

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS
ENTRE UN LAMINADO BIOCOMPUESTO DE FIBRA DE FIQUE
EN DISTRIBUCIÓN MAT Y UN LAMINADO COMPUESTO
CON FIBRA DE VIDRIO**

ROBINSON YEFRY GARCIA SANTOS

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, diciembre 1 de 2022

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS
ENTRE UN LAMINADO BIOCOMPUESTO DE FIBRA DE FIQUE
EN DISTRIBUCIÓN MAT Y UN LAMINADO COMPUESTO
CON FIBRA DE VIDRIO**

ROBINSON YEFRY GARCIA SANTOS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: DIEGO ALBERTO PEREZ RIVAS
INGENIERO MECÁNICO
diego.perez3@unipamplona.edu.co

Codirector: BLADIMIR RAMÓN VALENCIA
Dr. MATERIALES DE INGENIERÍA
hbladimir@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, diciembre 1 de 2022**

Dedicatoria

A mi familia materna

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mi director de tesis, ingeniero mecánico Diego A. Pérez Rivas, por brindarme su confianza y guía constante. Asimismo, al PhD Bladimir A. Ramón Valencia, por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Al ingeniero James Ronald Vera por su participación y contribución de esta investigación. A los laboratorios de materiales y análisis térmico de la Universidad de Pamplona, sede Pamplona.

A mi madre, abuelos, tía y hermanos, quienes, con su apoyo incondicional y su infinito amor motivacional, fueron mi energía y motor para culminar esta gratificante meta.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Materiales compuestos	12
2.1.1 Generalidades	12
2.1.2 Clasificación	15
2.1.3 Fabricación de materiales compuestos	17
2.2 Materiales biocompuestos	19
2.2.1 Definición de biocompuestos	19
2.2.2 Fibras naturales como refuerzo.....	20
2.2.3 Fibra de fique	22
2.3 Comportamiento térmico de los materiales.....	25
2.3.1 Energía calórica	25
2.3.2 Mecanismos de transferencia de calor.....	26
2.3.3 Termogravimetría	29
2.4 Antecedentes de conductividad térmica en materiales compuestos.....	30
3. OBJETIVOS	36
3.1 Objetivo general.....	36
3.2 Objetivos específicos.....	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES.....	37
4.1 Materiales	37
4.2 Fabricación de los compuestos	40
4.3 Ensayos de medición de las pruebas térmicas.....	49
4.3.1 Prueba de conductividad térmica	49
4.3.2 Termo gravimetría.....	52
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
5.1 Mediciones de la conductividad térmica	53
5.1.1 Compuesto de fibra de vidrio tipo MAT	53
5.1.2 Compuestos con fibra de vidrio tipo MAT.....	55

5.2	Análisis térmico.....	57
5.3	Estudio comparativo de la conductividad térmica entre los compuestos de fibra de vidrio y biocompuestos de fibra de fique en distribución MAT	59
6.	CONCLUSIONES.....	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
	ANEXOS.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procedimientos de fabricación para productos plásticos reforzados con fibra.....	17
Tabla 2. Fibras naturales de acuerdo a su origen.....	21
Tabla 3. Características físicas de las fibras de fique.	24
Tabla 4. Composición química de las fibras de fique.....	25
Tabla 5. Propiedades mecánicas de la fibra de fique.	25
Tabla 6. Masa de la fibra de fique en distribución MAT	41
Tabla 7. Masa de la fibra de vidrio en distribución MAT	45
Tabla 8. Porcentaje de material	48
Tabla 9. Conductividad térmica de los compuestos y biocompuestos	57
Tabla 10. Conductividad térmica de materiales de referencia	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales simples.....	12
Figura 2. Propiedades mecánicas de la matriz del refuerzo, y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos.....	14
Figura 3. Morfologías de los compuestos reforzados con fibras	15
Figura 4. Clasificación de materiales laminados	16
Figura 5. Plata de fique	23
Figura 6. Detalle de un filamento de fibra de fique.....	24
Figura 7. Fibra de vidrio tipo MAT	38
Figura 8. Fibra de fique tipo MAT.....	38
Figura 9. Resina poliéster poliescol	39
Figura 10. Catalizador.....	39
Figura 11. Molde	40
Figura 12. Desmoldante.....	40
Figura 13. Fique recortes	41
Figura 14. Proceso de fabricación	43
Figura 15. Muestra de biocompuesto.....	43
Figura 16. Fibra de vidrio recortes	46
Figura 17. Proceso de fabricación de fibra de vidrio	46
Figura 18. Muestra de compuesto de fibra de vidrio	47
Figura 19. Muestra de los compuestos	48
Figura 20. Sensor de temperatura LM35	50
Figura 21. Equipo para medición de conductividad térmica.....	50
Figura 22. Interfaz del programa del equipo de conductividad térmica.....	51
Figura 23. Gráfica del biocompuesto de 1.5 in de ensayo de conductividad térmica.	53
Figura 24. Gráfica del biocompuesto de 1 in de ensayo de conductividad térmica.	54

Figura 25. Gráfica del compuesto de 1.5 in de ensayo de conductividad térmica.	55
Figura 26. Gráfica del compuesto de 1 in de ensayo de conductividad térmica. ...	56
Figura 27. Grafica de termogravimetría del compuesto de fibra de vidrio.....	57
Figura 28. Grafica de termogravimetría del compuesto de fibra de fique	58

1. INTRODUCCIÓN

Las fibras naturales tienen aplicación en muchas áreas relacionadas con la industria, en todo el mundo se han desarrollado una serie de estudios que examinan la resistencia de las fibras naturales como refuerzo para los compuestos de matriz macromolecular. Estos estudios de evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique muestran que los materiales son renovables y abundantes; sin embargo, tienen limitaciones como la incompatibilidad de algunas matrices moleculares, que tienen menor resistencia mecánica que las fibras sintéticas, volumen variable y alta humedad [1] .

Se encuentran las ventajas de las fibras naturales de sus propiedades frente a la fibra de vidrio es importante resaltar que la neutralidad de dióxido de carbono, debido a la liberación de este gas que es una de las causas principales del efecto invernadero, que generan cambios climáticos en el planeta [2]; no obstante, la industria busca materiales con prestaciones similares a las existentes y en este sentido las fibras naturales son un vector claro de desarrollo, incluso con ciertas ventajas en ciertos campos de aplicación como es el aislante térmico, ya que poseen mejores propiedades térmicas, disminuyen las vibración, pueden ser triturados y reutilizados. Con investigaciones previas después de la prohibición de la fibra de vidrio en los países de la unión europea el 16 de julio de 2001 [3]; la creación de alternativas en la recuperación energética da ventajas en el campo económico ya que muchas de las fibras naturales se procesan en diversos países en vía de desarrollo con costos reducidos y ayudando a reducir el gasto energético. [4].

La presente investigación desarrolla el estudio sobre las posibilidades que ofrece la fibra de fique para ser empleadas en la fabricación de materiales compuestos en orientación MAT con matriz polimérica, realizando un estudio de propiedades

térmicas (conductividad y termogravimetría); no obstante, los materiales compuestos son interacciones que se presentan a través de interfaz entre la fibra de fique y la matriz polimérica son claves al comportamiento mismo. En este estudio, no se hizo un ningún tratamiento que mejore la compatibilidad de la fibra de fique con la matriz polimérica.

Al utilizar fibras naturales, optimizando o modificando el análisis de tiempo de las fibras para obtener una mejor adherencia con el sustrato para asegurar una buena interfaz [5]. Este estudio se enfoca en determinar las propiedad de conductividad térmica y del compuesto reforzado con fibras de fique en orientación MAT con matriz polimérica, donde el compuesto es sometido a ensayos de conductividad térmica y termogravimetría con el fin de aprovechar las fibras de tipo natural para la obtención de compuestos con mejores propiedades térmicas que algunas fibras sintéticas ya existentes como aislantes térmicos, con el objetivo de generar información que valide su aplicación, este estudio con los resultados obtenidos no son favorables para la fibra de fique en comparación a la fibra de vidrio, los ensayos arrojan conductividad térmica del biocompuesto en espesor de 1.5 in y 1in es 0.8949 [W/m °C] y 1.415 [W/m °C] respectivamente, y del compuesto de espesor 1.5 in y 1 in es 1.068 [W/m °C] y 0.9695 [W/m °C] respectivamente, esto demuestra que el biocompuesto de fibra de fique no es aislante térmico ni el compuesto de fibra de vidrio.

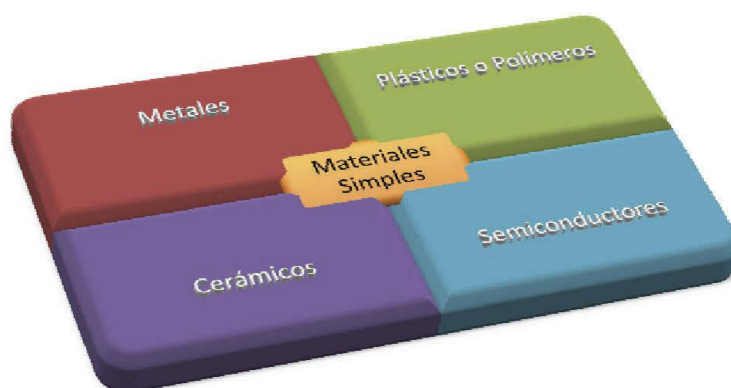
2. MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales compuestos

2.1.1 Generalidades

Muy pocos materiales de un solo componente existen en la naturaleza, la mayoría son mezclas de diferentes componentes que, cuando se combinan, forman un compuesto que a menudo funciona mejor que cualquiera de los materiales solos. En general, los compuestos simples se pueden agrupar a medida que se presentan en la figura 1 [6].

Figura 1. Clasificación de los materiales simples.



1. Fuente: Eduardo, B., Camille, M. B., Pedro, R. M., & Marcela, G. C. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora. Ingeniería Investigación y Tecnología, 14(4), 595–611. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72269-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72269-8)

Los materiales compuestos están formados por compuestos no químicos de dos o más componentes, creando nuevas propiedades o propiedades específicas para cada compuesto. En los materiales compuestos, hay dos componentes a considerar: la matriz y el refuerzo, dependiendo de la aplicación y las tensiones a las que puedan estar sometidos. La matriz es el elemento responsable de las

propiedades físicas y químicas, además de la transferencia de tensiones a los elementos de refuerzo. En algunos casos, también sirve como protección contra los factores ambientales a los que puede estar expuesto el material compuesto. El refuerzo corresponde al material que proporciona la resistencia a la tracción del elemento compuesto. En consecuencia, los materiales compuestos normalmente constan de dos fases distintas y una matriz continua, a menudo una de las cuales es resina, alrededor de una estructura fibrosa reforzada. El refuerzo proporciona resistencia y rigidez, mientras que la matriz mantiene unidas las fibras, transfiriendo la tensión de una fibra a otra, creando una estructura unificada. Un ejemplo de material compuesto que se ha utilizado en ingeniería durante décadas es el hormigón armado. [6]

Hay dos fases: una fase continua, que consiste en una matriz, y una fase discontinua, conocida como amplificación. Los componentes del material compuesto no deben disolverse por completo ni combinarse entre sí. La identificación de los materiales y sus superficies de contacto se distinguirá por medios físicos. Luego, las propiedades del nuevo material dependen del tipo de interfaz y las características de los componentes. [7].

- Tipos de materiales compuestos

De las diferentes clasificaciones de los materiales compuestos, quizás la más importante sea la que se refiere a su matriz, y en el cual podemos identificar tres grupos principales:

- a) Materiales compuestos de matriz metálica
- b) Materiales compuestos de matriz cerámica
- c) Materiales compuestos de matriz polimérica

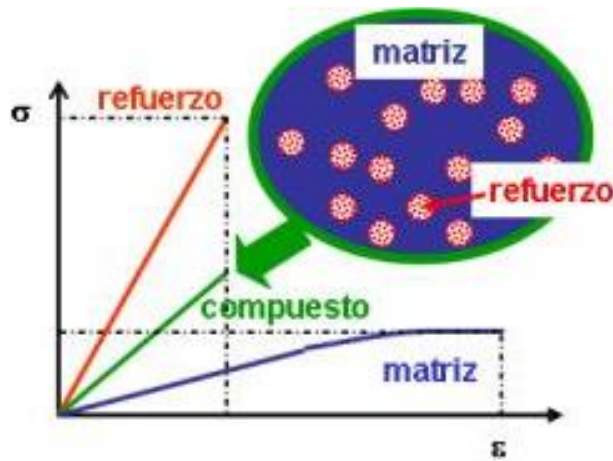
Los materiales de matriz polimérica se definen como materiales con buenas propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión ya los productos químicos que,

por sus especiales propiedades, pueden modelarse con absoluta libertad de forma. Estos materiales contienen una matriz formada por polímeros y refuerzos fibrosos, sintéticos o inorgánicos. [7].

- El concepto de matriz- refuerzo

A diferencia de los materiales isotrópicos convencionales, los materiales compuestos tienen algunas diferencias significativas (alta rigidez, alta resistencia a la fatiga, alta resistencia a la corrosión y alta flexibilidad).[7].

