un marco con la misma longitud y 60 mm de ancho, para el respectivo montaje, seguidamente fueron marcadas a una distancia de 50 mm de los extremos superior e inferior; para la referencia de agarre de las mordazas.

Figura 12. Procedimientos de obtención de probetas para ensayo de tracción



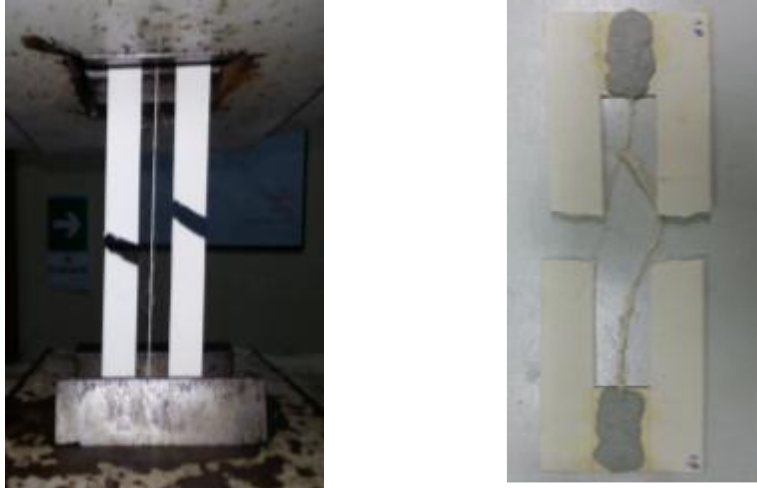
- **Probeta de fibra fique y fibra vidrio tipo E**

Las probetas fabricadas fueron ensayadas en la máquina universal de ensayos shimadzu uh-600 del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Del Caribe. El procedimiento de montaje de las probetas es descrito en los siguientes pasos especificados en la norma ASTM C1557. Se programó la velocidad de la máquina para la realización de las pruebas con velocidades de 1mm/min y 50mm/min respectivamente.

- Se procedió a centrar la probeta en las mordazas, cuidando que la probeta quedara alineada verticalmente y sujeta desde la marca previamente realizada.

- El procedimiento descrito anteriormente se realizó tanto para las probetas de fibra de fique como la fibra de vidrio E.

Figura 13. Montaje y ensayo de la probeta.



Una vez realizados los ensayos, la máquina arroja una gráfica de fuerza-elongación, que indica propiedades tales como: fuerza máxima (mN), es decir la fuerza máxima que soporta la fibra antes de que ocurra la falla de la misma; la deformación de la fibra (mm) y el tiempo en el que ocurre la falla de la probeta.

Para el análisis de la gráfica se utiliza el programa Microsoft Excel. Por tanto es necesario hacer un análisis, éste para eliminar dichas fluctuaciones y de esta manera determinar las propiedades del material en la prueba.

6.3.1 Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibras

Tabla 8. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de fique a una velocidad de 1mm/min

Muestra	Resistencia A La Tensión (Mpa)	Deformación (mm)	Módulo De Elasticidad (MPa)	Deformación (%)	Fuerza Máxima (N)
1	34,56	0,0442	781,70	4,42	168,75
2	43,35	0,0664	652,89	6,64	187,50
3	27,40	0,0342	800,62	5,13	150,00
4	36,18	0,0449	806,32	4,49	166,40
5	30,42	0,0407	748,06	4,07	157,40
Promedio	34,38	0,05	757,92	4,95	166,01
Desviación Estándar	6,09	0,01	62,97	1,02	14,14

Tabla 9. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier fibra de fique a una velocidad de 1 mm/min

Fibra	Tenacidad		Módulo		Elongación
	cN/Tex	gf/Tex	cN/Tex	gf/Tex	
1	1,70	1.741,12	7,90	8.065,42	4,42%
2	1,89	1.934,58	6,60	6.736,39	6,64%
3	1,51	1.547,66	8,10	8.260,68	3,42%
4	1,68	1.716,88	8,15	8.319,47	4,49%
5	1,59	1.624,02	7,56	7.718,34	4,07%
Promedio	1,67	1.712,85	7,6637	7.820,06	
Desviación Estándar	0,14	145,90	0,6367	649,69	

Tabla 10. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de fique a una velocidad de 50 mm/min

Muestra	Resistencia A La tensión (MPa)	Deformación (mm)	Módulo De Elasticidad (MPa)	Deformación (%)	Fuerza Máxima (N)
1	37,68	0,0564	668,54	5,64	206,25
2	52,99	0,0618	857,13	6,18	243,75
3	36,24	0,0403	899,37	4,03	187,50
4	44,84	0,0439	1022,52	4,39	206,25
5	38,40	0,0455	844,86	4,55	187,50
Promedio	42,03	0,05	858,48	4,96	206,25
Desviación Estándar	6,96	0,01	127,32	0,91	22,96

Tabla 11. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier para la fibra de fique a una velocidad de 50 mm/min

Muestra	Tenacidad		Módulo		Elongación
	cN/tex	gf/tex	cN/tex	gf/tex	
1	0,6584	671,8015	2,13	2.177,57	5,64%
2	0,7781	793,9472	2,74	2.791,87	6,18%
3	0,5985	610,7286	2,87	2.929,45	4,03%
4	0,6584	671,8015	3,26	3.330,56	4,39%
5	0,5985	610,7286	2,70	2.751,90	4,55%
Promedio	0,6584	671,8015	2,7403	2.796,2701	
Desviación estándar	0,0733	74,7987	0,4064	414,7241	

Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra de vidrio E a una velocidad de 1 mm/min

Muestra	Resistencia A tensión (MPa)	Deformación (mm)	Módulo De Elasticidad (GPa)	Deformación (%)	Fuerza Máxima (N)
1	102,19	0,0056	18,16	0,56	168,75
2	146,16	0,0062	23,52	0,62	225,00
3	135,92	0,0073	18,67	0,73	206,25
4	130,23	0,0064	20,43	0,64	206,25
5	125,36	0,0088	14,18	0,88	187,50
Promedio	127,97	0,0069	18,99	0,69	198,75
Desviación Estándar	16,36	0,0013	3,41	0,13	21,38

Tabla 13. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier para la fibra de vidrio E a una velocidad de 1 mm/min

Muestra	Tenacidad		Módulo		Elongación
	cN/tex	gf/tex	cN/tex	gf/tex	
1	1,71	1741,13	4,29	4377,71	0,56%
2	2,28	2321,50	4,55	4645,74	0,62%
3	2,09	2128,04	4,34	4425,51	0,73%
4	2,09	2128,04	4,34	4423,86	0,64%
5	1,90	1934,59	2,11	2150,01	0,88%
Promedio	2,01	2050,66	3,92	4004,57	
Desviación Estándar	0,22	220,58	1,02	1041,96	

Tabla 14. Resultados obtenidos del ensayo de tensión para la fibra vidrio E a una velocidad de 50 mm/min

Muestra	Resistencia A La Tensión (Mpa)	Deformación (mm)	Módulo De Elasticidad (Gpa)	Deformación (%)	Fuerza Máxima (N)
1	261,16	0,0115	22,70	1,15	431,25
2	284,15	0,0090	31,57	0,90	450,00
3	207,23	0,0054	38,19	0,54	337,50
4	324,79	0,0123	26,42	1,23	543,75
5	316,69	0,0104	30,49	1,04	487,50
Promedio	278,80	0,01	29,87	0,97	450,00
Desviación Estándar	47,47	0,00	5,83	0,27	76,16

Tabla 15. Cálculo de la densidad lineal dtex y denier fibra vidrio E a una velocidad de 50 mm/min

Fibra	Tenacidad		Módulo		Elongación
	cN/Tex	gf/Tex	cN/Tex	gf/Tex	
1	4,36	4.449,54	0,23	234,17	1,15%
2	4,55	4.643,00	0,32	325,75	0,90%
3	3,41	3.482,25	0,39	394,01	0,54%
4	5,49	5.610,30	0,27	272,60	1,23%
5	4,92	5.029,92	0,31	314,59	1,04%
Promedio	4,55	4.643,00	0,30	308,22	
Desviación Estándar	0,77	785,83	0,05	60,12	

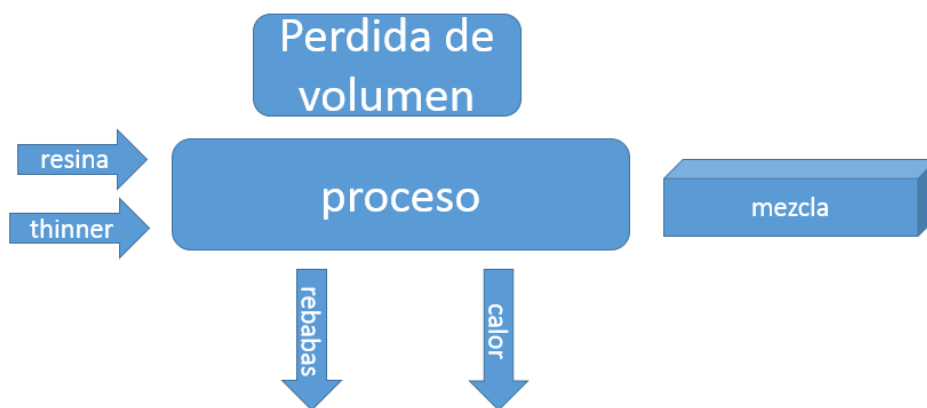
Luego de analizar la información anterior, se determinó la propiedad a tensión de las fibras para realizar la caracterización del compuesto.

7. CARACTERIZACIÓN DE LA RESINA

7.1 Proceso de curado

Hay muchos factores internos y externos que afectan el curado de la resina epoxica como son: el uso de iniciadores químicos y aceleradores, además de la aplicación de calor o exposición a la radiación.

Figura 14. Modelo general de curado



Los factores se pueden variar en un rango muy amplio, en cada uno de los componentes, para este caso en específico, se utilizó un proceso basado en un método de ventana de operación, para mirar rápidamente el comportamiento de la mezcla variando las proporciones de los componentes dentro de un rango delimitado, para obtener un conjunto de mezclas que satisfagan las condiciones que exige el usuario para el producto final. Gracias a las características del método fue posible bloquear uno de los componentes, la resina en 100g, quedando como variables los otros dos componentes, catalizador y thinner. El rango en el que se trabajó la variación de estos dos componentes fue establecido de manera experimental y basado en la ficha técnica de la resina, tomando una porción fija de

resina y aplicando dosis de ellos por separado, para mirar así los diferentes efectos producidos en la mezcla.

Como se mencionó con anterioridad al usar un factor diluyente como el thinner se reduce costos en materia prima, de igual forma su viscosidad disminuye, por lo que obtendrá el mismo volumen con menos proporción de resina. Para utilizar este diluyente es necesario delimitarlo para saber hasta qué proporción puede soportar la mezcla, dado que para este componente el fabricante no da instrucciones. Para esto se aplicó un procedimiento, en el que fue necesario experimentar con dosis que variaban en el thinner (5cc) y en el catalizador (0,5gr).

Se observó que la máxima aceptación del thinner en la resina fue de 10cc, después de este punto la mezcla toma una viscosidad muy baja y el tiempo de curado se hace más largo la cual no es viable.

De esta manera quedaron definidas las siguientes mezclas como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16 Formulación de las mezclas

		CATALIZADOR		
		0,5 g = 0,44 cm³	1 g = 0,88 cm³	1,5 g = 1,32 cm³
THINNER (cm³)	0	a1	a2	a3
	5	b1	b2	b3
	10	c1	c2	c3
	<i>Nota: El componente base contiene 100gr de resina epoxica (derakene) + 0.5gr de cobalto.</i>			

Tabla 17. Mezclas definidas por componentes

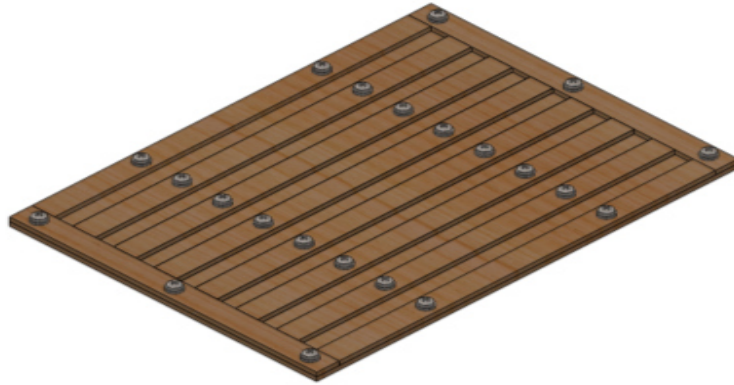
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Catalizador (cm³)	0,44	0,88	1,32	0,44	0,88	1,32	0,44	0,88	1,32
Thinner (cm³)	0	0	0	5	5	5	10	10	10

7.1.1 Obtención de las probetas

Con las mezclas ya establecidas, se procedió a la fabricación de las probetas de resina que posteriormente serían ensayadas para determinar sus propiedades mecánicas. Para esto fue necesario construir un molde que cumpliera con las características adecuadas para que las probetas cumplieran con los requisitos establecidos en la normas ASTM que rigen este tipo de ensayos. Se construyó un molde en madera, debido a que este material es de muy bajo costo y de fácil obtención, el molde está conformado por siete canaletas de sección transversal rectangular, cuyas dimensiones son las deseadas en las probetas (250mm x 12mm x 6mm) más una tolerancia, debido a la contracción que surge como efecto de la reacción exotérmica que se lleva a cabo en la resina en el proceso de curado (figura 15), según recomienda la norma ASTM. Previo a la fundición se preparó el molde aplicándole desmoldante, para que la resina no se adhiriera a él (figura 15).

7.1.2 Fundición de la resina

Figura 15. Modelo del molde de madera



La preparación de la mezcla se lleva a cabo en un recipiente desechable, donde se vierte previamente la porción de cada componente de la mezcla. En el caso de la resina midiendo su volumen en una jeringa, de igual forma el volumen de thinner (para las mezclas que contienen thinner) y de la misma manera con la ayuda de otra jeringa se mide el volumen de catalizador.

Primeramente se vierte el thinner en el recipiente de la resina y con ayuda de un agitador manual se bate hasta que diluya la mezcla, por último se aplica el catalizador agitándose la mezcla hasta que quede totalmente homogénea para finalmente ser vertida en el molde preparado previamente con desmoldante (figura 16).

Al momento de fundir las mezclas se tuvo en cuenta la velocidad de vertido al molde, la cual se hacía de forma lenta y con un movimiento circular para reducir la aparición de burbujas de aire, de otra forma el volumen se mantuvo con el llenado completo de la canal del molde

En cuanto al curado las probetas sufrían una contracción menor a 1 mm la cual no se tuvo en cuenta.

