

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**Caracterización de las propiedades térmicas de un aislante orgánico a  
base de cascarilla de arroz y bagazo de caña**

---

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTORES:**

**Bach. Cabanillas Pizarro, José Rosario y**

**Bach. Urrutia Vega, Elizabeth Nataly**

**ASESOR:**

**Dr. Víctor Augusto, Castro Zavaleta**

**DNI. N°. 32975182**

**Código ORCID: 0000-0003-3214-2698**

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**CARTA DE CONFORMIDAD DE ASESOR**

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objeto propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO**  
**AGROINDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS**  
**DE UN AISLANTE ORGÁNICO A BASE DE CASCARILLA DE**  
**ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA”**

**AUTOR:**

**Br. Cabanilla Pizarro José Rosario**  
**Br. Urrutia Vega Elizabeth Nataly**

**Dr. Víctor Castro Zavaleta**  
**ASESOR**  
**ORCID: 0000-0003-3214-2698**  
**DNI: 32975182**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**HOJA AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

El presente trabajo de tesis titulado “**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE UN AISLANTE ORGÁNICO A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: **Cabanilla Pizarro José Rosario** y **Urrutia Vega Elizabeth Nataly**, que tiene como asesor al **Dr. Víctor Castro Zavaleta** designado mediante la resolución decanal N° 254-2023-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 24 de Julio del 2024, por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 442-2024-UNS-CFI.

**Dr. Williams Esteward Castillo Martinez**  
**Presidente**  
Orcid: 0000-0001-6917-1009

**Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán**  
**Secretario**  
Orcid: 0000-0002-7112-4006

**Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta**  
**Integrante**  
Orcid: 0000-0003-3214-2698

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 17:00 horas del día veinticuatro de julio del dos mil veinticuatro, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 442-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Ing. Máximo Vicente Carranza Varas** (Presidente)
- **Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán** (Secretario)
- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Integrante)
- **Dr. Williams Esteward Castillo Martínez** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE UN AISLANTE ORGÁNICO A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA”**, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Cabanillas Pizarro José Rosario**
- **Urrutia Vega Elizabeth Nataly**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

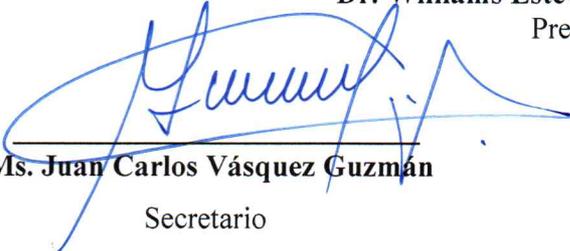
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

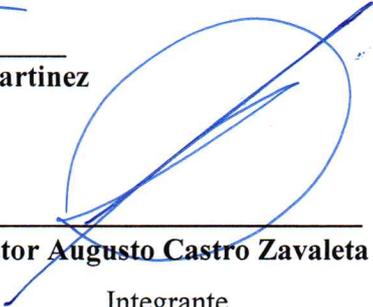
NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
<b>CABANILLAS PIZARRO JOSÉ ROSARIO</b>	18	BUENO

Siendo las 18:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 24 de julio del 2024.

  
**Dr. Williams Esteward Castillo Martínez**  
Presidente

  
**Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán**  
Secretario

  
**Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta**  
Integrante

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las 17:00 horas del día veinticuatro de julio del dos mil veinticuatro, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 442-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Ing. Máximo Vicente Carranza Varas** (Presidente)
- **Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán** (Secretario)
- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Integrante)
- **Dr. Williams Esteward Castillo Martinez** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE UN AISLANTE ORGÁNICO A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA”**, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Cabanillas Pizarro José Rosario**
- **Urrutia Vega Elizabeth Nataly**

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta**

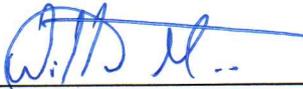
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

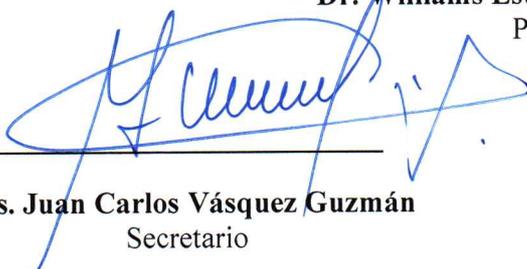
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
<b>URRUTIA VEGA ELIZABETH NATALY</b>	18	BUENO

Siendo las 18:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 24 de julio del 2024.

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Williams Esteward Castillo Martinez**  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
**Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán**  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta**  
Integrante

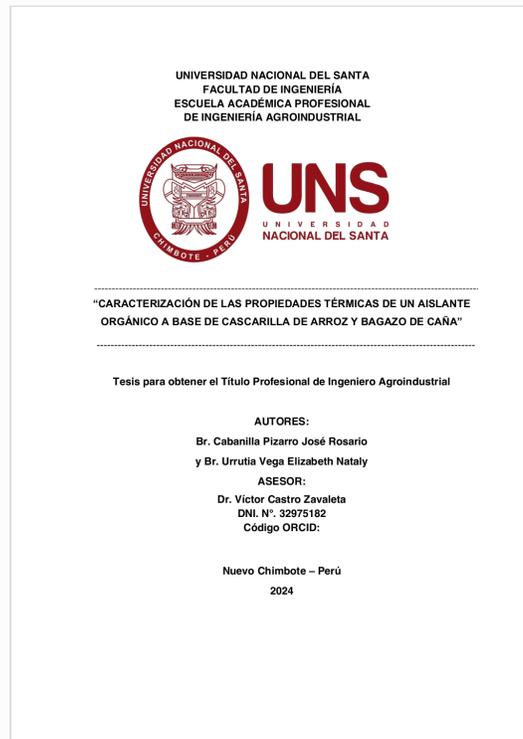


## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: user user  
Assignment title: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE UN ...  
Submission title: tesis cabanillas.docx  
File name: tesis\_cabanillas.docx  
File size: 32.12M  
Page count: 81  
Word count: 13,770  
Character count: 74,369  
Submission date: 30-Jun-2024 10:26PM (UTC-0500)  
Submission ID: 2410985655



# CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS.....

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	10%
2	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://itscv.edu.ec">itscv.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.ulcb.edu.pe">repositorio.ulcb.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://es.wikipedia.org">es.wikipedia.org</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

La presente Tesis esta dedicada a Dios, ya que gracias a el he logrado concluir mi carrera, a mis padres: Leónidas, aunque no está físicamente con nosotros, me cuida y me guía para que todo me vaya bien; a mi madre Angelica por siempre estar a mi lado brindándome su apoyo y consejos, hermanos, hermanas, sobrinos y sobrinas; a mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una y otra manera han contribuido en el logro de mis objetivos.

José Rosario Cabanillas Pizarro

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres Dalila Y Luis que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos. También quiero dedicarle este trabajo a mi hermano, que siempre estará para mí, acompañándome en cada paso que doy.

URRUTIA VEGA ELIZABETH NATALY

## **AGRADECIMIENTO**

“Le agradezco muy profundamente a mi asesor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional”.

“Agradecerles a todos mis compañeros, los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas, Agradezco a todos mis profesores que, gracias a ellos con su orientación y formación brindada, pude lograr terminar con mis estudios universitarios.”

“Por último agradecer a la universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos”.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRAC.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	32
3.1.1. MATERIA PRIMA.....	32
3.2. MATERIALES Y REACTIVOS.....	32
3.2.1. MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS .....	32
3.2.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	32
3.4. PROCEDIMIENTO .....	33
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	36
a. Determinación de la Conductividad .....	36
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	40
3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	42
V. CONCLUSIONES.....	56
VI. RECOMENDACIONES.....	57
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	58
VII. ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1:</b> Relación entre Resistencia térmica y espesor de aislamiento .....	4
<b>Tabla 2:</b> Composición química de la cascarilla de arroz y la ceniza de cascarilla de arroz. ....	12
<b>Tabla 3.</b> Conductividad térmica de algunos materiales.....	16
<b>Tabla 4.</b> Matriz de operacionalización de Variables de estudios.....	40
<b>Tabla 5.</b> Matriz experimental de diseño mezclas Simplex con centroide. ....	40
<b>Tabla 6.</b> Características fisicoquímicas de la Cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar .....	43
<b>Tabla 7.</b> Propiedades físicas de los aislantes orgánicos formulados a base cascarilla de arroz (%) y Bagazo de caña (%) .....	44
<b>Tabla 8.</b> Análisis de Varianza para Densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) por Formulación .....	46
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza para Resistencia a la Ruptura (mJ) por Formulación.....	47
<b>Tabla 10.</b> Propiedades Termicas de los aislantes orgánicos formulados a base cascarilla de arroz (%) y Bagazo de caña (%). ....	51
<b>Tabla 11.</b> Análisis de Varianza para Conductividad Térmica ( $\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) por Formulación.....	53
<b>Tabla 12.</b> Análisis de Varianza para Resistencia Térmica ( $^{\circ}\text{C/W}$ ) por Formulación.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Plancha de poliestireno extruido. ....	5
<b>Figura 2.</b> Plancha de poliestireno expandido.....	6
<b>Figura 3.</b> Vidrio Celular.....	7
<b>Figura 4.</b> Perlita expandida.....	8
<b>Figura 5.</b> Paneles de Corcho.....	8
<b>Figura 6.</b> Paneles de agorfibra. ....	9
<b>Figura 7.</b> Aislantes térmicos de algodón.....	9
<b>Figura 8.</b> Rollos de aislante de fibras de coco.....	10
<b>Figura 9.</b> Conducción de calor a través de una pared plana . ....	14
<b>Figura 10.</b> Transferencia de calor por convección.....	17
<b>Figura 11.</b> Evolución del gradiente de temperatura en un material como función del tiempo.....	19
<b>Figura 12.</b> Gradiente de temperatura en estado estacionario a través de un material.. ....	19
<b>Figura 13.</b> Efecto del número de Biot sobre un gradiente de temperatura en estado estacionario en una pared Biot en pared.....	23
<b>Figura 14.</b> Efecto del número de Biot sobre la evolución del gradiente de temperatura en diferentes paredes. ....	24
<b>Figura 15.</b> Curvas isotérmicas de Planck para potencia emisiva espectral versus longitud de onda.....	30