Figura 2. Propiedades mecánicas de la matriz del refuerzo, y del material compuesto obtenido a partir de la combinación de ambos



Fuente: Diagrama de matriz refuerzo. Retrieved September 6, 2022, from https://www.ehu.eus/open_course_ware/castellano/tecnicas/materia_comp/Course_listing.html

- Matrices para materiales compuestos

Hay materiales que incluyen metal, cerámica y matriz polimérica. Bajo esta clasificación podemos encontrar un grupo de muchos materiales que pueden ser utilizados como elementos de unión. Este estudio está básicamente relacionado con

el grupo de materiales compuestos de matriz polimérica, ya que es el más utilizado en toda la industria. 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

[7]

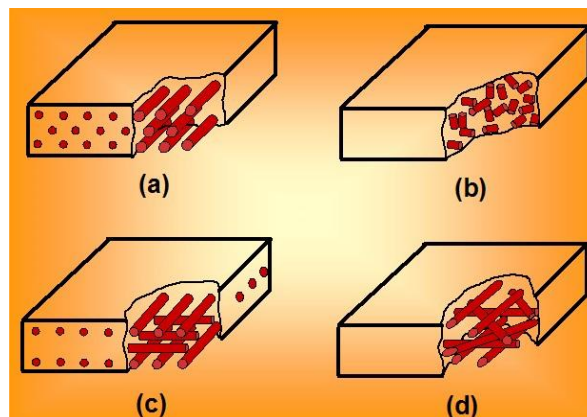
2.1.2 Clasificación

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

- Clasificación según la forma de constituyente:
 - i) Compuesto fibroso:

El compuesto es una fibra (Figura 3), es decir un material con una relación de longitud-diámetro muy alta. Las fibras pueden ser continuas o discontinuas (estas últimas pueden ser aleatorias o unidireccionales) [8].

Figura 3. Morfologías de los compuestos reforzados con fibras



Fuente: Morfologías de compuestos. Retrieved September 6, 2022, from http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html

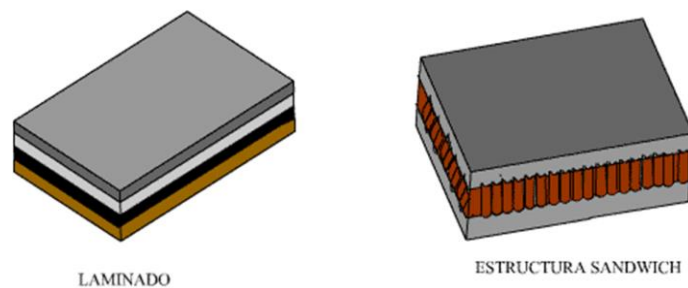
ii) Compuestos particulados

El refuerzo son partículas equiaxiales (es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales en todas las direcciones) [8].

iii) Compuestos 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 núcleos y tapas) (Figura 4) [8].

Figura 4. Clasificación de materiales laminados



Fuente: Clasificación de laminados. Retrieved September 6, 2022, from <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema14/tema14-2.htm>

1. Clasificación según la naturaleza de los constituyentes
 - b) Compuesto de matriz orgánica (polímeros).
 - c) Presentan baja densidad
 - d) Posibilidad de obtención de piezas complicadas
 - e) Son los más utilizados en la actualidad

Entre sus desventajas se incluye la poca resistencia frente al fuego. [8]

2.1.3 Fabricación de materiales compuestos

Tabla 1. Procedimientos de fabricación para productos plásticos reforzados con fibra

Procedimiento	Resumen de los métodos de procesado y fabricación
1. Método de contacto manual	Los rollos de fieltro, las telas tejidas u otras telas hechas de hilo se colocan en un molde y se impregnan con resina mediante cepillos y rodillos. Las capas se aplican hasta alcanzar el espesor calculado. Procesamiento de moldes sin calor ni presión.
2. Proyección	Las fibras trituradas y la resina se rocían simultáneamente sobre el molde preparado y se esparcen antes de que la resina se endurezca.
3. Saco de vacío, saco de presión, autoclave	Las capas de fibra, por lo general láminas unidireccionales, se preparan previamente con resina y se curan parcialmente para formar las capas preparatorias. Las láminas de preimpregnado se colocan sobre la superficie del molde en la dirección deseada, se cubren con una bolsa flexible y se compactan mediante autoclave al vacío oa presión a la temperatura de curado requerida.
4. Arrollamiento de filamentos	El hilo crudo o continuo se alimenta a través de rodillos y guías y a través del tanque de plástico, y luego se enrolla en el mandril en

- ángulos específicos mediante una máquina CNC. La resina cura parcial o completamente antes de que la pieza, generalmente un tubo, se retire del mandril.
5. Moldeo de centrifugación Se introducen mezclas de fibra y resina en un molde rotatorio y se dejan curar in situ.
6. Moldeo por compresión en caliente Las matrices o útiles, calientes y acoplados se cargan con materia prima (compuesto de hojas continuas SMC, Premix o pasta DMC, tejido o pre-impregnado unidireccional) y se comprimen para que se adapten a la cavidad y curen.
7. Moldeo por inyección o moldeo de transferencia Se inyectan polímeros fundidos o en estado plástico mezclados con fibras cortadas, normalmente a alta presión, en la cavidad de un molde ranurado y se deja solidificar o curar.
8. Pultrusión Una alimentación continua de hilo en la dirección seleccionada se impregna con resina y se lamina con calor favorable (estirado) para darle su forma transversal final. El curado parcial o completo se produce a medida que pasa a través de la matriz.
9. Moldeo por prensado Es un proceso a baja presión y baja temperatura en el que las fibras se impregnan con resina y se comprimen entre dos útiles macho y hembra. El calor se genera durante el curado.
10. Inyección de resina Se ponen fibras en forma de tejido en el útil, el

cual se cierra después. Entonces se inyecta la resina a baja presión en la cavidad y fluye entre las fibras hasta llenar el espacio del molde.

11. Moldeo por inyección con
relación reforzada
(RRIM)

Un sistema de resina de curado rápido que consta de dos componentes que se mezclan inmediatamente antes de la inyección. Estas fibras se colocan en un molde sellado antes de la inyección o se trituran y se agregan aleatoriamente a uno de los componentes de plástico para formar una mezcla antes de la inyección.

Fuente: Hull, D. (2021). Materiales compuestos. Reverté.

2.2 Materiales biocompuestos

2.2.1 Definición de biocompuestos

Los materiales biosintéticos más utilizados son materiales poliméricos formados por componentes naturales procesados por organismos vivos (hongos, bacterias o algas), que tienen la ventaja de ser biodegradables y de reducir los niveles de contaminación en el proceso productivo. Estos pueden ser materiales hechos de fuentes renovables como almidón o celulosa, como poliácidos (PLA) y polihidroxialcanoato (PHA). Algunos son también materiales sintéticos biodegradables derivados del petróleo, como la policaprolactona, o materiales elaborados a partir de una mezcla de los dos primeros [\[10\]](#).

Los principales componentes de los materiales biosintéticos son las moléculas de carbono, las cuales son parte integral de los organismos vivos, su clasificación incluye compuestos inorgánicos y orgánicos, por un lado los compuestos

inorgánicos, los músculos son moléculas presentes tanto en los organismos vivos como en los inertes. Entre ellas podemos encontrar biomoléculas más comunes a la vida, como el agua, los gases (oxígeno) y las sales minerales, que se descomponen en aniones como los fosfatos (HPO_4^-), bicarbonato (HCO_3^-) y cationes como el amonio (NH_4^+) [10].

Por otro lado, los compuestos orgánicos o derivados directamente son sintetizados únicamente por organismos vivos, tienen una estructura a base de carbono y están compuestos principalmente por elementos químicos como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. El nitrógeno, el fósforo y el azufre también son comunes; a veces se incluyen otros factores, pero en mucha menor medida [10].

En términos de composición, los materiales compuestos están formados por dos o más materiales que constan de dos etapas importantes: matriz y refuerzo. Generalmente, consiste en una columna vertebral de fibra natural reforzada con un sustrato polimérico no biodegradable como el polipropileno (PP) o el polietileno (PE) o un sustrato biopolimérico como el ácido poliláctico y el polihidroxialcanoato [10].

Los materiales reforzados con fibras largas a menudo tienen propiedades mecánicas superiores, así como una alta anisotropía con buena flexibilidad, temperatura y conductividad eléctrica, pero requieren técnicas de fabricación complejas. Por el contrario, los materiales reforzados con partículas y fibras cortas suelen acercarse a materiales isotrópicos que tienen las mismas propiedades independientemente de la orientación, aportan mejores propiedades y se fabrican con técnicas menos complejas. [10].

2.2.2 Fibras naturales como refuerzo

Las fibras naturales se dividen en tres tipos: vegetal, animal y mineral. Los compuestos de materiales vegetales son los de mayor uso en la industria, se

pueden dividir de acuerdo a su origen encontramos seis tipos: tallo, semilla, hoja, caña y maderera [11][12].

Tabla 2. Fibras naturales de acuerdo a su origen.

Vegetal						Animal
Tallo	Hoja	Semilla	Fruta	Caña	Madera	
Lino	Sisal	Algodón	Plátano	Bambú		Lana
Cáñamo	Palma					Seda
Kenaf	Piña					
Yute						
Esparto						
Ramio						

Fuente: Aeronáutico, I., Renato, Á., Morales, P., Aeronáutico, I., & Güemes, A. (2019). Materiales Compuestos de Fibras Naturales. Universidad Politécnica de Madrid.

Las fibras naturales están compuestas por una matriz de lignina, microfibrillas de celulosa y hemicelulosa, que contienen una célula primaria y varias células secundarias. En cada celda, las microfibrillas de celulosa están orientadas en un cierto ángulo. [12]. El contenido de celulosa incrementa y el de lignina disminuye desde la celda primaria a las secundarias y el contenido en hemicelulosa se mantiene constante [13].

- La celulosa es un polisacárido semicristalino que le transfiere el carácter hidrófilo y otorga la rigidez, resistencia y estabilidad estructural [13].
- La hemicelulosa es un polímero ramificado y amorfo. Se encuentra unida fuertemente a la celulosa presumiblemente por puentes de hidrógeno, siendo parcialmente soluble en agua e higroscópica [13].

- La lignina es amorfa y principalmente aromática, le confiere resistencia adicional y acoplamiento con la hemicelulosa [\[13\]](#).

2.2.3 Fibra de fique

Es originaria de América tropical, especialmente en la región de los Andes de Colombia y Venezuela, luego se extendió a las Antillas y la costa este de Brasil. Esta planta pertenece al género *Furcraea*, donde existen unas 20 especies diferentes, y sus hojas se utilizan para tejer hilo, comúnmente conocido como fique. Es biológicamente diferente de la planta de agave con la que a menudo se la confunde [\[14\]](#).

(*Furcraea bedinghausii*) pertenece a una extensa familia botánica del mismo nombre: «Agavaceae». Se les conoce con el nombre común de agave, pita, maguey, cabuya, fique, mezcal. Su centro de origen está en México, aunque actualmente se distribuyen desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Venezuela y Colombia. Se reconocen más de 200 especies pertenecientes a este género con una gran diversidad en cuanto a formas tamaños, colores y estrategias de vida. Se calcula que el género surgió hace unos 12 millones de años [\[14\]](#).

Estas plantas forman un gran asterisco de hojas gruesas y carnosas, a menudo con una punta puntiaguda en la parte superior y, a menudo, con bordes espinosos. Los tallos grandes y fuertes suelen ser muy cortos, lo que hace que las hojas parezcan crecer desde la base [\[14\]](#).

Es una de las fibras vegetales más representativas de los trópicos de América y se utiliza innumerablemente en la industria y la artesanía. Esta planta produce fibras largas y rígidas y tiene propiedades importantes como cuerdas, embalajes y textiles. Combinado con otras fibras naturales para crear una variedad de productos [\[14\]](#).

El hilado de fique se utiliza no solo para el empaque, sino también para la elaboración de productos y artesanías étnicas colombianas. El fique es una fibra biodegradable que, al descomponerse, se utiliza como alimento y fertilizante; Además, no contamina la fuente de agua, asegurando una producción limpia. Sus ventajas son el respeto al medio ambiente y la economía, la sencillez y la calidad [14].

Existen dos formas de exportar bienes de fique: bienes industriales como empaques, telas, alambres, etc. y artesanías, comercializadas principalmente por "Artesanías de Colombia". Los principales destinos de exportación de los ficus colombianos y sus derivados son Venezuela, México, Ecuador y Costa Rica [14].

- Características

Son plantas de gran tamaño, tallo recto, de hojas pobladas apiladas en el vértice del mismo, alargadas y angostas, dentado-delgado o un poco gruesas. En algunas especies sus hojas son dentadas y espinosas. El ancho de las hojas puede variar entre 10 y 20 cm y su largo entre 1 y 2 metros [14].

Figura 5. Plata de fique

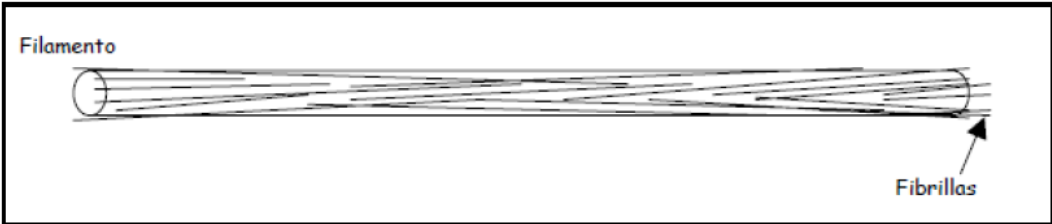


Fuente: Planta de fique. Retrieved September 6, 2022, from <https://tejidotexturizado.wordpress.com/queeslaplantadefique/>

Las hojas están compuestas por filamentos, y estos a su vez de fibrillas que están unidas entre sí por una goma. Los extremos de las fibrillas se sobrepone para

formar filamentos multicelulares que a lo largo de la hoja conforman la fibra de fique como se muestra en la (figura 6) [14].