Figura 16 Fundición de la resina



7.2 Ensayo de tensión

Es necesario realizar un ensayo de tensión a los materiales para poder determinar sus propiedades mecánicas, para así aprovechar al máximo sus características al momento de su puesta en servicio. Las probetas de resina obtenidas fueron ensayadas en la máquina universal de ensayos shimadzu uh-600 del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Del Caribe, con una velocidad de 5 mm/min de acuerdo a la norma ASTM D3039.

Figura 17. Ensayo de tensión en resina



Una vez finalizado el ensayo, la máquina arroja una gráfica de fuerza-elongación, que fue utilizada para determinar las propiedades en la tabla 17.

Tabla 18. Propiedades a la tensión de las resinas

Mezcla	Esfuerzo Máximo (MPa)		Deformación (mm/mm)		Módulo De Elasticidad (GPa)	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
A1	12,179	1,926	0,008	0,002	1,672	0,303
A2	18,05527	7,396	0,01140	0,005	1,606	0,082
A3	23,930	3,350	0,016	0,002	1,500	0,106
B1	13,884	0,529	0,011	0,001	1,307	0,111
B2	22,542	1,456	0,016	0,002	1,460	0,133
B3	19,741	2,477	0,013	0,003	1,530	0,187
C1	15,992	4,238	0,015	0,005	1,099	0,131
C2	15,041	5,664	0,013	0,002	1,173	0,382
C3	24,201	2,360	0,019	0,001	1,307	0,135

7.3 Ensayo de flexión

El ensayo de flexión es utilizado principalmente para la determinación de las propiedades de flexión en los diferentes materiales. Este método descrito en la norma ASTM D790 utiliza un sistema de carga de tres puntos simplemente apoyada en sus extremos aplicada a una probeta de sección transversal rectangular con dimensiones 187mm x 12mm x 8mm.

Para la determinación de las propiedades a encontrar con el ensayo de flexión son necesarias las siguientes ecuaciones.

Esfuerzo de flexión (σ_f): la tensión máxima en la superficie exterior de la probeta de ensayo se produce en el punto medio. Este esfuerzo se puede calcular para cualquier punto de la curva de fuerza-deflexión por medio de la ecuación 3.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{(2bd^2)}$$

Ecuación 3.

Dónde:

- $P =$ Carga máxima en la curva Carga – elongacion N(lbf)
- $L =$ distancia entre los puntos de apoyo mm
- $b =$ ancho de la probeta mm
- $d =$ espesor de la probeta mm

Deformación en flexión (ϵ_f): es la variación nominal relativa de la longitud de la probeta en el centro de la misma, y es allí donde se produce la máxima deformación. Para el cálculo de la deformación se puede emplear la ecuación 4.

$$\epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2}$$

Ecuación 4.

Dónde:

- ϵ_f = *deformacion en flexión MPa*
- D = *deflexión máxima del centro de la probeta, mm*
- L = *distancia entre los puntos de apoyo mm*
- d = *espesor de la probeta mm*

Módulo de elasticidad (ϵ_B): es la relación existente del límite elástico correspondiente. Se calcula trazando una tangente a la parte lineal inicial de la curva de carga-deflexión.

$$E_B = \frac{L^3m}{4bd^3}$$

Ecuación 5.

Dónde:

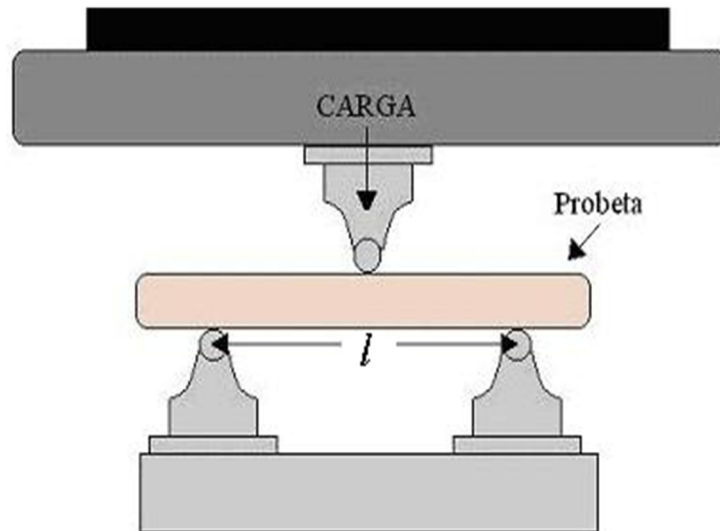
- E_B = *modulo de elasticida (GPa)*
- L = *distancia entre los puntos de apoyo (mm)*

- $m = \text{pendiente de la línea recta inicial de la curva de carga} - \text{deflexión } N/mm$
- $d = \text{espesor de la probeta (mm)}$
- $b = \text{ancho de la probeta (mm)}$

Para llevar a cabo la realización del ensayo se utilizó la máquina universal de ensayos shimadzu uh-600 del laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Del Caribe, donde las probetas permanecieron 48 horas antes de la realización del ensayo.

Una vez transcurrido el tiempo en el laboratorio, la probeta es puesta de manera perpendicular al punzón (figura 18) que aplicará la carga centrada y apoyada en los extremos cuya distancia entre estos es de $100 \text{ mm} + 3 \text{ veces el espesor de la probeta}$ como lo indica la norma, la velocidad de ensayo es 5 mm/min manteniéndose esta constante a lo largo de todas las pruebas.

Figura 18. Ensayo de flexión



Una vez finalizada la toma de datos se analizaron como se describe en la tabla 19.

Tabla 19. Propiedades a la flexión de las mezclas de resina epoxica

Mezcla	Esfuerzo Máximo (MPa)		Deformación (mm/mm)		Módulo De Elasticidad (GPa)	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
A1	49,20	8,25	0,0095	0,0021	472,96	204,14
A2	39,93	10,74	0,0056	0,0024	668,25	475,45
A3	48,37	4,78	0,0082	0,0021	414,84	134,68
B1	46,69	5,92	0,0051	0,0018	703,19	289,06
B2	48,27	3,55	0,0064	0,0028	559,30	182,60
B3	45,16	4,97	0,0053	0,0035	1054,37	700,96
C1	59,03	6,97	0,0066	0,0016	870,91	73,96
C2	39,03	10,47	0,0073	0,0022	391,85	28,19
C3	48,68	7,10	0,0066	0,0006	567,30	239,05

7.4 Ensayo de impacto

El ensayo de impacto se considera como el método para determinar el comportamiento de los materiales al ser golpeado con una masa de valor conocido y constante, es decir, cuánta energía puede absorber el material después de un impacto. Para determinar la energía absorbida se hace necesaria la utilización de las siguientes ecuaciones como lo indica la norma ASTM D256.

Energía disponible

$$E_1 = h_i * m * g$$

Ecuación 6

$$h_i = R(1 + \text{sen}(\alpha_1 - 90^\circ))$$

Ecuación 7

Dónde:

- $E_1 = \text{energía disponible (J)}$
- $h_i = \text{Altura inicial (m)}$
- $R = \text{radio del péndulo (m)}$
- $\alpha = \text{ángulo de referencia del cuando el péndulo no impacta ningún material}(\circ)$
- $g = \text{gravedad m/s}^2$
- $m = \text{masa del péndulo (Kg)}$

Energía residual

$$E_2 = h_f * m * g$$

Ecuación 8

$$h_f = R(1 - \text{cos}(\alpha_2))$$

Ecuación 9

Dónde:

- $E_2 = \text{energía residual (J)}$
- $h_f = \text{Altura final (m)}$
- $R = \text{radio del péndulo (m)}$
- $\alpha_2 = \text{ángulo obtenido en la medición al momento del impacto} \circ$

- $g = \text{gravedad (m/s}^2\text{)}$
- $m = \text{masa del péndulo (Kg)}$

Energía absorbida

$$E = (E_2 - E_1)$$

Ecuación 10

Las pruebas de impacto fueron realizadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Del Caribe, en un mt 3016, probador al impacto (ver figura 19).

Figura 19. Mt 3016, probador al impacto



Previamente se procedió a verificar las características del péndulo a utilizar, como son masa y longitud del brazo del péndulo (tabla 20), para la determinación de la energía absorbida en las diferentes mezclas.

Tabla 20. Características generales del Mt 3016, probador al impacto

Características Generales De Mt3016 Probador Al Impacto	
Radio (m)	0,39
Peso (N)	201
Masa (Kg)	20,49

Una vez finalizado el ensayo se utilizó la (ecuación 8), de la que se obtiene la energía residual, para luego obtener la energía que absorbe el material mediante la ecuación 10. Los resultados fueron listados en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de la energía absorbida (J) del ensayo de impacto aplicado a las diferentes mezclas

Mezcla	Energía Absorbida (J)	
	Promedio	Desviación Estándar
A1	0,4714	0,0621
A2	0,4511	0,0717
A3	0,5585	0,1332
B1	0,4932	0,0967
B2	0,4925	0,0717
B3	0,5128	0,0365
C1	0,4707	0,0000
C2	0,5128	0,0365
C3	0,5339	0,0000

Analizando los datos de la tabla 21, se puede ver que la mezcla que más absorbe energía de impacto son las que contienen mayor cantidad de catalizador, dando

un valor máximo la mezcla A3 pudiéndose exponer a fuertes operaciones de impacto.

7.5 Selección de la mezcla

Al analizar los resultados obtenidos de los diferentes ensayos a los que se sometieron las mezclas, la que mostro un mejor comportamiento fue la C3.

Se pudo determinar que a mayor porcentaje de thinner, la mezcla mostraba un mejor comportamiento a la flexión ver tabla 14 con un esfuerzo a la flexión de 59,03Mpa. De la misma manera se analiza que a un mayor porcentaje de catalizador las resinas mostraban diferente comportamiento al impacto ver tabla16. Siendo la C3 unas de las que mayor energía absorbía, con un valor de 0.5339J.

Al momento de analizar los resultados a la tensión la mezcla que mostró un mayor esfuerzo a la tensión fue la mezcla C3 con un esfuerzo máximo de 25MPa y un módulo de elasticidad de 1.3GPa.

En conclusión el catalizador y el thinner jugaron un papel fundamental en la mezcla de la resina entre mayor cantidad de ambos aumenta las propiedades a la flexión e impacto.

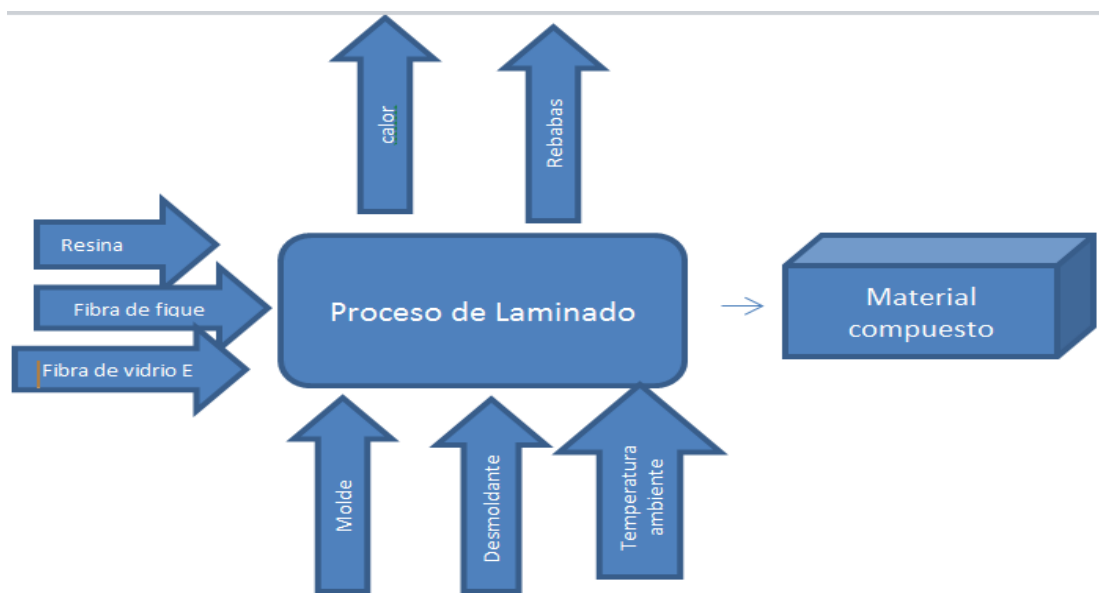
Por el análisis de resultados la mezcla que se seleccionó para realizar el nuevo compuesto con fibras de fique y fibra de vidrio E, debido a que mostro las mejores propiedades a los diferentes ensayos es la mezcla C3.

8. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

8.1 Diseño de experimento

La fabricación del material compuesto conformado por matriz de resina de epoxica reforzado con fibra de fique y fibra de vidrio E.

Figura 20. Diagrama de funcionalidad del proceso de manufactura de materiales compuestos laminados



Con la disposición del molde se procedió a realizar un proceso similar al de la obtención de las probetas de resina, que empezó de igual forma por la preparación del molde con una capa de desmoldante para evitar que la mezcla se adhiriera a él, además de facilitar el retiro del producto. Esto acompañado del corte de muestras de fibra de fique y fibra de vidrio, de las mismas dimensiones de ancho y largo de la canaleta en la cual se va a verter la mezcla (figura 21). El número de muestras de fibra de fique y fibra de vidrio E cortadas dependió del número de capas designadas para las probetas. En este caso se decidió variar el

número de capas por probetas a un total de 6, por tanto, se tuvo que cortar 15 muestras de ambas fibras, las cuales tuvieran las mismas dimensiones del molde. Seguido a la preparación del molde y de la disposición del total de las muestras necesarias se procedió a preparar la mezcla seleccionada C3.

El ordenamiento y el número de capas de refuerzos aplicadas al compuesto se tabularon (tabla 22). Al tener la mezcla lista se vierte primero una película de la mezcla y con ayuda de una brocha es esparcida por la superficie tratando que quede lo más homogénea posible, seguidamente una capa de fibra de fique cuidadosamente colocada, tratando que no se doble, nuevamente se vierte una película de la mezcla, seguido de la capa de fibra vidrio y así sucesivamente hasta colocar todas las capas determinadas y finalmente una película de la mezcla en la superficie.

Tabla 22. Ordenamientos de los refuerzo del material compuesto

Fique/vidrio	Fibra de fique (%)	Fibra de vidrio (%)	# capas fique	# capas vidrio	orden de capas
1	100	0	6	0	6f - 0v
2	67	33	4	2	2f- 2v - 2f
3	50	50	3	3	1f - 1v - 1f - 1v - 1f - 1v
4	33	67	2	4	2v - 2f - 2v
5	0	100	0	6	0f - 6v

El nuevo compuesto varía de acuerdo al número de capas aplicadas tanto de fique y vidrio, al igual que el orden, se determinó de esta forma para observar, en que afecta las propiedades mecánicas del compuesto el ordenamiento de los refuerzos.