<b>Figura 16.</b> Absorción, reflexión y transmisión de radiación térmica incidente por un material. ....	31
<b>Figura 17.</b> Esquema de unidad de Conducción Lineal de Calor H112A.....	37
<b>Figura 18.</b> Grafico de medias para la densidad de las diferentes formulaciones de aislante orgánico. ....	46
<b>Figura 19.</b> Grafico de medias para la Resistencia a la ruptura de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.....	49
<b>Figura 20.</b> Grafico de medias para la Conductividad Termica de las diferentes formulaciones de aislante orgánico .....	53
<b>Figura 21.</b> Grafico de medias para la resistencia Térmica de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.....	56

## RESUMEN

La investigación se centró en la formulación de aislantes orgánicos utilizando cascarilla de arroz y bagazo de caña, demostrando que las proporciones de estos componentes afectaron significativamente sus propiedades físicas y térmicas. A través de un estudio detallado que incluyó pruebas de conductividad térmica, densidad, resistencia a la ruptura y resistencia térmica, se estableció que la cascarilla de arroz mejoró la resistencia térmica, mientras que el bagazo de caña aumentó la resistencia a la ruptura y la densidad. Los análisis de varianza confirmaron que las diferencias entre las formulaciones eran estadísticamente significativas, resaltando la influencia de la composición material en las propiedades del aislante. La investigación sugirió que ajustar las proporciones de cascarilla y bagazo podría optimizar los aislantes para aplicaciones específicas, ofreciendo una solución sostenible y eficiente para la construcción.

**Palabras clave:** Aislantes orgánicos, Cascarilla de arroz, Bagazo de caña, Propiedades térmicas

## ABSTRAC

The research focused on the formulation of organic insulators using rice husk and sugarcane bagasse, demonstrating that the proportions of these components significantly affected their physical and thermal properties. Through a detailed study that included tests of thermal conductivity, density, rupture resistance, and thermal resistance, it was established that rice husk improved thermal resistance, while sugarcane bagasse increased rupture resistance and density. Variance analyses confirmed that the differences between the formulations were statistically significant, highlighting the influence of material composition on the properties of the insulator. The research suggested that adjusting the proportions of rice husk and bagasse could optimize insulators for specific applications, offering a sustainable and efficient solution for construction.

**Keywords:** Organic insulators, Rice husk, Sugarcane bagasse, Thermal properties

## I. INTRODUCCIÓN

La cascarilla de arroz y el bagazo de caña son subproductos agrícolas que, en muchos casos, son desechados o subutilizados, generando problemas ambientales y económicos. La cascarilla de arroz, que constituye aproximadamente el 20% del peso del grano, es un residuo resistente y difícil de degradar. Este subproducto, si no se maneja adecuadamente, puede acumularse y causar problemas de disposición final, como la contaminación del suelo y el agua. Por otro lado, el bagazo de caña, el residuo fibroso resultante de la extracción del jugo de caña, es abundante en regiones productoras de azúcar y, aunque a veces se utiliza como combustible en ingenios azucareros, gran parte de él se desecha sin un aprovechamiento eficiente.

Ambos materiales poseen características físicas y químicas que los hacen aptos para su utilización como componentes de materiales aislantes. El desarrollo de un aislante térmico eficiente y ecológico a partir de estos residuos puede ofrecer múltiples beneficios, tales como la reducción de la huella de carbono de los materiales de construcción, la mejora de la eficiencia energética de los edificios y la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles. Además, la valorización de estos subproductos puede generar ingresos adicionales para los agricultores y procesadores, fomentando un enfoque de economía circular.

La transferencia de calor en materiales sólidos se puede describir mediante la ley de Fourier, que establece que la cantidad de calor transferida a través de un material es proporcional al área de la sección transversal y al gradiente de temperatura, e inversamente proporcional al espesor del material. La conductividad térmica, por su parte, es una propiedad intrínseca del material que indica su capacidad para conducir calor. Un valor bajo de conductividad térmica es deseable en materiales aislantes, ya que indica una baja tasa de transferencia de calor, lo que contribuye a la retención de energía.

Las propiedades térmicas de un material aislante son cruciales para determinar su efectividad. La conductividad térmica, en particular, es una medida de la capacidad del material para transmitir calor. Un material con baja conductividad térmica es ideal para aislamiento, ya que reduce la transferencia de calor entre

el interior y el exterior de un edificio, mejorando la eficiencia energética. En este estudio, la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña se evaluará mediante ensayos experimentales, que implican la medición del flujo de calor a través de una muestra de material bajo un gradiente de temperatura controlado.

En el contexto actual de cambio climático y agotamiento de recursos naturales, la búsqueda de materiales sostenibles y eficientes para el aislamiento térmico ha cobrado una importancia creciente. En este sentido, la reutilización de subproductos agrícolas, como la cascarilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar, emerge como una solución prometedora para el desarrollo de aislantes térmicos ecológicos y económicos. Estos residuos agroindustriales, que se generan en grandes cantidades, representan un recurso infrutilizado con un potencial significativo para reducir la dependencia de materiales sintéticos y no renovables, al mismo tiempo que proporcionan una alternativa viable para el manejo de desechos agrícolas.

El objetivo principal de este estudio es caracterizar las propiedades térmicas de un aislante orgánico elaborado a partir de cascarilla de arroz y bagazo de caña. La comprensión detallada de estas propiedades es esencial para evaluar la eficacia del material como aislante y para su potencial aplicación en la industria de la construcción. Para este fin, se aplicarán principios fundamentales de la transferencia de calor, específicamente la ley de Fourier y la conductividad térmica.

El desarrollo y caracterización de un aislante térmico a partir de cascarilla de arroz y bagazo de caña representa una innovadora contribución al campo de los materiales de construcción sostenibles. Este estudio no solo busca mejorar la eficiencia energética de los edificios, sino también promover prácticas agrícolas más sostenibles y una gestión más eficiente de los residuos agroindustriales. A través de la aplicación de principios fundamentales de la transferencia de calor, se espera demostrar la viabilidad y eficacia de este nuevo material, abriendo nuevas posibilidades para su adopción en la industria de la construcción y otras aplicaciones afines.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Aislante térmico

Los aislantes térmicos, en realidad, son materiales que presentan una baja conductividad térmica, lo que significa que tienen la capacidad de reducir el flujo de calor, en lugar de ser una entidad independiente. Esta característica se basa en la incapacidad de estos materiales para conducir eficazmente el calor (Peña & Roman, 2018).

### 2.2. Resistencia Térmica de los Aislantes

La resistencia térmica como la capacidad de un material para oponerse al flujo de calor. Por lo tanto, la resistencia térmica está directamente relacionada con el grosor del material y, de manera indirecta, con su conductividad térmica. Esto significa que a medida que aumenta el grosor del material, aumenta su resistencia térmica, mientras que, si la conductividad térmica es alta, la resistencia térmica disminuye. La Tabla 1 presenta información sobre la relación entre la resistencia térmica y el grosor del material.

Tabla 1: Relación entre Resistencia térmica y espesor de aislamiento

Conductividad Térmica (w/nK)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> K/W)											
	espesor (mm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0.025	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.4	4.8
0.026	0.38	0.77	1.115	1.54	1.92	2.31	2.69	3.08	3.46	3.85	4.23	4.62
0.027	0.37	0.74	1.11	1.48	1.85	2.22	2.59	2.96	3.33	3.7	2.07	4.44
0.028	0.36	0.71	1.07	1.43	1.79	2.14	2.5	2.86	3.21	3.57	3.93	4.29
0.029	0.34	0.69	1.03	1.38	1.72	2.07	2.41	2.76	3.1	3.45	3.79	4.14
0.03	0.33	0.67	1	1.33	1.67	2	2.33	2.67	3	3.333	3.67	4
0.031	0.32	0.65	0.97	1.29	1.61	1.94	2.26	2.58	2.9	3.23	3.55	3.87
0.032	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.88	2.19	2.5	2.81	3.13	3.44	3.75
0.033	0.3	0.61	0.91	1.21	1.52	1.82	2.12	2.42	2.73	3.03	3.33	3.64

## 2.3 Materiales Aislantes de Construcción

Los materiales aislantes se destacan por exhibir un coeficiente de conductividad térmica reducido, lo que significa que tienen una capacidad mínima de conducir el calor. Esta propiedad les permite desempeñar un papel crucial como aislantes en las edificaciones residenciales, protegiendo contra las bajas temperaturas.