Figura 6. Detalle de un filamento de fibra de fique



Fuente: tintura del fique con colorantes naturales. Ecofibras Ltda.
Las características físicas y químicas se muestran en la tabla 3,4 y 5.

Tabla 3. Características físicas de las fibras de fique.

Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Adsorción al calor	Superficial
Adsorción a la humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efectos ante los álcalis	Resistente
Resistencia a la luz solar	Mala
Efectos de los oxidantes	Regular
Elongación	Variable
Resistencia (100g de fibras)	26 kg

Fuente: tintura del fique con colorantes naturales. Ecofibras Ltda.

Tabla 4. Composición química de las fibras de fique.

Cenizas	2.60%
Fibras	1.58%
Pentosas	17.65%
Lignina	12.00%
Celulosa	62.70%

Fuente: tintura del fique con colorantes naturales. Ecofibras Ltda.

Tabla 5. Propiedades mecánicas de la fibra de fique.

Propiedades	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (MPa)	305.15	200	625.20
Módulo de elasticidad (GPa)	7.52	7.52	25.50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4.96	3.20	5.70

Fuente: tintura del fique con colorantes naturales. Ecofibras Ltda.

2.3 Comportamiento térmico de los materiales

2.3.1 Energía calórica

El calor es la transferencia de energía de una parte del cuerpo a otra o entre diferentes partes, provocada por una diferencia de temperatura. El calor es energía en movimiento; siempre fluye de una región de temperatura más alta a una región de temperatura más baja, aumentando así la temperatura de la región menos caliente y bajando la temperatura de la región más caliente, siempre que los volúmenes de los objetos permanezcan constantes. La energía no se transfiere de

un objeto de baja temperatura a un objeto de alta temperatura sin realizar trabajo. La materia consiste en átomos o moléculas que están en constante movimiento o tienen energía cinética. La colisión constante entre átomos o moléculas convierte parte de la energía cinética en calor, lo que cambia la temperatura del cuerpo [15].

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de cada átomo y molécula de una sustancia. Cuando se le agrega calor a una sustancia, sus átomos o moléculas se mueven más rápido y su temperatura aumenta o viceversa, por lo que la temperatura es una cantidad física que se refiere a la sensación de frío o calor al tocar ciertas sustancias o materiales [15].

2.3.2 Mecanismos de transferencia de calor

- Transferencia de calor por Conducción

La conducción es la transferencia de energía de partículas de materia de alta energía a partículas adyacentes de baja energía debido a las interacciones entre estas partículas. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases. En gases y líquidos, la conductividad surge de la colisión y difusión de moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos, esto se debe a una combinación de vibraciones reticulares de las moléculas y la transferencia de energía de los electrones libres. Por ejemplo, habrá casos en los que las bebidas frías en latas en una habitación cálida se calientan a temperatura ambiente transfiriendo calor de la habitación a la bebida a través de la lámina [16].

La velocidad o velocidad a la que se conduce el calor a través de un medio depende de la geometría, el grosor y el material del que está hecho, así como de las diferencias de temperatura comunes dentro del mismo. Se sabe que envolver el calentador de agua con fibra de vidrio (material aislante) reduce la tasa de pérdida de calor del tanque. Cuanto más grueso sea el aislamiento, menor será la pérdida de calor. También se sabe que la caldera perderá calor más rápido si se baja la

temperatura de la habitación donde se almacena. Además, cuanto más grande sea el tanque, mayor será el área de superficie y, por lo tanto, la tasa de pérdida de calor [16].

Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área A . La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$. Los experimentos han demostrado que la transferencia neta de calor Q , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A perpendicular a la dirección de la transferencia de calor; pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared. Por tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir: [16].

$$\text{Razón de conduccion de calor } \alpha = \frac{(\text{Area})(\text{Diferencia d temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien,

Ecuación de conductividad térmica

$$\dot{Q}_{\text{Cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad [16].$$

Donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial. La cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor [16].

Ecuación de conductividad térmica de forma diferencial

$$\dot{Q}_{\text{Cond}} = -kA \frac{dt}{dx} \quad [16].$$

- Transferencia de calor por convección

La convección es un método de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente en movimiento e involucra los efectos combinados de conducción de calor y movimiento de fluidos. Cuanto más rápido se mueve el fluido, mayor es la transferencia de calor por convección [16].

La convección se llama convección forzada si un líquido es forzado a fluir a través de una superficie por medios externos como un ventilador, viento o bomba. La convección natural ocurre cuando el movimiento de un líquido es causado por la flotabilidad causada por el cambio en la densidad debido al cambio en la temperatura del líquido [16].

Se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley del enfriamiento de Newton como:

Ecuación de convección

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad [16].$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_{∞} es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie [16].

El coeficiente de transferencia de calor por convección es un parámetro determinado experimentalmente, y este valor depende de todas las variables que afectan la convección, incluida la configuración geométrica, el movimiento del fluido, las propiedades del fluido y la velocidad [17].

- Transferencia de calor por radiación

La radiación es energía emitida por una sustancia en forma de onda electromagnética debido a un cambio en la configuración electrónica de un átomo o

molécula. La diferencia entre conducción y convección es que no hay necesidad de un medio, la transferencia de calor más rápida y no hay degradación por vacío [16].

La radiación es un fenómeno tridimensional y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. La radiación se considera un fenómeno superficial para los sólidos que no son transparentes a la radiación térmica, como los metales, la madera y la piedra, porque en estos materiales la radiación a estos objetos a menudo se absorbe en el tamaño de unas pocas micras dentro del sólido [16].

Se puede expresar la razón máxima de la radiación que puede emitir una superficie a temperatura termodinámica T_s es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

Ecuación de emitida máxima

$$\dot{Q}_{\text{emitida,max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad [16].$$

Por lo tanto,

Ecuación por radiación

$$H = \epsilon \sigma A T$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, ϵ es la propiedad radiactiva de la superficie llamada emisividad [17].

2.3.3 Termogravimetría

El análisis termogravimétrico (TGA) se utiliza para describir las propiedades físicas y químicas de los materiales en función de la temperatura en un entorno controlado con precisión. Este método proporciona información valiosa para el control de calidad, el desarrollo y la investigación. Las áreas de aplicación incluyen los termoplásticos, elastómeros, termoestables, metales y cerámica, así como una amplia gama de análisis en las industrias química, alimentaria, farmacéutica y de la construcción [18].

2.4 Antecedentes de conductividad térmica en materiales compuestos

- Antecedentes Internacionales

Alavez, R., Chiñas, F., Morales, V., & Ortiz, M. (2012), realizó un estudio evaluando la posibilidad de utilizar fibra de coco como relleno aislante para los muros de losas de concreto reforzado en una estructura multicapa de escuelas, techos y casas en Puerto Escondido, Oaxaca, México. Se realizaron mediciones de conductividad térmica para comparar las propiedades térmicas de muros de hormigón armado revestidos con fibra de coco con otros materiales de construcción típicos de la zona. La conductividad térmica medida de la pared de arcilla roja, el bloque de hormigón hueco y la losa de ladrillo ligero es de 0,93, 0,683 y 0,536 W/km, respectivamente. La conductividad térmica de la configuración propuesta es de 0,221 W/Km, que es inferior a los materiales típicos utilizados en la construcción de viviendas en esta zona. Esta construcción es diferente a lo que se ha hecho ya que está hecha de losas de hormigón armado [\[19\]](#).

Lertwattanakuruk, P., & Suntijitto, A. (2015), presenta un artículo de investigación sobre las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibra natural aplicados en climas cálidos y húmedos. Estos materiales están hechos de mortero de cemento que contiene fibra de coco y fibra de palma aceitera, que son desechos de la producción agrícola en Tailandia. Estos residuos se utilizan como cubiertas y revestimientos para reducir la transferencia de calor a través de los edificios y ahorrar energía. Los estudios se centraron principalmente en los efectos de dos tipos de fibras de celulosa sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los productos. Los resultados de las pruebas muestran que el aumento de la tasa de sustitución de las fibras naturales conduce a una disminución de la densidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del material. Los productos hechos de cemento con aditivos de fibra de coco tienen una densidad menor que los productos hechos de fibra de palma aceitera. Mezclas de productos de fibrocemento que contengan hasta un 15% en peso de fibras naturales en peso del

ligante, con propiedades físicas y mecánicas aceptables. Además, la conductividad térmica de la placa de fibrocemento natural es un 60% inferior a la de la muestra de control. En diseño, está hecho de fibra de coco de la región Caribe de Colombia, específicamente de Bolívar. Estos estudios indican la posibilidad de obtener resultados favorables sobre la conductividad térmica de la solución ensayada, y subrayan la importancia de realizar estos estudios en nuestra región y analizar su posible uso en la construcción para reducir la transferencia de calor a través de la vivienda. [\[20\]](#).

D. Ren, X. X. Zhang, H. K. Wang, W. J. Li, and Y. Yu, Compatibilidad entre matriz de polipropileno (PP) reforzada con fibra de bambú y matriz de fibra mejorada por MAPP (Movilización de la Acción a través de la Planificación y el Compromiso) como promotor de adhesión. Compuestos tratados por compresión, evaluando el impacto del uso de antioxidantes en el proceso sobre la resistencia a la degradación termooxidativa con el tiempo, la inducción de oxidación, la reducción de peso, el cambio de color y las propiedades mecánicas de flexión de los compuestos. Los resultados mostraron que la adición de antioxidantes podría incrementar significativamente el tiempo de inducción a la oxidación, reduciendo la pérdida de peso y la decoloración de los compuestos; mientras que las propiedades mecánicas de flexión cambiaron ligeramente y mostraron poca mejora [\[21\]](#).

W. Chunhong, L. Shengkai, and Y. Zhanglong, el uso de polipropileno (PP) y fibras naturales de bambú como matriz para producir materiales compuestos por prensado. Estos materiales han sido desarrollados utilizando tres tipos de fibras de bambú: sin tratar, tratadas al 5% p/v. NaOH y 5% p/aprox. El siguiente NaOH fue 1%, 3% y 5% p/aprox. solución de silano. impresión. Los resultados muestran que las propiedades mecánicas óptimas de estos materiales se obtienen tratando las fibras con solución de NaOH al 5% y luego con solución de silano al 3%. Se ha encontrado que el tratamiento superficial de las fibras mejora las propiedades de

termohumedad de estas composiciones y por tanto mejora la adherencia entre las fibras y la matriz. [22].

P. Nguyen Tri and G. Villoutreix, Estudio de la cinética de cristalización de materiales compuestos a partir de polipropileno reciclado (RP) y fibras cortas de bambú por método DSC. Se utilizaron diferentes velocidades de enfriamiento (5, 10, 20, 40°C/min). Los resultados muestran que la presencia de fibra de bambú en el fondo de PPR aumenta la tasa de cristalización y acorta el tiempo de cristalización en todas las tasas de prueba, y esto se debe a que la fibra de bambú actúa como núcleo en el sustrato de PPR, lo que aumenta la tasa de cristalización. Cristalización. Velocidad, velocidad. cristalización relativa a la matriz líquida PPR [23].

J. T. Kang and S. H. Kim, proporciona un tratamiento alcalino con NaOH y NaClO₂ para eliminar las impurezas de la superficie de las fibras HAC y mejorar la adhesión del polímero, al mismo tiempo que reduce la rugosidad de la superficie y aumenta la tasa de cristalización de las fibras. Además, también se han reducido el peso y el diámetro. Para mejorar la adherencia entre la matriz y la fibra y así optimizar las propiedades térmicas y mecánicas del composite, también se sugiere utilizar aditivos como silano y MAPP como promotores de adherencia. [24].

- Antecedentes Nacionales

Gómez, T. S; Navacerrada, M. A; Diaz, C; Fernández-morales, P (2020), El artículo analiza investigaciones sobre tejidos y telas como material termoacústico natural alternativo para posibles aplicaciones tecnológicas. Se han realizado estudios para caracterizar las características morfológicas de las fibras de fique, producir muestras de fique crudo no tejido y propiedades termo-acústicas intensivas. Se midió y simuló la absorción acústica de los no tejidos de Fique, se midió la resistencia al flujo, el refuerzo dinámico y la conductividad térmica. Se ha demostrado que las propiedades de absorción del sonido se pueden mejorar aumentando el grosor de

la muestra y el diámetro de la microfibra. Los no tejidos de fique actúan como un material de marco flexible, lo que hace que los modelos de marco rígido sean inexactos para sus cálculos de absorción de sonido. En general, las fibras de fique son comparables a los compuestos en términos de aislamiento térmico, reducción del impacto del sonido y absorción del sonido por encima de los 1000 Hz. [25].

Marisol, G. O. (2017), El propósito de este estudio fue analizar las propiedades térmicas de mortero con 5 a 15% en peso de aditivo de fibra de coco aplicando el método de ensayo de placa calefactora ASTM 177 para determinar la conductividad térmica, capacidad calorífica específica de cada mezcla. sólidos por mezcla y calorimetría diferencial de barrido (DSC) y prueba de los efectos de estos aditivos en las propiedades físicas y mecánicas de la solución [26].