8.2 Obtención de las probetas del material compuesto

Para la elaboración del laminado compuesto fue necesario un molde diferente con unas dimensiones totalmente nuevas, con el fin de facilitar la introducción de las capas de fibra de fique y fibra de vidrio E. Como es un producto natural y sintético, por lo tanto no va a tener las mismas características que un material procesado en cuanto a la forma. El molde diseñado para el compuesto tiene 1 canaleta de sección transversal rectangular con dimensiones de 250mm x 1400mm x 8mm ver (figura 21). Se diseñó de esta forma para que luego del proceso de curado las muestras obtenidas fueran cortadas a las medidas requeridas en la norma ASTM para los distintos ensayos a realizar. En total se fabricaron 6 probetas de cada mezcla de compuesto de las cuales se dispondrían 3 para la prueba de tensión, 3 para las pruebas de flexión y 3 para las pruebas de impacto respectivamente. Ver tabla 23.

Tabla 23. Dimensiones probetas para ensayos

Dimensiones			
Ensayos	Ancho (mm)	Largo (mm)	No. Probetas
Tensión	30	250	3
Flexión	30	187	3
Impacto	1,2	63	3







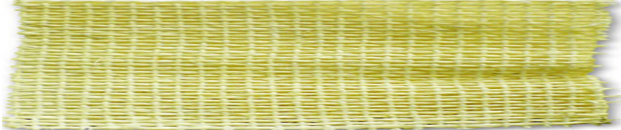
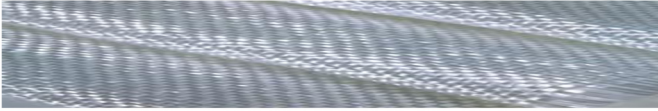
Figura 21. Modelo de molde material compuesto



Dimensiones del molde

- Ancho (mm) = 1400
- Largo (mm) = 250
- Alto (mm) = 8

Tabla 24 Materiales para la obtención del compuesto

Jeringa	100cc	
Jeringa	5cc	
Botella	750cc	
Cobalto		
Mek		
Resina eposica		
Fibra de fique		
Fibra de vidrio E		

Las probetas fueron sometidas a un proceso de curado a temperatura ambiente promedio de 32°C (temperatura promedio en la ciudad de barranquilla) durante un tiempo de 48 horas. Una vez ya curadas las probetas fueron sometidas a un proceso de pulido para retirar las asperezas y deformidades que remanan del proceso de curado. Este procedimiento fue aplicado con un esmeril y para el

proceso de corte se utilizó una segueta, dándoles las dimensiones requeridas por las normas ASTM para cada uno de los ensayos (tensión, flexión e impacto).

8.3 Estructura laminar del compuesto

Figura 22. 6 capas de fibra fique (100/0)



Figura 23. 4 capas de fibra fique , 2 capas de fibra de vidrio E (67/33)



Figura 24. 3 capas de fibra fique, 3 capas de fibra de vidrio E (50/50)



Figura 25. 2 capas de fibra fique, 4 capas de fibra de vidrio E (33/67)

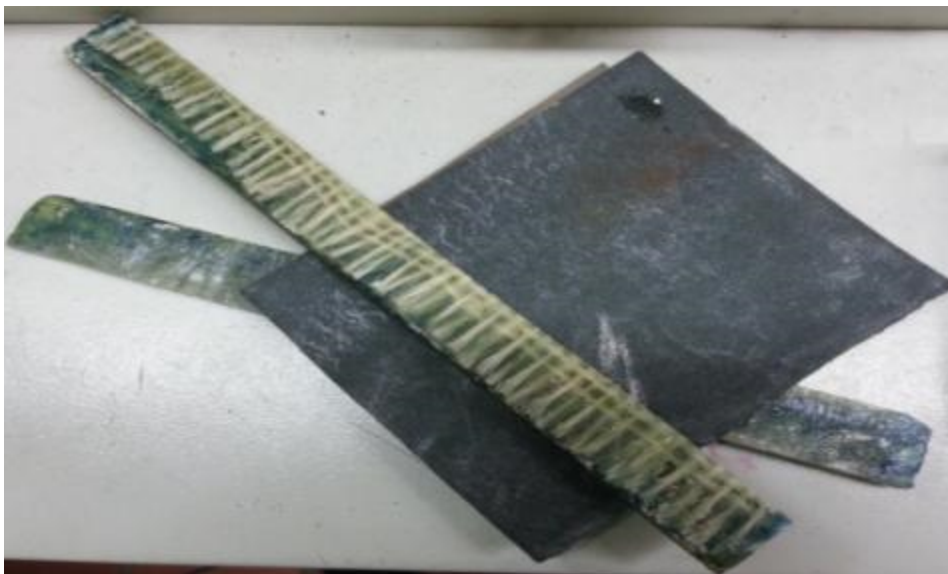


Figura 26. 6 capas de fibra de vidrio E (0/100)



Cabe resaltar que tanto el procedimiento de pulido como corte fueron en seco para evitar que la fibra en el compuesto absorbiera humedad alterando así los resultados de las pruebas. Finalmente las probetas fueron pulidas, posteriores al corte para eliminar imperfecciones producidas por el cortado (figura 27).

Figura 27. Pulido y corte de las probetas de compuesto.



8.4 Ensayo de tensión

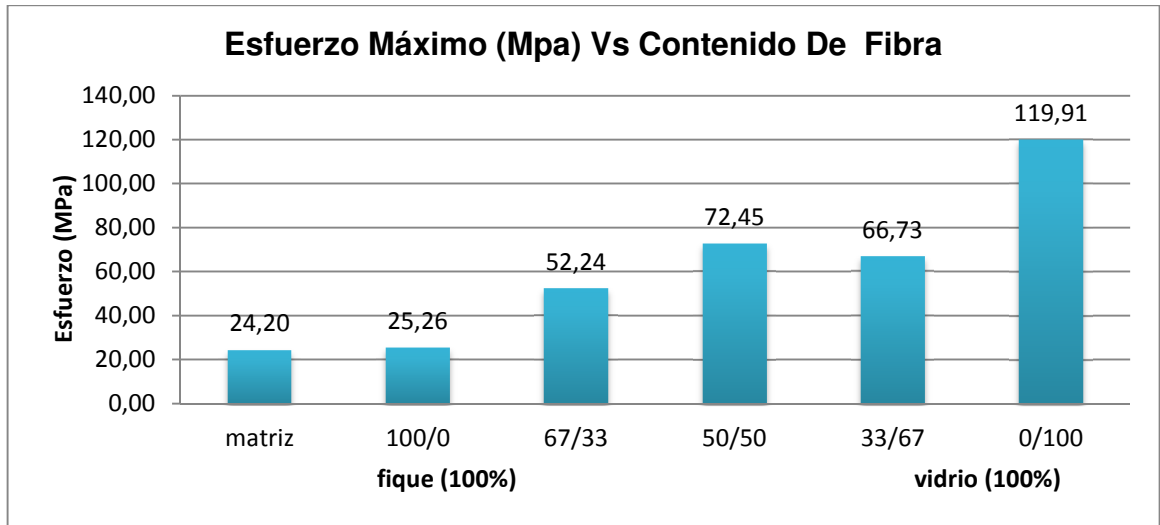
El ensayo de tensión a las probetas de material compuesto se aplicó de manera similar al descrito para las probetas de resina y fue utilizado para determinar las propiedades del compuesto con los factores descritos en el diseño de experimento.

En este caso las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Del Caribe, en la maquina universal de ensayos shimadzu agi – 600 kn, manteniendo la velocidad de ensayo de 5 mm/min.

Tabla 25. Resultados obtenidos del ensayo de tensión aplicado al compuesto.

Mezcla (Fique / Vidrio)	Esfuerzo Máximo (MPa)		Deformación (mm/mm)		Módulo De Elasticidad (MPa)	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
Matriz	24,20	2,36	0,01853	0,0008	1306,86	135,47
100/0	25,26	7,67	0,06898	0,0234	377,62	76,55
67/33	52,24	21,20	0,05722	0,0011	910,09	357,21
50/50	72,45	27,81	0,04888	0,0007	1480,34	565,01
33/67	66,73	14,19	0,05881	0,0203	1194,87	311,55
0/100	119,91	17,92	0,05536	0,0107	2180,35	168,45

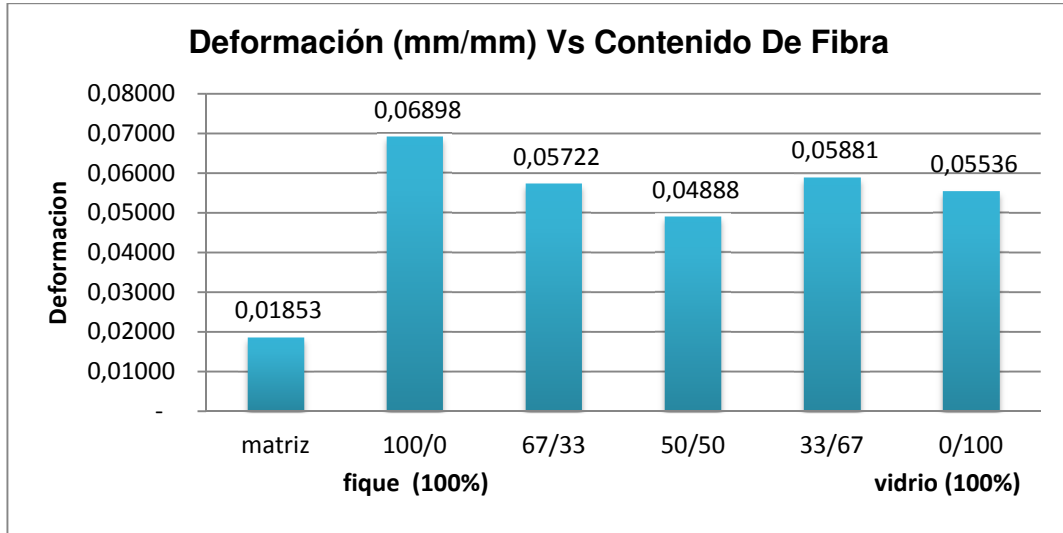
Figura 28 Esfuerzo tensión compuesto



Es interesante analizar esta grafica de resultados, ya que se puede observar en él una tendencia, que deja ver claramente que entre mayor porcentaje de fibra de fique es aplicado al compuesto, su esfuerzo máximo disminuye; Es decir el esfuerzo máximo es inversamente proporcional al contenido de fibra de fique que posea el compuesto. La adición de refuerzo de fibras de fique (100/0) en la matriz no aumenta de manera significativa su esfuerzo máximo.

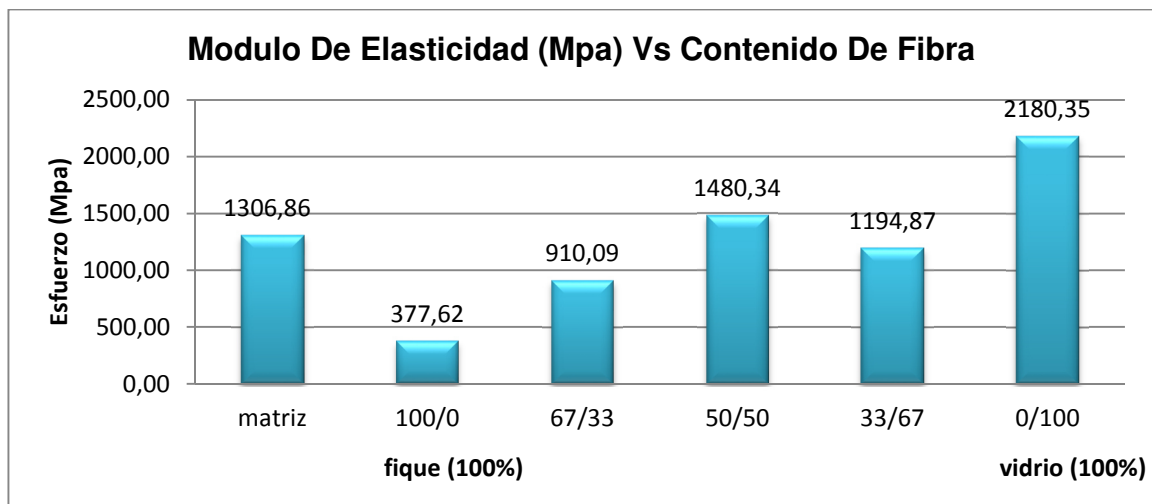
Cabe resaltar que los compuestos con contenido de (67/33; 50/50; 33/67) % de fique muestran un valor muy similar en su esfuerzo máximo. Al observar este comportamiento se puede decir que una mezcla ideal de fibras aumentaría un porcentaje el esfuerzo máximo del material

Figura 29 Deformación de tensión en el material compuesto



La deformación muestra un comportamiento inverso al del esfuerzo máximo, entre mayor porcentaje de fibra de fique contenga el compuesto, su capacidad de deformación aumenta, es decir la deformación es directamente proporcional al contenido de fibra de fique aplicadas al compuesto, si se analiza los resultados de los refuerzo de fibras de fique aumentan un 272,26% con referencia a la matriz.

Figura 30 Módulo de elasticidad en tensión del material Compuesto



En esta grafica se puede observar el modulo, que disminuye a medida que el porcentaje de fibra de fique es mayor; al igual que el esfuerzo máximo el modulo es inversamente proporcional al porcentaje de fibra de fique aplicadas al compuesto. Cabe resaltar que aplicar capas de fique tanto en los extremos como en el centro su comportamiento de deformación es muy parecido. Con referencia a la matriz se obtuvo una disminución del módulo de elasticidad de -71,10%, haciendo de este un material menos rígido.

8.5 Ensayo de Flexión compuesto

Este ensayo fue realizado en el laboratorio de resistencia de materiales de la universidad Autónoma Del Caribe, utilizando una maquina universal de ensayos, la cual arrojo datos precisos para la determinación de las propiedades.