**2.3.1 Placas:** Las placas constituyen materiales rígidos que pueden ubicarse en las paredes, suelos o techos. Dentro de esta categoría, encontramos el Poliestireno Extruido, un material aislante que presenta una estructura celular rígida y contiene aire en su interior. El proceso de fabricación de este material consta de cuatro etapas: extrusión, expansión, calibración y mecanización. En la fase de extrusión, el poliestireno se introduce en forma de gránulos (pequeños cilindros) en una extrusora junto con otros aditivos hasta formar un fluido viscoso. Luego, se inyecta un agente espumante, y el material se dirige al cabezal para llevar a cabo la expansión. Durante la fase de calibración, se logra un acabado liso y plano en la superficie y se uniformizan los bordes de los paneles. Finalmente, la banda de material ingresa a una línea continua donde se cortan los paneles en las dimensiones deseadas (Comité Técnico de la Asociación Ibérica de Poliestireno Extruido (AIPEX), 2016).



Figura 1: Plancha de poliestireno extruido

Fuente: Royce (2016)

El coeficiente de conductividad térmica de este material varía en un rango de 0.025 a 0.04 W/m·K, y es esencial tener en cuenta el grosor, ya que este factor determina su capacidad para resistir el flujo de calor (AIPEX, 2012).

**2.3.2 Poliestireno Expandido:** El poliestireno expandido es una espuma de plástico que es rígida y liviana, y se produce a partir de poliestireno junto con una cantidad de pentano como agente expansor. Su aplicación principal es como material aislante, tanto térmico como acústico. Su coeficiente de conductividad térmica varía en un rango de 0.029 a 0.053 W/m·K (Sundolitt, 2016).



Figura 2: Plancha de poliestireno expandido

Fuente: Rolisyg (2016)

**2.3.3 Vidrio celular:** Se trata de un material aislante que contiene células selladas de manera hermética, con una larga vida útil y una estabilidad notable, pero al mismo tiempo es susceptible a daños por su fragilidad. La conductividad térmica de este material varía entre 0.035 y 0.055 W/m.K. El proceso de producción del vidrio celular involucra la fusión y expansión del vidrio sílice-aluminoso, culminando en la obtención de paneles rígidos, como se ilustra en la Figura 3 (Universidad Ramon Hull, 2016).



Figura 3: Vidrio Celular

Fuente: Unversidad Ramon Hull (2016)

**2.3.4 La perlita expandida:** Se compone de un mineral de origen volcánico que posee la capacidad de expandirse a elevadas temperaturas. La fabricación de este material implica someterlo a un cambio brusco de temperatura, aproximadamente a  $900^{\circ}\text{C}$ , para aumentar su volumen, resultando en un producto de color blanco, como se exhibe en la Figura 4. Su conductividad térmica varía en el rango de 0.04 a 0.06 W/m.k (Universidad Ramon Hull, 2016)



Figura 4: Perlita expandida

Fuente: Rolisyg (2016)

**2.3.5 Corcho:** El corcho es un material derivado de la capa exterior del alcornoque. También se utiliza como un aislante tanto térmico como acústico y se encuentra disponible en diversas formas, como láminas, triturado y planchas (Vida Sostenible. Org, 2010). Su conductividad térmica varía en el rango de 0.034 a 0.1 W/m.k. Para fabricar paneles de corcho, se inicia con la extracción del material del árbol, luego se procede con el triturado y finalmente se compacta y cocina el granulado, permitiendo que el corcho se adhiera por medio de su propia resina (Ecohabitar, 2017). La Figura 5 presenta una ilustración de una plancha de corcho.



Figura 5: Paneles de Corcho

Fuente: Universidad Ramon Hull (2016)

**2.3.6 Agrofibras:** Estos paneles son elaborados a partir de desechos agrícolas y encuentran aplicaciones diversas, incluyendo su uso como aislantes y en sectores como la industria del mueble, construcción y embalaje industrial. El proceso de fabricación no es complicado: en primer lugar, se trituran las fibras, luego se mezclan con una resina o un agente aglutinante y se someten a una alta temperatura para obtener un material con estabilidad. Su conductividad térmica se sitúa en el rango de 0.037 a 0.09 W/m.k (Eco-boards, 2016). La Figura 6 muestra un ejemplo de un panel de agrofibra.



Figura 6: Paneles de agorfibra

Fuente: Ecoboard Softboard (2016)

**2.3.7 Algodón y lana de oveja:** Los materiales aislantes hechos a partir de algodón y lana de oveja se producen utilizando desechos textiles que son desgarrados en fibras. Pueden ser fabricados en forma de mantas, paneles o en estado granular. Ambos materiales exhiben bajas conductividades térmicas; para el algodón, esta conductividad varía entre 0.029 y 0.04 W/m·K, mientras que para la lana de oveja se encuentra en el rango de 0.035 a 0.005 W/m·K. La fabricación de estos materiales implica el desfibrado de los textiles, seguido de un proceso de decoloración y la aplicación de tratamientos contra insectos y hongos, antes de ser destinados a la producción de mantas o paneles (Wadel, 2015).



Figura 7: Aislantes térmicos de algodón

Fuente: Wadel, (2015)

**2.3.9 Fibras de coco:** Las fibras de coco son empleadas tanto como aislante térmico como acústico y suelen presentarse en forma de rollos para simplificar su instalación. Tienen una conductividad térmica que varía en el rango de 0.043 a 0.047 W/m·K. El proceso de fabricación comienza con el paso de las fibras por una cardadora, donde se entrelazan para formar un tejido de fibra de coco. Luego, este tejido se somete a un proceso de prensado para conferirle rigidez, y finalmente se corta en diversas dimensiones para obtener placas, rollos o tiras (Barnacork, 2012).



Figura 8: Rollos de aislante de fibras de coco

Fuente: Barnacork, (2012)

**2.3.10 Lino:** El lino es una planta cultivada en regiones con climas templados o fríos y presenta una conductividad térmica aproximada de 0.037 a 0.047 W/(m·K). Los aislantes fabricados a partir de lino pueden encontrarse en forma de rollos, placas o proyectado. Estos aislantes se producen utilizando residuos textiles que son triturados y luego mezclados con aditivos (Ecohabitar, 2017).

**2.3.11 Celulosa (Fibras de celulosa):** Los materiales hechos de celulosa se obtienen a partir de papel reciclado que se somete a un proceso de trituración y desfibrado, al que se le añaden sales bóricas. Posteriormente, son almacenados y empaquetados. Estos materiales se utilizan principalmente como relleno en paredes y presentan propiedades de

resistencia al fuego y descomposición. Su conductividad térmica oscila entre 0.034 y 0.1 W/(m·K) (Ecohabitar, 2017).

**2.3.12 Virutas de madera (Fibras de madera):** Los aislantes hechos de madera se elaboran a partir de los desechos de madera provenientes de aserraderos. El proceso de transformación implica triturar los trozos de madera, desfibrarlos y agregar agua. La mezcla se calienta para homogeneizar el material. La madera contiene lignina, lo que permite su aglomeración sin necesidad de aditivos adicionales. Luego, se prensa y se seca antes de cortarse en las dimensiones deseadas. Estos materiales aislantes de madera se aplican en fachadas, suelos y divisiones interiores, y su conductividad térmica varía entre 0.038 y 0.107 W/(m·K) (Ecohabitar, 2017).

#### **2.4. Cascarella de Arroz.**

La cáscara de arroz es un material vegetal que contiene celulosa y sílice, elementos que mejoran su eficiencia como fuente de energía. El uso de la cáscara de arroz como combustible representa una contribución significativa a la conservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas en la producción de arroz, uno de los principales granos en nuestra dieta. (Valverde, 2017)

La cáscara de arroz posee diversas características físicas y químicas que deben ser estudiadas de acuerdo con la aplicación que se le quiera dar. La cantidad de humedad, la composición química y el valor calorífico de la cáscara son aspectos cruciales que deben ser conocidos para diseñar y operar hornos y equipos mecánicos apropiados para la incineración de este subproducto agrícola. (Valverde, 2017)

La cáscara de arroz es un tejido vegetal que está compuesto en gran parte por celulosa y sílice. La sílice, en particular, proporciona resistencia al cemento, lo que la convierte en un material adecuado

para aplicaciones agroindustriales. Entre los componentes de la cáscara de arroz, la sílice destaca por su alto porcentaje, llegando al 20%. Cuando la cáscara de arroz se quema, experimenta procesos de descomposición que dificultan la combustión continua y completa. Su poder calorífico es de 3,281 calorías por kilogramo debido a su estructura cerrada. Una característica importante es su baja biodegradabilidad en condiciones naturales, y estudios han demostrado que, al incinerarse, la cáscara de arroz produce aproximadamente un 17,8% de ceniza con contenido de sílice (Prada & Cortés, 2010).