Hidalgo-salazar, miguel, A; Correa, Juan P; (2018), En este estudio se prepararon materiales biosintéticos de Fique industrial no tejido de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE-Fique) y Fique industrial no tejido de resina epoxi (EP-Fique) mediante proceso de prensado, calor y película plástica de transferencia. La matriz de polímero puro y sus biocompuestos se han probado de acuerdo con las normas ASTM para evaluar las propiedades mecánicas de tracción y flexión. Además, las propiedades térmicas de estos materiales se han investigado mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico (TGA). Las pruebas de tracción y flexión muestran que los compuestos no tejidos reforzados con fique exhiben un módulo y una resistencia más altos, pero una formabilidad más baja que los sustratos puros de LLDPE y EP. El gráfico de calor TG muestra que el uso de telas no tejidas fique afecta la estabilidad térmica de los materiales compuestos. Por otro lado, las fibras de Fique no modifican la cristalización y fusión de la matriz de LLDPE, pero restringen el movimiento de la cadena macromolecular del EP, aumentando así los TG del compuesto EP-Fique. En definitiva, este trabajo abre la posibilidad de tratar los no tejidos de Fique como un material de refuerzo con gran

potencial para la producción de materiales biosintéticos para aplicaciones automotrices [27].

Navacerrada, M. A., Pedrero, A., & Isaza, M. (2016), Los hilos obtenidos a partir de fibras pueden tejerse para formar telas tejidas o comprimirse para formar telas no tejidas. El desarrollo de telas no tejidas de fibras naturales puede ser una opción prometedora y sostenible. Para hacer posible el uso de este material como absorbente, se han caracterizado las propiedades acústicas y térmicas de los no tejidos hechos de fibra de coco, fibra de coco y fibra de coco. Existen dos métodos para producir telas no tejidas: el método manual, que requiere el uso de un adhesivo y una prensa, y el uso de una punzonadora, que permite unir los hilos entre sí mediante un mecanismo de agujas. Este artículo presenta los resultados de medir el coeficiente de absorción de sonido a frecuencia normal, la resistencia al flujo de aire, el coeficiente de conductividad térmica y la rigidez dinámica de las telas no tejidas [28].

J. Ariza and P. Gañan, Se ha desarrollado un material compuesto de espuma hecho de resina epoxi y fibra de Guadua Angustifolia Kunth (GAK), cuya compresibilidad y conductividad térmica se han probado en muestras en función de la densidad, el tamaño de celda y el número de celdas por celda por unidad de volumen. Encontró que la mejor muestra para estas propiedades era la muestra con 20% de fibra con una resistencia a la compresión de 1,53 MPa, un módulo de elasticidad de 36,31 MPa y una conductividad térmica de 0,075 W/mK. que permite su uso como aislante [29].

- Antecedentes Regionales

Baena, C. C. (2018),” “El fique no está muerto, está cambiando”, este equipo del proyecto “Propiedades metalmeccánicas de los compuestos reforzados con fibra” del Departamento de Santander-Colombia busca soluciones explorando las aplicaciones innovaciones que los árboles pueden, por ejemplo, el desarrollo de

materiales compuestos para facilitar su inclusión en el diseño de nuevos productos, como el desarrollo tecnológico de máquinas y herramientas más eficientes [\[30\]](#).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de las propiedades térmicas entre un laminado biocompuesto de fibra de fique en distribución MAT y un laminado compuesto con fibra de vidrio.

3.2 Objetivos específicos

- Elaborar laminados de fibra de fique natural con resina poliéster insaturado y laminados de compuestos de fibra de vidrio con resina de poliéster insaturado en distribuciones tipo MAT mediante la técnica de contacto manual.
- Evaluar la conductividad térmica para medir la capacidad como aislante térmico de los laminados biocompuestos de fibra de fique y laminados compuestos con fibra de vidrio mediante normas ASTM C 177.
- Analizar el comportamiento térmico de los laminados biocompuestos de fibra de fique y de los compuestos con fibra de vidrio a partir de ensayos de termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido mediante el analizador termo gravimétrico TGA 5500.
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de las propiedades térmicas de los ensayos experimentales para los laminados biocompuestos con fibra de fique y con fibra de vidrio.

4. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

La metodología aplicada para la investigación se basa en la selección de configuraciones de materiales compuestos para estudio de las propiedades térmicas de laminado biocompuesto de fibra de fique con matriz polimérica y compuesto con fibra de vidrio con matriz polimérica en orientación MAT, las cuales se evaluaron características térmicas del compuesto de la conductividad térmica, el estudio comparativo a partir los ensayos propuestos. Esto describe y expone el efecto de algunos factores y niveles de estudio desde el punto de vista descriptivo, explicativo y comparativo, en especial con la utilización de materiales alternativos como aislantes térmicos.

La investigación de estudio experimental y comparativo, la comparación de las propiedades del laminado biocompuesto y el compuesto experimentalmente con el fin de obtener las propiedades de conductividad para aplicación como aislante térmico.

4.1 Materiales

- Fibra 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 (figura 7), según la norma ASTM D578 [\[31\]](#) [\[32\]](#). Se define como “una familia de fibras de vidrio compuesta principalmente de óxidos de calcio, aluminio y silicona”, 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. Están 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 vinil éster [\[33\]](#).

Figura 7. Fibra de vidrio tipo MAT



Fuente: Autor

- Fibra de fique

El producto natural de fibras de fique en distribución MAT (Figura 8), se vende comercialmente por las empresas de empaques agro textil, se caracteriza por confinar las fibras de forma desordenada para evitar que las fibras sueltas pierdan su masa.

Figura 8. Fibra de fique tipo MAT



Fuente: Autor

- Resina poliéster insaturado pre-acelerada

Es una resina poliéster ortoftálica preacelerada, muy versátil, para aplicaciones de propósito general que no requieran exigencias en propiedades mecánicas y

químicas. Los usos más frecuentes son la laminación de botes, tanques, carrocerías etc., ideal para fabricar y reparar piezas en fibra de vidrio [34].

Figura 9. Resina poliéster poliescol



Fuente: Autor

- Catalizador

PEROXIDO DE CICLOHEXANONA es de usos pertinentes: Iniciador para la polimerización de resina poliéster. Uso exclusivo usuario industrial.

Figura 10. Catalizador



Fuente: Autor

4.2 Fabricación de los compuestos

- Elaboración de moldes

Material a utilizar lamina de acero calibre 14, cortada en una tira de 1, 1.5 y 2 pulgadas de ancho para obtener el espesor deseado de la muestra, su base es un recorte cuadrado de 10cm de lado.

Se dobla de forma cuadrada con sus lados de 10 cm.

Se procede al soldado de las dos laminas para formar el molde que se observa en la (figura 11).

Figura 11. Molde



Fuente: Autor

Recubriendo con cera desmoldante en todas las paredes internas del molde para que evitar que la resina se adhiera.

Figura 12. Desmoldante



Fuente: Autor

- Elaboración del material de biocompuesto y compuesto en distribución MAT.
 - Impregnación de laminado manual vía húmeda del biocompuesto de fique en distribución MAT
- I. Se prepararon los materiales iniciando con los recortes establecidos en el molde, sus dimensiones son 10 cm X 10 cm todas las láminas de fique en distribución MAT.
- II. Cada lamina de fibra natural se mide masa para cada probeta para la recolección de datos.

Tabla 6. Masa de la fibra de fique en distribución MAT

Espesor	Laminado de 2.54 cm	Laminado de 3.81 cm
Numero de lamina	Masa (g)	Masa (g)
1	2.27	2.21
2	2.16	2.17
3	2.08	2.04
4	2.35	2.33
5	2.48	2.41
6	2.77	2.75
7	2.73	2.79
8	2.20	2.28
9	2.67	2.63
10	2.17	2.23
11	2.21	2.42
12	2.09	2.12
13	2.27	2.28
14	2.26	2.20
15	2	2.39
16	-	2.17
17	-	2.32
18	-	2.43
19	-	2.06
20	-	2.34
21	-	2.28
22	-	2.11

Fuente: Autor

Figura 13. Fique recortes



Fuente: Autor

- III. Eliminar arrugas y alisar el tejido para mejorar el volumen en el compuesto; se le dejaba una carga de 5kg sobre su superficie.
- IV. Con los recortes ya de forma lisa y compactada se procede a la impregnación, el proceso se desarrolló en un molde abierto, que utiliza generalmente fibra seca en formato corto y resina; se considera desde el punto de vista manipulable el uso de resina y catalizador al 1.5% para el tiempo adecuado en la impregnación aplicada por vía manual. Incorporando capa por capa del tejido natural agregando la resina suficiente y pulsando para que esta adsorba el tejido, evitando piezas con formación de burbujas de aire, buen acabado superficial para reducir las burbujas en cada impregnación.

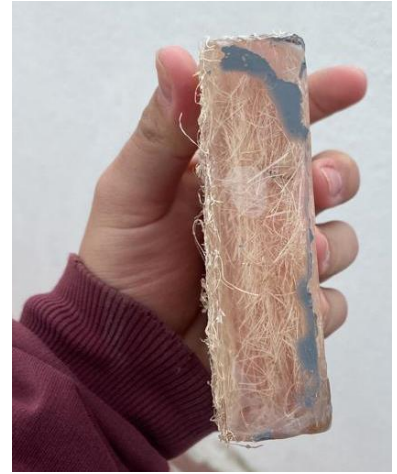
Figura 14. Proceso de fabricación



Fuente: Autor

- V. Una vez terminado el llenado del laminado en el molde se deja para el proceso de curado, se realiza a condiciones atmosféricas in situ por 24 horas, pasado el tiempo se procede el desmolde del compuesto.

Figura 15. Muestra de biocompuesto



Fuente: Autor

- Impregnación de laminado manual vía húmeda del compuesto de fibra de vidrio en distribución MAT
- I. Se repite el paso I del material biocompuesto para obtener las mismas dimensiones.
- II. Cada lamina obtiene su masa mediante a balanza y recolección de datos.

Tabla 7. Masa de la fibra de vidrio en distribución MAT

Espesor	Laminado	Laminado de
	de 2.54 cm	3.81 cm
Numero de lamina	Masa (g)	Masa (g)
1	4.14	4.21
2	4.51	4.17
3	4.30	4.04
4	4.29	4.33
5	4.18	4.41
6	4.32	4.75
7	4.60	4.79
8	4.39	4.28
9	4.41	4.63
10	4.63	4.23
11	4.70	4.42
12	4.45	4.12
13	4.27	4.28
14	4.26	4.20
15	4.70	4.39
16	4.54	4.17
17	-	4.32
18	-	4.43
19	-	4.06
20	-	4.34
21	-	4.28
22	-	4.11
23	-	4.29

Fuente: Autor

Figura 16. Fibra de vidrio recortes



Fuente: Autor

- III. Con los recortes ya de forma lisa y compactada se procede a la impregnación en proceso de desarrollo en un molde abierto, que utiliza generalmente fibra seca en formato corto y resina; se considera desde el punto de vista de manejabilidad el uso de resina y catalizador al 1.5% para el tiempo adecuado en la impregnación aplicada por vía manual. Incorporando capa por capa del tejido natural agregando la resina suficiente y pulsando para que esta adsorba el tejido, evitando piezas de baja porosidad posible, buen acabado superficial para disminuir las burbujas en cada impregnación.

Figura 17. Proceso de fabricación de fibra de vidrio



Fuente: Autor

- IV. Una vez terminado el llenado del laminado en el molde se deja para el proceso de curado, se realiza en condiciones atmosféricas estándar por 24 horas, pasado el tiempo se procede a él desmolde del compuesto.

Figura 18. Muestra de compuesto de fibra de vidrio



Fuente: Autor

- Composición de cada material de las probetas

Establecer áreas del laminado de fibra de vidrio y fibra de fique

$$A = 1 \cdot 1 \rightarrow A = 100 \cdot 100[\text{mm}]$$

$$A = 10000[\text{mm}^2]$$

Hallar volumen de los laminados

$$V = A \cdot e \rightarrow V = 10000[\text{mm}^2] * 1[\text{mm}]$$

$$V = 10000[\text{mm}^3]$$

El valor del volumen se multiplica por el número de láminas de fibra natural o de vidrio que llevan las probetas; hallar el porcentaje de cada uno del material según su volumen. Los siguientes cálculos son para un espesor de 1[in].

$$V_{\text{Total}} = [100 \cdot 100 \cdot 25.4][\text{mm}] \rightarrow V_{\text{Total}} = 254000[\text{mm}^3]$$

$$\% \text{ fibra de fique} = \frac{V_{\text{fique}}}{V_{\text{Total}}} \rightarrow \% \text{ fibra de fique} = \frac{150000[\text{mm}^3]}{254000[\text{mm}^3]} * 100$$

$$\% \text{ fibra de fique} = 59.1$$

Porcentajes de cada probeta

Tabla 8. Porcentaje de material

Espesor [in]	% Fibra de Fique	% Fibra de Vibrio	% Resina
1	59.1		40.9
1.5	57.7		42.3
1		63.0	37.1
1.5		60.4	39.7

Fuente: Autor

- Careado de las caras

Para obtener muestras con caras totalmente planas se hace un moldeo en CNC dando como resultado unas muestras totalmente uniformes como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Muestra de los compuestos



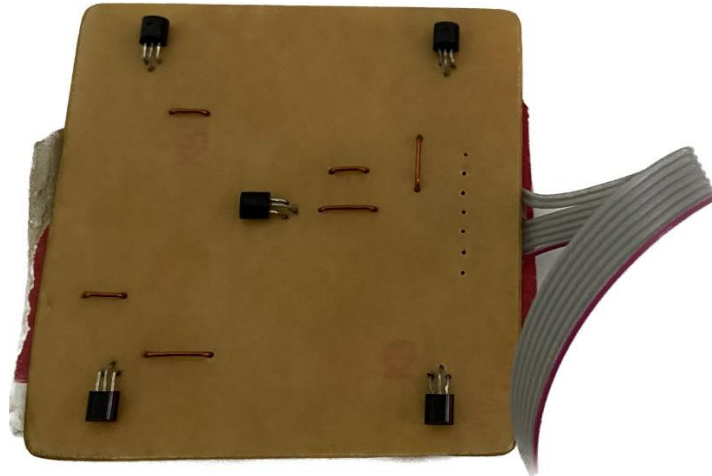
Fuente: Autor

4.3 Ensayos de medición de las pruebas térmicas

4.3.1 Prueba de conductividad térmica

- Construcción del equipo para la medición de conductividad térmica
 - Materiales
 - ✓ 5 sensores LM35
 - ✓ Arduino Mega 2560
 - ✓ Multímetro con medición de temperatura
 - ✓ Cautín
 - ✓ Rollo de estaño
 - ✓ SSR-25DA FOTEK monofásico, relé de estado sólido 25^a 220V 380V CC, control AC SSR25DA
 - ✓ Interruptores NB1 concebidos para la industria, con curvas B, C y D.
 - ✓ Vatímetro Digital AC 80V~260V 100^a, PZEM-061 Monitor de consumo
 - ✓ Interruptor ON/OFF de palanca
 - ✓ Regleta eléctrica de 6 salidas con luz piloto Blanco
 - ✓ Cable de la luz de SPT 18c
 - ✓ Resistencia eléctrica 10 cm x 10 cm
 - ✓ Baquela PCB 10 cm x 10 cm
 - ✓ Hi-Speed USB Carrier NI USB-9162
 - ✓ NI 9211
- Elaboración del equipo
 - ✓ Identificación de las conexiones del sensor de temperatura LM35
 - ✓ Se procede a soldar con estaño cada uno de los conectores en la baquela PCB conectando cada uno de ellos.