Las características que se tuvieron en cuenta para la realización de este ensayo fueron:

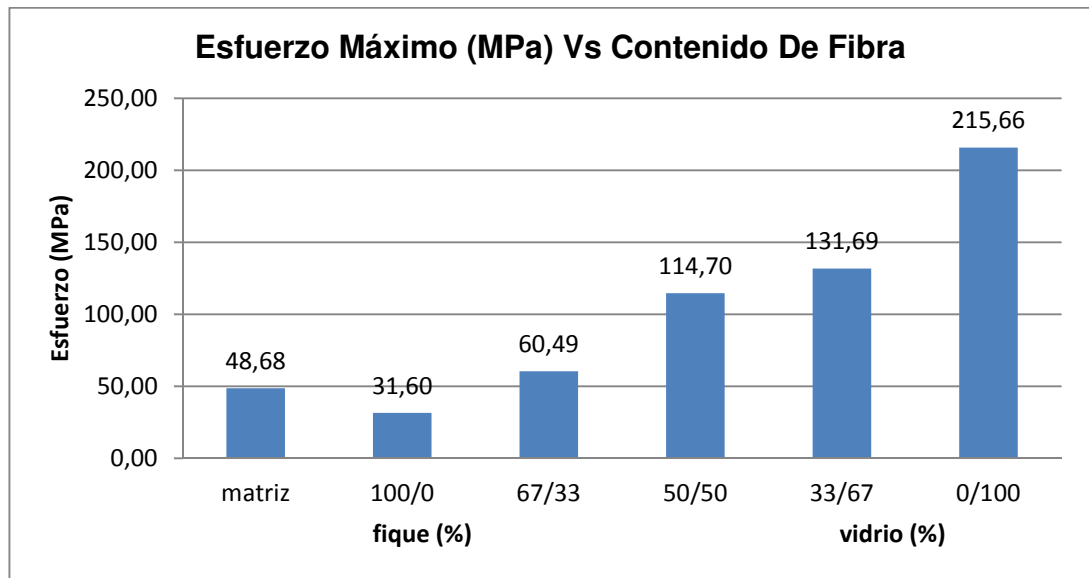
- La velocidad de ensayo para todas las muestras fue de 5 mm/min la distancia entre los apoyos utilizada fue 100mm + 3 veces el espesor de la probeta.
- Se fabricaron y ensayaron 3 probetas de cada mezcla para obtener resultados confiables.

Una vez realizados los ensayos y analizados los datos, se obtuvieron las propiedades mostradas en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados obtenidos de la prueba de flexión al material compuesto

Mezcla (Fique / Vidrio)	Esfuerzo Máximo (MPa)		Deformación (mm/mm)		Módulo De Elasticidad (GPa)	
	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar	Promedio	Desviación Estándar
Matriz	48,68	6,92	0,0066	0,0006	567,30	205,63
100/0	31,60	5,31	0,0464	0,0108	15,98	2,18
67/33	60,49	2,37	0,0452	0,0044	31,81	3,81
50/50	114,70	4,01	0,0312	0,0029	97,83	6,54
33/67	131,69	32,55	0,0094	0,0029	569,32	146,66
0/100	215,66	20,37	0,0114	0,0124	2173,37	1531,48

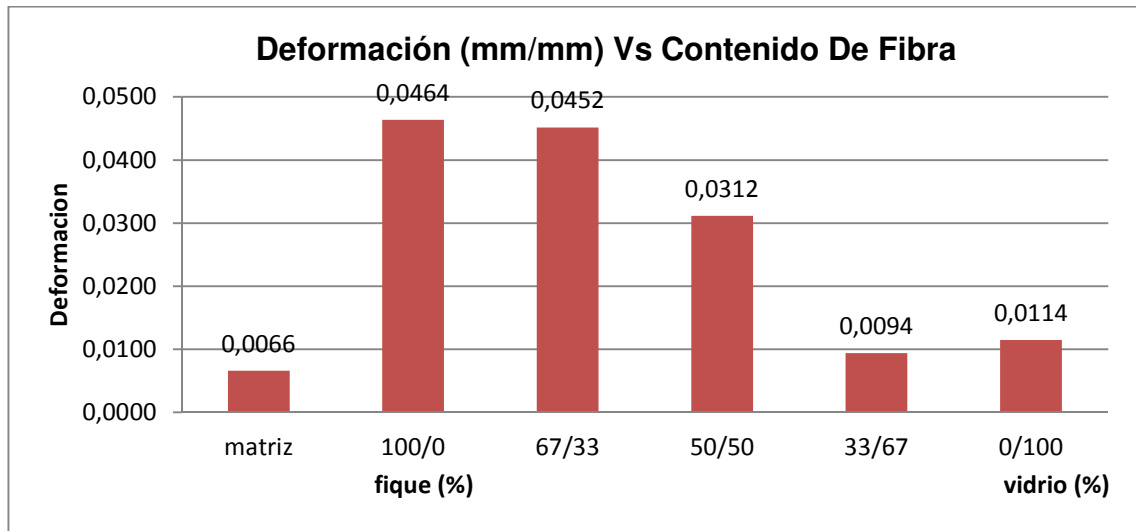
Figura 31 Esfuerzo máximo de flexión en compuesto



Los resultados del esfuerzo máximo a flexión muestran una tendencia descendente, referente al contenido de fique aplicado al compuesto.

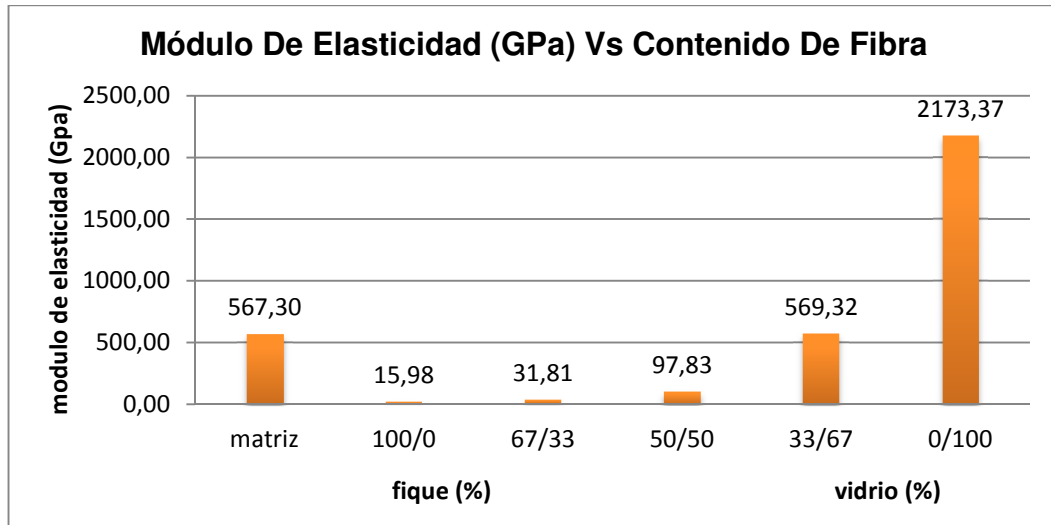
Es muy poco significativo lo que puede aportar el fique como refuerzo a la flexión, lo cual muestra una disminución de -35,09% en el esfuerzo máximo, comparado con lo que soporta la matriz.

Figura 32 Deformación de Flexión



En la gráfica se puede observar el comportamiento de deformación en la flexión del material reforzado con fibras, mostrando mayor deformación la de refuerzo con fibras de fique (100/0), que aumentan en un 603,03% comparado con la deformación de la matriz. Siendo muy similar el comportamiento de deformación tanto en los ensayos de flexión como a tensión. Dejando ver la buena propiedades de deformación que poseen las fibras de fique como refuerzo.

Figura 33 Módulo de Elasticidad de Flexión



La anterior grafica muestra una tendencia descendente con respecto al contenido de fique en el compuesto, pudiendo aportar muy poco el fique como refuerzo, dejando ver que las propiedades que puede brindar la fibra de fique al módulo de elasticidad son insignificantes comparadas con las que puede proporcionar la fibra de vidrio.

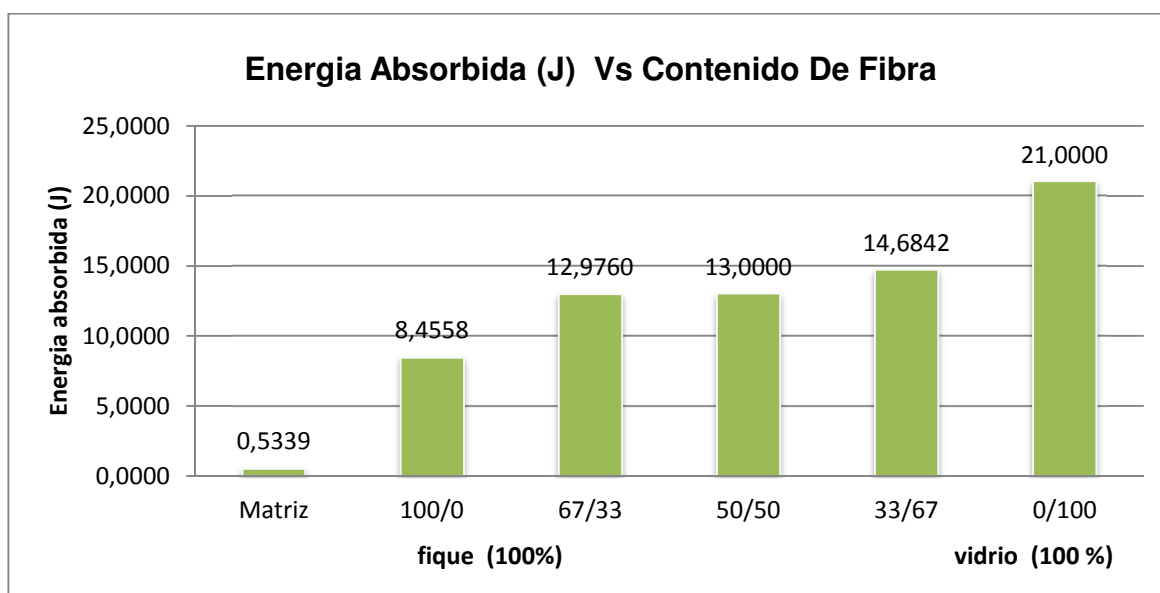
8.6 Ensayo de impacto

El ensayo de impacto fue practicado de manera similar al descrito para las probetas de resina según la norma ASTM D256 para una probeta y dos réplicas de cada mezcla. Con la ayuda de las ecuaciones (6; 8; 10) fue calculada la energía absorbida por las probetas del compuesto y luego tabulada en la tabla 27.

Tabla 27. Resultados de la energía absorbida (J) del ensayo de impacto aplicado a las diferentes mezclas de material compuesto.

Mezcla	Promedio
Matriz	0,53
100/0	8,45
67/33	12,97
50/50	13,00
33/67	14,68
0/100	21,00

Figura 34 Energía Absorbida en Impacto del material Compuesto



El fique como refuerzo aumenta en un 1483,78% la capacidad de absorber energía comparando con los resultados de impacto de la matriz (resina C3) tabla 12. El compuesto reforzado con (100/0) % fibra de fique absorbe 14 veces más impacto, que la resina sin refuerzo, dejando ver claramente las buenas propiedades de la fibras de fique como refuerzo para pruebas de impacto.

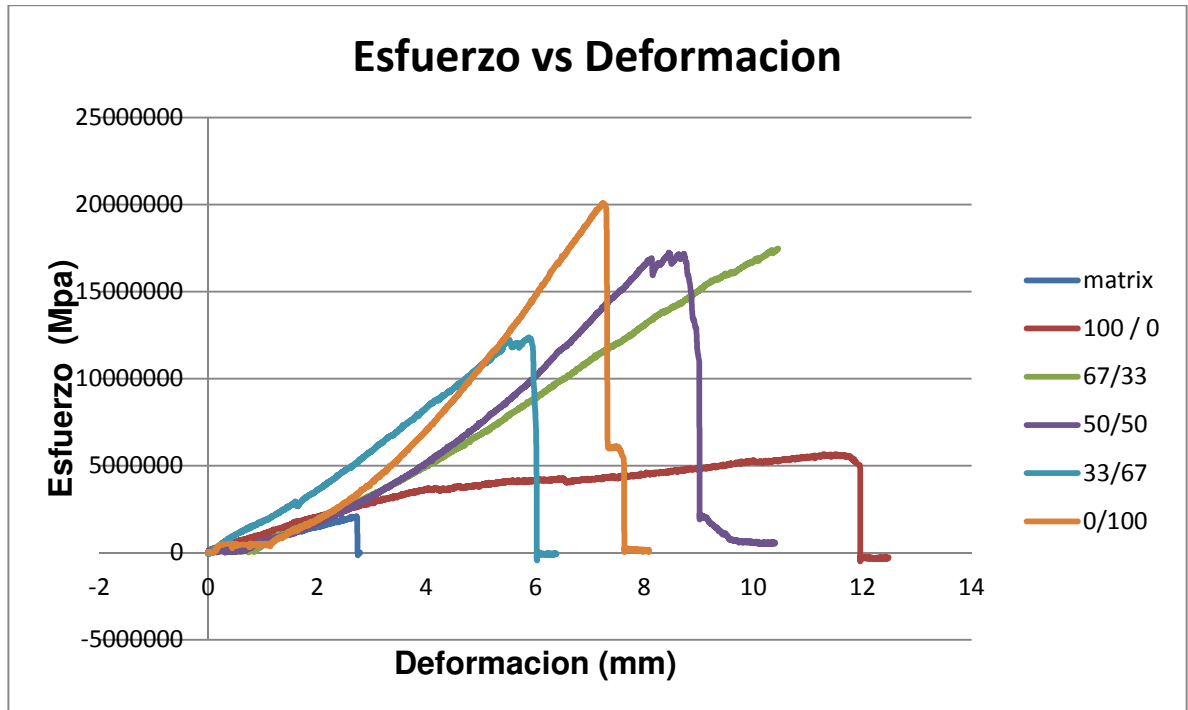
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 Ensayo de tensión

El comportamiento a tensión de cada uno de los compuestos se muestra en la figuras (31, 32, 33) en la cual, es posible observar que a medida que se incrementa el porcentaje de fique en el compuesto, la resistencia y el módulo de elasticidad a tensión, tienden a disminuir, mientras que la deformación aumenta, lo que se puede interpretar como una ductilidad del compuesto con la incorporación de un porcentaje mayor de fibra de fique. Debido a la interface fibra-matriz, que ayuda a la capacidad de deformación del compuesto, Por otra parte, una vez alcanzado el esfuerzo máximo, los materiales presentan diferentes comportamientos. Las curvas para los compuestos, muestran una fractura gradual atribuida al desprendimiento de la fibra. Ver figura 35, que mediante fricción se opone a la fractura súbita del compuesto. Este comportamiento es más notorio en las curvas correspondientes a los compuestos reforzados (50/50) y (33/67) de fibra de fique y fibra de vidrio E, mientras que en el compuesto reforzado con 100 por ciento fibra de vidrio (0/100), tiende a ser similar al de la matriz, debido a la débil oposición proporcionada por su capacidad de deformación la cual lo hace comportarse como un material frágil.