**Tabla 2. Composición química de la cascarilla de arroz y la ceniza de cascarilla de arroz por A. Prada y C. Cortés (2010).**

Cascarilla de arroz		Ceniza de Cascarilla de arroz	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39,1	Ceniza de sílice (SiO <sub>2</sub> )	94,1
Hidrogeno	5,2	Oxido de Calcio (CaO)	0,55
Nitrógeno	0,6	Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxigeno	37,2	Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	2,1
Azufre	0,1	Oxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0,11
Cenizas	17,8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Oxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	0,05
		Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,12
		Otros Componentes (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,82
TOTAL	100	TOTAL	100

## 2.5. Bagazo de Caña.

El bagazo de caña de azúcar se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina y se obtiene como un subproducto en los centrales azucareros después de extraer el jugo de caña de azúcar. Su cantidad varía, representando aproximadamente entre el 25% y el 40% de la materia total procesada, dependiendo del contenido de fibra de la caña y la eficiencia en la extracción del jugo. En Venezuela, es uno de los residuos agrícolas más abundantes, con una producción anual estimada de 600,000 toneladas por año (MPC, 2001). Tradicionalmente, en los centrales

azucareros, se quema este residuo para producir algo de energía y para limitar su disposición final (SICA, 2006).

El bagazo de caña de azúcar, al igual que otros materiales lignocelulósicos, es rico en fibra, pero difícil de digerir como alimento para animales rumiantes debido a su estructura compleja. Por lo tanto, es necesario someterlo a tratamientos que reduzcan o eliminen las barreras físicas y químicas, como la cristalinidad de la celulosa, los grupos acetilos de la hemicelulosa y los enlaces entre la hemicelulosa y la lignina. Estos tratamientos mejorarían la accesibilidad de las enzimas durante la hidrólisis, lo que permite la conversión de la celulosa y la hemicelulosa en azúcares fermentables.

En términos generales, estos tratamientos buscan reducir la cristalinidad de la celulosa, separar la celulosa de la lignina, aumentar la superficie y eliminar o reducir sustancias que obstaculicen la hidrólisis (Sun y Cheng, 2002; Hamelinck et al., 2005).

Un tratamiento eficaz debe ser económico, de bajo consumo energético, con facilidad de recuperación y reutilización, y aplicable a varios materiales de manera eficiente y reproducible. Además, debe evitar la degradación o pérdida de carbohidratos o la formación de subproductos que inhiban las enzimas y microorganismos en los procesos de hidrólisis y fermentación (Lynd et al., 2005; Sun y Cheng, 2002; Martin et al., 2006).

La composición física del bagazo de caña de azúcar incluye los siguientes componentes: fibra (45%), sólidos insolubles (2-3%), sólidos solubles (2-3%), y agua (50%) (Aguilar, 2011). La alta proporción de agua se debe a dos características fundamentales inherentes al bagazo: la capacidad de absorción, que se refiere a la habilidad de sus componentes para retener moléculas de agua;

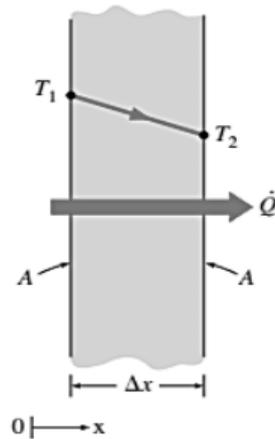
y la capacidad de adsorción, que permite que estas moléculas se mantengan en la superficie del bagazo debido a la tensión superficial. Además, el bagazo también exhibe permeabilidad, lo que facilita el transporte de moléculas de agua a través de su estructura. Estas propiedades físicas y químicas son características distintivas del bagazo (Hernández, 2017).

## **2.6. Transferencia de Calor**

La transferencia de calor ocurre cuando la energía térmica se mueve de un medio con una temperatura más alta a uno con una temperatura más baja, y este proceso se detiene cuando ambos medios alcanzan la misma temperatura. Es esencial destacar que la transferencia de calor solo se produce cuando existe una diferencia de temperatura; en ausencia de esta diferencia, no se produce ningún intercambio de calor (Çengel, Ghajar, 2011, p.17).

### **2.6.1 Conducción de calor:**

La transferencia de calor por conducción se produce cuando las partículas con mayor energía interactúan con partículas adyacentes de menor energía dentro de una sustancia. Este proceso puede tener lugar en sólidos, líquidos y gases. En líquidos y gases, la conducción se produce a través de colisiones y la difusión de moléculas, mientras que, en sólidos, se debe a las vibraciones de las moléculas y a la transmisión de energía por parte de los electrones libres. Varios factores ejercen una influencia significativa en la velocidad de la conducción, como la geometría de la configuración, el grosor y el material de la sustancia (Çengel, Ghajar, 2011, p.18). Un ejemplo de esto se observa en la transferencia de calor a través de una pared plana, como se ilustra en la Figura 9.



**Figura 9: Conducción de calor a través de una pared plana**  
**Fuente: Çengel, Ghajar (2011)**

Según los resultados de experimentos, se ha comprobado que el flujo de calor ( $Q$ ) se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura o el área en una pared plana. Por lo tanto, se puede concluir que la transferencia de calor en una pared plana es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y al área de transferencia de calor (Çengel, Ghajar, 2011, p.18). La ecuación de la conducción de calor fue inicialmente formulada por J. Fourier, y en su honor se la conoce como la ley de Fourier.

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

Donde:

$Q_{cond}$  = Flujo de calor

$K$  = conductividad térmica (w/m.k)

$A$  = área de transferencia  $m^2$

$T_1 - T_2$  = Diferencia de temperatura

$\Delta x$  = Espesor

En esta ley, se introduce el factor "K" que representa la conductividad térmica del material. La conductividad térmica se define como una medida que refleja la capacidad de un material para conducir calor. Por lo tanto, cuando esta

propiedad tiene un valor alto, indica que el material es un buen conductor de calor, mientras que un valor bajo sugiere que es un mal conductor o aislante (Çengel, Ghajar, 2011, p.19). La Tabla 3 muestra una lista de conductividades térmicas, y se puede concluir que los metales exhiben una alta conductividad térmica, lo que los convierte en excelentes conductores de calor en comparación con otros materiales.

**Tabla 3: Conductividad térmica de algunos materiales**

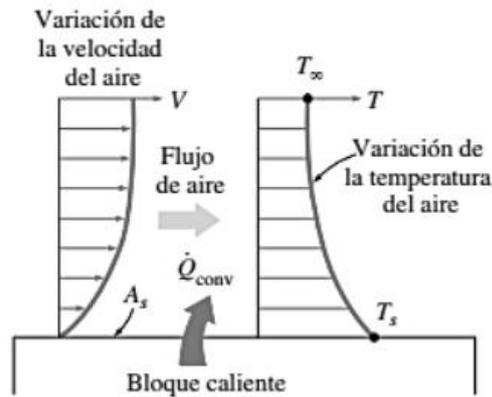
Conductividad Térmica de algunos materiales a temperatura ambiente	
Material	kW/m.°C
Diamante	2300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua(l)	0.607
Piel Humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio 8g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire 8g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

Fuente: Çengel, Ghajar (2011)

### 2.6.2 Convección:

Es un mecanismo de transferencia de energía que ocurre entre una superficie sólida y un fluido, ya sea líquido o gas, que está en movimiento y se encuentra en contacto cercano con la superficie. Para que se considere como convección, es esencial que el fluido esté en movimiento; de lo contrario, se

clasificaría como conducción. Además, es importante destacar que cuanto más rápido sea el movimiento del fluido, mayor será la cantidad de calor transferida (Çengel, Ghajar, 2011, p.25). La Figura 11 ilustra la transferencia de calor desde una superficie caliente hacia el aire a través del proceso de convección.



**Figura 11: Transferencia de calor por convección**

**Fuente: Çengel, Ghajar (2011)**

Para calcular la cantidad de calor transferido en un proceso de convección, se utiliza la Ley de Enfriamiento de Newton, que establece que la transferencia de calor por convección es directamente proporcional a la diferencia de temperatura (Çengel, Ghajar, 2011).

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

Donde:

$Q_{conv}$  = Flujo de calor

$h$  = coeficiente de transferencia de calor

$A_s$  = área superficial de transferencia

$T_s$  = temperatura de la superficie

$T_{\infty}$  = temperatura del fluido

### 2.6.3 Radiación

La radiación se refiere a la energía que es liberada por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones. Existen diversas formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las ondas de radio, entre otras, que no están relacionadas con la temperatura. La transferencia de calor por radiación no depende de la presencia de un medio para propagarse. Un ejemplo común de este tipo de transferencia es la energía del sol que llega a la Tierra (Çengel, Ghajar, 2011, p. 27).

