

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA FIBRA NATURAL COMO MATERIA  
PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE UN BIOAISLANTE”**

**Presenta:**

**Giovani Alexis Pardo Camacho (240243)**

**Oscar Raúl Gualdron Villamizar (326456)**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENERIA**

**ESCUELA DE INGENERIA MECANICA**

**BUCARAMANGA SANTANDER**

**2019**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA FIBRA NATURAL COMO MATERIA  
PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE UN BIOAISLANTE”**

**Giovani Alexis Pardo Camacho (240243)**

**Oscar Raúl Gualdron Villamizar (326456)**

**Director:**

**M. Sc. Gabriel Fernando García Sánchez**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

**BUCARAMANGA SANTANDER**

**2019**

## AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias quienes, con su comprensión, colaboración, apoyo incondicional, cariño y paciencia nos enseñaron a ser mejores personas y son la razón de nuestros triunfos.

Al profesor Gabriel Fernando García Sánchez, por su colaboración, apoyo y dedicación; por hacer más enriquecedor nuestro proceso al escuchar, acompañar y orientar mediante su dirección nuestro proyecto y sobre todo por transmitírnos conocimientos que hoy hacen posible el desarrollo del mismo.

A la escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos la oportunidad de formación profesional.

A todos los amigos y compañeros con los que compartimos momentos gratos en todos estos años de estudio.

## Contenido

Introducción .....	15
Capítulo 1. Marco de Referencia.....	17
1.1. Antecedentes .....	17
1.2. Marco Teórico .....	19
1.3. Marco Conceptual y principios físicos .....	21
1.3.1. Conducción .....	22
1.3.2. Convección .....	22
1.3.3. Radiación térmica .....	22
1.3.4. Conductividad térmica: .....	22
1.3.5. Conductividad térmica en materiales no homogéneos.....	23
1.3.6. Resistividad térmica .....	24
1.3.7. Conductancia térmica (c) .....	24
1.3.8. Difusividad térmica .....	24
1.3.9. Coeficiente superficial de transmisión del calor .....	24
1.3.10. Transmitancia térmica ( $U=WS*K$ ).....	25
1.3.11. Resistencia térmica total ( $RT= 1U$ ).....	25
Capítulo 2. Caracterización Experimental .....	26
2.1. Metodología .....	26
2.1.1. Fases metodológicas.....	27
• Fase 1 selección de material .....	27
• Fase 2 selección del método de fabricación .....	27
• Fase 3 fabricación de la probeta .....	27
• Fase 4 medición de la conductividad térmica.....	27
• Fase 5 tabulación y análisis de datos.....	27
2.2. Planteamiento del problema.....	28
2.3. Justificación.....	29
2.4. Objetivos.....	30

2.4.1. Objetivo general.....	30
2.4.2. Objetivos específicos.....	31
2.5. Programación.....	32
Capítulo 3. Desarrollo Experimental.....	34
3.1. Mariz Revision documental.....	34
3.2. Materia prima Orgánica.....	34
3.2.1. Mazorca (tusa).....	34
3.2.2. Hoja de Piña.....	35
3.2.3. Cascarilla de Arroz.....	35
3.3. Método de Fabricación.....	38
3.3.1. Fabricación Manual:.....	38
3.3.2. Fabricación Mixto:.....	38
3.4. Fabricación de Probetas.....	41
3.4.1. Recolección de Materia prima.....	42
3.4.2. Desfibrado.....	43
3.4.3. Proceso de moldeado.....	47
Capítulo 4. Resultados y Discusión.....	49
4.1. Obtención de resultados de conductividad térmica.....	49
4.1.1. Resultados de conductividad térmica.....	51
4.2. Diseño Experimental.....	76
4.2.1. Análisis factorial 1.....	77
4.2.2. Análisis factorial 2.....	79
4.3. Comparación de Resultados de Conductividad Térmica.....	81
Capítulo 5. Evaluación.....	83
Capítulo 6. Conclusiones.....	85
Capítulo 7. Recomendaciones.....	86
Capítulo 8 Referencias Bibliográficas.....	87
Capítulo 9. Anexos.....	90

9.1. 1. Matriz de recisión documental ..... 90

## *Lista de Tablas*

<i>Tabla 1. Cronograma de Actividades</i>	33
<i>Tabla 2. Matriz de Materia Prima</i>	37
<i>Tabla 3. Matriz de Priorización de Método de fabricación</i>	40
<i>Tabla 4. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.004m y cantidad de aglutinante 0.2l</i>	51
<i>Tabla 5. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.004m y cantidad de aglutinante 0.2l</i>	53
<i>Tabla 6. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.004m y cantidad de aglutinante 0.4l</i>	55
<i>Tabla 7. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.004m y cantidad de aglutinante 0.4l</i>	56
<i>Tabla 8. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.2l</i>	58
<i>Tabla 9. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.2l</i>	59
<i>Tabla 10. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.4l</i>	61
<i>Tabla 11. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.4l</i>	62
<i>Tabla 12. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.6l</i>	64
<i>Tabla 13. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.6l</i>	65
<i>Tabla 14. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.008m y cantidad de aglutinante 0.8l</i>	67
<i>Tabla 15. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.0012m y cantidad de aglutinante 0.6l</i>	68
<i>Tabla 16. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.0012m y cantidad de aglutinante 0.6l</i>	70
<i>Tabla 17. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.0012m y cantidad de aglutinante 0.6l</i>	71
<i>Tabla 18. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.0012m y cantidad de aglutinante 0.8l</i>	72
<i>Tabla 19. Datos obtenidos de tablero de control con espesor de 0.0012m y cantidad de aglutinante 0.8l</i>	74
<i>Tabla 20. Datos obtenidos de conductividad térmica</i>	75
<i>Tabla 21. Datos obtenidos de conductividad térmica</i>	75
<i>Tabla 22. Diseño experimental 1</i>	76
<i>Tabla 23. Resultados análisis factorial minitab</i>	77
<i>Tabla 24. Diseño experimental 2</i>	78
<i>Tabla 25. Resultados análisis factorial minitab</i>	80
<i>Tabla 26. Comparación de conductividad térmica con aislantes térmicos convencionales</i>	81
<i>Tabla 27. Comparación de costos</i>	81
<i>Tabla 28. Matriz de Revisión documental</i>	89

## Lista de Imágenes

<i>Imagen 1. Cultivo de piña finca Terranova (lebrija)</i>	41
<i>Imagen 2. recolección de hoja de piña finca terranova (lebrija)</i>	41
<i>Imagen 3. hoja de piña</i>	42
<i>imagen 4. descortezado en laboratorios de la upb</i>	43
<i>imagen 5. cepillo proceso realizado</i>	44
<i>imagen 6. fibra de piña</i>	44
<i>imagen 7. fibra obtenida</i>	45
<i>imagen 8. proceso de secado al sol</i>	45
<i>imagen 9. aglutinante (almidón de yuca)</i>	46
<i>imagen 10. molde</i>	46
<i>imagen 11. inicio de proceso de moldeado</i>	46
<i>imagen 12. proceso de prensado</i>	46
<i>imagen 13. molde en proceso de secado al sol.</i>	47
<i>imagen 14. fibra con aglutinante</i>	47
<i>imagen 15. foto de elaboración propia (probeta)</i>	47
<i>imagen 16. probetas de fibra de piña</i>	48
<i>imagen 17. posición de las probetas</i>	49
<i>imagen 18. panel de control</i>	50
<i>imagen 19. experimento factorial</i>	76
<i>imagen 20. experimento factorial</i>	79

## Lista de Gráficos

<i>Gráfico 1 Fases metodológicas</i> _____	26
Gráfico 2 Proceso de Elaboración _____	40

## Nomenclatura

$A$	Área de transferencia.
$l$	Lado de transferencia.
$K$	Coefficiente de conductividad térmica.
$Q$	Flujo de calor.
$A$	Área de la zona de medición.
$T_5$	Temperatura de cuerpo frío.
$T_2$	Temperatura de cuerpo caliente.
$\rho$	Densidad
$m$	Masa
$e$	Espesor
$\hat{y}$	Conductividad
$\beta_{0,1,2,3}$	Coefficiente de regresión
$x_1$	Variable codificada del factor (Espesor)
$x_2$	Variable codificada del factor (Cant. Aglutinante)

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA FIBRA NATURAL COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE UN BIOAISLANTE

**AUTOR(ES):** Giovani Alexis Pardo Camacho  
Oscar Raúl Gualdrón Villamizar

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** M. Sc. Gabriel Fernando García Sánchez

### RESUMEN

Los materiales aislantes a base de fibra natural son una alternativa a utilizar en el área de la construcción, pues permiten mantener una temperatura ambiente en el interior de las viviendas sin los problemas ocasionados por los aislantes convencionales. Existen diversos productos agrícolas de alta producción en la región santandereana, de los cuales se pueden obtener fibras como alternativa en la fabricación de aislantes en nuestra región, contribuyendo al beneficio económico de la población y a la disminución de los porcentajes de contaminación. En este proyecto se estudió factibilidad de fibras naturales como material constitutivo de aislantes térmicos. Para ello se estudiaron diferentes métodos de fabricación de probetas del material, se fabricaron muestras de acuerdo al método más adecuado, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos, y se determinó su conductividad térmica a diferentes temperaturas; utilizando para ello el prototipo elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad, en el marco del proyecto de investigación "Desarrollo de materiales no tejidos a partir de residuos fibrosos textiles y agro-industriales para acondicionamiento termo-acústico". Se obtuvo un cuadro comparativo del desempeño del aislante térmico mencionado y algunos aislantes térmicos de uso común. El análisis también presenta los costos directos e indirectos de producción por metro cuadrado del aislante elaborado a partir del material estudiado.

### PALABRAS CLAVE:

Conductividad térmica, Bioaislante térmico, Agrofibras, Norma ASTM- C177.

  
Gabriel Fdo. García Sánchez  
VºBº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Design of an educational tool for the strengthening of the learning process.

**AUTHOR(S):** Giovanni Alexis Pardo Camacho  
Oscar Raúl Gualdrón Villamizar

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** M. Sc. Gabriel Fernando García Sánchez

### ABSTRACT

The insulating materials based on natural fiber are an alternative to be used in the construction area, because they allow maintaining an ambient temperature inside the homes without the problems caused by conventional insulators. There are several agricultural products of high production in the Santander region, from which fibers can be obtained as an alternative in the manufacture of insulators in our region, contributing to the economic benefit of the population and to the reduction of pollution percentages. In this project, the feasibility of natural fibers was studied as a constituent material of thermal insulators. To this end, different methods for manufacturing specimens of the material were studied, samples were manufactured according to the most appropriate method, taking into account the availability of resources, and their thermal conductivity was determined at different temperatures; Using the prototype developed by the research group GideTechMA of the university, in the framework of the research project "Development of non-woven materials from fibrous textile and agroindustry waste for thermo-acoustic conditioning". A comparison of the performance of the aforementioned thermal insulator and some commonly used thermal insulators was obtained. The analysis also presents the direct and indirect costs of production per square meter of the insulation made from the material studied.

### KEYWORDS:

  
Thermal conductivity, Thermal bio-insulating, Agrofibras, ASTM-C177 Standard  
Gabriel Fdo. García Sánchez

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## Introducción

La agroindustria se define como una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado. También se dice que constituye una parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. Entre los productos que se industrializan están: frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas; algunos se comercializan en fresco y otros son transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, por mencionar algunos. La tendencia mundial es el notable crecimiento en la generación de residuos, derivado del incremento en la generación de productos comercializables (Saval, 2012).

La piña (perolera) es un fruto tropical que se da en el municipio Lebrija Santander, sus cultivos tiene una extensión de alrededor de 40 mil hectáreas y su producción demora al cabo de 20 meses (1,5 años). En el presente proyecto se realizó la recolección de este fruto y el respectivo procedimiento para la obtención de la fibra de sus hojas, la cual fue estudiada utilizando el prototipo de medición de conductividad térmica elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad .

En este trabajo se logró obtención de un aislante térmico no convencional realizando diferentes pruebas para establecer la conductividad térmica de las probetas a diferentes espesores.

Finalmente, los resultados encontrados sirvieron para determinar si la conductividad térmica del material estudiado era menor  $0,050 \frac{W}{m \cdot K}$ , considerada la conductividad para un material que sirve como aislante térmico (Mena Novelo, Aragon, Corona, Romero, & Oliva, 2015).

## Capítulo 1. Marco de Referencia

### 1.1. Antecedentes

Según Susana Saval los residuos agroindustriales se pueden definir como materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social (Peña, Roman, & Grimaldos, 2017). Actualmente en los países en vía desarrollo se generan gran cantidad de estos residuos ejemplo se puede citar el caso de Costa Rica, donde la industrialización de los productos agrícolas genera un 86% del total de desechos de los sectores industriales. La utilización de estos residuos como una fuente alternativa de materiales de mayor valor agregado, resultaría ventajosa desde el punto de vista económico y ambiental (Organizacion de Naciones Unidas, 2010).

Estos residuos tienen un gran potencial como posibles aislantes térmicos de edificaciones, el cual es un tema de gran interés actual. De acuerdo a la asociación EUMEPS (EUMEPS, 2013). los edificios son los responsables del 40% de la demanda total de energía en Europa, y más del 60% de este consumo se emplea en climatización (calefacción y refrigeración). Un aislamiento térmico adecuado se perfila como una de las maneras más rápidas y rentables de reducir la demanda energética, al tiempo que se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, en una sociedad en la que actualmente el 80% de la energía proviene de combustibles fósiles (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018). Como ejemplo se puede mencionar el caso de las zonas altoandinas del Perú, en departamentos como Apurímac, donde se sufre por las altas heladas que

llegan entre los 0 a  $-20^{\circ}\text{C}$  en promedio, una forma de mitigar este problema ha sido el uso de aislantes térmicos a base de fibras naturales conformado por residuos orgánicos de las cosechas.

En 2017, (Peña, Roman, & Grimaldos, 2017) fabricaron con éxito un prototipo de panel teniendo en cuenta características como las dimensiones de las casas y la elaboración manual del panel. Con ello se hace evidente que el aprovechamiento de residuos agroindustriales permite la obtención de materia prima para ser utilizada en diferentes procesos y/o en la elaboración de productos con un valor agregado, amigables con el ambiente y similares a los productos obtenidos con materias primas comerciales (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018). Por esto es importante analizar el potencial de las fibras biodegradables de origen natural para su uso como aislamiento térmico de construcción de acuerdo a la norma ASTM C177, haciendo una comparación con los aislantes térmicos convencionales. Logrando así el rango normalmente asociado con el aislamiento térmico de un edificio (D'Alessandro, Asdrubal, & Schiavoni, 2015).

En Colombia, en la Universidad Nacional se realizó una investigación con cascarilla de arroz aglomerada usando almidones con el fin de obtener un material con estabilidad física adecuada, sin afectar su capacidad aislante. Para esto, se desarrolló un proceso que integró *Saccharomyces Cerevisiae* (SC) como elemento productor de porosidades en el material. Posteriormente se sometieron las probetas a pruebas de resistencia al calor, flexión y finalmente a la norma ASTM C 177, para evaluar su conductividad térmica (Gutierrez , Cadena, & Bula Silvera, 2013).

Tangjuank estudió las propiedades de aislamiento térmico de un panel hecho de triturado y hojas secas de piña unidas con látex de caucho natural. Él probó que las muestras tenían una

densidad entre 178 y 232 kg / m<sup>3</sup> y conductividad térmica entre 0.035 y 0.043W/mK (Tangjuank, 2011).

Otra investigación fue de Kumfu et al. quienes investigaron la conductividad térmica de una probeta hecha de fibras de hoja de piña y caucho natural mediante la técnica de prensado en caliente: en este caso, una densidad de 338 kg / m<sup>3</sup> la muestra mostró una conductividad térmica de 0.057 W / mK (Kumfu & Jintakosol, 2012).

## 1.2. Marco Teórico

El uso de fibras naturales abarca distintas áreas de la industria como la textil, industrial, civil entre otras. Los materiales de aislamiento térmico son aquellos que tienen una alta resistencia al paso de calor, reduciendo su transferencia, por ello estos materiales ayudan a mantener los edificios a una temperatura adecuada para mejorar el confort de las personas que lo habitan.

En regiones cuyos climas varían drásticamente son empelados para mantener un entorno idóneo, son útiles para mantener las temperaturas bajas en almacenes comerciales, en camiones, barcos y trenes destinados al transporte de productos alimenticios. Además, el aislamiento térmico se utiliza en las industrias de procesos para protección contra incendios, conservación de productos, control de temperatura y conservación de energía. Hay no menos de siete tipos diferentes de materiales de aislamiento. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas que

dependen de la estructura en la que se usan los materiales y del clima donde se emplean (Palomo, 2017).

La aplicación del aislamiento térmico no convencional es beneficioso para el sector de la construcción debido a que los lugares construidos con materiales no convencionales son de fácil sostenibilidad (principalmente si se habla de energía) y se contribuye a la no contaminación. Según el protocolo de Kioto redactado en 1997 y firmado en 2005 el objetivo global de los países firmantes era la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 5% (EUMEPS, 2013). al utilizar materiales no convencionales el sector de la construcción puede aportar un porcentaje más inmediato y duradero en disminución de los gases. Por ejemplo, en la construcción se pueden utilizar materiales de alto rendimiento que pueden maximizar la eficiencia de la estructura como lo son los bioaislantes.

Para la producción de bioaislantes se deben considerar que existen muchas variedades de fibras naturales y formas de clasificarlas. Una de las clasificaciones se refiere al lugar de su procedencia; se habla entonces de fibras largas (duras o blandas) provenientes de parte del sistema vascular de las hojas y del tallo de la planta. Las fibras cortas provenientes de semillas o frutos, y las fibras misceláneas provenientes de otras regiones de la planta (Gomez, Jarones, & Gañan, 1998).

Hay muchas formas de fabricar un bioaislantes, una de estas es elaborar el diseño de una probeta teniendo en cuenta 2 factores que son dimensiones del recinto y fabricación manual de la probeta. Para tomar las mediciones de conductividad térmica se usa un termómetro láser y una fuente de calor (cocina eléctrica). El procedimiento consiste en prender una cocina y colocar una

bandeja de aluminio para que el calor se distribuya uniformemente, hasta que llegue a una temperatura estable, y se mide la temperatura de la bandeja, luego se coloca el panel de prueba y se toma los tiempos respectivos, finalmente cuando concluye el tiempo se toma la temperatura en la cara superior del panel y también se mide la conductividad del material a base de agro fibras haciendo la medición a través de la ley de Fourier

Ley de Fourier:

$$Q_{cond} = \frac{KA(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$Q_{cond} = \frac{-KA \Delta T}{\Delta x}$$

donde  $Q_{cond}$ , es el Flujo de calor (W); K, es la conductividad térmica; A es el área de transferencia;  $T_1 - T_2$ , es la diferencia de temperatura; y  $\Delta x$  es el espesor de la pared o aislante (Peña, Roman, & Grimaldos, 2017).

En este trabajo evaluó el comportamiento de la fibra de la hoja de piña como otra alternativa de agrofibra como materia prima de bio aislante, determinando su costo por metro cuadrado y conductividad térmica.

### 1.3. Marco Conceptual y principios físicos

Las formas principales de transferencia de calor se clasifican en conducción, convección, y radiación.

### 1.3.1. Conducción

Consiste en la transferencia calor por contacto molecular entre dos cuerpos, en donde el flujo energético va de la región de mayor a menor temperatura.

### 1.3.2. Convección

Es el mecanismo de transferencia de calor producido por el movimiento de masa o un fluido, en donde puede ser natural si solo se produce por la diferencia de densidades de la materia, o forzado cuando la materia es obligada a moverse.

### 1.3.3. Radiación térmica

se le conoce así a la onda electromagnética producida por la superficie de un cuerpo excitado térmicamente. Este tipo de radiación abarca todas las direcciones, adicional en el tiempo que esta incide en otro cuerpo, puede absorberse, transmitirse o reflejarse.

El procedimiento de mayor importancia en la transmisión de calor en la edificación es la conducción mediante la variedad de elementos que hacen parte del cerramiento de una edificación.

La ley fundamental de la conducción comprueba empíricamente que la velocidad del flujo calorífico ( $q$ ) mediante un cuerpo sólido, es directamente proporcional a la superficie ( $A$ ) y a la resta de temperaturas entre dos caras opuestas proporcional al espesor. Dicha ley puede manifestarse remplazando la proporcionalidad por una constante conocida como conductividad térmica, que está relacionada únicamente con la composición de cada material.

### 1.3.4. Conductividad térmica:

esta propiedad muestra la mayor o menor simplicidad con la que cierto elemento genera la transmisión de calor. Está directamente relacionada con la composición química que hay en cada una de las sustancias, de su estado sólido, líquido o gaseoso, de su estructura cristalina y de la temperatura y presión a la que se encuentra sometido. Adicional afecta si el material es o no

homogéneo, ya que, de no ser así, la conductividad cambia en un mismo material. Los sólidos tienen mejores características para ser mejores conductores que los líquidos y a su vez estos son mejores que los gases. Ya que dependen de la mayor o menor longitud entre las moléculas presente en cada uno de los estados.

la cantidad de calor está representada en el coeficiente de conductividad térmica, y esta es tomada de una muestra de extensión infinita, caras planas y paralelas y una unidad de espesor, tiempo y área, cuando hay una diferencia entre las caras de uno, la conductividad no varía por presión, sin embargo, si varía en relación a la temperatura.

### 1.3.5. Conductividad térmica en materiales no homogéneos

Los materiales utilizados como aislantes son sustancias homogéneas, algunos de estos no tienen conductividad isótropa como consecuencia su estructura fibrosa, como lo son el caso de la madera y el asbesto entre otros. En el caso de otros materiales solo es posible considerar una conductividad térmica aparente, que se origina por ausencia de homogeneidad, ya sea por lo porosa de su estructura, como son el corcho, la lana de vidrio, o las diferentes sustancias que los integran, un ejemplo es un muro que contiene capas de diferentes materiales, dependiendo de su estructura, porosidad y densidad.

Para materiales no isótropos es importante conocer el coeficiente de conductividad térmica conociendo la propagación del calor, determinando si hay pérdidas en la transferencia de calor, en cambio en materiales permeables al aire, el delta de temperatura produce movimientos de convección, dependiendo de la particularidad de su forma geométrica, y no despreciando la propagación del calor.

En el caso de materiales susceptibles a la absorción de agua, es necesario reconocer si se encuentra en estado seco o húmedo.

### 1.3.6. Resistividad térmica

La resistividad térmica es un cociente que radica que tan sucesivamente pasa el calor por diferentes materiales, para el caso de una pared hecha con variedad de capas, en donde las resistencias a la transferencia de calor pueden ser obtenidas mediante cálculos por separado, y determinarse la resistencia del conjunto es la totalidad de las resistencias parciales calculadas, y se mide en  $\frac{(K*m)}{W}$ .

### 1.3.7. Conductancia térmica (c)

Es la medida de la transferencia de calor transmitida a través del área de un material de espesor L, dividido por diferencias de temperatura entre caras calientes a condiciones estacionarias.

### 1.3.8. Difusividad térmica

Es una propiedad física que relaciona el calor específico, la densidad y la conductividad térmica a presión constante.