En el compuesto con (50/50) % de fibra de fique y fibra de vidrio el esfuerzo obtuvo una resistencia a la tensión de 72,5 MPa y un módulo de 1480,34 Mpa representando una mejora en la resistencia del compuesto, de un 207,64%, y en el módulo de 13,27 % respecto a la matriz en la cual se obtuvo valores de 24,20 Mpa en el esfuerzo máximo y el módulo 1306,86 Mpa respectivamente (figura 32). Sin embargo, La deformación aumento en un 163,79% frente a la presentada por el material sin refuerzo

Figura 35. Comportamiento A Tensión Del Compuesto Reforzado Con Fibras



9.2 Ensayo de flexión

En la tabla 20, los valores promedio para cada uno de los materiales evaluados a flexión, en la cual, se puede observar un porcentaje de fibra óptimo correspondiente al (50/50) de fibra de fique y fibra de vidrio en el cual se puede evidenciar una mejora de propiedades, como la resistencia al esfuerzo máximo y la deformación referente a los demás compuestos analizados. En el compuesto fabricado con un (50/50) de fibras, se observa una caída en el módulo de flexión, lo que puede atribuirse a que en compuestos reforzados con un porcentaje de fique alcanza un volumen en el cual, la matriz no impregna la totalidad de las fibras, restringiendo la transmisión de cargas de la matriz, a un cierto volumen de fibras, reflejándose en la disminución de las propiedades a flexión del material. Como se muestra en la figura 36, al reforzar el material con (50/50)% de fibras se

alcanzó una resistencia de 114,70 MPa, y un módulo de elasticidad de 97,83 Gpa, representando uno de los resultados más bajos obtenidos para el compuesto, mejorando el esfuerzo máximo en un 141,58%, y una disminución del módulo en un -79,95%.

9.3 Ensayo de impacto

La capacidad para absorber energía o resistencia al impacto de los compuestos estudiados, se muestran en la figura 37, en la cual es posible observar la dependencia directa de la resistencia al impacto del material, con el porcentaje de fibra incorporado en el compuesto. Esto puede ser explicado teniendo en cuenta, que en compuestos reforzados con fibras, las fibras se oponen a la generación de grietas, debido a que estas tienden a desprenderse antes de fracturarse, haciendo necesario, un trabajo adicional para vencer los anclajes de tipo mecánico, establecidos entre la fibra y la matriz. Lo que permite intuir que si hay una mejor calidad interfacial en el compuesto, el material ganaría resistencia al impacto.

9.3.1 Costo beneficio de la propiedad más relevante del compuesto impacto

En las siguientes tablas se presentan los datos de la densidad del material compuesto con referente a cada composición, mostrando además una gráfica del el costo beneficio de la propiedad más relevante que aportan los refuerzos, el impacto.

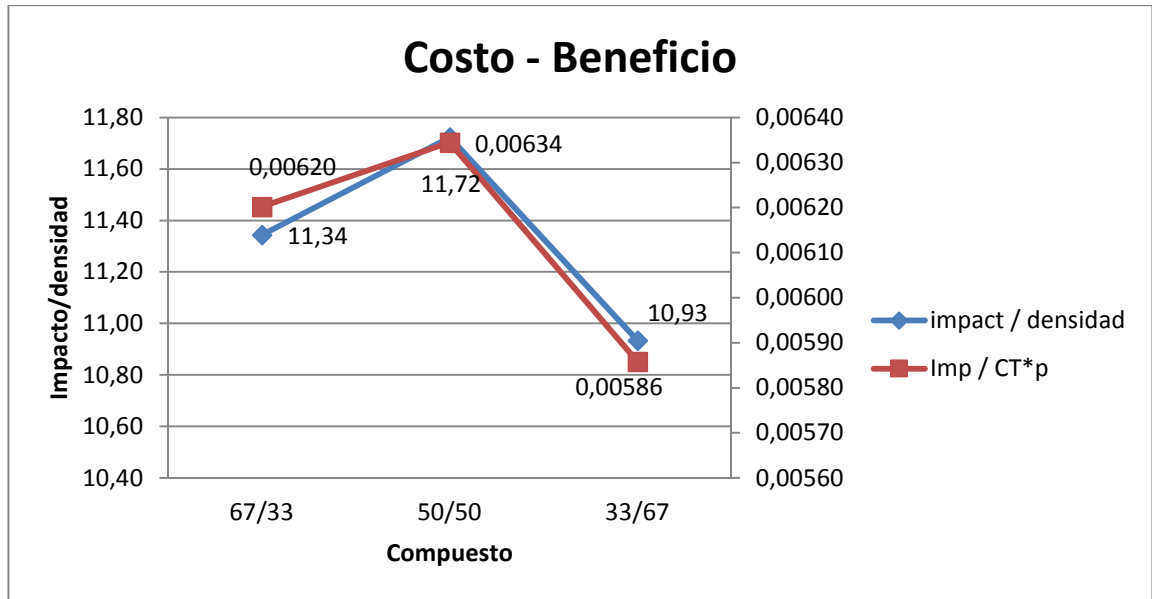
Tabla 28 Densidad del compuesto

	Volumen (cm³)	Masa (g)	Densidad /compuesto
Matriz	18,1764	18,9366667	1,0418
100/0	50,49	52,53	1,0405
67/33	48,807	55,83	1,144
50/50	46,1703	51,2	1,1089
33/67	40,953	55	1,343
0/100	34,3893	54	1,5703

Tabla 29 Relación De Costo Por Probeta

compuesto	número de capas fique	número capas vidrio	costo x capas fique	costo x capas vidrio	total costo capas	costo fijo resina	costo total	costo / cm2	Densidad (p) (gr/cm3)	costo total * p	impacto	Imp / CT*p
matriz						\$ 1.544	\$ 1.544	\$ 20,59	1,0418	\$ 1.609	0,5339	0,0003
100/0	6	0	\$ 248	\$ 0	\$ 248	\$ 1.544	\$ 1.792	\$ 23,89	1,0405	\$ 1.864	8,4558	0,0045
67/33	4	2	\$ 165	\$ 120	\$ 285	\$ 1.544	\$ 1.829	\$ 24,39	1,144	\$ 2.092	12,976	0,0062
50/50	3	3	\$ 124	\$ 180	\$ 304	\$ 1.544	\$ 1.848	\$ 24,64	1,1089	\$ 2.049	13	0,0063
33/67	2	4	\$ 83	\$ 240	\$ 323	\$ 1.544	\$ 1.867	\$ 24,89	1,343	\$ 2.507	14,6842	0,0059
0/100	0	6	\$ 0	\$ 360	\$ 360	\$ 1.544	\$ 1.904	\$ 25,39	1,5703	\$ 2.990	21	0,007

Figura 36 Costo Beneficio



Por otra parte, la fractura de las probetas presenta falla completa con fractura del 100% de la profundidad de la probeta, en los compuesto entre (100/0 hasta 50/50) respecto a las otras probetas compuestas (33/67 hasta 0/100) que presentan fallas incompletas con fractura mayor al 90 % de la profundidad de la probeta, lo que se atribuye al aporte dúctil de la matriz al compuesto. Fue posible incrementar la resistencia al impacto de la matriz, con respecto al compuesto (50/50) % de fibra de fique y fibra de vidrio E en un 2334,91%, con el refuerzo de fibras fue posible incrementar la resistencia al impacto de la matriz.

10. CONCLUSIONES

Al momento de seleccionar el tipo de resina que se iba a utilizar como matriz para preparar el material compuesto se observó que a un mayor contenido de thinner (disolvente adelgazador) las probetas mostraban un mejor comportamiento a flexión y a una mayor adición de catalizador mostraban una tendencia a absorber mayor impacto. Estas tendencias llevaron a escoger la resina c3 la cual mostraba mayor contenido de ambos (thinner y catalizador).

La adición de fibras naturales como el fique y fibra sintética como el vidrio E, contribuyen de buena manera a las propiedades del compuesto. El fique aporta buenas propiedades para ser tenido en cuenta como material de refuerzo, este tipo de materiales naturales pueden ser tenido en cuenta como una gran oportunidad de agregado.

Según los resultados obtenidos este tipo de refuerzos brinda mejoras a las propiedades de impacto del material mejorando en entre un 1000 y 1600% esta propiedad. Los refuerzos de las fibras de fique aumentaron en un 1483,78% comparado con la matriz.

Para los esfuerzos a flexión los refuerzos no aportaban resistencia significativa, sin embargo esta pérdida de resistencia se ve acompañada de una buena deformación, aumentándola en un 603,03%

11. RECOMENDACIONES

- Realizar los ensayos de tensión en una máquina universal de ensayos especial para estos tipos de materiales con unos niveles de carga menores para ser más precisos en las mediciones
- Para la obtención del material compuesto darle una buena alineación de la fibra para obtener un material compuesto compacto y con un área uniforme.
- Tener cuidado y precisión al realizar la preparación de las resinas, con medidores especiales.
- Realizar la preparación de las resinas con guantes y protecciones para los ojos y nariz.
- aplicar cera desmoldante a los moldes para facilitar el retiro del material con el mismo.
- Tener cuidado al realizar la mezcla de catalizador con cobalto ya que si estos dos componentes se mezclan pueden ser peligroso causando una reacción explosiva.
- Sacar burbujas con vibraciones para mejorar propiedades.
- Controlar la geometría y contracción de las probetas

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D1577-07 Métodos de prueba estándar para obtener la densidad lineal de fibras textiles.

ASTM D790-10 Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de los plásticos no reforzados y reforzados y materiales de aislamiento eléctrico.

ASTM D256 -10 Métodos de ensayo para la determinación del Izod Pendulum Resistencia al impacto de plásticos

ASTM D3039. <http://www.instron.com.es/wa/solutions/Testing-Carbon-Composite-Laminates-to-ASTM-D3039.aspx>

AUPEC <http://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>
CASTRO Cristina; PALENCIA Ana, Evaluación De La Influencia De Diferentes Condiciones De Tratamientos Superficiales Sobre El Comportamiento De Fibras De Fique, tesis de grado para optar al título de ingeniero químico, Universidad Pontificia Bolivariana, facultad de ingeniería química, Medellín. 2006. Consultado Abril 26 De 2013
<http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/Tesisfibrasfique.pdf>

Disponible en
<<http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html>>[consulta realizada 15/09/2013]

Disponible en internet
<<http://www.optimistportugal.org/sites/default/files/files/Manual%20para%20uso%20da%20fibra%20de%20Vidro.pdf>> [consulta realizada 08/08/2013]

FUNDACIÓN Codesarrollo; fomento del cultivo del fique como alternativa de diversificación en los municipios de Támesis, Jericó y Montebello del departamento de Antioquia, disponible en
<<http://www.codesarrollo.org.co/alianzas/alianzas/antioquia/productos/fique/preinversion/PREINVERSION%20FIQUE%20TAMESIS%20JERICO%20MONTEBELLO.pdf>>, [consulta realizada 08/08/2013]

GÓMEZ, Francisco. “hablemos de fique en Santander y Colombia” {2005} disponible en:<
http://www.ecofibrascuriti.com/pdfs/Man.para_cultivo_cartilla.pdf>, [consulta realizada el 08/08/2013]

GONZALEZ, J.D. 1992. Materiales compuestos: Tecnología de los plásticos reforzados. 3ª Edición. Madrid. Fondo editorial de ingeniería naval. Págs. 577

LUNA Gabriela; VILLADA Héctor; VELASCO Reinaldo, Almidón Termoplástico De Yuca Reforzado Con Fibra De Fique: proyecto académico, universidad Nacional de Colombia, Consultado El abril 23.
Miravete, A; cuartero, J; materiales compuesto, volumen 1, AEMAC, 2003, <http://books.google.com.ec/books> (agosto 2013).

M.D. Salvador, V. Amigó, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens, F. Martí, Caracterización De Fibras Vegetales Utilizadas Como Refuerzo En Matrices

Termoplásticos, universidad politécnica, Valencia, España. Consultado
abril 2013, de
http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf

Navarro, Carolina; Soldadura de uniones de cañería de plásticos reforzados con fibra de vidrio de uso industrial. Tesis de grado para optar el título de ingeniero constructor. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias de ingeniería. 2006. 13 P.}

PAEZ Juan; Obtención de compuesto de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión. Escuela Politécnica Nacional {junio 2007 Quito} tesis de ingeniería

SHACKELFORD, JF. 1998. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. 4ª Edición. Madrid. Prentice Hall Iberia. Págs. 675.

SMITH, W.F. 2000. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 3ª Edición. Madrid. McGraw-Hill. Págs. 715.

Villasis, Héctor; obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación. Proyecto de grado para optar el título de ingeniero mecánico, Quito, Ecuador. Escuela politécnica nacional, facultad de ingeniería mecánica. 2011. 11P.

<http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10829/PFC%20CRISTALE%20LIQUIDOS%20TERMOESTABLES%20PROPIEDADES%20MECANICAS.pdf?sequence=1>

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9736/gonzalez.pdf;jsessionid=E3CDCB21D2EEEEBB0711330111E3AA0C3.tdx2?sequence=1>

http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2008519105246_BULLETS_CADEFIQUE_2008.pdf

ANEXOS

Anexos 1. Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto de grado

Actividades	meses								
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov
Información fibras de vidrio									
Información sobre la fibra de fique									
Información sobre materiales compuestos									
densidad lineal fibras									
Distribución del diámetro en fibras									
Preparación resina epoxica, fibra de vidrio, fibra de fique									
Ensayo de propiedades mecánicas fibras (tensión)									
ensayo de fibras (impacto, flexión)									
Caracterización de material compuesto fibra de vidrio, fibra de fique y resina epoxica									
Ensayos propiedades mecánicas (flexión, tensión impacto)									
análisis de resultados									
Tabulación de resultados									
Comparación									
Conclusiones que soportan la investigación									

Anexos 2. Presupuesto Global del Proyecto

Nombre	Función en el Proyecto	Tipo de Vinculación	Dedicación Hora/Semana	Entidad	Financiado	Contrapartida		Total
						Especie	Dinero	
Ing. MscRicaro Mendoza Q	Dirección del proyecto, coordinación de actividades, revisión de informes y entregables.	Por contrato	3	Universidad Autónoma del Caribe		\$ 9.600.000		\$ 9.600.000
Oswaldo Navarro G (Estudiante de pregrado, Ing. Mecanica)	Realización de mediciones, recopilación de información experimental y bibliográfica.	Por contrato	10	Universidad Autónoma del Caribe	\$ 4.716.000			\$ 4.716.000
Andres Ramirez Z (Estudiante de pregrado, Ing. Mecanica)	Realización de experimentos, recopilación de información experimental y bibliográfica.	Por contrato	10	Universidad Autónoma del Caribe	\$ 4.716.000			\$ 4.716.000
Totales					\$ 9.432.000	\$ 9.600.000		\$ 19.032.000

2. Software y equipos							
Descripción	Justificación	Entidad	Financiado	Contrapartida		Total	
				Especie	Dinero		
maquina universal de ensayos	recopilary ensayar probetas	UAC					
pendulo charpy	ensayos impacto	uac					
Totales							

3. Insumos y Materiales							
Descripción	Justificación	cantidad	Financiado	Contrapartida		Total	
				Especie	Dinero		
resina epoxica x 3 kg	preparacion probetas	3			\$ 66.000	\$ 66.000	
fibra de vidrio x 1m2	ensayo y preparacion probetas	1			\$ 60.000		
fibra de fique x 3 m2	ensayo y preparacion probetas	2			\$ 12.000		
Papeleria	presentacion de informes y resultados				\$ 50.000		
moldes	para preparacion de compuestos y mezclas	10			\$ 200.000		
cobalto	preparacion resina	3			\$ 3.000		
transporte					\$ 200.000		
cinta de enmascarar	para marcar y enumerar probetas	1			\$ 3.000		
meko (catalizador)	catalizador resina	3			\$ 3.000		
desmoldante	para facil desmontaje de resinas	1			\$ 10.000		
Totales					\$ 607.000	\$ 66.000	

9. Equipos compra								
Descripción	Justificación	Cantidad	Valor Unitario	Entidad	Financiado	Contrapartida		Total
						Especie	Dinero	
Computador Portatil	Equipos requeridos para la tabulacion de datos	1	\$ 2.000.000	Universidad Autónoma del Caribe			\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Totales					\$ -	\$ -	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000

Imprevistos (10%)								\$ -
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	------


Totales					\$ 9.432.000	\$ 9.600.000	\$ 2.607.000	\$ 21.639.000
----------------	--	--	--	--	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------

Anexos 3 Ficha Técnica Del Material Compuesto Reforzado Con Fibra De Fique Y Fibra De Vidrio En Una Matriz De Resina Epóxica.