En el caso de los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, la radiación es un fenómeno superficial. La cantidad máxima de radiación que emite una superficie se puede calcular utilizando la Ley de Stefan-Boltzmann (Çengel, Ghajar, 2011, p. 28).

$$Q_{emitida\ max} = \sigma A_x T_x^4$$

Donde:

$Q_{emitida\ máx}$  = Flujo de calor máximo emitido

$\sigma$ :  $5.67 \times 10^{-8}$  w/m<sup>2</sup>. k<sup>4</sup> constante de Stefan-Boltzmann

$A_s$  = Área superficial de transferencia

$T_s$  = Temperatura termodinámica

### Conducción térmica en estado seco

La conducción térmica es la transferencia de energía interna (como calor), que ocurre entre moléculas vecinas de un sólido, líquido o gas y entre diferentes materiales en contacto cercano entre sí, sin necesidad de ningún movimiento a granel de ese material. La tasa de transferencia de calor por conducción es proporcional al gradiente de temperatura y el coeficiente de proporcionalidad se denomina conductividad térmica,  $\lambda$

(W/m·K). A medida que el calor fluye de una ubicación de mayor temperatura,  $T$  (K), a una de menor temperatura, el flujo de calor  $q$  (W/m<sup>2</sup>) por conducción puede describirse, en una dimensión,  $y$  (m), por la Ley de Fourier de la Conducción Térmica (ver Fig. 11):

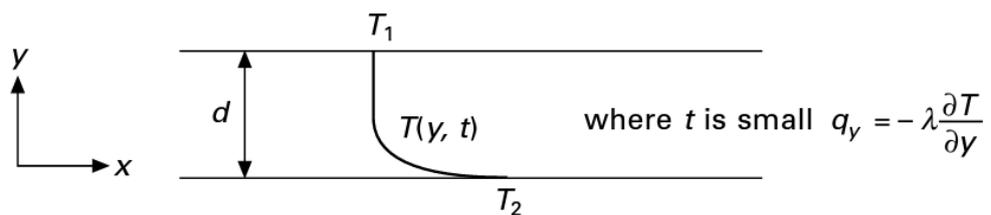
La temperatura puede variar en las tres dimensiones simultáneamente, de tal manera que los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  también se pueden escribir:

$$q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{and} \quad q_z = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$$

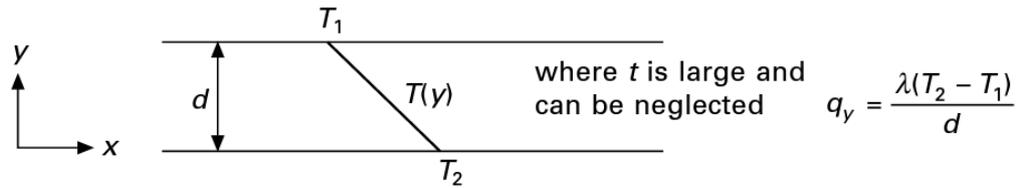
Los flujos de calor simultáneos en cada dimensión, por supuesto, se pueden escribir como un solo flujo con divergencia de temperatura, si los vectores  $x$ ,  $y$ ,  $z$  son conocidos, para dar la expresión más general:

$$q = -\lambda \nabla T$$

Para un material térmicamente homogéneo de espesor conocido,  $d$  (mm) con temperaturas superficiales  $T_1$  en  $x = 0$  y  $T_2$  en  $x = d$ , bajo condiciones de estado estacionario obtenemos un gradiente de temperatura de estado estacionario como se muestra en la Fig. 12.



**Figura 11: Evolución del gradiente de temperatura en un material como función del tiempo.**



**Figura 12: Gradiente de temperatura en estado estacionario a través de un material.**

La conductividad térmica de un material se mide típicamente por un método de estado estacionario, como el aparato medidor de flujo de calor que cumple con la norma ISO 8301 Aislamiento térmico – Determinación de la resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas, o aparato de caja caliente guardada (BS EN ISO 8990). En el campo, la conductividad térmica de materiales in situ puede medirse mediante métodos de sonda de calor (Pilkington et al., 2008; Bristow, 1998) o medidores de flujo de calor (Doran, 2000).

La conductividad 'tal como construida' de los materiales a menudo se encuentra más alta que el valor de diseño y esto puede deberse a varios factores, incluyendo la degradación con la edad, el desgaste, la acumulación de suciedad y humedad, puentes térmicos y defectos de construcción. Doran encontró que los valores U 'tal como construidos' eran en promedio un 20% más altos que los valores de diseño para construcciones de paredes y techos en el Reino Unido (Doran, 2000).

La ISO 10456 (1999) proporciona metodologías para el cálculo del cambio en la conductividad térmica cuando se ve influenciada por variaciones en el contenido de humedad del espécimen, la temperatura y la edad, basadas en tablas de factores que se dan para varios materiales comunes. La conductividad térmica de materiales de construcción porosos puede verse muy afectada por su contenido de

humedad y es importante estar al tanto del contenido de humedad del material que se está probando. Las relaciones entre el contenido de humedad y la conductividad térmica pueden determinarse experimentalmente (ISO 10051, 1996).

Para el tejido de construcción, la transmitancia térmica general, U, a menudo se denomina 'valor U' (W/m<sup>2</sup>K) que es simplemente el recíproco de la resistencia térmica total, R<sub>t</sub> para un tejido de conductividad térmica conocida, λ y espesor, d. La resistencia térmica o 'valor R' (m<sup>2</sup>K/W) de un material o capa es igual a d / λ y las resistencias múltiples son conmutativas, por ejemplo, en el caso de una pared:

$$R_T = R_{brick} + R_{air\ cavity} + R_{concrete} + R_{plasterboard}$$

Las resistencias superficiales interiores y exteriores (R<sub>si</sub>, R<sub>so</sub>) pueden incluirse como se discute a continuación. Esto es análogo a la resistencia eléctrica ya que: q=ΔTRq, para resistencias en serie. Se ha atribuido una resistencia térmica a la cavidad de aire. Claramente, la transferencia de calor a través de un espacio lleno de fluido en este sentido ocurriría por convección natural, aunque también ocurre la conducción de fluido. El uso de un término de resistencia único es tratar esta transferencia de calor como un término conductivo, por conveniencia, expresando la resistencia equivalente ofrecida como resultado del coeficiente de convección en la cavidad. Esto se puede calcular en cada caso, pero normalmente se utilizan valores tabulados estándar dependiendo de la dirección del flujo y si la cavidad está ventilada o no (CIBSE, 2006).

De manera similar, las complejas interacciones fluido-superficie que ocurren en el límite cuando el aire se encuentra con la superficie de la pared, por ejemplo, pueden reducirse a un solo término de 'resistencia equivalente'.

Estos valores tienen en cuenta el coeficiente de convección para cualquier transferencia de calor sólido-fluido, así como las ganancias de radiación de onda corta por el sólido y las ganancias/pérdidas de radiación de onda larga por la superficie. Nuevamente, se han producido valores estándar para la resistencia superficial interna ( $R_{si}$ ) y la resistencia superficial externa ( $R_{so}$ ) para mayor conveniencia (CIBSE, 2006).

### **Conducción térmica transitoria**

La capacidad calorífica es significativa cuando se considera la transferencia de calor dinámica (transitoria o variable en el tiempo). Dos características de materiales comúnmente usadas que incorporan la capacidad calorífica son la difusividad y la efusividad. La difusividad térmica se calcula a partir de la razón de la conductividad térmica a la capacidad calorífica volumétrica:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

Los materiales con una mayor difusividad térmica alcanzarán el equilibrio térmico con su entorno más rápidamente. La efusividad térmica se calcula a partir de la raíz cuadrada del producto de la conductividad térmica y la capacidad calorífica volumétrica:

$$\beta = \sqrt{\lambda \rho c_p}$$

Esta se puede usar para inferir la magnitud de la transferencia de calor al contacto con un material. Por ejemplo, si uno toca tanto madera como acero a la misma temperatura ambiente, el acero se sentirá más frío ya que

tiene una mayor efusividad y el calor se transfiere de la mano al material a una tasa más alta.

La forma general de la ecuación de difusión del calor se basa en el principio de conservación de la energía. Se puede usar como base para medir la distribución de la temperatura en función del tiempo en cada una de las tres dimensiones, T (x, y, z), y se puede escribir de la siguiente manera (Incropera et al., 2007):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q^{\circ} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Nótese que (q) es un término fuente de energía térmica asociado con la tasa de generación de calor del material medido en vatios por unidad de volumen del material en cuestión (W/m<sup>3</sup>).

En un caso de dimensiones conocidas, la longitud efectiva, L, es igual a la distancia entre los puntos máximos y mínimos en un solo gradiente de temperatura. La cantidad hL/λ es un parámetro adimensional llamado número de Biot (Bi) que se usa en problemas de conducción transitoria que involucran intercambios de convección. Es efectivamente la medida de una caída de temperatura en el sólido en relación con la diferencia de temperatura entre la superficie de ese sólido y un fluido (líquido, gas o una mezcla de gas/vapor como el aire) (Incropera et al., 2007).

$$Bi = \frac{\text{Transferencia de Calor por conveccion}}{\text{Transferencia de Calor por conduccion}}$$

$$Bi = \frac{hL}{\lambda} = \frac{(L/\lambda A)}{(1/hA)} = \frac{T_{S1} - T_{S2}}{T_{S2} - T_{S\infty}}$$

La Figura 13, muestra el efecto del número de Biot en la distribución de temperatura en estado estacionario establecida en una pared con convección superficial en el límite pared-aire.