### 1.3.9. Coeficiente superficial de transmisión del calor

Es la transmisión térmica hacia o desde una superficie en contacto con un fluido como consecuencia de la convección, radiación, y conducción, por unidad de área, dividido por la diferencia de temperatura entre las dos superficies del material, y temperatura del fluido seco.

$$h_t = h_i + h_e$$

$h_i$ : coeficiente de la superficie interior del material.  $h_e$ : coeficiente de la superficie exterior del material. El coeficiente superficial de transferencia de calor depende del movimiento del aire, temperatura ambiente, rugosidades de la superficie.  $RT = R_{si} + R_{se}$  En donde la resistencia superficial total producida (RT) es igual a la suma de la resistencia de la superficie interna ( $R_{si}$ ) y la resistencia de la superficie externa ( $R_{se}$ ).

### 1.3.10. Transmitancia térmica ( $U = \frac{W}{S \cdot K}$ )

Es la cantidad de energía que puede pasar, en unidad de tiempo, en la superficie de un elemento constructivo plano paralelo.

Diferenciándose la transmitancia de la conductancia en que la transmitancia es medida en dos ambientes en el mismo lado de la muestra.

### 1.3.11. Resistencia térmica total ( $R_T = \frac{1}{U}$ )

La totalidad de las resistencias superficiales, y la resistencia que térmica que oponen los materiales de la pared es la inversa al coeficiente total de transferencia de transferencia de calor.

## Capítulo 2. Caracterización Experimental

### 2.1. Metodología

Este trabajo estudió la conductividad térmica a diferentes temperaturas de un aislante térmico a base de fibra natural, con el fin de comparar el desempeño de este producto con el de los aislantes térmicos convencionales. Para ello este trabajo se desarrolló en cinco fases metodológicas.



Gráfico 1 Fases metodológicas

### 2.1.1. Fases metodológicas

- Fase 1 selección de material

Se escogió la fibra natural con el cual se llevó (se desarrolló) acabo las pruebas.

- Fase 2 selección del método de fabricación

Se seleccionó el método de fabricación de las probetas teniendo en cuenta los equipos, el costo y el material disponible a partir de lo investigado en el método anterior.

- Fase 3 fabricación de la probeta

A partir del método seleccionado, se fabricaron probetas que cumplieran con los requerimientos de la norma ASTM c-177 para la medición de conductividad térmica.

- Fase 4 medición de la conductividad térmica

A partir del prototipo elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad Pontificia Bolivariana, el cual desarrollo el proyecto de investigación “Desarrollo de materiales no tejidos a partir de residuos fibrosos textiles y agroindustriales para acondicionamiento termo-acústico” se midió la conductividad térmica de las muestras fabricadas a diferentes temperaturas.

- Fase 5 tabulación y análisis de datos

Se analizó y se comparó los datos obtenidos y sus costos con otros tres aislantes térmicos convencionales.

## 2.2. Planteamiento del problema

Hoy en día en cada rincón del mundo se habla de llegar una era de sostenibilidad, lo cual según ONU consiste en la satisfacción de “las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1987). La latente preocupación por temas como la energía y el calentamiento global como causas principales de las problemáticas ambientales hace que cada país se reinvente en estrategias que ayuden a potenciar los recursos en favor del planeta sin terminar con los mismos.

En Colombia, el IDEAM realizó un balance de la contaminación de CO<sub>2</sub> que los colombianos han emitido a la atmósfera en los últimos 20 años y especifica la cantidad producida en el 2012 por cada departamento; de acuerdo a lo cual Santander ocupa la quinta posición entre los que más contaminan en el país, por detrás de Antioquia, Meta, Caquetá y Valle del Cauca (Vanguardia liberal, 2016). Este estudio expone que uno de los sectores que generaron mayor producción de contaminación fueron el minero y el energético, debido a ello el Plan Departamental del Cambio Climático para Santander tiene la finalidad de disminuir factores como el uso inadecuado de la energía. Edwin Ortiz, vocero del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, afirmó que Santander puede mejorar su capacidad de adaptarse a los aumentos de temperatura y reducir los indicadores de gases del efecto invernadero causantes del calentamiento global. "La visión en Santander para el 2030 es que sea un departamento con gente consciente, educada y comprometida para lograr que el territorio esté preparado y que luche contra el cambio climático", expresó (Moreno, 2017).

Una de las estrategias viables para la disminución de los gases de efecto invernadero es la construcción de edificaciones con sistema de refrigeración y calefacción que no generen un alto consumo energético. Los aislantes térmicos contribuyen a la solución de este problema, disminuyendo el consumo sin afectar el confort en las viviendas (Palomo, 2017). Sin embargo los aislantes comunes (espumas plásticas, espumas vidrios, lana mineral y etc.) generan problemas al emplearse ya que además de sus costos, se consume grandes cantidades de energía en su fabricación y emiten gases tóxicos y partículas que se adhieren a la piel siendo perjudiciales al cuerpo humano y contaminado el medio ambiente; por ello se hace necesario encontrar alternativas de solución que disminuyan la afectación generada por el consumo excesivo de energía eléctrica, en la bioconstrucción se encuentra una de estas alternativas ya que en ella se utilizan materiales de origen vegetal como lo son los bioaislantes fabricados a base de coco, piña, lana y fique etc.

Debido a lo anteriormente planteado, en este proyecto se investigó la factibilidad del uso de un material como bio-aislante, a partir de la medición de su conductividad térmica, utilizando para ello un equipo desarrollado en la universidad de acuerdo a la normal ASTM C-177 desarrollado en el proyecto “Desarrollo de materiales no tejidos a partir de residuos fibrosos textiles y agroindustriales para acondicionamiento termoacústico”.

### 2.3. Justificación

En el área de la construcción se están utilizando aislantes térmicos como una alternativa para disminuir el consumo energético al utilizar sistemas de calefacción y aire acondicionado,

pero utilizar estos aislantes conlleva un ahorro no tan significativo, teniendo en cuenta el daño ambiental al momento de su elaboración. Por tal motivo se busca realizar un estudio que brinde una solución al problema del uso de aislantes térmicos sintéticos utilizando fibras naturales a base de materiales orgánicos.

En la región santandereana se cuenta con una variedad de materiales orgánicos, gracias a su diversidad de cultivos. Debido a ello existe una gran disponibilidad de materiales orgánicos considerados desperdicios o bagazo, derivado de otros procesos, que podría ser utilizado en aplicaciones beneficiosas para la sociedad. A nivel mundial se han estudiado diferentes materiales orgánicos alternativos, como la fibra de fique, fibra de coco, entre otros, que han resultados efectivos como aislantes térmicos. Esto motiva a la investigación de la factibilidad del uso de residuos de la piña en este tipo de aplicaciones. Tema que será abordado en el proyecto presentado en este documento.

## 2.4. Objetivos.

### 2.4.1. Objetivo general

Estudiar la factibilidad del uso como aislante de un material fabricado a partir de una fibra natural por medio de la medición y análisis de su conductividad térmica. Utilizando para ello el prototipo elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad, en el marco del proyecto de investigación “Desarrollo de materiales no tejidos a partir de residuos fibrosos textiles y agroindustriales para acondicionamiento termoacústico”.

#### 2.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la revisión de los últimos estudios referentes a los temas: aislantes térmicos naturales, medición de conectividad térmica de aislantes y métodos de fabricación de muestras para la medición de la conductividad térmica.

**Resultado:** documento resumen de los trabajos encontrados en el tema

**Indicador:** mínimo 7 trabajos consultados sobre el tema.

- Seleccionar una fibra natural de la región que pueda ser utilizada como aislante térmico y un método de fabricación de las probetas de acuerdo a la disponibilidad de recursos.

**Resultado:** matrices de selección del material y del método de fabricación

**Indicador:** informe del proceso de selección llevado a cabo.

- Fabricar las probetas para el estudio de la fibra natural como aislante térmico, teniendo en cuenta los costos y factibilidad del proceso.

**Resultado:** probeta seleccionada y fabricada de acuerdo a las necesidades de medición del estudio.

**Indicador:** la probeta seleccionada cumplirá con los requerimientos dimensionales y de consistencia del proceso de medición y seguirá el proceso de elaboración recomendado por la literatura actual sobre el tema.

- Determinar la conductividad térmica de muestras elaboradas a partir de un material natural de acuerdo a la norma ASTM C-177 .[5].

**Resultado:** tabla de datos de conductividad térmica a diferentes temperaturas.

**Indicador:** descripción del proceso de medición de la conductividad térmica de acuerdo a la norma ASTM C-177.

- Evaluar el desempeño del material estudiado como aislante térmico tomando como base su conductividad térmica.

**Resultado:** tabla de comparación de resultados de conductividad térmica del material estudiado y dos materiales aislantes de uso común.

**Indicador:** comparación con la conductividad de dos aislantes térmicos de uso común (lana de roca y poliestireno).

## 2.5. Programación

Una vez planteados los objetivos es posible dar una acción racional al proceso de estructuración de las acciones para la ejecución del “**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UNA FIBRA NATURAL COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE UN BIOAISLANTE**”, a modo que fue posible planificar el proyecto de acuerdo con las metas y los recursos que se disponían mostrando de forma clara y organizada el procedimiento para su construcción.



## Capítulo 3. Desarrollo Experimental

### 3.1. Matriz Revisión documental

Se realizó la revisión de los últimos estudios referentes a los temas: aislantes térmicos naturales, medición de conductividad térmica de aislantes y métodos de fabricación de muestras para la medición de la conductividad térmica

Se expone una síntesis de 8 publicaciones realizados sobre el tema primario de esta investigación, la fabricación de aislantes térmicos a base de fibras naturales, resaltando los recursos naturales que pueden ser utilizados como materia prima, para así establecer los criterios de selección de la que se usara en nuestro trabajo de investigación.

**(ver Matriz de Revisión Documental en Anexo 1)**

Según las publicaciones del cuadro anterior los criterios que tuvimos en cuenta para la selección de nuestra materia prima son:

- Conductividad Térmica
- Material natural abundante en la región o localidad.
- Costo
- Aprovechamiento de la materia prima reciclada.

### 3.2. Materia prima Orgánica

#### 3.2.1. Mazorca (tusa)

Residuo producido luego de desgranar la mazorca del maíz. Existen diversos ejemplos en el uso de este subproducto agrícola, en la mezcla de morteros, concediéndoles ligereza y poder aislante. El hecho de incluir la cal en la mezcla de mortero evita el ataque de insectos o parásitos.

### 3.2.2. Hoja de Piña

Las hojas de planta de piña poseen una configuración en espiral siendo las hojas centrales las jóvenes y las exteriores las adultas y son un desecho en la industria agrícola de vida las cuales se pueden reciclar para alargar su ciclo de vida útil ya que para eliminar la hoja de piña son necesarios componentes químicos que afectan el ambiente.

### 3.2.3. Cascarilla de Arroz

Es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras, es una alternativa como materia prima en distintas aplicaciones en construcción.

Los criterios que tuvimos en cuenta para la selección de la materia prima son:

- **Conductividad Térmica:** Es una propiedad esencial para los cálculos de balance de energía, en aplicaciones de transferencia de calor y selecciones de materiales para diseño bioclimático, un material que tiene una buena conductividad térmica es un buen conductor de calor y uno con baja conductividad térmica es un mal conductor de calor, y se conoce como aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica de  $0,050 \text{ W/mK}$  y una resistencia mayor a  $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Es por ello que la materia prima más conveniente para este proyecto debe ser la que posea menor conductividad térmica (Encinales Vargas & Arcila Quiroga, 2018).
- **Productividad en la región:** Esta tiene que ver con la eficacia y la eficiencia con que se usan los recursos y se expresa como un por ciento de la producción entre los factores.

- Costo: Puede ser caracterizado como la suma de todos los gastos que se requieren en el proceso productivo de un bien o servicio, de la fase inicial al estado de consumo. Los principales costos están relacionados con: – Materias primas e insumos.
- Densidad específica: Masa de material que existe por unidad de volumen. A mayor densidad y menor peso mayor conductividad térmica (Wadel, 2003).