FICHA TÉCNICA DEL MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE Y FIBRA DE VIDRIO EN UNA MATRIZ DE RESINA EPÓXICA.		
FIBRA DE FIQUE		
PROPIEDADES		
Esfuerzo Máximo 1mm/min (Mpa)		34,38
Esfuerzo Máximo 50mm/min (Mpa)		42,03
Diámetro Promedio (mm)		0.30 Y 0.40
FIBRA DE VIDRIO		
PROPIEDADES		
Esfuerzo Máximo 1mm/min (Mpa)		127,97
Esfuerzo Máximo 50mm/min (Mpa)		278,80
Diámetro promedio		
Resina Epoxi De Rakane Momentum™ 411-350		
PROPIEDADES		C3
Porcentaje en peso de la composición		100g Resina + 1.32 cc Catalizador + 10 g Thinner
Ensayo de Tensión	Esfuerzo Máximo a la tensión (MPa)	24,201 ±
	Módulo de Elasticidad (MPa)	1306,85 ±
	Deformación (mm/mm)	0,019 ±
Ensayo de Flexión	Esfuerzo Máximo en flexión (MPa)	48,68 ±

	Módulo de Elasticidad (GPa)	567,300 ±	
	Deformación (mm/mm)	0,0066 ±	
Ensayo de Impacto	Energía Absorbida (J)	0,533±	
MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE Y FIBRA DE VIDRIO EN UNA MATRIZ DE RESINA EPÓXICA.			
PROPIEDADES		MEZCLA	C3
		PORCENTAJE DE FIBRA (fique / vidrio E)	(50/50)
Ensayo de Tensión	Esfuerzo Máximo a la tensión (MPa)	72,45 ±	
	Módulo de Elasticidad (MPa)	1480,34 ±	
	Deformación (mm/mm)	0,05881 ±	
Ensayo de Flexión	Esfuerzo Máximo en flexión (MPa)	114,7 ±	
	Módulo de Elasticidad (GPa)	97,82 ±	
	Deformación (mm/mm)	0,0312 ±	
Ensayo de Impacto	Energía Absorbida (J)	13,00 ±	

Anexos 5 Ficha técnica de fibra de vidrio tejida woven roving



INFORMACION DE PRODUCTO

OC® TEJIDOS WOVEN ROVING

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Los tejidos de vidrio (woven roving) de OC® están formados por roving directo tejidos en forma de tejidos o cables. Los roving están diseñados para controlar la impregnación y dar unas excelentes propiedades al laminado. La construcción proporciona un refuerzo en 2 direcciones (90°) y la rigidez de fiamentos continuos. Los tejidos Eknova® de OC® están diseñados para ser compatibles con múltiples sistemas de resina y pueden ser rediseñados para cumplir requerimientos específicos.

CALIDAD GLOBAL

Los tejidos woven roving de OC proporcionan productos globales de alta calidad diseñados para cumplir sus requerimientos de prestaciones y costo. Los tejidos woven roving OC proporcionan la solución más económica para aumentar el contenido de vidrio de un laminado y para aumentar la rigidez y la resistencia al impacto del laminado en el área superior, peso o otros materiales no-reforzados. El tejido proporciona soluciones efectivas en costo para sus necesidades exigentes, particularmente grandes pesos como cables de fuerza y laminados de alta duración como resina de atenuación submarina.

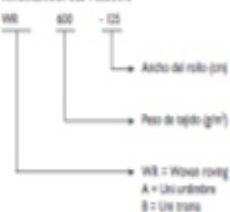
Características

- TEJIDO PULTO USO Y ECONOMICO
- CANTIDAD DE VIDRIO CONSISTENTE
- EXCELENTE ESTABILIDAD DIMENSIONAL
- FOROSIDAD HOMOGENA
- DISEÑOS PERSONALES DE CANTIDADES DE FIBRA
- ORGANIZACIÓN DESARROLLADA PARA EL USO FINAL

Beneficios del producto

- LOS COSTOS DE LA FIBRA MENOR
- EXCELENTE PROPIEDAD DEL LAMINADO Y REFLEJADO EFECTIVO EN COSTOS
- FACILIDAD DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO
- FACILIDAD DE DESARROLLO Y APLICACION
- EXCELENTE CALIDAD DE DISEÑO Y VALORES DE TENSIÓN
- RESPUESTA DE ALTO PRECIO


denominación del producto



NUESTRA DE PROPIEDADES MECANICAS

Nota: la propiedad mecánica al límite elástico es WtM (5% estirado de vitro in peso)

Tamaño (ISO 121-4)	WtM WOVEN	WtM WEAVE
Strength	384 MPa	332 MPa
Modulus	232 GPa	233 GPa
Composites (ISO 980)		
Strength	261 MPa	333 MPa
Modulus	167 GPa	174 GPa
Resins (ISO 980)		
Strength	461 MPa	338 MPa
Modulus	171 GPa	178 GPa



INFORMACION DE PRODUCTO


OC® TEJIDOS WOVEN ROVING

PRODUCTOS DISPONIBLES - NOROCCIDENTE AMERICA

familia	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	CANTIDAD DEL PRODUCTO		INFORMACION DEL PESO (g/m²)							
		wt	lb/yd	WEAVE		WOVEN					
Woven	WR10 040, 060	—	—	0,7	6,4	—	4,3	—	—	—	—
Roving	WR16 040, 075, 090, 090, 100, 100, 120	—	—	0,3	0,9	—	0,3	—	—	—	—
	WR18 040, 060, 080, 090, 100, 120, 130, 150, 160, 180, 200	—	—	2,0	1,0	—	1,0	—	—	—	—
	WR20 040, 075, 100, 160, 180, 200	—	—	0,3	0,75	—	0,9	—	—	—	—

PRODUCTOS DISPONIBLES - EUROPA / NOROCCIDENTE AFRICA / ORIENTE MEDIO

familia	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	CANTIDAD DEL PRODUCTO		INFORMACION DEL PESO (g/m²)							
		wt	lb/yd	WEAVE		WOVEN					
Woven	WR10 0200	x	x	0,8	0,8	—	0,8	—	—	—	—
Roving	WR10 0400	x	x	1,2	1,2	—	2,0	—	—	—	—
	WR10 0600	x	x	1,8	2,0	—	2,0	—	—	—	—
	WR10 0800	x	x	2,4	2,0	—	2,0	—	—	—	—
	WR10 1000	x	x	3,0	4,0	—	4,0	—	—	—	—



COMPOSITE SOLUTIONS

140, 180, 220, 260, 300, 340, 380, 420, 460, 500, 540, 580, 620, 660, 700, 740, 780, 820, 860, 900, 940, 980, 1020, 1060, 1100, 1140, 1180, 1220, 1260, 1300, 1340, 1380, 1420, 1460, 1500, 1540, 1580, 1620, 1660, 1700, 1740, 1780, 1820, 1860, 1900, 1940, 1980, 2020, 2060, 2100, 2140, 2180, 2220, 2260, 2300, 2340, 2380, 2420, 2460, 2500, 2540, 2580, 2620, 2660, 2700, 2740, 2780, 2820, 2860, 2900, 2940, 2980, 3020, 3060, 3100, 3140, 3180, 3220, 3260, 3300, 3340, 3380, 3420, 3460, 3500, 3540, 3580, 3620, 3660, 3700, 3740, 3780, 3820, 3860, 3900, 3940, 3980, 4020, 4060, 4100, 4140, 4180, 4220, 4260, 4300, 4340, 4380, 4420, 4460, 4500, 4540, 4580, 4620, 4660, 4700, 4740, 4780, 4820, 4860, 4900, 4940, 4980, 5020, 5060, 5100, 5140, 5180, 5220, 5260, 5300, 5340, 5380, 5420, 5460, 5500, 5540, 5580, 5620, 5660, 5700, 5740, 5780, 5820, 5860, 5900, 5940, 5980, 6020, 6060, 6100, 6140, 6180, 6220, 6260, 6300, 6340, 6380, 6420, 6460, 6500, 6540, 6580, 6620, 6660, 6700, 6740, 6780, 6820, 6860, 6900, 6940, 6980, 7020, 7060, 7100, 7140, 7180, 7220, 7260, 7300, 7340, 7380, 7420, 7460, 7500, 7540, 7580, 7620, 7660, 7700, 7740, 7780, 7820, 7860, 7900, 7940, 7980, 8020, 8060, 8100, 8140, 8180, 8220, 8260, 8300, 8340, 8380, 8420, 8460, 8500, 8540, 8580, 8620, 8660, 8700, 8740, 8780, 8820, 8860, 8900, 8940, 8980, 9020, 9060, 9100, 9140, 9180, 9220, 9260, 9300, 9340, 9380, 9420, 9460, 9500, 9540, 9580, 9620, 9660, 9700, 9740, 9780, 9820, 9860, 9900, 9940, 9980, 10020, 10060, 10100, 10140, 10180, 10220, 10260, 10300, 10340, 10380, 10420, 10460, 10500, 10540, 10580, 10620, 10660, 10700, 10740, 10780, 10820, 10860, 10900, 10940, 10980, 11020, 11060, 11100, 11140, 11180, 11220, 11260, 11300, 11340, 11380, 11420, 11460, 11500, 11540, 11580, 11620, 11660, 11700, 11740, 11780, 11820, 11860, 11900, 11940, 11980, 12020, 12060, 12100, 12140, 12180, 12220, 12260, 12300, 12340, 12380, 12420, 12460, 12500, 12540, 12580, 12620, 12660, 12700, 12740, 12780, 12820, 12860, 12900, 12940, 12980, 13020, 13060, 13100, 13140, 13180, 13220, 13260, 13300, 13340, 13380, 13420, 13460, 13500, 13540, 13580, 13620, 13660, 13700, 13740, 13780, 13820, 13860, 13900, 13940, 13980, 14020, 14060, 14100, 14140, 14180, 14220, 14260, 14300, 14340, 14380, 14420, 14460, 14500, 14540, 14580, 14620, 14660, 14700, 14740, 14780, 14820, 14860, 14900, 14940, 14980, 15020, 15060, 15100, 15140, 15180, 15220, 15260, 15300, 15340, 15380, 15420, 15460, 15500, 15540, 15580, 15620, 15660, 15700, 15740, 15780, 15820, 15860, 15900, 15940, 15980, 16020, 16060, 16100, 16140, 16180, 16220, 16260, 16300, 16340, 16380, 16420, 16460, 16500, 16540, 16580, 16620, 16660, 16700, 16740, 16780, 16820, 16860, 16900, 16940, 16980, 17020, 17060, 17100, 17140, 17180, 17220, 17260, 17300, 17340, 17380, 17420, 17460, 17500, 17540, 17580, 17620, 17660, 17700, 17740, 17780, 17820, 17860, 17900, 17940, 17980, 18020, 18060, 18100, 18140, 18180, 18220, 18260, 18300, 18340, 18380, 18420, 18460, 18500, 18540, 18580, 18620, 18660, 18700, 18740, 18780, 18820, 18860, 18900, 18940, 18980, 19020, 19060, 19100, 19140, 19180, 19220, 19260, 19300, 19340, 19380, 19420, 19460, 19500, 19540, 19580, 19620, 19660, 19700, 19740, 19780, 19820, 19860, 19900, 19940, 19980, 20020, 20060, 20100, 20140, 20180, 20220, 20260, 20300, 20340, 20380, 20420, 20460, 20500, 20540, 20580, 20620, 20660, 20700, 20740, 20780, 20820, 20860, 20900, 20940, 20980, 21020, 21060, 21100, 21140, 21180, 21220, 21260, 21300, 21340, 21380, 21420, 21460, 21500, 21540, 21580, 21620, 21660, 21700, 21740, 21780, 21820, 21860, 21900, 21940, 21980, 22020, 22060, 22100, 22140, 22180, 22220, 22260, 22300, 22340, 22380, 22420, 22460, 22500, 22540, 22580, 22620, 22660, 22700, 22740, 22780, 22820, 22860, 22900, 22940, 22980, 23020, 23060, 23100, 23140, 23180, 23220, 23260, 23300, 23340, 23380, 23420, 23460, 23500, 23540, 23580, 23620, 23660, 23700, 23740, 23780, 23820, 23860, 23900, 23940, 23980, 24020, 24060, 24100, 24140, 24180, 24220, 24260, 24300, 24340, 24380, 24420, 24460, 24500, 24540, 24580, 24620, 24660, 24700, 24740, 24780, 24820, 24860, 24900, 24940, 24980, 25020, 25060, 25100, 25140, 25180, 25220, 25260, 25300, 25340, 25380, 25420, 25460, 25500, 25540, 25580, 25620, 25660, 25700, 25740, 25780, 25820, 25860, 25900, 25940, 25980, 26020, 26060, 26100, 26140, 26180, 26220, 26260, 26300, 26340, 26380, 26420, 26460, 26500, 26540, 26580, 26620, 26660, 26700, 26740, 26780, 26820, 26860, 26900, 26940, 26980, 27020, 27060, 27100, 27140, 27180, 27220, 27260, 27300, 27340, 27380, 27420, 27460, 27500, 27540, 27580, 27620, 27660, 27700, 27740, 27780, 27820, 27860, 27900, 27940, 27980, 28020, 28060, 28100, 28140, 28180, 28220, 28260, 28300, 28340, 28380, 28420, 28460, 28500, 28540, 28580, 28620, 28660, 28700, 28740, 28780, 28820, 28860, 28900, 28940, 28980, 29020, 29060, 29100, 29140, 29180, 29220, 29260, 29300, 29340, 29380, 29420, 29460, 29500, 29540, 29580, 29620, 29660, 29700, 29740, 29780, 29820, 29860, 29900, 29940, 29980, 30020, 30060, 30100, 30140, 30180, 30220, 30260, 30300, 30340, 30380, 30420, 30460, 30500, 30540, 30580, 30620, 30660, 30700, 30740, 30780, 30820, 30860, 30900, 30940, 30980, 31020, 31060, 31100, 31140, 31180, 31220, 31260, 31300, 31340, 31380, 31420, 31460, 31500, 31540, 31580, 31620, 31660, 31700, 31740, 31780, 31820, 31860, 31900, 31940, 31980, 32020, 32060, 32100, 32140, 32180, 32220, 32260, 32300, 32340, 32380, 32420, 32460, 32500, 32540, 32580, 32620, 32660, 32700, 32740, 32780, 32820, 32860, 32900, 32940, 32980, 33020, 33060, 33100, 33140, 33180, 33220, 33260, 33300, 33340, 33380, 33420, 33460, 33500, 33540, 33580, 33620, 33660, 33700, 33740, 33780, 33820, 33860, 33900, 33940, 33980, 34020, 34060, 34100, 34140, 34180, 34220, 34260, 34300, 34340, 34380, 34420, 34460, 34500, 34540, 34580, 34620, 34660, 34700, 34740, 34780, 34820, 34860, 34900, 34940, 34980, 35020, 35060, 35100, 35140, 35180, 35220, 35260, 35300, 35340, 35380, 35420, 35460, 35500, 35540, 35580, 35620, 35660, 35700, 35740, 35780, 35820, 35860, 35900, 35940, 35980, 36020, 36060, 36100, 36140, 36180, 36220, 36260, 36300, 36340, 36380, 36420, 36460, 36500, 36540, 36580, 36620, 36660, 36700, 36740, 36780, 36820, 36860, 36900, 36940, 36980, 37020, 37060, 37100, 37140, 37180, 37220, 37260, 37300, 37340, 37380, 37420, 37460, 37500, 37540, 37580, 37620, 37660, 37700, 37740, 37780, 37820, 37860, 37900, 37940, 37980, 38020, 38060, 38100, 38140, 38180, 38220, 38260, 38300, 38340, 38380, 38420, 38460, 38500, 38540, 38580, 38620, 38660, 38700, 38740, 38780, 38820, 38860, 38900, 38940, 38980, 39020, 39060, 39100, 39140, 39180, 39220, 39260, 39300, 39340, 39380, 39420, 39460, 39500, 39540, 39580, 39620, 39660, 39700, 39740, 39780, 39820, 39860, 39900, 39940, 39980, 40020, 40060, 40100, 40140, 40180, 40220, 40260, 40300, 40340, 40380, 40420, 40460, 40500, 40540, 40580, 40620, 40660, 40700, 40740, 40780, 40820, 40860, 40900, 40940, 40980, 41020, 41060, 41100, 41140, 41180, 41220, 41260, 41300, 41340, 41380, 41420, 41460, 41500, 41540, 41580, 41620, 41660, 41700, 41740, 41780, 41820, 41860, 41900, 41940, 41980, 42020, 42060, 42100, 42140, 42180, 42220, 42260, 42300, 42340, 42380, 42420, 42460, 42500, 42540, 42580, 42620, 42660, 42700, 42740, 42780, 42820, 42860, 42900, 42940, 42980, 43020, 43060, 43100, 43140, 43180, 43220, 43260, 43300, 43340, 43380, 43420, 43460, 43500, 43540, 43580, 43620, 43660, 43700, 43740, 43780, 43820, 43860, 43900, 43940, 43980, 44020, 44060, 44100, 44140, 44180, 44220, 44260, 44300, 44340, 44380, 44420, 44460, 44500, 44540, 44580, 44620, 44660, 44700, 44740, 44780, 44820, 44860, 44900, 44940, 44980, 45020, 45060, 45100, 45140, 45180, 45220, 45260, 45300, 45340, 45380, 45420, 45460, 45500, 45540, 45580, 45620, 45660, 45700, 45740, 45780, 45820, 45860, 45900, 45940, 45980, 46020, 46060, 46100, 46140, 46180, 46220, 46260, 46300, 46340, 46380, 46420, 46460, 46500, 46540, 46580, 46620, 46660, 46700, 46740, 46780, 46820, 46860, 46900, 46940, 46980, 47020, 47060, 47100, 47140, 47180, 47220, 47260, 47300, 47340, 47380, 47420, 47460, 47500, 47540, 47580, 47620, 47660, 47700, 47740, 47780, 47820, 47860, 47900, 47940, 47980, 48020, 48060, 48100, 48140, 48180, 48220, 48260, 48300, 48340, 48380, 48420, 48460, 48500, 48540, 48580, 48620, 48660, 48700, 48740, 48780, 48820, 48860, 48900, 48940, 48980, 49020, 49060, 49100, 49140, 49180, 49220, 49260, 49300, 49340, 49380, 49420, 49460, 49500, 49540, 49580, 49620, 49660, 49700, 49740, 49780, 49820, 49860, 49900, 49940, 49980, 50020, 50060, 50100, 50140, 50180, 50220, 50260, 50300, 50340, 50380, 50420, 50460, 50500, 50540, 50580, 50620, 50660, 50700, 50740, 50780, 50820, 50860, 50900, 50940, 50980, 51020, 51060, 51100, 51140, 51180, 51220, 51260, 51300, 51340, 51380, 51420, 51460, 51500, 51540, 51580, 51620, 51660, 51700, 51740, 51780, 51820, 51860, 51900, 51940, 51980, 52020, 52060, 52100, 52140, 52180, 52220, 52260, 52300, 52340, 52380, 52420, 52460, 52500, 52540, 52580, 52620, 52660, 52700, 52740, 52780, 52820, 52860, 52900, 52940, 52980, 53020, 53060, 53100, 53140, 53180, 53220, 53260, 53300, 53340, 53380, 53420, 53460, 53500, 53540, 53580, 53620, 53660, 53700, 53740, 53780, 53820, 53860, 53900, 53940, 53980, 54020, 54060, 54100, 54140, 54180, 54220, 54260, 54300, 54340, 54380, 54420, 54460, 54500, 54540, 54580, 54620, 54660, 54700, 54740, 54780, 54820, 54860, 54900, 54940, 54980, 55020, 55060, 55100, 55140, 55180, 55220, 55260, 55300, 55340, 55380, 55420, 55460, 55500, 55540, 55580, 55620, 55660, 55700, 55740, 55780, 55820, 55860, 55900, 55940, 55980, 56020, 56060, 56100, 56140, 56180, 56220, 56260, 56300, 56340, 56380, 56420, 56460, 56500, 56540, 56580, 56620, 56660, 56700, 56740, 56780, 56820, 56