El llamado método de capacidad agrupada asume que  $T$  es uniforme en cualquier instante, incluso si disminuye en función del tiempo.

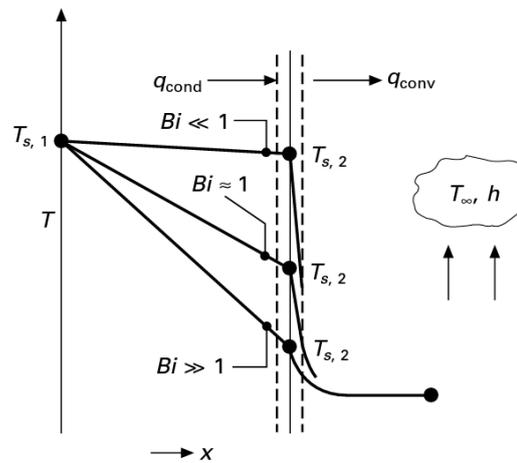


Figura 13: Efecto del número de Biot sobre un gradiente de temperatura en estado estacionario en una pared Biot en pared (tomado de Incropera et al., 2007).

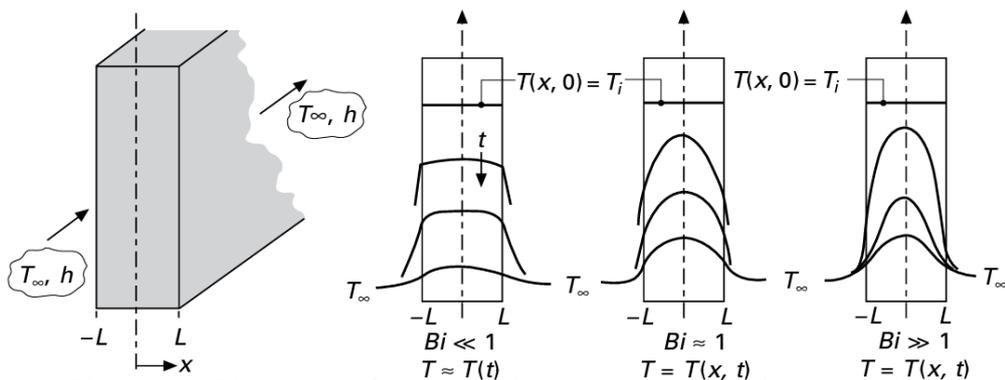


Figura 14: Efecto del número de Biot sobre la evolución del gradiente de temperatura en diferentes paredes (tomado de Incropera et al., 2007).

Esto sugeriría que  $\lambda = \infty$ , o simplemente podemos asumir que el gradiente de temperatura existe, pero es insignificante y

puede ser ignorado. Cuando  $Bi \ll 1$  la resistencia a la conducción térmica dentro del sólido es mucho menor que la resistencia a la convección a través de la capa límite sólido-fluido. Por lo tanto, la suposición de un gradiente térmico insignificante dentro del sólido puede ser válida.

El número de Biot también es muy útil para considerar la evolución de los gradientes térmicos dentro de un material sólido (por ejemplo, una pared) cuando las condiciones ambientales cambian. El ejemplo en la Fig. 14 muestra tres paredes con números de Biot muy contrastantes. Nótese que, en un caso simétrico como este, el espesor de la pared se toma como  $2L$  ya que la longitud efectiva es la que hay entre la temperatura máxima (centro de la pared) y el punto más bajo.

En contraste, cuando  $Bi \gg 1$  la mayor parte de la diferencia de temperatura evoluciona dentro del sólido en lugar de cerca del límite sólido-fluido. Con referencia a la difusividad térmica, y además del número de Biot, el segundo término adimensional clave que es esencial para la conducción transitoria es el número de Fourier ( $Fo$ ) donde:

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2}$$

y

$$Bi * Fo = \frac{hA_s}{\rho V c}$$

De esto podemos calcular el cambio de temperatura del sólido durante un período de tiempo o la temperatura del sólido en un tiempo conocido,  $t$ , usando:

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_i} = \frac{T_i - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp \left[ - \left( \frac{hA_s}{\rho V c} \right) t \right] = \exp (- Bi \cdot Fo)$$

En los casos donde el método de capacidad agrupada simple no es válido (por ejemplo, donde  $Bi \gg 1$ ), los gradientes de temperatura ya no se pueden asumir como insignificantes y se deben usar métodos numéricos más sofisticados. Una revisión completa de estos está fuera del alcance de este capítulo. Se pueden obtener más detalles consultando a Incropera et al. (2007). Algunos modelos y técnicas específicos.

En todos los enfoques para la conducción térmica en tejidos de construcción que se han discutido hasta ahora, la transferencia de calor se ha asumido en gran medida en una dimensión. Esto es perfectamente aceptable cuando la eficiencia energética y la pérdida/ganancia de calor en el tejido son las principales preocupaciones. En situaciones donde se necesita entender la distribución del calor por conducción (por ejemplo, debido a puentes térmicos alrededor de una columna o una junta), entonces se puede requerir un enfoque bidimensional o incluso tridimensional. Uno de los enfoques más comunes es usar el Método de Volumen de Control (CVM), que implica discretizar el tejido en forma de una malla, donde se considera la conducción térmica entre puntos nodales. Cuanto más fina sea la malla, más cercano será el resultado numérico al valor real; por lo tanto, la complejidad y escala de la malla da resultados más precisos a expensas del tiempo de procesamiento. Muchos paquetes de software comerciales usan un enfoque como este, incluyendo FLUENT de ANSYS.

### **Convección térmica**

La convección ocurre cuando hay conducción de calor hacia las moléculas de un fluido y el movimiento masivo de ese fluido transporta esas moléculas lejos de la fuente de calor. Típicamente se usa para describir el intercambio de calor en

una superficie debido al movimiento del aire a través de esa superficie. El movimiento del aire puede ser el resultado de la convección natural debido a la flotabilidad del aire caliente (menos denso) inmediatamente sobre un techo plano, por ejemplo, o a través de la convección forzada causada por el viento o el movimiento de un vehículo, y puede ser una combinación de ambos. Se puede describir en una forma similar a la conducción, pero introduciendo un coeficiente de convección,  $h_c$  (W/m<sup>2</sup> K):

$$q_{Conv} = h_c (T_2 - T_1)$$

El valor del coeficiente de convección dependerá de la geometría (forma y orientación de la superficie), las propiedades del material (rugosidad de la superficie), las propiedades del fluido (viscosidad), la velocidad del fluido en el flujo libre (velocidad y dirección) y la temperatura del fluido y la superficie. Estos determinarán si el flujo sobre la superficie es impulsado por flotabilidad o forzado, laminar o turbulento.

La transferencia de calor por convección también ocurre dentro de materiales porosos, y es la reducción en este término lo que da a los materiales aislantes sus propiedades de baja transferencia de calor. Los materiales aislantes sólidos normalmente tienen una baja densidad y contienen una gran proporción de poros (o vacíos) que están interconectados de tal manera que ofrecen un nivel muy alto de resistencia a cualquier fluido que intente pasar a través de ellos, es decir, la tortuosidad (ver sección 1.3 para más detalles). El propósito de los llamados materiales aislantes es ofrecer un nivel muy alto de resistencia térmica ( $R$ , m<sup>2</sup> K/W) y ser lo más delgados posible, es decir,  $\lambda$  debe ser muy bajo para asegurar que el diámetro no tenga que aumentar.

Como con todos los materiales, sabemos que la conductividad térmica total de un material aislante,  $\lambda_{total}$ , se cuantifica con respecto al flujo de calor en condiciones de estado estacionario a una temperatura media conocida. En consecuencia, los modos primarios de transferencia de calor a través de materiales aislantes pueden considerarse que tienen un efecto acumulativo en la determinación de  $\lambda_{total}$ . Los modos de transferencia de calor en un material aislante poroso típico se pueden describir como:

- Conducción a través del material sólido,  $\lambda_{solid}$
- Conducción a través del fluido en los poros,  $\lambda_{fluid}$
- Radiación entre las superficies internas de los poros,  $\lambda_{rad}$
- Convección natural a través del fluido en los poros,  $\lambda_{conv}$ .

Nótese que los términos convectivos y radiativos se han agrupado como conducciones efectivas, donde:

$$\lambda_{total} = \lambda_{Fluid} + \lambda_{Solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{conv}$$

Claramente, en el caso de la física de edificios, el fluido puede ser aire, una mezcla de aire-agua o agua, en cuyo caso  $\lambda_{fluid}$  puede variar significativamente y la energía térmica también puede pasar en forma latente debido a la vaporización/condensación del agua. Esto puede tener serias implicaciones para el rendimiento de los materiales aislantes y resalta la necesidad obvia de que se mantengan secos si van a ser efectivos.