En la siguiente matriz es posible analizar los criterios de selección para la escala de valoración, donde se realiza la priorización de cuál es la mejor alternativa a usar como materia prima teniendo en cuenta variables comparativas (Conductividad térmica, costo, densidad específica y productividad en la región).

Conductividad térmica: Entre las 3 agrofibras seleccionadas para la matriz la hoja de piña cuenta con una conductividad térmica de: 0.035–0.042 W/mK lo cual nos permite evidenciar que su valor es menor al de la Mazorca (0.101 W/mK) y la cascarilla de arroz(0.0464–0.566 W/mK). (D'Alessandro, Asdrubal, & Schiavoni, 2015).

Costos: Para evaluar los costos de cada agro fibra se tuvo en cuenta no solo su valor comercial; la mazorca es un producto que podemos obtener en diferentes regiones del país con un valor de \$2'400.000 Tonelada (Corabastos, 2019) y se da en diferentes periodos del año, la cascarilla de arroz tiene un valor de \$900.000 a un \$1.000.000 Tonelada (Federacion Nacional de Arroceros, 2009), y la hoja de piña hace parte de los desechos agrícolas producidos al momento de cosechar el producto con un valor entre \$ 0 a \$200.000 Tonelada .

Densidad específica: Entre las 3 agrofibras seleccionadas para la matriz la hoja de piña cuenta con una densidad específica de: 178-232 kg/m<sup>3</sup> lo cual nos permite evidenciar que su valor es similar al de la Mazorca (171–334 Kg/m<sup>3</sup>) y mayor que la cascarilla de arroz (154 kg/m<sup>3</sup>). (D'Alessandro, Asdrubal, & Schiavoni, 2015).

Productividad en La región: las cosechas de piña por lo general pueden realizarse dos veces al año, la primera al cabo de 15-24 meses, la segunda partiendo de los brotes laterales al cabo de otros 15-18 meses (INFOAGRO, 2019) en la región de Santander se produce en un área de 40.000 (ha) (Vanguardia Liberal, 2018) , las cosechas de arroz también se dan solo en 2 periodos al año por la diferencia de los ciclos productivos en el país (BANCOLOMBIA, 2018) pero en la región de Santander se produce en un área tan solo de 766 (ha) (Federacion Nacional de Arroceros, 2009), las cosechas de mazorca en Santander son de 20.000 (ha) (Vanguardia Liberal, 2008)

Tabla 2 Matriz de Materia Prima

	0 = No hay evidencia	1 = Deficiente	2 = Aceptable	3 = Regular	4 = Bueno	5 = Muy bueno
Producto Variables						
Conductividad térmica			2	4	3	
Costo		4		5	2	
Densidad específica		4		4	3	
Productividad en la región		3		4	3	
<b>TOTAL</b>		13		<b>17</b>	11	

✓ Con la matriz de priorización se puede concluir que la mejor alternativa como materia prima es la hoja de piña.

### 3.3. Método de Fabricación

Existen diversos métodos para tener en cuenta al momento de fabricar un aislante térmico. Los medios ecológicos con material reciclable o productos orgánicos tienen cada vez más fuerza como alternativa de materia prima, es por eso que a su vez también deberían ser de mayor interés los métodos de fabricación que tengan un índice menor de impacto negativo medioambiental.

#### 3.3.1. Fabricación Manual:

En este método de fabricación se extrae la fibra de la materia a través de espátula para retirar la capa de celulosa, se peina con un cepillo de cerdas de alambre duro aplicando fuerza, el cual separa las fibras y eliminando el exceso de celulosa, se realiza un enjuague con agua por un tiempo de dos horas para eliminar impurezas, posteriormente se exponen las fibras a secado al sol, se cortan en tiras de 30 cm a las cuales se le añade un aglutinante, se llena un molde (de 30 x 30 cm<sup>2</sup> en nuestro caso) y se exponen a secado al sol durante 1 día.

#### 3.3.2. Fabricación Mixto:

En este método de fabricación se corta la materia prima a un largo máximo de 15 cm luego se sumerge en una solución de ácido clorhídrico concentrada al 5% durante 6 horas. se extrae la fibra a través de una maquina descortezadora, se realiza un enjuague por un tiempo de dos horas para eliminar impurezas, se expone al sol para secado, se cortan en tiras, las acules se le añade un

aglutinante para así llenar un molde (de 30 x 30 cm<sup>2</sup> en nuestro caso) y se expone el molde a un secado en horno a una temperatura de 45° celcius x 8 horas (Palomo, 2017).

### 3.3.3 Fabricación por maquinaria y sustancias químicas:

En este método de fabricación, se sumerge la materia prima en una solución de ácido clorhídrico al 5%, se extrae la fibra a través de una máquina descortezadora, se pasa por un proceso de secado, se corta las fibras en tiras, se mezcla la fibra con un aglutinante sintético, se coloca en moldes y se prensa con una máquina que retira el exceso de celulosa y aglutinante, para terminar con un proceso de secado en horno durante 8 horas (Palomo, 2017).

Los criterios que tuvimos en cuenta para la selección del método de fabricación son:

- Costo: Puede ser caracterizado como la suma de todos los gastos que se requieren en el proceso productivo de un bien o servicio, de la fase inicial al estado de consumo. Los principales costos están relacionados con: – Materias primas e insumos.
- Impacto ambiental: es el efecto que produce la actividad o producto sobre el medio ambiente.
- Factibilidad: La disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo el producto.

En la siguiente matriz es posible analizar los criterios de selección para decidir cuál es la mejor alternativa como método de fabricación de un aislante térmico.

Impacto ambiental: Entra los métodos de fabricación el método manual es el que genera menor daño al ambiente ya que este trabajo se enfoca al uso de materiales y procesos que aportan a la gestión sostenible del medio ambiente y los recursos naturales para el crecimiento económico.

Costos: al evaluar los costos de implementación de cada método se determinó que el método manual implicaba menores gastos al no usar maquinaria ni sustancias.

Factibilidad: se analizó cuál de los tres métodos era el más factible a realizarse por los estudiantes teniendo en cuenta los recursos materiales y económicos con los cuales se contaba.

Tabla 3 Matriz de Priorización de Método de Fabricación

0 = No hay evidencia	1 = Deficiente	2 = Aceptable	3 = Regular	4 = Bueno	5 = Muy bueno
----------------------	----------------	---------------	-------------	-----------	---------------

Producto	Fabricación con Maquinaria y sustancias químicas	Fabricación Manual	Fabricación Mixta
Variables			
Impacto ambiental	1	5	2
Costo	2	4	3
Factibilidad	3	4	4
<b>TOTAL</b>	6	13	9

✓ Con la matriz de priorización se puede concluir que la mejor alternativa como método de fabricación para el aislante térmico elaborado en este proyecto es el método manual.

### 3.4. Fabricación de Probetas



Gráfico 10 Fabricación de Probetas

Gráfico 2 Proceso de Elaboración

### 3.4.1. Recolección de Materia prima



Imagen 1 Cultivo de piña finca Terranova (Lebrija)

los mayores productores de piña perolera de la región se encontró un dato importante solo se utiliza el 45 % de materia producida en un cultivo de piña, es decir, solo se usa la fruta como elemento de venta, la hoja y la penca se queman y se desechan (Fuerman, 2017), los cuales requieren la utilización de pesticidas para su total eliminación.



Imagen 2 Recolección de hoja de piña finca Terranova (Lebrija)

Según estadísticas del comité departamental de cafeteros, Santander es líder en la producción de piña con una producción mayor de 2800 hectáreas. (Caracol Radio, 2016). Entre los beneficios de su consumo están la prevención del asma, proporcionar vitamina c y como exfoliante natural, en el municipio de Lebrija uno de

Para este proyecto se ubicaron dos puntos de producción de piña en la región de Santander, Girón y Lebrija. las hojas de piña recolectadas en girón eran de longitudes que iban desde 10 a 16 cm las cuales eran muy cortas y hacían más compleja la extracción de la fibra. Por el contrario, las hojas de

piña recolectadas en Lebrija tenían una longitud de 20 a 40 cm, lo cual permitió una fácil extracción de la fibra de piña, esta recolección tuvo un trabajo de una semana en cada punto de producción.



Imagen 3 Hoja de Piña

#### 3.4.2. Desfibrado

Normalmente el desfibrado de la hoja de la piña se realiza mediante dos métodos, manual o mediante una maquina desfibradora, En el proyecto “**Diseño y construccion de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulosico a utilizar como refuerzo de polimeros**” la maquina construida posee un sistema descortezador impulsado mediante un motor de 10 HP y 1760 RPM y un sistema de trasmisión por 3 bandas en V, obteniéndose un torque de 23,5 NM en el rotor a 1368 RPM, cuenta con un mecanismo de cuchillas con apertura de 6 grados (Cardenas Espín & Tello Monsalvas, 2015)

Debido a que no se contaba con los recursos para elaborar una maquina desfibradora, se optó por encontrar una alternativa de extracción manual teniendo como referencia el proceso mecánico con el cual trabaja la maquina desfibradora. Inicialmente se pasó una espátula por la fibra, generando presión y logrando eliminar la corteza de la hoja, dejando, así como resultado la fibra recubierta de celulosa. Para completar la extracción de la fibra se realizó un cepillado manual a presión dejando al descubierto la fibra con un bajo contenido de celulosa, para ello se utiliza un cepillo con cerdas de alambre. en laboratorios de la UPB



Imagen 4. Descortezado en laboratorios de la UPB



Imagen 5. Cepillo proceso realizado

**Proceso de Limpieza:** la fibra obtenida del proceso de cepillado manual a presión tiene un color verdoso y un bajo exceso de celulosa, por lo cual fibra debe pasar por un proceso de limpieza el cual consiste en 8 horas de remojo en agua a temperatura ambiente, proceso que debe repetirse dos veces, lo cual dio como resultado una fibra de un color amarillento.



Imagen 6 Fibra

**Proceso de secado:** Después del proceso de limpieza, la fibra de la hoja de piña tiene un alto contenido de humedad, por lo cual debe ser expuesta al secado a temperatura ambiente, durante 3 días aproximadamente.



Imagen 7 Fibra Obtenida



Imagen 8 Proceso de secado al sol

### 3.4.3. Proceso de moldeado

Para este proceso se utilizó un molde de madera de 30 x 30 cm. Las dimensiones fueron tomadas de acuerdo a las especificaciones de las placas de la máquina a utilizar en la medición. La fibra se cortó en tiras de 30 cm y fueron unidas por medio de un aglutinante a base de almidón de yuca. Para eliminar los excesos de aglutinante se ejerció presión con una tapa de madera, compactando la fibra, para finalizar retirando la tapa y se expone el molde a temperatura ambiente durante dos días aproximadamente. Cada probeta tuvo una densidad diferente ya que se realizaron de 1, 2 y 3 capas de fibra, para poder evaluar la conductividad térmica de material con diferentes características.



Imagen 9 Aglutinante (Almidón de yuca)



Imagen 10. Molde



Imagen 11 Inicio del proceso de moldeado



Imagen 12 Proceso de prensado



Imagen 13 Fibra con aglutinante



Imagen 14 Molde en proceso de secado al sol



Imagen 1577 Foto de elaboración propia (probeta)

## Capítulo 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Obtención de resultados de conductividad térmica

Se realizaron un total de dieciséis (16) pruebas de medición de conductividad térmica, utilizando para ello el prototipo elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad, en el marco del proyecto de investigación “Desarrollo de materiales no tejidos a partir de residuos fibrosos textiles y agroindustriales para acondicionamiento termoacústico”.