Resultado de ensayo de tensión a fibras

Anexos 6 Ensayo de tensión a fibra de fique a velocidad de 50 mm/min

Velocidad 1 mm/min										
MUESTRA	Resistencia a la tensión(Mpa)	Deformacion (mm)	Longitud entre mordasas (mm)	modulo de elasticidad (Mpa)	Deformacion (%)	ΔL Elongación Máxima (mm)	Fuerza Máxima (mN)	Fuerza Máxima (N)	Diametro (mm)	area (m2)
1	1858,64	0,0056	150,00	330327,61	0,56	0,8440	168750,00	168,75	0,34	0,09
2	2797,65	0,0062	150,00	450264,83	0,62	0,9320	225000,00	225,00	0,32	0,08
3	1842,07	0,0073	150,00	253031,74	0,73	1,0920	187500,00	187,50	0,36	0,10
4	2411,44	0,0064	150,00	378363,79	0,64	0,9560	206250,00	206,25	0,33	0,09
5	2192,22	0,0088	150,00	247988,33	0,88	1,3260	187500,00	187,50	0,33	0,09
PROMEDIO	2220,40	0,01		331995,26	0,69	1,03				
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	401,40	0,00		85780,12	0,13	0,19				

Velocidad 1 mm/min										
MUESTRA	Resistencia a la tensión(Mpa)	Deformacion (mm)	Longitud entre mordasas (mm)	modulo de elasticidad (Mpa)	Deformacion (%)	ΔL Elongación Máxima (mm)	Fuerza Máxima (mN)	Fuerza Máxima (N)	Diametro (mm)	area (m2)
1	1858,64	0,0056	150,00	330327,61	0,56	0,8440	168750,00	168,75	0,34	0,09
2	2797,65	0,0062	150,00	450264,83	0,62	0,9320	225000,00	225,00	0,32	0,08
3	1842,07	0,0073	150,00	253031,74	0,73	1,0920	187500,00	187,50	0,36	0,10
4	2411,44	0,0064	150,00	378363,79	0,64	0,9560	206250,00	206,25	0,33	0,09
5	2192,22	0,0088	150,00	247988,33	0,88	1,3260	187500,00	187,50	0,33	0,09
PROMEDIO	2220,40	0,01		331995,26	0,69	1,03				
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	401,40	0,00		85780,12	0,13	0,19				

Anexos 7. Ensayo de tensión a fibra de vidrio E a velocidad de 50mm/min

Velocidad 50 mm/min										
MUESTRA	Resistencia a la tensión(Mpa)	Deformacion (mm)	Longitud entre mordasas (mm)	modulo de elasticidad (Mpa)	Deformacion (%)	ΔL Elongación Máxima (mm)	Fuerza Máxima (mN)	Fuerza Máxima (N)	Diametro (mm)	area (m2)
1	4749,87	0,0564	150,00	84277,26	5,64	8,45	431250,00	431,25	0,34	0,0908
2	5595,29	0,0618	150,00	90499,64	6,18	9,27	450000,00	450,00	0,32	0,0804
3	3315,73	0,0403	150,00	82289,74	4,03	6,04	337500,00	337,50	0,36	0,1018
4	6357,43	0,0439	150,00	144970,25	4,39	6,58	543750,00	543,75	0,33	0,0855
5	5699,76	0,0455	150,00	125398,15	4,55	6,82	487500,00	487,50	0,33	0,0855
PROMEDIO	5143,62	0,05		105487,01	4,96	7,43				
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1170,78	0,01		28142,35	0,91	1,37				

Resultado de Ensayo de tensión a tipos de mezcla

Anexos 8 Ensayo de tensión a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min

MEZACIA A1									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm/mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima(mN)	CONVERSIÓN(N)	AREA (mm ²)
1	13,537	0,010	1.328,911	697432	1,528	150,000	1256250	1.256,25	92,800
2	13,024	0,007	1.782,515	777313	1,096	150,000	993750	993,75	76,300
3	9,975	0,005	1.903,595	629469	0,786	150,000	693750	693,75	69,550

PROMEDIO	12,179	0,008	1.671,674	701.404,667
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,926	0,002	302,952	74.002,018

MEZACIA A2									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm/mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima(mN)	CONVERSIÓN(N)	AREA (mm ²)
1	26,259	0,017	1.516,090	765944	2,598	150,000	2268750	2.268,75	86,400
2	11,898	0,007	1.628,423	655449	1,096	150,000	993750	993,75	83,520
3	16,009	0,010	1.674,558	890453	1,434	150,000	1368750	1.368,75	85,500

PROMEDIO	18,055	0,011	1.606,357	770.615,333
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7,396	0,005	81,506	117.571,621

MEZACIA A3									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm/mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima(mN)	CONVERSIÓN(N)	AREA (mm ²)
1	26,744	0,018	1.479,197	773281	2,712	150,000	2568750	2.568,75	96,050
2	25,537	0,016	1.639,786	905446	2,336	150,000	2437500	2.437,50	95,450
3	20,124	0,014	1.418,504	781997	2,128	150,000	1950000	1.950,00	96,900

PROMEDIO	24,135	0,016	1.512,496	820.241,333
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	3,526	0,002	114,337	73.917,985

Anexos 9 Ensayo de tensión a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min

MEZACLA B1									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	13,899	0,010	1.352,061	559380	1,542	150,000	1125000	1.125,00	80,940
2	13,348	0,011	1.180,508	542365	1,696	150,000	1106250	1.106,25	82,880
3	14,405	0,010	1.388,619	559489	1,556	150,000	1125000	1.125,00	78,100

PROMEDIO	13,884	0,011	1.307,063	553.744,667					
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,529	0,001	111,113	9.855,231					

MEZACLA B2									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	21,587	0,016	1.360,536	28672	2,380	150,000	1968750	1.968,75	91,200
2	24,218	0,017	1.408,045	35449	2,58	150,000	2006250	2.006,25	82,840
3	21,821	0,014	1.610,789	53656	2,032	150,000	1800000	1.800,00	82,490

PROMEDIO	22,542	0,016	1.459,790	39.259,000					
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,456	0,002	132,909	12.920,416					

MEZACLA B3									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	20,949	0,015	1.361,475	775317	2,308	150,000	1893750	1.893,75	90,400
2	16,892	0,010	1.730,727	726490	1,464	150,000	1312500	1.312,50	77,700
3	21,382	0,014	1.497,309	775317	2,142	150,000	1950000	1.950,00	91,200

PROMEDIO	19,741	0,013	1.529,837	759.041,333					
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,477	0,003	186,762	28.190,282					

Anexos 10 Ensayo de tensión a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min

MEZACLA C1									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	19,593	0,020	961,082	421279	3,058	150,000	1481250	1.481,25	75,600
2	17,062	0,014	1.221,024	599785	2,096	150,000	1425000	1.425,00	83,520
3	11,322	0,010	1.115,880	521856	1,522	150,000	937500	937,50	82,800

PROMEDIO	15,992	0,015	1.099,329	514.306,667
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	4,238	0,005	130,759	89.492,136

MEZACLA C2									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	14,288	0,011	1.324,591	751938	1,618	150,000	1387500	1.387,50	97,110
2	21,044	0,014	1.455,980	748679	2,168	150,000	1875000	1.875,00	89,100
3	9,790	0,013	738,690	731825	1,988	150,000	937500	937,50	95,760

PROMEDIO	15,041	0,013	1.173,087	744.147,333
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5,664	0,002	381,892	10.795,147

MEZACLA C3									
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	MÓDULO	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	26,362	0,018	1.458,096	808734	2,712	150,000	2568750	2.568,75	97,440
2	24,557	0,019	1.265,833	706048	2,91	150,000	2287500	2.287,50	93,150
3	21,683	0,018	1.196,641	676318	2,718	150,000	2062500	2.062,50	95,120

PROMEDIO	24,201	0,019	1.306,857	730.366,667
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,360	0,001	135,469	69.476,956

Resultado de Ensayo a flexión a tipos de mezcla

Anexos 11 Ensayo de flexión a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min