En materiales aislantes convencionales con diámetros de poro mayores de ~1 mm, el componente de transferencia de calor por convección puede representar una proporción significativa de  $\lambda_{total}$  a temperatura y presión estándar (STP). A medida que los diámetros de los poros se vuelven más pequeños y los caminos interconectados entre ellos se vuelven más tortuosos, el movimiento del fluido se restringe y así la convección se

vuelve menos dominante y la conductividad térmica de la fase de fluido en reposo se convierte en el factor limitante. Si asumimos que los poros están llenos de aire, entonces el aire en reposo tiene una conductividad térmica de aproximadamente 0.026 W/m K. Si los diámetros de los poros son suficientemente pequeños, entonces podemos asumir  $\lambda_{conv}=0$

Para que  $\lambda_{total}<0.026$  (W/m K) ocurra,  $\lambda_{fluid}$  debe reducirse significativamente. Las moléculas en el fluido transfieren energía cinética entre sí en forma de calor cuando chocan. El camino libre medio molecular es la distancia promedio que una de las moléculas debe recorrer antes de chocar con otra del mismo tipo. Por lo tanto, si esta distancia se reduce, entonces  $\lambda_{fluid}$  debe disminuir porque se necesitan más colisiones moleculares para transferir la misma cantidad de energía térmica a través de una distancia  $d$  que antes, lo cual, por supuesto, es estadísticamente mucho menos probable.

El camino libre medio molecular en materiales porosos se reduce cuando el diámetro de los poros se vuelve suficientemente pequeño para que las colisiones molécula-pared del poro sean estadísticamente más probables que las colisiones molécula-molécula (Bird et al., 2001). La razón del camino libre medio molecular a una longitud característica (por ejemplo, el radio promedio del poro en un material poroso) se refiere como el número de Knudsen, que usa el símbolo  $Kn$ . Nótese que en materiales muy permeables cuando  $Kn \gg 1$  puede ser necesario usar el método de Monte Carlo (o un enfoque similar) para estimar las trayectorias moleculares dentro del poro y, por lo tanto, predecir el número de colisiones. El resultado neto es que cuando  $Kn \geq 1$ ,  $\lambda_{fluid}$  se puede escribir como:

$$\lambda_{fluid} = \frac{\lambda_{fluid}^0}{1 + \alpha \cdot Kn}$$

donde  $\lambda_{fluid}^0$  es la conductividad térmica del aire en reposo, y  $\alpha$  es una constante específica para el gas en los poros que

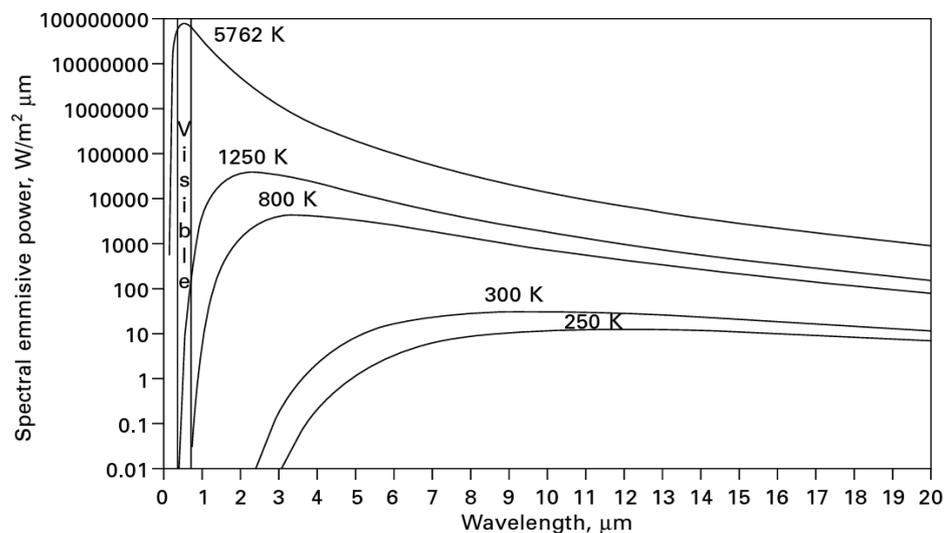
generalmente se considera que es aproximadamente 2 para el aire. Algunos materiales aislantes sólidos porosos tienen diámetros de poro extremadamente pequeños que resultan en números de Knudsen de aproximadamente 1 a 2. Esto daría un término  $\lambda_{fluid}$  de entre aproximadamente 0.0052 y 0.0087 W/mK.

### **Radiación térmica**

La radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura. Todos los objetos con una temperatura por encima del cero absoluto emiten radiación térmica en un espectro de longitudes de onda. La cantidad de radiación emitida por un cuerpo negro a cualquier longitud de onda se describe mediante la distribución espectral de potencia emisiva de cuerpo negro o la Ley de Planck, que puede escribirse como:

$$E_{b\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{10^6 \lambda^5 (\exp(hc/\lambda KT) - 1)}$$

Graficar la potencia emisiva espectral para un cuerpo negro en función de la longitud de onda para varias temperaturas produce una serie de curvas conocidas como curvas de Planck, como se muestra en la Fig. 15.



**Figura 15: Curvas isotérmicas de Planck para potencia emisiva espectral versus longitud de onda**

La potencia emisiva total puede encontrarse integrando la ley de Planck desde  $\lambda=0$  hasta  $\lambda=\infty$  (lo que nos da el área bajo la curva para una temperatura particular) y se conoce como la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E_b = \sigma T^4$$

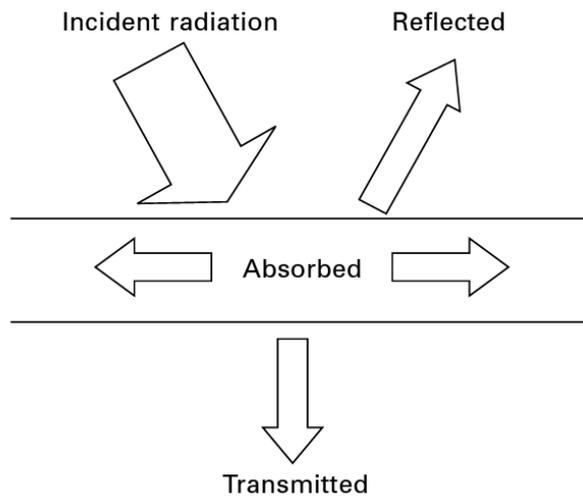
donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma=5.669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ ). La relación entre la potencia emisiva,  $E$ , de una superficie y la potencia emisiva de un cuerpo negro,  $E_b$ , a la misma temperatura se conoce como la emisividad,  $\epsilon$  (es decir,  $\epsilon=E/E_b$ ), por lo tanto:

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

Un cuerpo negro se define como un cuerpo que absorbe toda la radiación incidente a cualquier temperatura y longitud de onda dadas. Sin embargo, las superficies reales absorben y reflejan la radiación térmica y también pueden transmitir radiación térmica, como se muestra en la Fig. 16, y este comportamiento puede variar con la temperatura y la longitud de onda. La ley de Kirchhoff nos dice que la cantidad de energía radiante emitida por una superficie debe igualar la cantidad de energía radiante absorbida por esa superficie. Las propiedades del material de interés son, por lo tanto, la absorptividad ( $\alpha$ ) o emisividad ( $\epsilon$ ), la reflectividad ( $\rho$ ) y la transmitancia ( $\tau$ ), que describen las fracciones de la radiación incidente que son absorbidas, reflejadas y transmitidas de manera que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1, \quad \text{y} \quad \epsilon = \alpha$$

La transferencia neta de calor radiante entre dos superficies depende de sus temperaturas, tamaños y factores de vista. Los factores de vista de radiación describen la fracción del área de la superficie de la vista hemisférica desde una superficie que comprende la otra superficie. (Grimmond et al., 2001).



**Figura 16: Absorción, reflexión y transmisión de radiación térmica incidente por un material.**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS**

##### **3.1.1. MATERIA PRIMA**

- Bagazo de Caña
- Cascarilla de arroz

#### **3.2. MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.2.1. MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS**

- Placas Petri
- Vasos de precipitado 100 ml
- Matraz Erlenmeyer 250 ml.
- Fiola 100 ml
- Tubos de ensayo

##### **3.2.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

- Balanza de precisión electrónica 360 g. Marca: Precisa, Modelo: XB 320M SCS, Procedencia: Suecia.
- Agitador magnético con plancha de calentamiento. Marca: IKA, Modelo: C-MAG HS7, Procedencia USA.
- Analizador de Humedad. Marca: Precisa, Modelo: XM50, Procedencia: Suecia.
- Balanza Analítica, Marca: Precisa, Modelo: LX220A, Procedencia: Suecia.
- Medidor de pH y conductividad, Marca: Thermo scientific, Modelo: ORION STAR A211, Procedencia: Singapur.
- Esterilizadora digital a calor seco, Marca: Poleko Aparatura, Marca: SLN 115 STD INOX-G, Procedencia: Polonia.
- Módulo de Conducción lineal de calor optional - h112a.