Figura 20. Sensor de temperatura LM35



Fuente: Autor.

- ✓ Identificación de la conexión entre el sensor LM35 al Arduino mega 2560
- ✓ Conexión entre la resistencia, SSR-25DA FOTEK, Interruptor ON/OFF de palanca mediante cable de la luz de SPT.
- ✓ Montaje de SSR-25DA FOTEK al Arduino mega 2560.
- ✓ Identificación y montaje de Vatímetro Digital AC 80V~260V 100^a, PZEM-061 monitorear el consumo con conexiones de SSR-25DA FOTEK e Interruptor NB1.

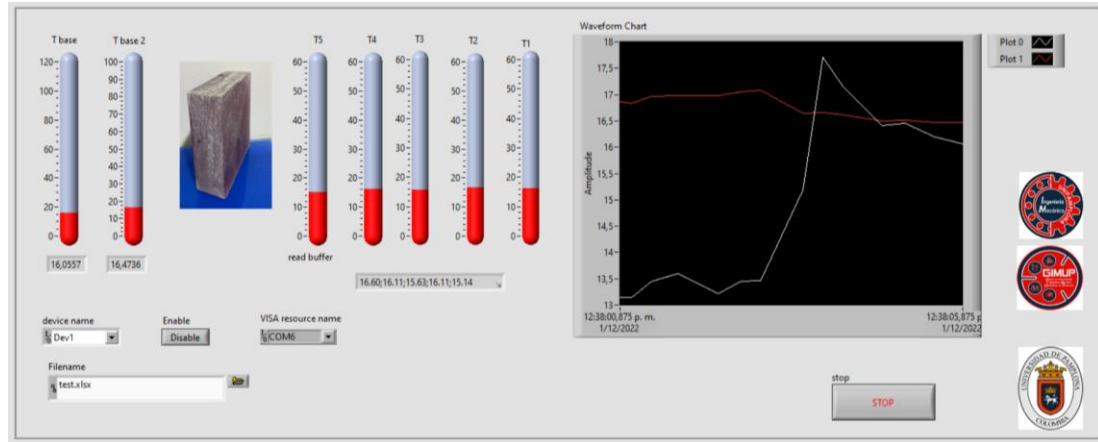
Figura 21. Equipo para medición de conductividad térmica



Fuente: Autor

- ✓ Interfaz del equipo de conductividad térmica

Figura 22. Interfaz del programa del equipo de conductividad térmica



Fuente: Autor

La interfaz proyecta datos en tiempo real de los dos termopares y los 5 sensores LM35, como se aprecia en la imagen lado izquierdo muestra el comportamiento de las temperaturas gráficamente, la programación se logra observa en el anexo 4.

- Medición de ensayos
- ✓ Los ensayos de conductividad térmica con 5 sensores de temperatura LM35, aplicando el procedimiento descrito en la norma ASTM C 177-97 [31]. El anexo 3 se muestra el esquema de la probeta durante la experimentación modo de cara la operación del aparato de cara caliente protegida para probar espécimen, cada espécimen colocado al lado del conjunto de la superficie caliente.
- ✓ Los parámetros de la prueba al dar inicio las probetas están a temperatura ambiente de 15 a 20 °C; se deja que la resistencia alcance una temperatura de estabilización iniciando con la toma de datos cada 2 voltios de consumo y obteniendo su tiempo de incrementó.
- ✓ Se ensayaron 2 probetas de biocompuesto de fibra de fique y 2 probetas de compuesto de fibra de vidrio, con el fin de reducir errores en los cálculos cada

probeta fue sometida a dos ensayos, reduciendo de una manera la desviación estándar menor al 10%.

- ✓ La propiedad a determinar es conductividad térmica en configuración tipo MAT de la fibra de vidrio y la fibra de fique.

4.3.2 Termo gravimetría

- Equipo para pruebas de termogravimetría

La estabilidad térmica de las fibras se evaluó mediante el analizador termo gravimétrico TGA 5500

- Análisis termogravimétrico (TGA)

El porcentaje de residuos y temperatura máxima de degradación de los materiales biocompuestos y compuestos, se determinaron mediante el equipo TGA 5500. Se realizaron los ensayos con muestras aproximadamente de 20 mg, como parámetros de una atmosfera inerte de nitrógeno con velocidad de flujo de 5 mL/min; una rampa de calentamiento de 10 °C/min y el rango de calentamiento es de temperatura ambiente hasta 800 °C.

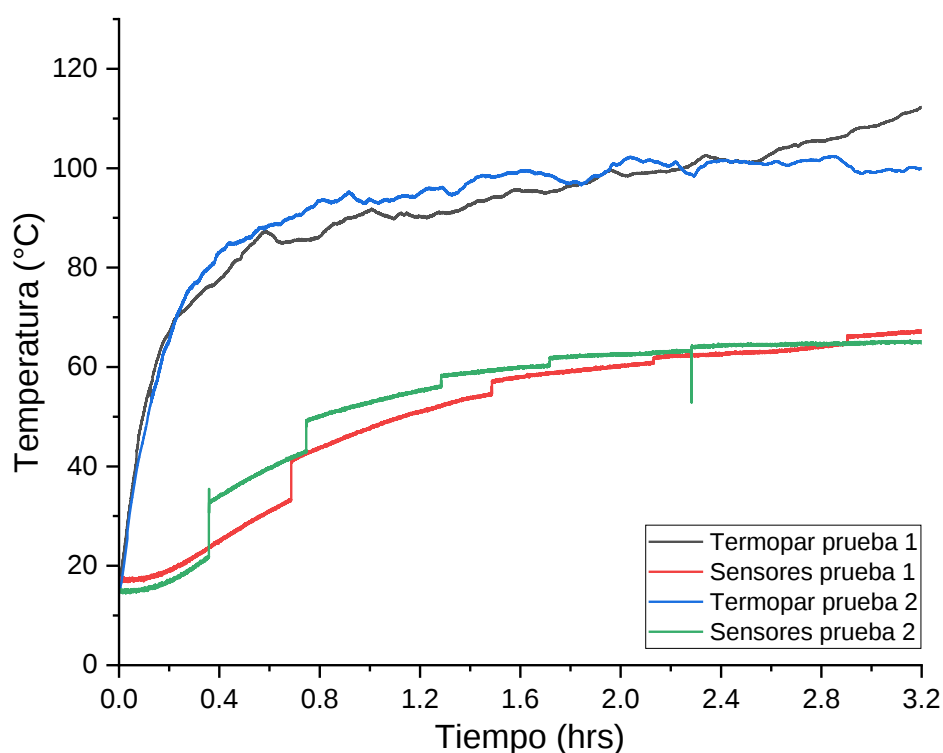
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Mediciones de la conductividad térmica

5.1.1 Compuesto de fibra de vidrio tipo MAT

- Pruebas de biocompuesto de 1.5 in

Figura 23. Gráfica del biocompuesto de 1.5 in de ensayo de conductividad térmica.



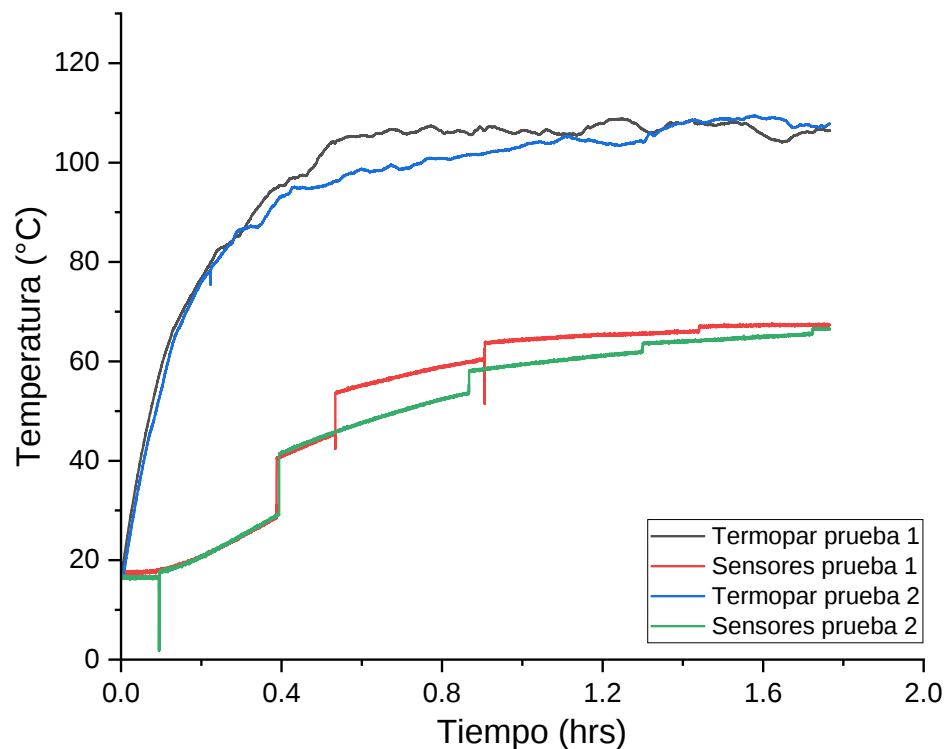
Fuente: Autor

La probeta en la prueba uno fue sometida a 3.2 horas de ensayo, duración que no fue suficiente para una estabilización de temperatura respecto al tiempo debido a condiciones climáticas por variación en la temperatura ambiente. No obstante, la prueba numero dos tiene una duración de 3.2 horas, logrando una estabilización en la temperatura a las 2.4 horas de iniciar la prueba con 64 °C (sensores) y 99°C en

la lectura de los termopares ubicados en la resistencia, manteniendo de forma estacionaria la temperatura durante 0.8 hora.

- Pruebas de biocompuesto de 1 in

Figura 24. Gráfica del biocompuesto de 1 in de ensayo de conductividad térmica.



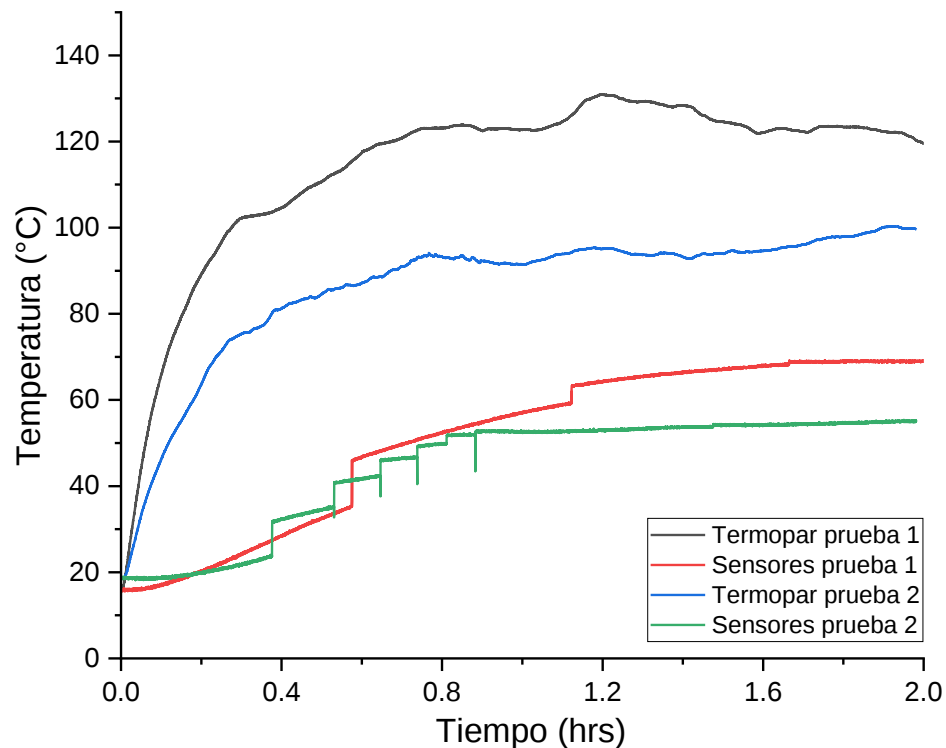
Fuente: Autor

El biocompuesto de fibra de fique fue sometido en la prueba uno a 1.8 horas, estabilizándose a las 1.5 horas con temperatura de 67 °C (sensores) y la resistencia con temperatura estable 106 °C. La prueba dos tuvo una duración de 1.8 horas, para estabilizarse tardó 1.5 horas con una temperatura de 66 °C (sensores) y 109 °C en la resistencia, las dos pruebas arrojan temperaturas cercanas la diferencia es de 1 °C en la superficie de los sensores LM35 y 3 °C de la resistencia.