Cada probeta utilizada tiene un área de  $0.3m^2$ , la cual se mantuvo constante, se varió la cantidad de aglutinante y su espesor. El procedimiento seguido se presenta a continuación:

Inicialmente, se calculó el área de transferencia de calor

$$A = 2 * l$$

$$A = 2 * 0.15m$$

$$A = 0.3m^2$$

donde  $A$ , es el área de transferencia; y  $l$  es el lado de transferencia.



Imagen 16 Probetas de fibra de piña

Para determinar el comportamiento de la conductividad térmica, se tomaron dos probetas de las mismas características, como se observa en la imagen 16.

Una se colocó en la parte superior de la plata y la otra en la parte inferior como se observa en la imagen 17.



Imagen 787 Posición de las probetas

Luego se ajustó el potenciómetro a un voltaje de 0.4 V, en donde se mantuvo constante durante toda la prueba y se programa el controlador Autonics TCN4 SERIES con un auto-tuning de 50 °C, se tomo esta temperatura de referencia ya que las viviendas normalmente su temperatura máxima no excede este valor. Se comenzaron las mediciones cuando la temperatura del controlador oscilaba cerca a nuestra temperatura asignada (50 °C); cada vez que variaba la temperatura del pirómetro control 1, se giraba la perilla de selección de termocuplas tipo k de

bulbo, así se obtuvieron los valores de temperatura arrojados, como se puede observar en la imagen.



Imagen 18 Panel de control

La prueba termina cuando se apagaba el auto-tuning en el pirómetro de control 1; para que la fibra de piña se considerada un aislante térmico su conductividad térmica debe ser menor

$$0.050 \frac{W}{m \cdot K}. [3].$$

En la siguiente sección, se presentan los resultados y discusión de todas las pruebas desarrolladas en este trabajo.

#### 4.1.1. Resultados de conductividad térmica.

##### Prueba 1

En esta prueba se utilizó una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,004 m.
• Cantidad de aglutinante: 0,2 L.
• Masa: 0.095 kg.

Esta prueba duro aproximadamente 40 min, tomando los datos cada vez que varió la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 4 y 5; siendo la tabla 5 la réplica.

Tabla 4 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0004 m y cantidad aglutinante 0,2 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	41	45	26	41	118	0,4
51	42	45	26	41	118	0,4
50	42	45	26	41	118	0,4
49	43	45	26	41	118	0,4
50	43	45	27	42	118	0,4
48	42	46	26	42	118	0,4
49	42	46	26	42	118	0,4
50	42	46	26	42	118	0,4
51	42	46	26	42	118	0,4
48	42	46	26	42	118	0,4
49	43	45	26	42	118	0,4
50	43	45	26	42	118	0,4
48	42	45	26	42	118	0,4
50	43	45	26	42	118	0,4
	596	635	365	584	118	0,4

Termopar 1	42,788 °C
Termopar 2	45,778 °C
Termopar 5	26,0 °C
Termopar 6	42, °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,004 m

Se sumaron todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas:

Para calcula la conductividad térmica se utilizó la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q * e}{A * (T1 - T5)}$$

Remplazamos

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0.3 * (42,788 - 26,000)}$$

$$k = 0.0375 \frac{W}{m * K}$$

Donde:

• K: Coeficiente de conductividad térmica.
• Q: Flujo de calor.
• A: Área de la zona de medición.
• T5: Temperatura de cuerpo frio.
• T2: Temperatura de cuerpo caliente.

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0375 \frac{W}{m * K}$ , lo cual cumple con el requisito para ser aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 50 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 5 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0004 m y cantidad aglutinante 0,2 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	41	45	26	41	118	0,4
51	42	46	26	42	118	0,4
50	42	44	26	42	118	0,4
49	45	45	26	42	118	0,4
50	45	46	27	42	118	0,4
48	42	45	26	42	118	0,4
49	42	47	26	42	118	0,4
50	42	47	26	42	118	0,4
51	42	47	26	43	118	0,4
48	42	44	26	43	118	0,4
49	43	46	26	43	118	0,4
50	43	45	26	43	118	0,4
48	42	47	26	42	118	0,4
50	43	47	26	43	118	0,4
	596	641	365	592	118	0,4

Tras promediar:

Termopar 1	42,571429 °C
Termopar 2	45,785714 °C
Termopar 5	26,071429 °C
Termopar 6	42,285714 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
E	0,004 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (42,5714 - 26,0714)}$$

$$k = 0,0381 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0381 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual cumple como aislante térmico

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Reemplazamos el volumen por el área y el espesor

$$\rho = \frac{m}{A * e}$$

$$\rho = \frac{0,095 \text{ Kg}}{0,3 \text{ m}^2 * 0,004 \text{ m}}$$

$$\rho = 79,1667 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

• Kg: Kilogramo
• $\rho$ : Densidad
• $m$ : Masa
• $A$ = Área de la zona de medición
• $e$ =Espesor

## Prueba 2

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,004 m.
• Cantidad de aglutinante: 0,4 L.
• Masa: 0.103 kg.

Esta prueba duro aproximadamente 1 hora, tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 6 y 7; siendo la tabla 7 la réplica.

Tabla 6 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0004 m y cantidad aglutinante 0,4 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	41	45	26	40	118	0,4
51	42	46	26	41	118	0,4
48	42	49	26	41	118	0,4
49	42	45	26	41	118	0,4
50	42	45	26	41	118	0,4
48	41	44	27	41	118	0,4
49	42	44	27	41	118	0,4
50	42	45	26	42	118	0,4
48	42	45	26	42	118	0,4
49	41	45	26	41	118	0,4
50	41	46	26	42	118	0,4
51	42	47	26	42	118	0,4
48	42	45	26	42	118	0,4
49	42	45	26	42	118	0,4
50	42	45	27	42	118	0,4
	459	496	289	458	118	0,4

Se sumaron todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	41,727°C
Termopar 2	45,091 °C
Termopar 5	26,273 °C
Termopar 6	41,636 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,004 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (41,727 - 26,273)}$$

$$k = 0,0407 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0,0407 \frac{W}{m * K}$ , lo cual cumple como aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 1 hora y 9 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 7 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0004 m y cantidad aglutinante 0,4 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	41	48	26	42	118	0,4
48	41	46	26	41	118	0,4
49	41	47	26	41	118	0,4
50	41	48	26	42	118	0,4
51	41	49	26	42	118	0,4
48	41	45	26	42	118	0,4
49	42	47	26	42	118	0,4
50	41	49	26	42	118	0,4
48	41	46	26	42	118	0,4
49	41	48	26	42	118	0,4
50	41	48	26	42	118	0,4
	616	713	388	625	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	41,0667°C
Termopar 2	47,533 °C
Termopar 5	25,867°C
Termopar 6	41,667°C
Área	0,3m <sup>2</sup>

Q	$47,2 \frac{J}{s}$
e	0,004 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (41,0667 - 25,867)}$$

$$k = 0.0414 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0414 \frac{W}{m * K}$ , lo cual cumple como aislante térmico

Con una densidad:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Reemplazamos el volumen por el área y el espesor:

$$\rho = \frac{m}{area * e}$$

Reemplazamos

$$\rho = \frac{0,103 Kg}{0,3 m^2 * 0,004 m}$$

$$\rho = 85,8333 \frac{kg}{m^3}$$

### Prueba 3

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,008 m.
• Cantidad de aglutinante: 0,2 L.
• Masa: 0.120 kg.

Esta prueba duro aproximadamente 1 hora y 15 min., tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 8 y 9; siendo la tabla 9 la réplica.

Tabla 8 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,2 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	44	48	26	43	118	0,4
51	44	49	26	45	118	0,4
48	45	48	25	45	118	0,4
49	45	48	26	45	118	0,4
50	45	48	25	45	118	0,4
49	45	48	25	45	118	0,4
50	45	48	25	45	118	0,4
49	45	46	25	45	118	0,4
50	44	49	25	45	118	0,4
51	45	49	25	45	118	0,4
49	45	48	25	45	118	0,4
50	45	48	25	45	118	0,4
49	45	46	25	45	118	0,4
50	45	48	25	45	118	0,4
	627	671	353	628	118	0,4

Se sumaron todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,786 °C
Termopar 2	47,928 °C
Termopar 5	25,214 °C
Termopar 6	44,857 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

Para calcula la conductividad térmica se utilizó la siguiente ecuación:

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,786 - 25,214)}$$

$$k = 0,0643 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0,0643 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 1 hora y 23 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 9 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,2 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	44	46	26	43	118	0,4
51	45	48	25	45	118	0,4
49	44	47	25	45	118	0,4
50	45	47	25	44	118	0,4
49	44	47	25	44	118	0,4
50	44	47	25	45	118	0,4
49	44	46	26	44	118	0,4
50	45	47	25	45	118	0,4
51	45	48	26	45	118	0,4
49	45	47	25	46	118	0,4
48	45	46	25	46	118	0,4
49	45	46	25	45	118	0,4
50	45	47	25	45	118	0,4
	580	609	328	582	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,615 °C
Termopar 2	46,846 °C
Termopar 5	25,231 °C

Termopar 6	44,769 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
E	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,615 - 25,231)}$$

$$k = 0.0649 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0649 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico

Con una densidad :

$$\rho = \frac{0,120 Kg}{0,3 m^2 * 0,008 m}$$

$$\rho = 50 \frac{kg}{m^3}$$

#### Prueba 4

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,008 m
• Cantidad de aglutinante: 0,4 L
• Masa: 0.150 kg

Esta prueba duro aproximadamente 1 hora y 33 min, tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 10 y 11; siendo la tabla 11 la réplica.

Tabla 10 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,4 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	45	46	26	43	118	0,4
51	44	48	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	47	27	44	118	0,4
49	44	47	27	44	118	0,4
50	44	46	27	45	118	0,4
49	44	46	26	44	118	0,4
50	45	47	27	45	118	0,4
51	45	47	26	45	118	0,4
49	45	47	27	46	118	0,4
48	45	47	27	46	118	0,4
49	45	47	27	46	118	0,4
50	45	47	27	46	118	0,4
49	45	47	27	46	118	0,4
50	45	47	27	46	118	0,4
	671	703	400	676	118	0,4

Se sumaron todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,733 °C
Termopar 2	46,867 °C
Termopar 5	26,667 °C
Termopar 6	45,067 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0.3 * (44,733 - 26,667)}$$

$$k = 0.0697 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0697 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 1 hora y 40 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 31 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,4 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	45	46	26	43	118	0,4
51	44	48	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	47	27	44	118	0,4
49	44	47	27	44	118	0,4
50	44	47	27	45	118	0,4
49	45	46	26	44	118	0,4
50	44	47	27	45	118	0,4
51	44	48	26	45	118	0,4
49	45	47	27	46	118	0,4
48	45	46	27	46	118	0,4
49	45	46	27	45	118	0,4
50	44	47	27	45	118	0,4
49	44	47	27	45	118	0,4
50	44	47	27	45	118	0,4
	667	703	420	672	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,467 °C
Termopar 2	46,867 °C
Termopar 5	26,750 °C
Termopar 6	44,800 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

Para calcula la conductividad térmica se utilizó la siguiente ecuación:

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,467 - 26,750)}$$

$$k = 0.0707 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0707 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico

Con una densidad :

$$\rho = \frac{0,150 \text{ Kg}}{0,3 \text{ m}^2 * 0,008 \text{ m}}$$

$$\rho = 62,5000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Prueba 5

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,008 m
• Cantidad de aglutinante: 0,6 L.
• Masa: 0.279 kg

Esta prueba duro aproximadamente 1 hora y 51 min, tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 12 y 13; siendo la tabla 13 la réplica.