MEZCLA A1										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA (Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	356125,23	39,67	150000,00	118,00	11,00	150,00	7,80	0,0088	2,61	4525,78
2,00	708672,18	53,87	168750,00	118,00	11,00	168,75	7,10	0,0079	2,59	6792,46
3,00	354082,03	54,06	206250,00	118,00	11,10	206,25	7,80	0,0119	3,54	4540,72
PROMEDIO	472959,81	49,20						0,0095	2,91	5286,32
DESVIACIÓN ESTANDAR	204135,45	8,25						0,0021	0,54	1304,38
MEZCLA A2										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA (Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	248688,33	27,99	112500,00	118,00	11,40	112,50	7,90	0,0082	2,42	3402,95
2,00	571393,07	43,01	187500,00	118,00	11,20	187,50	8,30	0,0048	2,70	8908,43
3,00	1184675,97	48,78	168750,00	118,00	10,60	168,75	7,60	0,0036	2,22	13420,24
PROMEDIO	668252,45	39,93	156250,00					0,0056	2,45	8577,21
DESVIACIÓN ESTANDAR	475451,91	10,74	39031,24					0,0024	0,24	5016,85
MEZCLA A3										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA (Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	328508,24	47,14	187500,00	118,00	11,00	187,50	8,00	0,01047	3,04	4504,25
2,00	345991,48	44,32	206250,00	118,00	11,40	206,25	8,50	0,00752	4,10	5897,13
3,00	570028,66	53,64	225000,00	118,00	11,60	225,00	8,00	0,00651	3,78	8242,11
PROMEDIO	414842,79	48,37						0,00816	3,64	6214,50
DESVIACIÓN ESTANDAR	134678,90	4,78						0,00206	0,55	1889,03

Anexos 12 Ensayo de flexión a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min

MEZCLA B1										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	448293,48	45,43	185232,00	118,00	11,00	185,23	8,10	0,0071	2,04	6380,05
2,00	1017253,52	53,13	211322,00	118,00	11,00	211,32	8,00	0,0038	2,21	13947,80
3,00	644020,39	41,50	175000,00	118,00	11,10	175,00	8,20	0,0043	2,45	9595,73

PROMEDIO	703189,13	46,69						0,0051	2,23	9974,53
DESVIACIÓN ESTANDAR	289058,10	5,92						0,0018	0,20	3798,07

MEZCLA B2										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	365324,86	50,04	206250,00	118,00	11,40	206,25	8,00	0,0096	2,80	5191,20
2,00	584700,03	44,18	198035,00	118,00	11,80	198,04	8,20	0,0048	2,70	9261,27
3,00	727868,32	50,58	206250,00	118,00	11,00	206,25	8,10	0,0049	2,80	10358,92

PROMEDIO	559297,74	48,27						0,0064		8270,47
DESVIACIÓN ESTANDAR	182601,75	3,55						0,0028		2722,61

MEZCLA B3										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	391924,55	50,00	206250,00	118,00	12,00	206,25	7,80	0,0092	2,74	5433,52
2,00	1788356,48	45,40	150000,00	118,00	11,60	150,00	7,10	0,0025	1,64	18075,95
3,00	982819,94	40,07	131250,00	118,00	11,50	131,25	7,10	0,0041	2,66	9848,29

PROMEDIO	1054366,99	45,16						0,0053		11119,25
DESVIACIÓN ESTANDAR	700959,89	4,97						0,0035		6416,33

Anexos 13 Ensayo de flexión a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min

PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	868296,02	65,65	206250,00	121,00	11,00	206,25	7,20	0,0082	2,76	8049,37
2,00	946136,64	59,68	187500,00	121,00	11,00	187,50	7,20	0,0068	2,31	8770,98
3,00	798295,19	51,76	206250,00	121,00	11,30	206,25	8,00	0,0050	1,51	10428,35

PROMEDIO	870909,28	59,03
DESVIACIÓN ESTANDAR	73955,36	6,97

0,0066		9082,90
0,0016		1219,78

MEZCLA C2

PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	364056,98	48,41	206250,00	121,00	11,50	206,25	8,20	0,0093	2,76	5212,10
2,00	391072,16	40,95	168750,00	121,00	11,40	168,75	8,10	0,0077	2,31	5349,59
3,00	420419,92	27,74	112500,00	121,00	11,50	112,50	8,00	0,0050	1,51	5589,27

PROMEDIO	391849,69	39,03
DESVIACIÓN ESTANDAR	28189,51	10,47

0,0073		5383,65
0,0022		190,88

MEZCLA C3

PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA(Mpa)	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion maxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	429049,48	44,50	187500,00	121,00	11,10	187,50	8,30	0,0072	2,13	6148,49
2,00	843337,04	56,88	206250,00	121,00	11,70	206,25	7,50	0,0061	3,94	9398,85
3,00	429515,35	44,67	206250,00	121,00	11,60	206,25	8,50	0,0065	3,71	6908,72

PROMEDIO	567300,62	48,68
DESVIACIÓN ESTANDAR	239054,66	7,10

0,0066		
0,0006		

Resultado de Ensayo de impacto a tipos de mezcla

Anexos 14 Ensayo de impacto a la mezcla A1, A2, A3 a velocidad de 5 mm/min

mezcla A1											
probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendulo (m)	Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo (°)	
1,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00	
2,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00	
3,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00	
promedio	0,4714										
Desviacion estandar	0,0621										
mezcla A2											
R											
probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)		Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo (°)	
1,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00	
2,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00	
3,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00	
Promedio	0,4511										
Desviacion estandar	0,0717										
mezcla A3											
probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendulo (m)	Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo (°)	
1,00	0,5992	15,29	0,76	0,39	161,00	14,70	0,73	2,64	0,02	151,00	
2,00	0,6665	15,29	0,76	0,39	161,00	14,63	0,73	2,62	0,02	150,00	
3,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00	
Promedio	0,5585										
Desviacion estandar	0,1332										

Anexos 15 Ensayo de impacto a la mezcla B1, B2, B3 a velocidad de 5 mm/min

mezcla B1											
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00
	2,00	0,5992	15,29	0,76	0,39	161,00	14,70	0,73	2,64	0,02	151,00
	3,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	promedio	0,4932									
	Desviacion estandar	0,0967									
mezcla B2											
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	2,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	3,00	0,4097	15,29	0,76	0,39	161,00	14,88	0,74	2,69	0,02	154,00
	Promedio	0,4925									
	Desviacion estandar	0,0717									
mezcla B3											
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	2,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	3,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	Promedio	0,5128									
	Desviacion estandar	0,0365									

Anexos 16 Ensayo de impacto a la mezcla C1, C2, C3 a velocidad de 5 mm/min

mezcla C1											
		E1	H1	R							
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	2,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	3,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	promedio	0,4707									
	Desviacion estandar	0,0000									
mezcla C2											
		E1	H1	R							
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	2,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	3,00	0,4707	15,29	0,76	0,39	161,00	14,82	0,74	2,67	0,02	153,00
	Promedio	0,5128									
	Desviacion estandar	0,0365									
mezcla C3											
		E1	H1	R							
	probeta	Energia absorbida (J)	Energia disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendolo (m)	Angulo inicial (β)	Energia rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^{\circ}$)
	1,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	2,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	3,00	0,5339	15,29	0,76	0,39	161,00	14,76	0,73	2,65	0,02	152,00
	Promedio	0,5339									
	Desviacion estandar	0,0000									

Resultado de Ensayo del compuesto

Anexos 17 Ensayo de tensión del compuesto

6 capas de fibra fique (100/0)								
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	20,625	0,077	266,611	11,604	150,000	5568750	5.568,75	270,000
2	29,416	0,087	337,802	13,062	150,000	8118750	8.118,75	276,000
3	18,606	0,042	437,864	6,374	150,000	4856250	4.856,25	261,000

PROMEDIO	22,882	0,069	347,426
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5,747	0,023	86,032

4 capas de fibra fique , 2 capas de fibra de vidrio E (67/33)								
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	40,392	0,058	700,442	8,650	150,000	1,03E+07	10.300,00	255,000
2	76,707	0,058	1.322,532	8,700	150,000	1,91E+07	19.100,00	249,000
3	66,667	0,056	1.190,476	8,4	150,000	1,70E+07	17.000,00	255,000

PROMEDIO	61,255	0,057	1.071,150
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	18,752	0,001	327,762

3 capas de fibra fique , 3 capas de fibra de vidrio E (50/50)								
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	45,267	0,048	938,640	7,234	150,000	1,10E+07	11.000,00	243,000
2	51,899	0,049	1.063,295	7,321	150,000	1,23E+07	12.300,00	237,000
3	71,250	0,050	1.436,299	7,441	150,000	1,71E+07	17.100,00	240,000

PROMEDIO	56,139	0,049	1.146,078
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	13,500	0,001	258,951

2 capas de fibra fique , 4 capas de fibra de vidrio E (33/67)								
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	66,667	0,080	836,820	11,950	150,000	1,43E+07	14.300,00	214,500
2	52,564	0,039	1.343,663	5,868	150,000	1,23E+07	12.300,00	234,000
3	80,952	0,058	1.404,123	8,648	150,000	1,70E+07	17.000,00	210,000

PROMEDIO	66,728	0,059	1.194,869
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	14,194	0,020	311,549

6 capas de fibra de vidrio E(0/100)								
PROBETAS	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	DEFORMACION (mm / mm)	MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)	DL (mm)	LO (mm)	P máxima (mN)	CONVERSIÓN (N)	AREA (mm ²)
1	105,000	0,050	2.103,365	7,488	150,000	1,89E+07	18.900,00	180,000
2	114,943	0,048	2.373,538	7,264	150,000	2,00E+07	20.000,00	174,000
3	139,785	0,068	2.064,160	10,158	150,000	2,60E+07	26.000,00	186,000

PROMEDIO	119,909	0,055	2.180,355
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	17,916	0,011	168,446

Anexos 18 Ensayo de flexión al compuesto

6 capas de fibra fique (100/0)										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion máxima en el centro de la viga) (mm)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	4518,41	10,97	468750,00	126,40	30,00	468,75	9,00	0,0561	16,59	195,73
2,00	5418,20	7,63	318750,00	126,40	30,00	318,75	8,80	0,0348	10,52	219,40
3,00	4417,94	9,88	431250,00	126,40	30,00	431,25	9,20	0,0483	13,98	204,42

PROMEDIO	4784,85	9,49
DESVIACIÓN ESTANDAR	550,79	1,70

0,0464	13,70	206,52
0,0108	3,04	11,98

4 capas de fibra fique , 2 capas de fibra de vidrio E (67/33)										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion máxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	6994,51	18,49	787500,00	124,00	30,00	787,50	8,80	0,0412	12,00	300,00
2,00	8229,41	17,61	750000,00	124,00	30,00	750,00	8,80	0,0499	14,53	352,97
3,00	9196,60	16,93	712500,00	124,00	30,00	712,50	8,70	0,0444	13,08	381,15

PROMEDIO	8140,17	17,68	750000,00
DESVIACIÓN ESTANDAR	1103,76	0,79	37500,00

0,0452	13,20	344,71
0,0044	1,27	41,20

3 capas de fibra fique , 3 capas de fibra de vidrio E (50/50)										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexion máxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1,00	28063,30	33,81	1425000,00	121,00	30,00	1425,00	8,50	0,0290	8,31	1167,40
2,00	27990,78	30,34	1218750,00	121,00	30,00	1218,75	8,10	0,0301	9,07	1007,62
3,00	24506,11	30,34	1218750,00	121,00	30,00	1218,75	8,10	0,0344	10,36	882,17

PROMEDIO	26853,40	31,50
DESVIACIÓN ESTANDAR	2033,13	2,00

0,0312	1019,06
0,0029	142,96

2 capas de fibra de fique,4 capas de fibra de vidrio (33/67)										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexión máxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1	127.311,258	26,722	935.500,00	123,4	30	935,5	7,2	0,009	3,10	3.034,590
2	115.958,997	44,001	1.668.750,00	123,4	30	1668,75	7,8	0,013	4,07	3.514,180
3	173.120,240	27,099	935.500,00	123,4	30	935,5	7,1	0,007	2,448	3.956,933

PROMEDIO	138.797	32,6073138								
DESVIACIÓN ESTANDAR	30.262	9,87								

	0,009391761	3,208666667	3501,90105
	0,002881272	0,818037489	461,2937692

6 capas de fibra de vidrio (0/100)										
PROBETA	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ESFUERZO FLEXION A LA ROTURA	P (Carga Máxima mN)	Distancia entre puntos (mm)	b (Ancho Probeta) mm	Conversión (N)	d (espesor Probeta) mm	DEFORMACION EN FLEXIÓN	D (Deflexión máxima en el centro de la viga)	VALOR DE LA PENDIENTE
1	714.541	42,622	1.293.750,00	118,6	30	1293,75	6	0,004	1,50	11.102,178
2	498.085	40,649	1.275.000,00	118,6	30	1275	6,2	0,005	1,80	8.538,977
3	111.045	49,018	1.537.500,00	118,6	30	1537,5	6,2	0,026	9,74	1.903,719

PROMEDIO	441.223,90	44,09640457								
DESVIACIÓN ESTANDAR	305.739,57	4,37								

	0,011449371	7181,624533
	0,012392087	4747,074596

Anexos 19 Ensayo de impacto al compuesto

6 capas de fibra fique (100/0)											
	probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendulo (m)	Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^\circ$)
	1,00	8,61	15,29	0,76	0,39	161,00	6,68	0,33	1,42	0,02	81,50
	2,00	8,34	15,29	0,76	0,39	161,00	6,95	0,35	1,46	0,02	83,50
	3,00	8,41	15,29	0,76	0,39	161,00	6,88	0,34	1,45	0,02	83,00
	promedio	8,46									
	Desviación estandar	0,14									

4 capas de fibra fique , 2 capas de fibra de vidrio E (67/33)											
	probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendulo (m)	Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^\circ$)
	1,00	14,24	15,29	0,76	0,39	161,00	1,05	0,05	0,52	0,02	30,00
	2,00	13,42	15,29	0,76	0,39	161,00	1,88	0,09	0,71	0,02	40,50
	3,00	11,27	15,29	0,76	0,39	161,00	4,03	0,20	1,06	0,02	60,90
	Promedio	12,98									
	Desviación estandar	1,54									

3 capas de fibra fique , 3 capas de fibra de vidrio E (50/50)		
	probeta	Energía absorbida (J)
	1,00	15,00
	2,00	15,00
	3,00	9,00
	Promedio	13,00
	Desviación estandar	3,46

2 capas de fibra fique , 4 capas de fibra de vidrio E (33/67)											
	probeta	Energía absorbida (J)	Energía disponible (J)	Altura inicial (m)	Braso Del Dendulo (m)	Angulo inicial (β)	Energía rescidual (J)	Altura final (m)	Angulo final (α)	Radian	Angulo ($^\circ$)
	1	14,56	15,29	0,76	0,39	161,00	0,73	0,04	0,44	0,0174533	25
	2	14,67	15,29	0,76	0,39	161,00	0,62	0,03	0,40	0,0174533	23
	3	14,82	15,29	0,76	0,39	161,00	0,47	0,02	0,35	0,0174533	20
	promedio	14,68419567									
	Desviación estanda	0,131338315									

6 capas de fibra de vidrio E(0/100)		
	probeta	Energía absorbida (J)
	1	18,00
	2	24,00
	3	21,00
	Promedio	21
	Desviación estandar	3