5.1.2 Compuestos con fibra de vidrio tipo MAT

- Pruebas del compuesto de 1.5 in

Figura 25. Gráfica del compuesto de 1.5 in de ensayo de conductividad térmica.



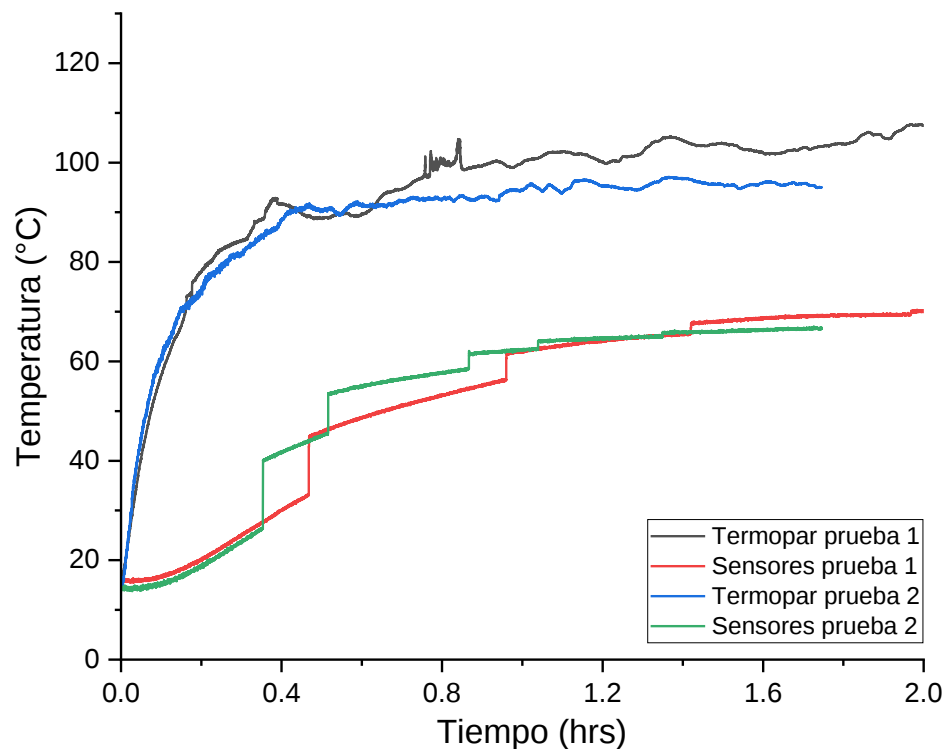
Fuente: Autor

El compuesto de fibra de vidrio sometido en la prueba uno, tardó 2 horas, con una estabilización de temperatura en la resistencia 120°C y de 67°C en los sensores LM35 con una aceptación de forma estacionaria en la temperatura respecto al tiempo en 1.4 horas. La prueba dos, finalizó a las 2 horas logrando estabilizarse a las 0.9 horas transcurridas con temperatura de 55 °C en los sensores y 100 °C en la resistencia, el delta de temperatura entre el termopar y los sensores en la prueba

uno y dos es de 53°C y 45°C, respectivamente. como resultado una diferencia de 8 °C en el compuesto de fibra de vidrio.

- Pruebas del compuesto de 1 in

Figura 26. Gráfica del compuesto de 1 in de ensayo de conductividad térmica.



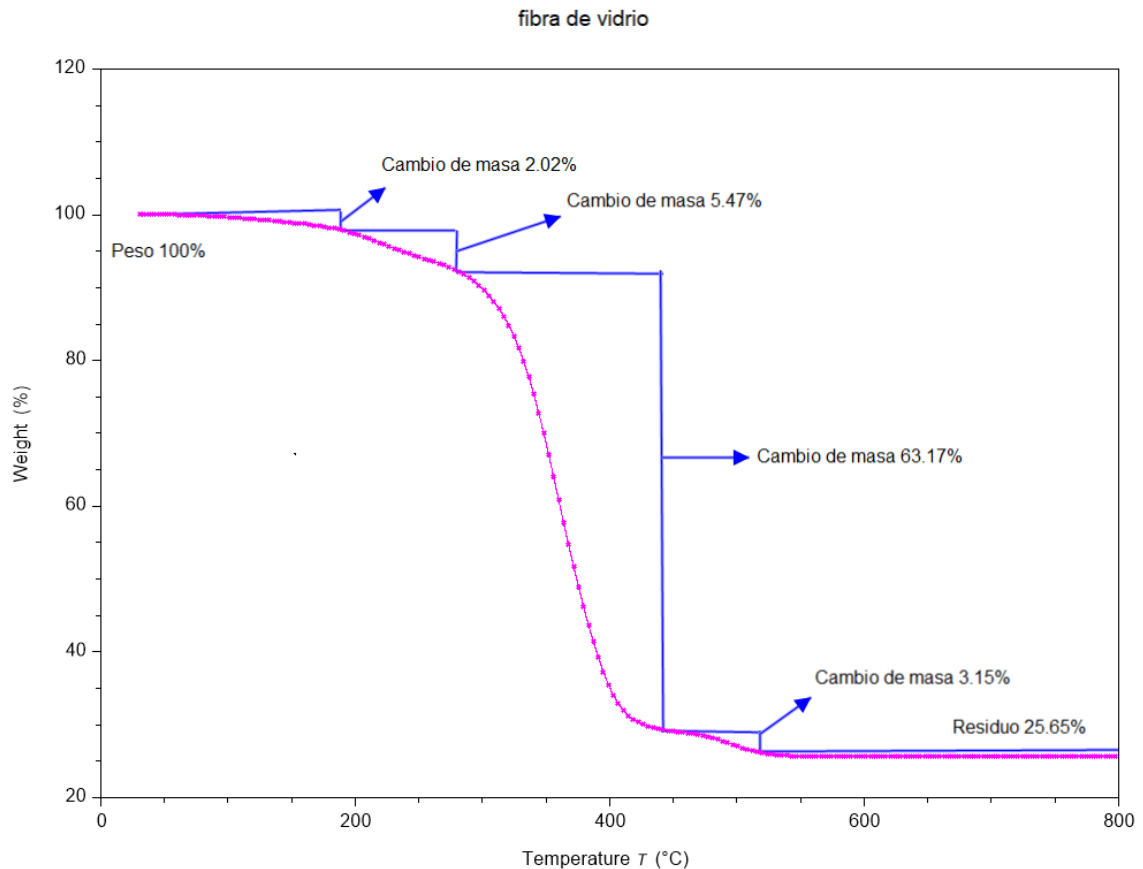
Fuente: Autor

Los ensayos sometidos a la probeta del compuesto de fibra de vidrio fueron dos, la prueba uno con una duración de 2 horas logrando la estabilización de los sensores a la 1.5 horas con temperatura de 69 °C y 102 °C en la resistencia; la prueba dos con un tiempo de 1.8 horas al finalizar el ensayo, se estabiliza en 1.1 horas con temperatura en la resistencia de 96 °C y 63 °C en los sensores, respectivamente,

los deltas de temperatura entre la cara de la resistencia y la cara posterior de la probeta es 33°C, demostrando una igualdad en los deltas de temperatura en las dos pruebas.

5.2 Análisis térmico

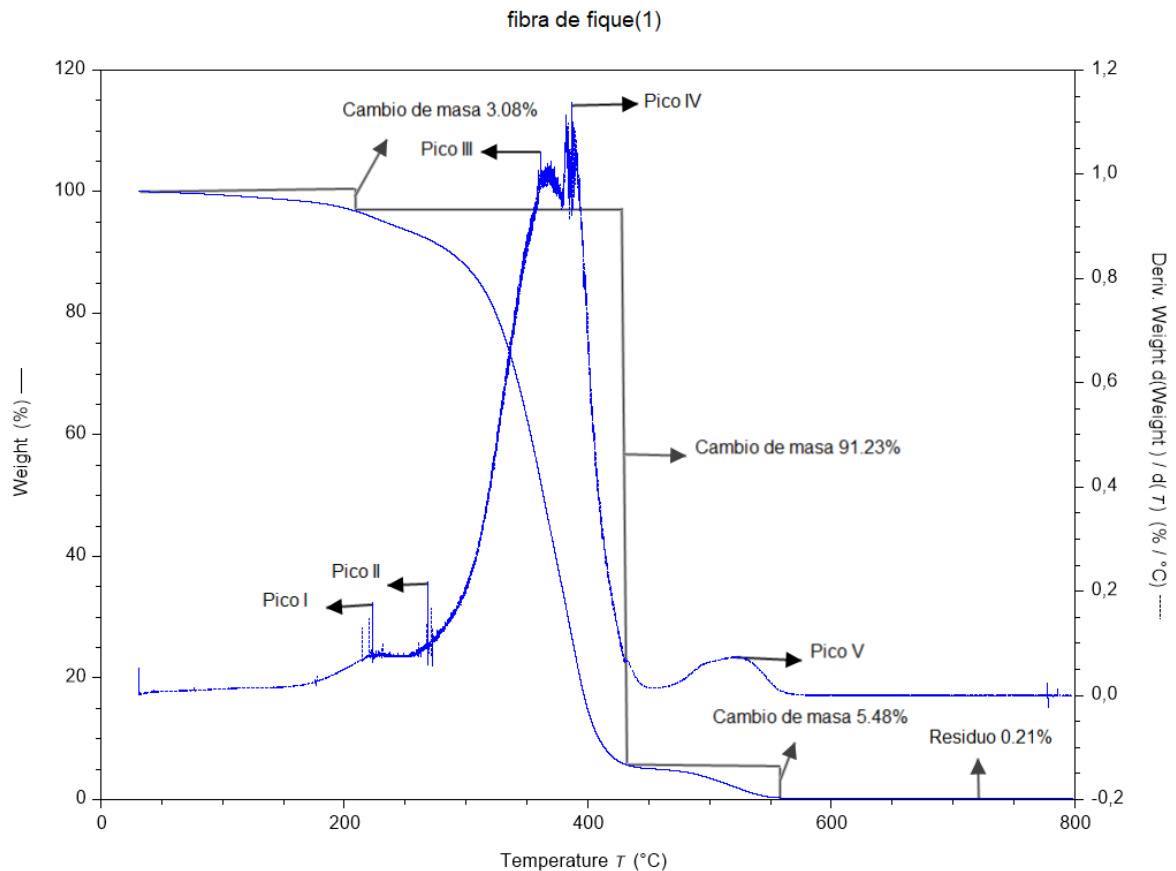
Figura 27. Grafica de termogravimetría del compuesto de fibra de vidrio



Fuente: Autor

La fibra de vidrio (figura 21), en la curva TGA muestra la primera pérdida de la masa de 2.02% entre el 31.19 °C y los 187.37 °C de temperatura. Cuando la temperatura alcanza los 278.79 °C el porcentaje de pérdida de masa es de 5.47%. A los 442.25 °C de temperatura, la pérdida de masa es del 63.17% y por último se observa una pérdida de 3.15% de masa y el residuo de fibra de vidrio es del 25.65% de la masa total inicial, debido a que la fibra de vidrio se funde a 1200 °C.

Figura 28. Grafica de termogravimetría del compuesto de fibra de fique



Fuente: Autor

En cuanto a la fibra de fique (figura 22), el TGA en los rangos de temperatura de 30.86 °C y 207.38 °C tiene una pérdida de 3.08% de su masa, la curva de DTG presenta un comportamiento poco habitual en las fibras naturales debido a que presenta cinco picos, el pico I se observó a los 203 °C en relación con el inicio de la pirolisis de la lignina; posteriormente, se observó el pico II, corresponde a la degradación de la hemicelulosa y los enlaces glucosídicos, a los 268 °C; el pico III con una temperatura de 360 °C se atribuye a la pérdida de la celulosa [43], finalmente los picos IV y V se muestran a los 387 °C y 522 °C, con reducción de masa de un 91.23% y 5.48%, respectivamente, lo cual se asocia a la degradación total de la lignina y la oxidación de residuos carbonizados de la fibra natural, el comportamiento es similar al de la fibra de iraca [35][44], en comparación a los resultados obtenidos en la investigación que tiene un similar.

5.3 Estudio comparativo de la conductividad térmica entre los compuestos de fibra de vidrio y biocompuestos de fibra de fique en distribución MAT

En la investigación se toman en cuenta tres consideraciones de pérdidas de calor suministrado del 30%, 40% y 50%, para evaluar la conductividad térmica a la muestra. el flujo de calor no es unidireccional y el porcentaje de error es de 67%, comprobado con un material de acero [36], La conductividad térmica se ve afectada con variaciones por el contenido de aire, agua, porosidad y humedad en el material influyendo en sus propiedades térmicas [37].