Tabla 12 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,6 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	45	49	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
51	45	49	26	45	118	0,4
48	44	46	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	47	26	45	118	0,4
51	45	48	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	47	26	45	118	0,4
51	45	48	26	45	118	0,4
50	45	48	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
	807	668	472	630	118	0,4

Se sumo todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,833 °C
Termopar 2	47,778°C
Termopar 5	26,222°C
Termopar 6	44,889°C
Área	0,3m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
E	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,833 - 26,222)}$$

$$k = 0.0676 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0676 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante

térmico

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 2 horas; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 13 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,6 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	44	49	27	43	118	0,4
51	45	49	27	45	118	0,4
48	45	46	27	45	118	0,4
49	45	48	27	45	118	0,4
50	44	49	26	45	118	0,4
49	45	47	26	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
51	44	49	26	45	118	0,4
48	45	46	26	45	118	0,4
50	44	48	26	45	118	0,4
49	44	48	26	45	118	0,4
50	44	47	26	45	118	0,4
49	44	47	26	45	118	0,4
50	44	49	26	45	118	0,4
	622	671	368	628	118	0,4

Se sumo todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,428 °C
Termopar 2	47,928 °C
Termopar 5	26,286 °C
Termopar 6	52,333 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,428 - 26,286)}$$

$$k = 0.0694 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0694 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Con una densidad:

$$\rho = \frac{0,279 \text{ Kg}}{0,3 \text{ m}^2 * 0,008 \text{ m}}$$

$$\rho = 116,2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### Prueba 6

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,008m
• Cantidad de aglutinante: 0,8 L.
• Masa: 0.336 kg

Esta prueba duro aproximadamente 2 horas y 12 min., tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 14 y 15; siendo la tabla 16 la réplica.

Tabla 14 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,8 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	43	48	29	45	118	0,4
51	45	49	29	45	118	0,4
49	45	46	29	45	118	0,4
50	45	47	29	45	118	0,4
49	45	47	29	45	118	0,4
50	45	48	29	45	118	0,4
49	45	46	29	45	118	0,4
50	45	48	29	45	118	0,4
51	45	49	29	45	118	0,4
49	45	47	30	45	118	0,4
50	45	48	29	46	118	0,4
49	45	48	30	46	118	0,4
50	45	48	29	45	118	0,4
	583	619	379	587	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,846 °C
Termopar 2	47,615 °C
Termopar 5	29,154 °C
Termopar 6	45,154 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,846 - 29,154)}$$

$$k = 0.0802 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0802 \frac{J}{s \cdot m \cdot ^\circ C}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 2 horas y 25 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 15 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0008 m y cantidad aglutinante 0,8 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	43	48	28	45	118	0,4
51	45	49	28	45	118	0,4
49	45	46	29	45	118	0,4
50	45	47	29	45	118	0,4
49	44	47	30	45	118	0,4
50	44	48	29	45	118	0,4
49	45	46	30	45	118	0,4
50	45	48	30	45	118	0,4
51	45	48	29	45	118	0,4
49	44	47	30	46	118	0,4
50	44	47	30	46	118	0,4
49	44	47	30	46	118	0,4
51	44	47	30	46	118	0,4
49	44	47	30	46	118	0,4
50	44	47	30	46	118	0,4
	665	709	442	681	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,333 °C
Termopar 2	47,600 °C
Termopar 5	29,467 °C
Termopar 6	45,200 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,008 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,433 - 29,467)}$$

$$k = 0.0847 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.0847 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico

Con una densidad:

$$\rho = \frac{0,336 \text{ Kg}}{0,3 \text{ m}^2 * 0,008 \text{ m}}$$

$$\rho = 140,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## Prueba 7

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor: 0,012 m.
• Cantidad de aglutinante: 0,6 L.
• Masa: 0.381 kg.

Esta prueba duro aproximadamente 2 horas y 37 min., tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 16 y 17; siendo la tabla 17 la réplica.

Tabla 16 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0012 m y cantidad aglutinante 0,6 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	43	48	26	43	118	0,4
51	44	49	26	44	118	0,4
48	45	48	26	44	118	0,4
49	45	48	26	44	118	0,4
50	45	48	26	44	118	0,4
49	45	48	26	44	118	0,4
50	45	48	26	45	118	0,4
49	44	46	26	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
51	45	49	26	45	118	0,4
49	45	49	26	45	118	0,4
50	45	49	27	45	118	0,4
49	45	49	27	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
	626	677	366	623	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,714 °C
Termopar 2	47,857 °C
Termopar 5	26,143 °C
Termopar 6	44,857 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,012 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,433 - 29,467)}$$

$$k = 0.1017 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.1017 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 2 horas y 50 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 17 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0012 m y cantidad aglutinante 0,6 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	45	48	26	45	118	0,4
49	44	48	26	45	118	0,4
50	45	48	27	45	118	0,4
49	45	46	27	45	118	0,4
50	45	49	26	45	118	0,4
51	44	49	26	45	118	0,4
49	44	46	27	45	118	0,4
50	45	48	27	45	118	0,4
49	45	47	27	45	118	0,4
50	45	48	27	45	118	0,4
	623	670	370	628	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,500 °C
Termopar 2	47,857 °C
Termopar 5	26,429 °C
Termopar 6	44,857 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,012 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0.3 * (44,500 - 26,429)}$$

$$k = 0.1045 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.1045 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico

Con una densidad:

$$\rho = \frac{0,381 \text{ Kg}}{0,3 \text{ m}^2 * 0,012 \text{ m}}$$

$$\rho = 105,8333 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Prueba 8

En esta prueba se utiliza una probeta con las siguientes características:

• Espesor de 0,012 m.
• Cantidad de aglutinante de 0,8 L.
• Masa de 0.385 kg.

Esta prueba duro aproximadamente 3 horas y 8 min, tomando los datos cada vez que vario la temperatura del pirómetro control 1. cómo se observa en la tabla 18 y 19; siendo la tabla 19 la réplica.

Tabla 18 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0012 m y cantidad aglutinante 0,8 L.

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	44	49	27	43	118	0,4
51	45	49	27	45	118	0,4
48	45	46	27	45	118	0,4
49	44	48	27	45	118	0,4
50	45	49	27	45	118	0,4
49	45	47	27	45	118	0,4
50	45	49	28	45	118	0,4
51	45	49	28	45	118	0,4
48	44	46	28	45	118	0,4
50	45	48	28	45	118	0,4
49	45	47	28	45	118	0,4
50	45	49	28	45	118	0,4
	537	576	330	538	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,750 °C
Termopar 2	48,000 °C
Termopar 5	27,500 °C
Termopar 6	44,833 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,012 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,700 - 27,500)}$$

$$k = 0.1094 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.1094 \frac{W}{m * K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Posteriormente, se realizó una réplica con duración de aproximadamente 3 horas y 20 min; la cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 19 Datos obtenidos de tablero de control, con espesor de 0,0012 m y cantidad aglutinante 0,8 L

Pirómetro control 1	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 5	Termopar 6	Voltaje	Corriente
50	44	49	27	43	118	0,4
51	45	49	27	44	118	0,4
48	45	46	27	44	118	0,4
49	45	48	27	44	118	0,4
50	45	49	28	44	118	0,4
49	45	49	27	44	118	0,4
50	45	49	27	44	118	0,4
51	45	49	27	45	118	0,4
48	45	46	28	45	118	0,4
50	45	48	28	45	118	0,4
49	45	48	28	45	118	0,4
50	45	48	28	45	118	0,4
	539	578	329	532	118	0,4

Se sumó todas las temperaturas tomadas de cada termopar y esta cantidad se dividió en la cantidad de temperaturas;

Termopar 1	44,917 °C
Termopar 2	48,000 °C
Termopar 5	27,417 °C
Termopar 6	44,833 °C
Área	0,3 m <sup>2</sup>
Q	47,2 $\frac{J}{s}$
e	0,012 m

$$k = \frac{47,2 * 0,004}{0,3 * (44,917 - 27,417)}$$

$$k = 0.1079 \frac{W}{m * K}$$

Se obtuvo una conductividad térmica de  $0.1079 \frac{W}{m \cdot K}$ , lo cual no cumple como aislante térmico.

Con una densidad :

$$\rho = \frac{0,385Kg}{0,3 m^2 * 0,012 m}$$

$$\rho = 106,9444 \frac{kg}{m^3}$$

#### 4.2. Diseño Experimental

El experimento se llevó a cabo siguiendo la metodología del Diseño Factorial propuesto por Montgomery [16], realizando 16 pruebas en el prototipo elaborado por el grupo de investigación GideTechMA de la universidad, para los factores: Espesor y Cantidad de aglutinante (en dos experimentos independientes). Los experimentos se llevaron a cabo con dos (2) niveles de espesor, dos (2) niveles de aglutinante y dos (2) replicas. Las pruebas se realizaron de forma aleatoria.

Los datos registrados fueron los siguientes

Espesor	Aglutinante	
	0,2	0,4
0,004	0,0375	0,0407
	0,0381	0,0414
0,008	0,0643	0,0697
	0,0649	0,0707

Tabla 40. Datos obtenidos de conductividad térmica

Espesor	Aglutinante	
	0,6	0,8
0,008	0,0676	0,0802
	0,0694	0,0847
0,012	0,1017	0,1079
	0,1045	0,1094

Tabla 21. Datos obtenidos de conductividad térmica

## 4.2.1. Análisis factorial 1

Los datos registrados en la tabla 1 se organizan de la siguiente forma:

DISEÑO EXPERIMENTAL 1					
FACTORES		Combinación	REPLICAS		TOTAL
ESPESOR	AGLUT.		R1	R2	
-	-	A Bajo, B Bajo	0,0375	0,0381	0,0756
+	+	A Alto, B Alto	0,0697	0,0707	0,1404
-	+	A Bajo, B Alto	0,0407	0,0414	<b>0,0821</b>
+	-	A Alto, A Bajo	0,0643	0,0649	0,1292

Tabla 22. datos diseño experimental 1

Los datos de la tabla 3 se representan en un gráfico de experimento factorial como se muestra en la figura 1

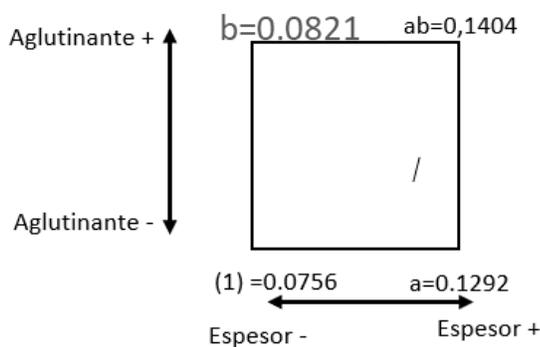


Imagen 19 Experimento Factorial

Con los valores mostrados en la figura 1. se calculan los efectos principales A, B y el efecto de interacción AB, de la siguiente forma: (Montgomery, 2004)

$$A = \frac{1}{2n} \{[ab - b] + [a - 1]\} = 0,027975$$

$$B = \frac{1}{2n} \{[ab - a] + [b - 1]\} = -0,004425$$

$$AB = \frac{1}{2n} \{[ab - b] - [a - 1]\} = -0,001175$$

Usando el software Minitab, se calcularon los valores “p” con el fin de comparar los efectos de cada factor sobre la respuesta del experimento; se utilizó una distribución F para dicha comparación. Los resultados se muestran en la tabla.

### Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,053413	0,000186	287,43	0,000	
A	0,027975	0,013988	0,000186	75,27	0,000	1,00
B	0,004425	0,002212	0,000186	11,91	0,000	1,00
A*B	0,001175	0,000587	0,000186	3,16	0,034	1,00

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0,001607	0,000536	1939,21	0,000
Lineal	2	0,001604	0,000802	2903,82	0,000
A	1	0,001565	0,001565	5665,89	0,000
B	1	0,000039	0,000039	141,76	0,000
Interacciones de 2 términos	1	0,000003	0,000003	10,00	0,034
A*B	1	0,000003	0,000003	10,00	0,034
Error	4	0,000001	0,000000		
Total	7	0,001608			

Tabla 53. Resultados Análisis Factorial Minitab

Para el modelo de regresión se incluyen los dos factores con su interacción, ya que se observó que los tres tienen un efecto importante en la probeta, que afectaría el resultado de la conductividad térmica ( $p < \alpha$ ). El modelo de regresión para este experimento es:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \epsilon$$

Donde:

$\hat{y}$ : Conductividad
$\beta_{0,1,2,3}$ : Coeficiente de regresión
$x_1$ : Variable codificada del factor (Espesor)
$x_2$ : Variable codificada del factor (Cant. Aglutinante)

$$\hat{y} = 0.053413 + 0.013988A + 0.002212B + 0.000587A * B$$

Para realizar los cálculos se debe tener en cuenta que: para el nivel superior  $x_i$  se remplazara por +1 y para el nivel inferior por -1.

Ejemplos si se tiene espesor de 0.004 m y la cantidad de aglutinante es de 0.4 L el valor de  $x_1$  es -1 y de  $x_2$  es +1.

#### 4.2.2. Análisis factorial 2

Los datos registrados en la tabla 1 se organizan de la siguiente forma:

DISEÑO EXPERIMENTAL 2					
FACTORES		Combinación	REPLICAS		TOTAL
ESPEJOR	AGLUT.		R1	R2	
-	-	A Bajo, B Bajo	0,0676	0,0694	0,1370
+	+	A Alto, B Alto	0,1079	0,1094	0,2173
-	+	A Bajo, B Alto	0,0802	0,0847	0,1649
+	-	A Alto, A Bajo	0,1017	0,1045	0,2062

Tabla 64. Datos diseño experimental 2

Los datos de la tabla 3 se representan en un gráfico de experimento factorial como se muestra en la figura 1:

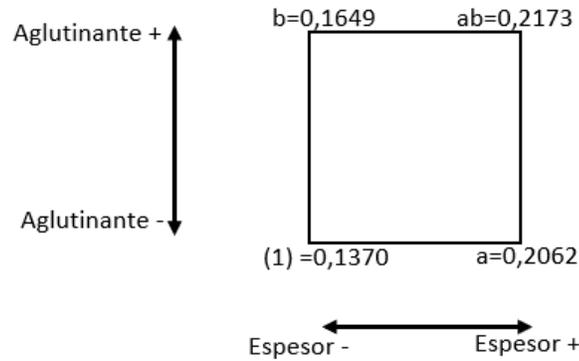


Imagen 20 Experimento factorial

Con los valores mostrados en la figura 1. se calculan los efectos principales A, B y el efecto de interacción AB, de la siguiente forma: (Montgomery, 2004)

$$A = \frac{1}{2n} \{[ab - b] + [a - (1)]\} = 0,0304$$

$$B = \frac{1}{2n} \{[ab - a] + [b - (1)]\} = -0,00975$$

$$AB = \frac{1}{2n} \{[ab - b] - [a - (1)]\} = -0,0042$$

Usando el software Minitab, se calcularon los valores “p” con el fin de comparar los efectos de cada factor sobre la respuesta del experimento; se utilizó una distribución F para dicha comparación. Los resultados se muestran en la tabla.

Tabla 25. Resultados Análisis Factorial Minitab

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0,002074	0,000691	164,68	0,000
Lineal	2	0,002038	0,001019	242,82	0,000
A	1	0,001848	0,001848	440,34	0,000
B	1	0,000190	0,000190	45,29	0,003
Interacciones de 2 términos	1	0,000035	0,000035	8,41	0,044
A*B	1	0,000035	0,000035	8,41	0,044
Error	4	0,000017	0,000004		
Total	7	0,002091			

## Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0,090675	0,000724	125,18	0,000	
A	0,030400	0,015200	0,000724	20,98	0,000	1,00
B	0,009750	0,004875	0,000724	6,73	0,003	1,00
A*B	-0,004200	-0,002100	0,000724	-2,90	0,044	1,00

Para el modelo de regresión se incluyen los dos factores con su interacción, ya que se observó que los tres tienen un efecto importante en la probeta, que afectaría el resultado de la conductividad térmica ( $p < \alpha$ ). El modelo de regresión para este experimento es:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \epsilon$$

$$\hat{y} = 0.073387 + 0.032488A + 0.00862B + 0.000913A * B$$

Para realizar los cálculos se debe tener en cuenta que: para el nivel superior  $x_i$  se reemplazara por +1 y para el nivel inferior por -1.

Ejemplos si se tiene espesor de 0.012 m y la cantidad de aglutinante es de 0.6L el valor de  $x_1$  es +1 y de  $x_2$  es -1

#### 4.3. Comparación de Resultados de Conductividad Térmica

Se realizará una comparación de resultados de conductividad térmica de la fibra de piña con dos materiales comunes como la lana de roca y el poliestireno.

Tabla 76 Comparación de conductividad térmica con aislantes térmicos convencionales.

Material	Conductividad térmica (k)	Conductividad $\frac{W}{m \cdot K}$	Densidad $\frac{Kg}{m^3}$
Fibra de piña	0,0375	0.0375 - 0.0414	79-85
Lana de roca	0.0381	0.030-0.050	40
Poliestireno expandido (EPS)	0.0407	0.029-0,050	10-25
Poliestireno extruido (XPS)	0.0414	0.025-0.040	Hasta 33

Como se observa en la tabla 1, la conductividad térmica de la fibra de piña cumple con los parámetros requeridos para ser un aislante térmico; con un espesor de 0,004 m y una cantidad de aglutinante de 0,2 y 0,4 L., siendo un material de fácil acceso y más económico.

Material	Valor por metro cuadrado
<b>Fibra de piña</b>	\$ 20.000
<b>Lana de roca</b>	\$ 75.000
<b>Poliestireno expandido (EPS)</b>	\$178.777
<b>Poliestireno extruido (XPS)</b>	\$89.900

Tabla 27. Comparación de Costos

## Capítulo 5. Evaluación

El presente trabajo de grado tuvo como inicio el día 29 de agosto de 2018 y finalizó el 8 de julio de 2019, se desarrolló en cinco etapas las cuales han sido ampliadas en el presente informe.

Los procesos impulsados desde el ejercicio profesional fueron acordes a las necesidades de la Escuela de mecánica industrial, específicamente de los estudiantes pertenecientes a esta, ya que hasta este punto no se habían realizado acciones dirigidas a estudios de factibilidad en bioaislantes para la mejora y fortalecimiento de las condiciones educativas, permitiendo ajustar la importancia de procesos que evidencian un beneficio para el medio ambiente, ampliando el campo de conocimiento del estudiante en formación ya que la Universidad se interesa por la formación integral y la conciencia de autonomía del estudiante.

Teniendo en cuenta que el trabajo de grado tiene como propósito el desarrollo de propuestas que aporten al enriquecimiento del proceso de aprendizaje frente a la realidad social, económica, energética e industrial. Los estudiantes autores de este libro han aplicado los conocimientos y principios adquiridos en la academia, realizando un ejercicio teórico- práctico con la aplicación de las metodologías y estrategias aprendidas, las cuales fueron necesarias para la ejecución de la propuesta estudio de factibilidad de una fibra natural como materia prima para la fabricación de un bioaislante, siendo claves los saberes afines al manejo de datos, orientándolo hacia los resultados esperados.

Durante la ejecución se identificó que en la región de Santander existen diferentes agrofibras que pueden ser utilizadas como materia prima para la elaboración de un bioaislante por

ello se hace necesario evaluar diferentes variables priorizando la que sea más amigable con el ambiente y genere menor conductividad térmica.

El presente trabajo permitió a los estudiantes la adquisición de conocimientos en la aplicación de estrategias para la obtención de un bio-aislante, otorgándoles autonomía en el diseño e implementación de la propuesta.

Por último, el mayor logro alcanzado fue la elaboración de un bio-aislante con una conductividad térmica de  $0.0375 \text{ (W/m}^*\text{K)}$ , con elementos para mantener un enfoque de mitigación de residuos que perjudican al medio ambiente. La necesidad de que las diferentes construcciones hagan uso de recursos que minimizan la contención y generar mayor productividad en la región al aumentar el ciclo de vida de los productos agrícolas generando cambios favorables en el desarrollo del planeta con procesos sustentables.

## Capítulo 6. Conclusiones

- En las pruebas de conductividad térmica de la fibra de piña se presentaron valores de 0.0375, 0.0381, 0.0470 y 0.0414 W/(m\*K), confirmando así que puede ser un aislante térmico ya que su conductividad es menor a 0.05 W/(m\*K).
- Mediante las pruebas de conductividad térmica se pudo evidenciar que a mayor y cantidad de aglutinante, se va a aumentar la conductividad térmica y por lo tanto no va a ser un buen aislante térmico.
- El 55% del cultivo de piña es desechado, materia prima que puede ser utilizada en elaboración de aislantes térmicos y así continuar su ciclo de vida útil.
- Las probetas de fabricación manual minimizan el impacto negativo con el ambiente, ya que para su obtención no necesita de químicos y energía eléctrica.

## Capítulo 7. Recomendaciones

- Para el proceso de secado de una probeta de elaboración manual no se debe usar el horno ya que la probeta absorbe la humedad del almidón de yuca generando en ella una capa de moho.
- No es bueno utilizar las hojas de piña en su primer y segundo cultivo ya que es muy débil la fibra, las hojas de piña utilizadas fueron de la tercera cosecha ya que son más largas y fuertes.
- Al momento de hacer las pruebas con la máquina de medición de conductividad térmica, verificar que la potencia eléctrica sea igual en todas.

## Capítulo 8 Referencias Bibliográficas.

1. Asamblea General de las Naciones Unidas. (4 de Agosto de 1987). *Organización de Naciones Unidas*. Obtenido de <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
2. BANCOLOMBIA. (6 de Septiembre de 2018). *Grupo Bancolombia*. Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios-pymes/actualizate/sostenibilidad/cultivo-arroz-en-colombia>
3. Caracol Radio. (31 de OCTUBRE de 2016). *Caracol Radio*. Obtenido de [https://caracol.com.co/emisora/2016/10/31/bucaramanga/1477915572\\_102952.html](https://caracol.com.co/emisora/2016/10/31/bucaramanga/1477915572_102952.html)
4. Cardenas Espín, L. D., & Tello Monsalvas, J. P. (2015). *Diseño y construcción de una desfibradora dehojas y pseudotallos para obtener material lignocelulísico a utilizar como refuerzo de polímeros*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
5. Corabastos. (Enero de 2019). Boletín Diario de Precios. Colombia.
6. D'Alessandro, F., Asdrubal, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*.
7. Encinales Vargas, G., & Arcila Quiroga, D. (2018). *Evaluación de un sistema de medición de conductividad en aislantes*. Bogotá DC: Fundación Universidad de América.
8. EUMEPS. (2013). *Construcción sostenible con aislante EPS*. Madrid: ANAPE.
9. Federación Nacional de Arroceros. (2009). *FEDEARROZ*. Obtenido de <http://www.fedearroz.com.co/new/precios.php>
10. Fuerman, P. R. (25 de AGOSTO de 2017). *PERIODICO 15*. Obtenido de <https://www.periodico15.com/la-capital-mundial-de-la-pina-sin-pina/>
11. Gomez, J., Jarones, C., & Gañan, P. (1998). Refuerzos naturales para materiales plásticos. *Revista de Plásticos Modernos*, 76, 183.
12. Gutierrez, J., Cadena, C., & Bula Silvera, A. J. (2013). Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*. *Revista UNAL*.
13. INFOAGRO. (2019). *Información Agroindustrial*. Obtenido de [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/pina.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/pina.htm)