Tabla 9. Conductividad térmica de los compuestos y biocompuestos

Espesor [in]	Refuerzo	Conductividad térmica [W/m °C]		
		30%	40%	50%
1	Fibra de fique	1.253	1.074	0.895
1.5	Fibra de fique	1.981	1.698	1.415
1	Fibra de vidrio	1.496	1.282	1.068
1.5	Fibra de vidrio	1.357	1.163	0.970

Fuente: Autor

En la tabla los porcentajes de 30,40 y 50 son las pérdidas de calor de flujo de calor.

Tabla 10. Conductividad térmica de materiales de referencia

Material	Conductividad térmica [W/m °C]	Referencia
Resina epoxi	1.26	[38]
Resina epoxi con fibra de vidrio (40-60%)	0.3000-1.00	[39]
Epoxi con fibra de abacá	0.4300	[40]
Polipropileno con fibra de plátano	0.1166-0.5640	[41]
Resina acrílica con fibra de cáñamo	0.1150-0.4200	[42]

Fuente: Autor

Los resultados de conductividad térmica en la tabla 10 son datos de investigaciones anteriores de materiales anisotrópico de fibras naturales, ayudando a diseñar los compuestos en diferentes fibras y matriz. La conductividad del biocompuesto de fibra de fique como resultado en espesor de 1 in y 1.5 in es 0.8949 [W/m °C] y 1.415 [W/m °C], respectivamente. Además, la fibra natural de plátano del biocompuesto es comparable al biocompuesto de fibra de fique, con valores que oscilan entre 0.1166 y 0.564 [W/m °C][\[41\]](#). Los valores de la investigación fueron relativamente altos para la resina acrílica con refuerzo de fibra de cáñamo y resina epoxi con fibra de abacá [\[42\]](#) [\[40\]](#). La influencia de la conductividad térmica cambia respecto al tipo de refuerzo y matriz.

La investigación en los compuestos con fibra de vidrio en comparación a otros compuestos de la tabla 10 de fibras sintéticas, la conductividad térmica del compuesto con espesor de 1 in y 1.5 in es 1.068 [W/m °C] y 0.9695 [W/m °C], respectivamente, el material compuesto se puede cotejar con la resina epoxi con fibra de vidrio con refuerzo entre el 40% y 60%, la conductividad térmica es de 0.3 [W/m °C] a 1 [W/m °C] [\[39\]](#), cuyo valores del compuesto de fibra de vidrio estudiado en esta investiga se encuentra en ese rango, validando los datos con la resina epoxi cuya conductividad térmica es de 1.26 [W/m °C] [\[38\]](#), los valores de la investigación están en los rangos respecto a los compuestos de otras investigaciones [\[39\]](#) [\[38\]](#).

6. CONCLUSIONES

Los promedios de la conductividad térmica de la muestra del compuesto de fibra de vidrio en distribución tipo MAT obtenido experimentalmente se encuentran en el intervalo bibliográficos para este tipo de material, comprueba que el experimento diseñado cumple con los objetivos planteados y validan los resultados para la determinación de la conductividad térmica.

Se construyo del equipo de conductividad térmica, obteniendo el valor de la conductividad térmica experimental del compuesto de fibra de vidrio $k = 0.97 W/m \cdot ^\circ C$ y un valor teórico de $k = 0.3 - 1 W/m \cdot ^\circ C$ en resina epoxi con fibra de vidrio. Considerando el valor experimental es correcto, existiendo unas pérdidas de flujo de calor es del 50%.

Además, el biocompuesto de fibra de fique con los valores de conductividad térmica experimentales se encuentran en $k_{1.5in} = 1.415 W/m \cdot ^\circ C$ y $k_{1in} = 0.895 W/m \cdot ^\circ C$, respectivamente, los valores bibliográficos de biocompuestos con fibras naturales son considerando materiales anisotrópicos por el rango de conductividad térmica, se contempla que el material de biocompuesto de fibra de fique es anisotrópico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASTRO, C. y PALENCIA, A. Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique [Tesis Ingeniería Química]. Medellín (Colombia): Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, 2006.
2. WAMBUA, P., IVENS, J. and VERPOEST I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics Composites Science and Technology, 63, 2003, p. 1259-1264
3. "Compuestos de polipropileno reforzado con fibras vegetales. Una alternativa ecológica para la industria del automóvil". Revista de Plásticos Modernos, 81, 538, 467-475 (2001)
4. Morales, A. Á. R. P., Güemes, A. A., & López, A. A. F. (2019). Materiales compuestos de fibras naturales (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).
5. Navarro, O. y Ramírez, A. (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 [tesis ingeniería mecánica]. Barranquilla (Colombia): Universidad autónoma del caribe, facultad de ingeniería, 2014.
6. Eduardo, B., Camille, M. B., Pedro, R. M., & Marcela, G. C. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora Development of Ultra-Light Composite Material to Build the Platform of a Shaking Table. Ingeniería Investigación y Tecnología, 14(4), 595–611. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72269-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72269-8)
7. Besednjak, A. (2009). Materiales compuestos (Vol. 100). Univ. Politèc. de Catalunya.
8. Julián R. M, Lucas C. M, Juan C. R. R, Editorial Visión Libros, 2006 - 282 páginas
9. Hull, D. (2021). Materiales compuestos. Reverté.
10. Carlos, P., Ramos, D., Carlos, J., Vives, C., Daniel, C., Riascos, R., Carlos, J., & Vives, C. (2014). Biocompuestos en Colombia. Aportes de Diseño en la

aplicación de Biocompuestos en el contexto productivo colombiano. Universidad El Bosque, 8, 1–8.

11. D. B. Dittenber and H. V. S. Gangarao, “Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 1419–1429, 2012
12. M. R. Sanjay, P. Madhu, M. Jawaid, P. Sentharamaiah, S. Senthil, and S. Pradeep, 263 “Characterization and Properties of Natural Fiber Polymer Composites: A Comprehensive Review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 566–581, 2017.
13. M. J. John and R. D. Anandjiwala, “Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites,” *Polym. Compos.*, vol. 29, no. 2, pp. 187–207, Feb. 2008.
14. Pérez, Jorge A. el fique, su toxonomia, cultivo y tecnología. Medellin, 1974. Colina ,p 11
15. Juan Carlos Inzunza B. (2007). INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA Y CALOR (Primera Ed). Talleres Dirección de Docencia Edmundo Larenas 64-A Barrio Universitario Concepción.
16. Yunus. A. Cengel. (n.d.). Transferencia de calor y masa. tercera ed, 17–18.
17. Barrera-ríos, F. J., Ramírez-león, S. A., Sánchez-ángel, E., & Josué, A. (2021). Mecanismos de Transferencia de Calor Heat Transfer Mechanisms. 8(16), 38–42.
18. Análisis termogravimétrico (TGA) - METTLER TOLEDO. (n.d.). Retrieved March 1, 2022, from https://www.mt.com/int/es/home/library/on-demand-webinars/lab-analytical-instruments/Thermogravimetric_Analysis.html
19. Alavez, R., Chiñas, F., Morales, V., & Ortiz, M. (2012). Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. *Construction and Building Materials* 37, 425-431.
20. Mahmoud Zaghloul, M. Y., Yousry Zaghloul, M. M., & Yousry Zaghloul, M. M. (2021). Developments in polyester composite materials – An in-depth review

on natural fibres and nano fillers. *Composite Structures*, 278(July), 114698.
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114698>

21. D. Ren, X. X. Zhang, H. K. Wang, W. J. Li, and Y. Yu, "Improving thermo-oxidative degradation resistance of bamboo fiber reinforced polymer composites with antioxidants. Part I: Screening of antioxidants," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 133, no. 46, pp. 1–8, 2016
22. W. Chunhong, L. Shengkai, and Y. Zhanglong, "Mechanical, hygrothermal ageing and moisture absorption properties of bamboo fibers reinforced with polypropylene composites," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 35, no. 13, pp. 1062–1074, 2016.
23. P. Nguyen Tri and G. Villoutreix, "Non-isothermal Crystallization Kinetics of Short Bamboo Fiber-reinforced Recycled Polypropylene Composites," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 29, no. 17, pp. 2576–2591, 2010.
24. J. T. Kang and S. H. Kim, "Improvement in the mechanical properties of polylactide and bamboo fiber biocomposites by fiber surface modification," *Macromolecular Research*, vol. 19, no. 8, pp. 789–796, 2011.
25. Gomez, T. S., Navacerrada, M. A., Díaz, C., & Fernández-morales, P. (2020). Fique fibres as a sustainable material for thermoacoustic conditioning. *Applied Acoustics*, 164, 107240.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107240>
26. Marisol, G. O. (2017). ANÁLISIS TÉRMICO DEL MORTERO ADICIONADO CON FIBRA DE COCO. Universidad de Cartagena.
<http://hdl.handle.net/11227/5752>
27. Hidalgo-salazar, M. A., & Correa, J. P. (2018). Results in Physics Mechanical and thermal properties of biocomposites from nonwoven industrial Fique fiber mats with Epoxy Resin and Linear Low-Density Polyethylene. *Results in Physics*, 8, 461–467. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.025>

28. Navacerrada, M. A., Pedrero, A., & Isaza, M. (2016). CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA Y TÉRMICA DE NO TEJIDOS BASADOS EN FIBRAS NATURALES. 43, 1–10.
29. J. Ariza and P. Gañan, “Elaboración de un material compuesto a partir de espuma epoxica y fibra de Guadua Angustifolia Kunth,” Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Medellín, 2006.
30. Baena, C. C. (2018). El fique no ha muerto se está transformando. *Universitas Científica*, 20(2), 30–33. <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/7973>
31. ASTM International, “Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles,” pp. 1–4, 2004.
32. ASTM International, “Standard test method for tensile properties of single textile fibers.” pp. 1–10, 2014.
33. Gutiérrez, M., & López, D. (2014). FIBRAS TEXTILES. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
34. Resina Poliester Pre Acelerada Bolsa De 840gr + Catalizador |Retrieved November 23, 2021, from https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-580123257-resina-poliester-pre-acelerada-bolsa-de-840gr-catalizador-_JM#position=11&search_layout=stack&type=item&tracking_id=2f067bd8-1f6a-4c94-93ec-ffdb05fdb0ca
35. Mora-espinosa, W. J., & Azdr, B. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. 41(161), 479–489.
36. YANCES, W. P., & López, S. (2009). DISEÑO DE UNA INSTALACION EXPERIMENTAL PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR “U.” Departamento de Investigaciones Universidad Tecnológica de Bolívar.
37. Zhang, N., & Wang, Z. (2017). Review of soil thermal conductivity and predictive models. *International Journal of Thermal Sciences*, 117, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.03.013>

38. Electrolube. (2011). Epoxy Resin ER2074. Health & Safety, 1–3.
39. CES EduPack (Nº de versión Versión 12.2.13). (2013). Windows. ANSYS, Inc.
40. K. Liu , H. Takagi , R. Osugi , Z. Yang, Efecto de la estructura fisicoquímica de la fibra natural sobre la conductividad térmica transversal de compuestos unidireccionales de fibra de bambú de abacá, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 43 (8) (2012) , pp. 1234 – 1241
41. S. Paul , A. Boudenne , L. Ibos , Y. Candau , K. Joseph , S. Thomas, Efecto de la carga de fibra y los tratamientos químicos sobre las propiedades termofísicas de los materiales compuestos combinados de fibra de banano/polipropileno, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 39 (2008) , pp. 1582 – 1588
42. T. Behzad , M. Sain, H. Graf, Medición y predicción de conductividad térmica para compuestos reforzados con fibra de cáñamo, *Polym Eng Sci* , 47 (7) (2007) , págs. 977 – 983
43. Azwa, Z.N., Yousif, B.F., Manalo, A.C., Karunasena, W. (2013). A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials and Design*. 47: 424-442.
44. Saravanakumar, S.S., Kumaravel, A., Nagarajan, T., Sudhakar, P., Baskaran, R. (2013). Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Prosopis juliflora* bark. *Carbohydrate Polymers*. 92: 1928-1933

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de resina poliéster insaturado pre-acelerada



RESINA POLIÉSTER PP – 250

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Resina para proceso de laminación utilizando método de moldeo por aspersión y/o moldeo manual.

PROPIEDADES DE RESINA LÍQUIDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad @ 25° C, Brookfield LVF, aguja # 3 a 60 r.p.m. (cps)	400 ± 50	EQPP-CC-002
Densidad @ 25° C (g/ml)	1.11 ± 0.02	EQPP-CC-008
Color	Azul /verde	EQPP-CC-007
% de sólidos	62 ± 2	
Índice de Tixotropía	2.5 ± 0.5	EQPP-CC-003

PROPIEDADES DE CURADO

ESPECIFICACIÓN	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Tiempo de gel @ 25° C (minutos)	14 ± 2	EQPP-CC-004
Tiempo de curado @ (Minutos)	23 ± 5	EQPP-CC-005
Temperatura de exotermia @ (° C)	165 ± 20	EQPP-CC-025

PROPIEDADES MECÁNICAS

ESPECIFICACIÓN	Encapsulado	MÉTODO DE PRUEBA
Resistencia a la tensión (PSI)	8000	EQPP-CC-018
Modulo de elasticidad en tensión (PSI)	5.1 X10 ⁵	EQPP-CC-019
Tensión % de elongación	2	EQPP-CC-008
Resistencia a la flexión (Psi)	13500	EQPP-CC-022
Modulo de elasticidad en tensión @ (Psi)	5.6 X10 ⁵	EQPP-CC-076
Dureza barcol	35	EQPP-CC-023
HDT @ (°C a 264 Psi)	72	EQPP-CC-077

DESCRIPCIÓN

Es una resina de poliéster insaturada, preacelerada y tixotrópica, cuyas aplicaciones son para moldeo por aspersión y moldeo manual sin cargas. La serie PP-250 ha sido diseñada para cubrir las necesidades de los fabricantes de artículos de plástico reforzado con fibra de vidrio de aplicación en las industrias automotriz, marina, de construcción y artesanal.