14. Kumfu, S., & Jintakosol, T. (2012). Thermal insulation produced from pineapple leaf fiber and natural rubber latex. *Advanced Materials Research*, 506.
15. Mena Novelo, W. D., Aragon, R. A., Corona, E. J., Romero, M., & Oliva, A. I. (2015). *Determinación de la conductividad térmica de materiales en polvo de la Península de Yucatán*. Merida, Mexico: Universidad Autónoma de Yucatán.
16. Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y analisis de experimentos* . México: LIMUSA, S.A. DE C.V.
17. Moreno, J. S. (2019 de Octubre de 2017). *Vanguardia liberal*. Obtenido de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/413172-santander-esta-preparado-para-el-cambio-climatico>
18. Organizacion de Naciones Unidas. (14 de Septiembre de 2010). *Asamblea General de la ONU Asamblea general de las naciones unidas* . Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
19. Palomo, M. (13 de Julio de 2017). Aislantes termicos, criterios de selección por requisitos energeticos. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
20. Peña, O., Roman, R., & Grimaldos, Q. (2017). “*Desarrollo de un aislante térmico en base a fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en las viviendas de la sierra sur del Perú*”. Lima, Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
21. Saval, S. (2012). *Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro* (Vol. 16). Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
22. Tangjuank, s. (2011). *Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves*., Thailand: Uttaradit Rajabhat University.
23. Vanguardia liberal. (5 de Noviembre de 2016). *Vanguardialiberal.com*. Obtenido de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/378934-santander-el-quinto-departamento-que-mas-contamina-en-colombia>
24. Vanguardia Liberal. (17 de Diciembre de 2008). *Vanguardia*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/economia/local/20-mil-hectareas-anuales-de-maiz-puede-sembrar-santander-EWv115574>
25. Vanguardia Liberal. (9 de Abril de 2018). *Vanguardia*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/economia/local/sembradores-de-pina-perolera-estan-trabajando-a-perdida-en-santander-PDVL429622>

26. Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (13 de Marzo de 2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente . *I4*(1).
27. Wadel, G. (2003). *Aislantes termicos no renovables de lana de oveja y algodón: Un aporte a la construcción sostenible*. (U. N. PLATA, Ed.) La Plata, ARGENTINA .

## Capítulo 9. Anexos

### 9.1. Anexo 1. Matriz de recisión documental

Tabla 28 Matriz Revisión documental

IDENTIFICACIÓN TITULO Y AUTOR	OBJETIVO GENERAL	CATEGORIAS Y VARIABLES	RECOLECCION DE INFORMACION	RESULTADOS
A review of unconventional sustainable building insulation materials, Francesco Asdrubali, Francesco D'Alessandro, Samuele Schiavoni, University of Perugia, Italia, 2015	Análisis de materiales naturales reciclable para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos.	Aislamiento de edificios Conductividad térmica Sustentabilidad Acústica del edificio.	*Evaluación de rendimiento a través del proceso de "CAJA CALIENTE"  *Transmitancia térmica también se puede estimar con el método de cálculo ISO 6946.  *La utilidad de los materiales se da con una relación de conductividad térmica, densidad y calor específico, medido a través de la norma ISO 22007-1	El presente trabajo realizó un análisis de conductividad entre aislantes térmicos y acústicos fabricados a base de hoja de piña, bagazo, mazorca, algodón, palma de aceite, girasol y paja demostrando a través de un cuadro comparativo que la mejor alternativa de material natural reciclable es la hoja de piña con una conductividad de 0.035 y 0.043 W/mK.
Potencial de aprovechamiento de la biomasa vegetal como aislamiento en climas extremos del Ecuador, Luis Velasco Roldan, Leonardo Goyos Pérez, Luis Freire Amores, Alexander Ibarra, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador, 2015.	Determinar las zonas con condiciones climáticas que requieran sistemas constructivos dotados de aislamiento térmico y las biomásas potencialmente utilizables como materia prima en el entorno local y sugerir los posibles usos de esta biomasa.	Residuos agrícolas Aislamiento térmico Eficiencia energética Recursos naturales.	determinar la conductividad térmica a través del estudio según la norma ISO ASTM 177-13. Dicha norma establece criterios de laboratorio para la medida del flujo de calor en estado estacionario a través de una muestra plana y homogénea de caras paralelas monitoreada a temperaturas constantes mediante un sistema llamado de placa caliente.	*La diversidad agrícola y vegetal de Ecuador permite asegurar la existencia de biomásas vegetales aprovechables como componente aislante en la práctica totalidad del país habitado.  * Se demuestran por lo tanto las enormes posibilidades de uso de la biomasa en la mejora de las técnicas constructivas tradicionales de Ecuador en pos de la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones.

<p>Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética, Mercier, David; Dutil, Yvan, Rousse, Daniel; Pronovost, Francis; Boudreau, Dominique; Hudon, Normand; Castonguay, Mathieu, École de technologie supérieure, Montréal, Canada, 2011</p>	<p>Analizar de recursos renovables para la fabricación de aislantes teniendo en cuenta criterios térmicos y medio ambientales</p>	<p>Eficiencia energética Aislamiento natural Construcción Energía incorporada Casa pasiva</p>	<p>*clasificación por criterios de selección térmica. "reciclaje, animal, vegetal". *clasificación por criterios de selección medio-ambiental. "el potencial de suministro, la proximidad, la transformación y la adición de aditivos, deshacer los aislamientos naturales, el aire y el medio ambiente". *Clasificación de criterios de selección energético. "energía incorporada, eficiencia energética".</p>	<p>La disponibilidad, el costo, la aplicación, el impacto ecológico y energético son tan importantes como su rendimiento térmico. Tratar los distintos aspectos individualmente no permite justificar la selección de un aislamiento natural con respecto a un aislamiento convencional. Es mejor considerar todos los factores en su conjunto y ver los beneficios y repercusiones a más largo plazo, a través de un análisis del ciclo de vida de los materiales empleados.</p>
<p>Investigación y desarrollo de aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa para su aplicación en la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones en América Latina, Velasco, L.; Goyos, L.; Nicolás, F.; Naranjo, C., Departamento de energía y mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Sangolquí. Ecuador. 2014</p>	<p>Revertir la situación actual de insostenibilidad energética de los sistemas constructivos, y reducir la demanda energética para alcanzar las condiciones de habitabilidad mediante la utilización de materiales de bajo costo y limitada huella ecológica</p>	<p>Residuos agrícolas aislamiento térmico eficiencia energética recursos naturales.</p>	<p>Evaluar el comportamiento de las biomásas como aislante térmico, para generar mejoras en las condiciones de habitabilidad, teniendo en cuenta producción, localización, características físicas, posibles aglomeraciones con otros materiales de construcción tradicionales, conductividad térmica según norma ASTM.</p>	<p>*La línea de investigación de residuos de biomasa como aislante térmico es prometedora y permitirá mejorar la eficiencia energética y el confort térmico del habitad. *Existen múltiples componentes edificatorios ancestrales como muros o pisos susceptibles de evolución y mejora mediante la adición de altos porcentajes de biomasa en su composición.</p>

<p>Desarrollo de un aislante térmico en base a fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en las viviendas de la sierra sur del Perú, Oscar R PEÑA, Rosaly E ROMAN, Grimaldo W QUISPE, Escuela de Ingeniería Industrial Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2015</p>	<p>desarrollar un aislante de fibras naturales conformado por los residuos organicos de las cosechas con el fin de evitar las enfermedades a causas de las heladas y el friaje en las zonas alto andinas del peru</p>	<p>Aislante termico Conductividad termica Flujo de calor Residuos organicos</p>	<p>*entrevista a 240 familias del sector  *Se realizo pruebas de conductividad termica aplicando la ley de fourier, mediciones de transmision de calor usando un termometro laser y una fuente de calor (cocina electrica).</p>	<p>*Se determino que el desarrollo de un aislante con las fibras que suelen desechar las comunidades permite darles una opción viable para mitigar el impacto de las heladas debido a que no cuentan con otros medios para hacerlo.  *En comparación con otros tipos de aislantes térmicos naturales y sintéticos la propuesta en base a fibra resulta como la opción más viable debido al fácil acceso que se tiene al material y que registra un precio menor al elaborarlo.  *La disminución del flujo del calor con el panel es de 26% en promedio, acercándose al 30% planificado.</p>
<p>La receta para una arquitectura sostenible es simple: recuperarlos valores de la arquitectura tradicional y aprovecharlos avances tecnológicos, Marta Palomo Cano, Universidad Politecnica de madrid, 2017</p>	<p>Estudiar las alternativas de materiales renovables para la selección según condiciones de sostenibilidad y ahorro energetico.</p>	<p>Aislante Sostenibilidad Energetico Selcción Método multicriterio Arquitectura</p>	<p>El CTE DB HE 1 define lo productos para los cerramientos mediante su conductividad termica y el factor de resistencia a la difusión de vapor de agua.  La selección del material se realizo a traves del programa CES EDUPACK el cual genera cuadros comparativos.  *Analisis de estudio y de mercado</p>	<p>EL resultado fueron tablas de clasificación de los distintos materiales en tres familias, <b>de origen sintetico, de origen organico, de origen natural organico</b>. En los cuales se analizo los siguientes criterios, conductividad termica, resistencia a la compresión, precio, produccion de CO2, reciclabilidad, entropia, combustabilidad y porosidad para con ello determinar cual de estos materiales se suponen innegociable y necesario.</p>

<p>La historia del desarrollo y las perspectivas de los materiales de aislamiento basados en la biomasa para edificios, Liu LIFANG, Hongqiang Li, Andrea Lazareto, Giovanni Manente, chunyi Tong, Liu Qibin, NianPing Li, Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Hunan, República popular china, Instituto de Ingeniería Termofísica, Academia China de Ciencias, República popular china, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Padova, Padua, Italia, 2017</p>	<p>Analisis documental de publicaciones sobre bio-aislantes entre 1974 y 2016, identificando las diferentes características del producto.</p>	<p>Energia Biomasa Resudios agricolas Aislamiento termico Bio-aislamiento</p>	<p>Analisis documental donde estudios de otras publicaciones permitieron la identificación de las características de un bio-aislante.</p>	<p>según el analisis realizado en esta investigacion las características de un bio-aislante son su tipo, sus metodos de fabricación, sus propiedades, equipo experimental, normatividad de las pruebas y la distribucion geografica.</p>
---	---	---	---	--

<p>Investigación del coeficiente de conductividad térmica de bloques fabricados con mortero y olote de maíz (zea mays) para aplicaciones en mampostería, Luis Eduardo Flórez Atencia, Antonio José Borré Mejía, Universidad de Córdoba, Departamento de ingeniería mecanica, 2016</p>	<p>Investigar el coeficiente de conductividad térmica de bloques fabricados con Mortero y Olote de Maíz (zea mays) para su aplicación como material alternativo en la mampostería.</p>	<p>Conductividad térmica bloques olote de maíz resistencia a compresión.</p>	<p>*Estudio de materiales según norma ASTM C 518 que detalla el metodo de transmisión termica en estado estable.</p> <p>*La norma ASTM C 177 fija el método de prueba estándar para mediciones del flujo de calor en estado estacionario y de las propiedades de transmisión térmica por medio de un aparato de placas calientes con guardas.</p> <p>*La ASTM C 335 describe el método de prueba 25 estándar para estado estacionario de transferencia de calor y las propiedades de aislamiento de tuberías horizontales.</p>	<p>*Los resultados muestran que los valores de las mediciones realizadas en este dispositivo son confiables puesto que cumplen con los valores establecidos en la norma ASTM C177 (2013)</p> <p>*El porcentaje de olote de maíz aumentó la absorción de agua de los bloques en comparación con el bloque sin olote de maíz. El porcentaje de absorción aumentó un 4,28 % y 22, 44 % para los bloques con 10 % y 20 % de olote de maíz respectivamente.</p> <p>*La adición de 10 y 20 % de olote de maíz a los bloques de mortero disminuyó el coeficiente de conductividad térmica desde 0,376 W/m-1K-1 hasta 0,322 W/m-1K-1 y 0,250 W m-1K-1 respectivamente, es decir la reducción fue del 14 y del 33 % respectivamente.</p>
---	--	--	--	---