CARACTERÍSTICAS

- Excelente humectación.
- Buena tixotropía que evita escurrimiento.
- Bajo nivel de contracción.
- Buen curado aun en secciones delgadas.
- Rápido desarrollo de dureza barcol que permite el recorte de las orillas en tiempos óptimos.

BENEFICIOS

- Rapidez en procesos productivos.
- Elevada productividad por molde.
- Aplicación sin escurrimientos en superficies verticales.

APLICACIONES

- Fabricación de plástico reforzado con fibra de vidrio de uso en la industria artesanal, automotriz, marina, de la construcción, etc.

Clelito Lindo lote No. 25 y 27 Manzana 2. Parque Industrial Izcaili
Col. Esperanza. Cd. Nezahualcoyotl Edo. de México C.P. 57810
Tel. 01 800 56 19 101 www.poliformasplasticas.com.mx

Fecha de Elaboración	20/04/2010
Revisión	26/04/2012
# de Revisión	1

Anexo 2. Ficha técnica de fibra de vidrio en distribución MAT



FICHA TÉCNICA

Rev.0: Octubre 2016



FIBRA DE VIDRIO MAT 450

DESCRIPCIÓN:

Fibra de vidrio fabricada a partir de filamentos de vidrio de 50mm. De longitud y distribuidos de manera aleatoria para formar un colchón regular. Ofrece una excelente compatibilidad con resinas poliéster no saturadas.

USOS:

Como material de refuerzo y material estructural. Se compone de una manta de filamentos de vidrios de alta calidad unidos entre sí con una resina de poliéster.

- Arreglo de materiales: Composites para arreglos de esquís, canoas...

-Automoción: Composites para componentes de vehículos.

-Industrial: Composite para refuerzo piezas plásticas, componentes para ordenadores, tejidos de refuerzo de estructuras, decoración, aislante...

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS:

-Excelente compatibilidad con todo tipo de resina poliéster.

-Supresión fácil de las burbujas

-Fácil de utilizar.

-Buenas propiedades mecánicas del producto final.

DATOS TÉCNICOS:

- **Ligante:** Emulsión.

- **Peso:** 450 gr/m² + 10% conforme a la norma ISO 3374.

- **Longitud de fibra:** 50 mm.

- **Contenido de humedad:** ≤ 0,20 % conforme a la norma ISO 3344.

PRESENTACIÓN:

- Se presenta en rollos para las cantidades de 5, 10 y 25 m² o superior.

- Se presenta envasado y doblado para la cantidad de 1 m².

ALMACENAMIENTO:

Los rollos deben almacenarse en su embalaje original, en un lugar seco y protegido del sol a una temperatura de entre -10 °C y 50 °C y con una humedad relativa entre 35% y 65%.

MODO DE EMPLEO:

Se recorta la cantidad necesaria y una vez acondicionada la superficie, limpia, seca y lijada, se procede al emplastado con resina de poliéster y peróxido.

INFORMACIÓN REGLAMENTARIA:

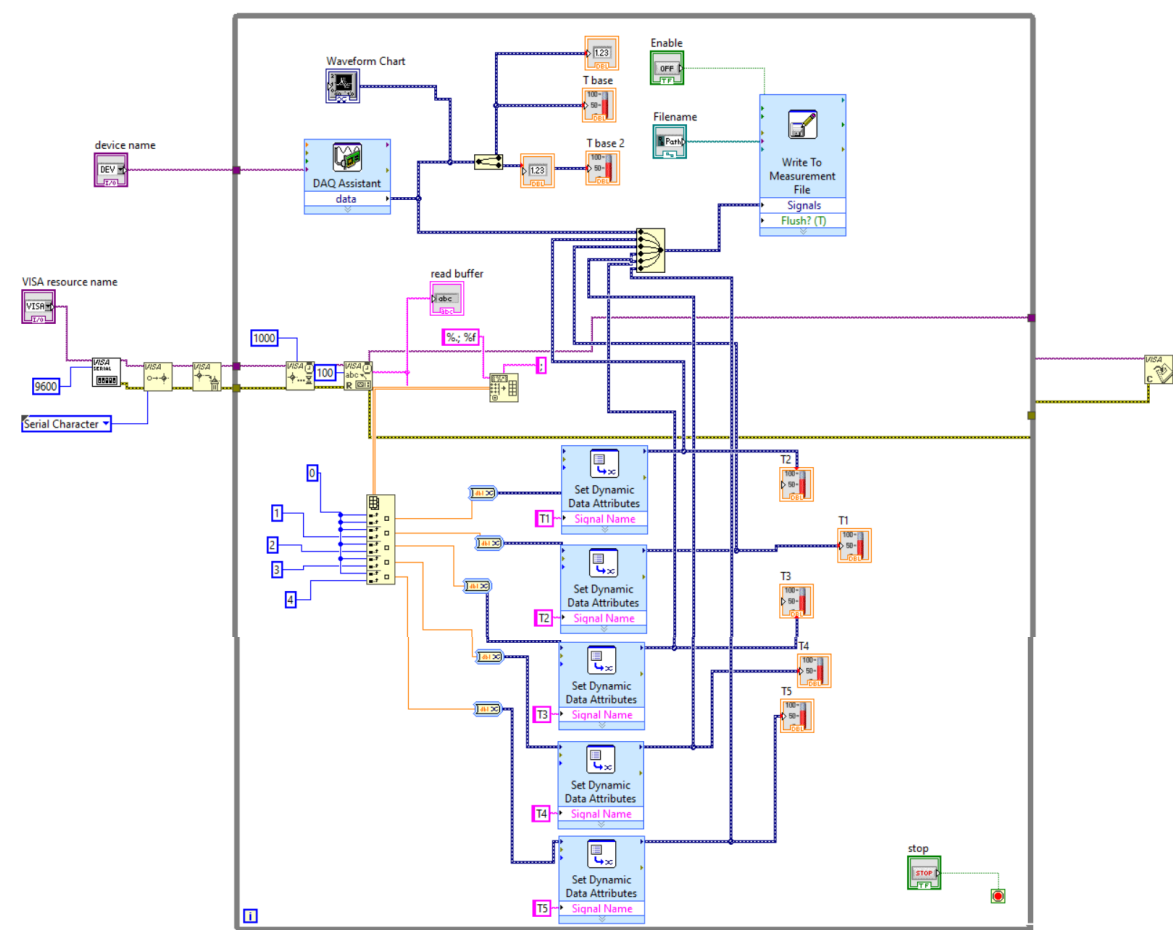
Consultar ficha de seguridad.

Eurotex no se hace responsable de sus productos siempre que no hayan sido aplicados según las condiciones y modo de empleo especificados en esta ficha. Los datos reseñados están basados en nuestros conocimientos actuales, ensayos de laboratorio y en el uso práctico en circunstancias concretas y mediante juicios objetivos. Debido a la imposibilidad de establecer una descripción apropiada a cada naturaleza y estado de los distintos fondos a pintar, nos es imposible garantizar la total reproducibilidad en cada uso concreto.

Anexo 3. elaboración de probetas



Anexo 4. Código del programa para el equipo de conductividad térmica



Anexo 6. Norma ASTM C 177-97.



Designation: C 177 – 97

Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation C 177; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method establishes the criteria for the laboratory measurement of the steady-state heat flux through flat, homogeneous specimen(s) when their surfaces are in contact with solid, parallel boundaries held at constant temperatures using the guarded-hot-plate apparatus.

1.2 The test apparatus designed for this purpose is known as a guarded-hot-plate apparatus and is a primary (or absolute) method. This test method is comparable, but not identical, to ISO 8302.

1.3 This test method sets forth the general design requirements necessary to construct and operate a satisfactory guarded-hot-plate apparatus. It covers a wide variety of apparatus constructions, test conditions, and operating conditions. Detailed designs conforming to this test method are not given but must be developed within the constraints of the general requirements. Examples of analysis tools, concepts and procedures used in the design, construction, calibration and operation of a guarded-hot-plate apparatus are given in Refs (1-41).²

1.4 This test method encompasses both the single-sided and the double-sided modes of measurement. Both distributed and line source guarded heating plate designs are permitted. The user should consult the standard practices on the single-sided mode of operation, Practice C 1044, and on the line source apparatus, Practice C 1043, for further details on these heater designs.

1.5 The guarded-hot-plate apparatus can be operated with either vertical or horizontal heat flow. The user is cautioned however, since the test results from the two orientations may be different if convective heat flow occurs within the specimens.

1.6 Although no definitive upper limit can be given for the magnitude of specimen conductance that is measurable on a

guarded-hot-plate, for practical reasons the specimen conductance should be less than $16 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

1.7 This test method is applicable to the measurement of a wide variety of specimens, ranging from opaque solids to porous or transparent materials, and a wide range of environmental conditions including measurements conducted at extremes of temperature and with various gases and pressures.

1.8 Inhomogeneities normal to the heat flux direction, such as layered structures, can be successfully evaluated using this test method. However, testing specimens with inhomogeneities in the heat flux direction, such as an insulation system with thermal bridges, can yield results that are location specific and shall not be attempted with this type of apparatus. See Test Methods C 976 or C 236 for guidance in testing these systems.

1.9 Calculations of thermal transmission properties based upon measurements using this method shall be performed in conformance with Practice C 1045.

1.10 In order to ensure the level of precision and accuracy expected, persons applying this standard must possess a knowledge of the requirements of thermal measurements and testing practice and of the practical application of heat transfer theory relating to thermal insulation materials and systems. Detailed operating procedures, including design schematics and electrical drawings, should be available for each apparatus to ensure that tests are in accordance with this test method. In addition, automated data collecting and handling systems connected to the apparatus must be verified as to their accuracy. This can be done by calibration and inputting data sets, which have known results associated with them, into computer programs.

1.11 It is not practical for a test method of this type to establish details of design and construction and the procedures to cover all contingencies that might offer difficulties to a person without technical knowledge concerning theory of heat flow, temperature measurements and general testing practices. The user may also find it necessary, when repairing or modifying the apparatus, to become a designer or builder, or both, on whom the demands for fundamental understanding

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-16 on Thermal Insulation and is the direct responsibility of Subcommittee C16.30 on Thermal Measurement.

Current edition approved Feb. 10, 1997. Published June 1997. Originally published as C 177 – 42. Last previous edition C 177 – 85 (1993).

² The boldface numbers given in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

Anexo 7. Ficha técnica del peróxido de ciclohexanona



OXIGENADOS Y DERIVADOS

Ficha de datos de seguridad
según Decreto 1496 de 2018

OXIDOL 120 PEROXIDO DE CICLOHEXANONA



SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

- 1.1 Identificador SGA del producto:** OXIDOL 120
PEROXIDO DE CICLOHEXANONA
- 1.2 Uso recomendado del producto químico y restricciones:**
Usos pertinentes: Iniciador para la polimerización de resina poliéster. Uso exclusivo usuario industrial.
Usos desaconsejados: Todo aquel uso no especificado en este epígrafe ni en el epígrafe 7.3
- 1.3 Datos sobre el proveedor:**
Oxider S.A.S.
Carrera 42 # 24 - 32
Itagüí - Colombia
- 1.4 Número de teléfono para emergencias:** 3007760342, 3184777111

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS

- 2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla:**
SGA:
La clasificación del producto se ha realizado conforme con el decreto 1496 de 2018, por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química.
Acuático agudo. 3: Peligrosidad aguda para el medio ambiente acuático, Categoría 3, H402
Corr. Cut. 1B: Corrosión cutánea, Categoría 1B, H314
Irrit. oc. 2: Irritación ocular, categoría 2, H319
Les. Oc. 1: Lesiones oculares graves, Categoría 1, H318
Perox. org. D: Peróxidos orgánicos, Categoría D, H242
STOT única 3: Toxicidad para la vías respiratorias (exposición única), Categoría 3, H335
Tox. Agud. 4: Toxicidad aguda por ingestión, Categoría 4, H302
- 2.2 Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia:**
SGA:
Peligro

Indicaciones de peligro:
Acuático agudo. 3: H402 - Nocivo para los organismos acuáticos
Corr. Cut. 1B: H314 - Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares
Irrit. oc. 2: H319 - Provoca irritación ocular grave
Perox. org. D: H242 - Puede incendiarse al calentarse
STOT única 3: H335 - Puede irritar las vías respiratorias
Tox. Agud. 4: H302 - Nocivo en caso de ingestión
Consejos de prudencia:
P210: Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar
P280: Usar guantes/ropa de protección/equipo de protección para los ojos/la cara
P301+P330+P331: EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagar la boca. NO provocar el vómito
P303+P361+P353: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua [o ducharse]
P304+P340: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración
P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado
P370+P378: En caso de incendio: Utilizar extintor de polvo ABC para la extinción
P501: Eliminar el contenido/recipiente de acuerdo con la normativa sobre residuos peligrosos o envases y residuos de envases respectivamente
- 2.3 Otros peligros que no conducen a una clasificación:**