### 3.4. PROCEDIMIENTO

#### 3.4.1. Caracterización proximal de materia prima y producto

##### 3.4.1.1. Composición química proximal cascarilla de arroz y bagazo de caña

Se llevo a cabo análisis de composición química proximal en la cáscara de arroz y el bagazo de caña, según se detallan a continuación. Todos los análisis se efectuarán en tres repeticiones

- El contenido de nitrógeno total se determinó por el método Micro-Kjeldahl (AOAC 960.52-1961 (2010). Microchemical determination of nitrogen), utilizando el factor de 6,25 para convertir el contenido de nitrógeno en proteínas totales;
- Porcentaje de humedad (Método 925.45b) según procedimientos y normas de la AOAC (2010);
- Cenizas (Método 923.15/90) de acuerdo con los procedimientos y estándares de la AOAC (2012);
- Extracto etéreo (Método 920.39) según procedimientos y estándares de la 30-25 AACC (2010);
- El contenido de carbohidratos totales se obtuvo por diferencia según la Ecuación 2.

$$\%Carb. = 100 - (\%Proteínas + \%Lípidos + \%Cenizas) \quad (1)$$

### **3.4.2. Medición de la conducción en estado constante.**

- a. Comprender el uso de la ecuación de la Ley Fourier, determinando el flujo de calor a través de materiales sólidos para un flujo uní-direccional y constante de calor.

El procedimiento se realizará según lo establecido en el Módulo de Conducción lineal de calor optional - h112a.

- b. Medir la distribución de la temperatura para una conducción de estado constante a través de una pared plana y determinar el Coeficiente de Transferencia de Calor Global para el flujo de calor a través de una combinación de diferentes materiales.

El procedimiento se realizará según lo establecido en el Módulo de Conducción lineal de calor optional - h112a.

- c. Determinar la conductividad térmica  $k$ , de una muestra.

El procedimiento se realizará según lo establecido en el Módulo de Conducción lineal de calor optional - h112a.

### **3.4.3. Elaboración del aislante orgánico a partir de bagazo de caña y la cascarilla de arroz**

#### **1. Selección y Preparación de los Materiales:**

Selección de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña: Los materiales deben estar limpios, secos y libres de impurezas.

Molienda y trituración: Los materiales se procederá a moler y triturar, hasta obtener partículas más pequeñas y uniformes.

#### **2. Formulación de la Mezcla:**

Determinación de la proporción: La proporción cascarilla de arroz y el bagazo de caña se realizará según el diseño experimental planteado.

Adición de aditivos: Se utilizará como aditivo almidón de maíz, el cual va actuar como un aglutinante y mejorar la cohesión de

la mezcla. La proporción se realizará según el diseño experimental planteado.

### **3. Mezcla y Homogeneización:**

Mezcla de los materiales: Coloca los materiales en un recipiente adecuado y mezclara a fondo para asegurar una distribución uniforme. Se usará una mezcladora o agitador para facilitar la homogeneización.

### **4. Moldeado:**

Llenado de moldes: Vierte la mezcla en moldes o recipientes adecuados que tengan la forma deseada para tu aplicación (Forma de disco).

Compactación: Se Compactará la mezcla en los moldes para eliminar burbujas de aire y lograr una estructura uniforme. Se realizará utilizando una prensa u otro equipo de compactación.

### **5. Secado y Curado:**

Secado: Se dejará que los moldes se sequen al aire durante un período de tiempo, luego se acelerara el proceso utilizando un horno o secador a una temperatura moderada.

Curado: El aislante reposara durante un tiempo para que madure y alcance sus propiedades óptimas.

### **6. Medición de la conductividad térmica:**

Se utilizo instrumentos adecuados para medir la conductividad térmica de las láminas de bagazo de caña y cascarilla de arroz. Evaluación en el Módulo de Conducción de Calor Lineal: Se introduce las láminas creadas en el Módulo de Conducción de Calor Lineal (h112a) y se realizara las pruebas de conducción de calor según tus objetivos de investigación.

### **3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

#### **a. Determinación de la Conducción termina**

Descripción del Módulo de Conducción Lineal de Calor H112A

El módulo de Conducción Lineal de Calor H112A permite estudiar las leyes fundamentales de la transferencia de calor por conducción lineal a través de una pared sólida. Este módulo está diseñado para usarse con el Módulo de Servicio de Transferencia de Calor H112, permitiendo medir la potencia del elemento térmico y la temperatura.

La unidad está montada sobre una base de PVC que debe colocarse adecuadamente sobre una superficie, preferiblemente en el lado izquierdo del Módulo de Servicio de Transferencia de Calor.

El módulo de transferencia de calor tiene una forma cilíndrica y se monta con su eje vertical sobre la base. La sección caliente contiene un cilindro de latón de 25 mm de diámetro con un elemento térmico de potencia nominal de 65 vatios (a 240V AC) en la parte superior. Un interruptor interno de alta temperatura (con reinicio automático) evita cualquier sobrecalentamiento. La energía se suministra al elemento térmico desde la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112 a través de un enchufe de 8 polos y un cable.

Los termopares (los cilindros elaborados por las formulaciones establecidas en el diseño experimental), se colocaron a lo largo de la sección calentada, a unos 15 mm de distancia.

## **Procedimiento:**

### **• Instalación:**

- Se asume que los procedimientos de instalación y puesta en marcha para la unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112 han sido comprendidos, tal como se indica en el manual del H112.
- Se asegura que el interruptor principal esté en la posición OFF.
- Se colocó la unidad de Conducción Lineal de Calor sobre una superficie plana, cerca de la unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112.
- **Sensores de Temperatura:** Los ocho sensores de temperatura son termopares tipo K, y cada uno de los cables está etiquetado con un número.
- Las tomas miniatura de cada termopar tienen un lado corto y un lado largo, que se ajustan perfectamente a las ranuras de los enchufes de los termopares. Conecte el enchufe numerado correspondiente en la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112.
- **Elemento Térmico** Conecte el cable de alimentación de 8 polos en el enchufe OUTPUT, ubicado en la parte frontal del panel de la unidad de Servicio de Transferencia de Calor H112.
- **Agua de Enfriamiento** La unidad de Conducción Lineal de Calor H112A requiere una fuente de agua fría limpia, con un flujo de aproximadamente 1.5 litros/minuto. Hay una válvula de control que debe usarse para cerrar el suministro de agua cuando la unidad no está en uso.
- Conecte el suministro de agua fría con la manguera de PVC suministrada con la unidad.
- **Drenaje del Agua de Enfriamiento** Conecte el tubo de PVC a la boquilla de salida. Este tubo debe llevarse a un drenaje y asegurarse de que no pueda desprenderse durante el experimento.

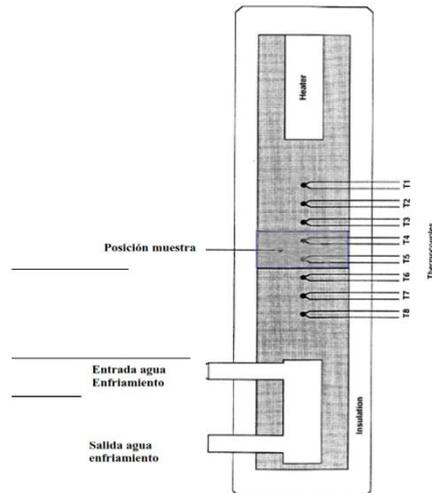


Figura 17: Esquema de unidad de Conducción Lineal de Calor H112A

- **Procedimiento de lectura:**

- Asegúrese de que el interruptor principal esté en la posición de apagado ("off") (las pantallas digitales no deben estar encendidas). Asegúrese de que el cortacircuitos, ubicado en la parte trasera del aparato, esté encendido ("ON"). Este dispositivo debe revisarse regularmente por una persona competente, de acuerdo con las normas locales de seguridad y siguiendo el método descrito en la sección de MANTENIMIENTO.
- Gire el potenciómetro en sentido antihorario para fijar la tensión al mínimo. Asegúrese de que la Unidad de Transferencia de Calor H112A esté correctamente conectada a la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor, como se describe en la sección de INSTALACIÓN, en la página A6.
- Verifique que el suministro de agua y electricidad estén abiertos. Abra la válvula de drenaje para obtener un flujo de aproximadamente 1.5 litros/minuto. El flujo actual puede medirse con un recipiente graduado y un cronómetro, pero no es un parámetro esencial. El flujo debe disipar hasta 65W.

- d. Afloje los tornillos de tensión y las mordazas. Asegúrese de que los extremos expuestos de las secciones frías y calientes estén limpios. Del mismo modo, verifique los extremos de las muestras intermedias (si se utilizan) que se colocarán entre las secciones frías y calientes. Si el experimento lo requiere, cubra las superficies en contacto de las secciones frías y calientes, así como la sección intermedia (si se utiliza) con pasta térmica conductiva. Asegúrese de que la sección intermedia a utilizar esté correctamente colocada y luego ensamble el conjunto utilizando las mordazas y tornillos necesarios.
- e. Encienda el interruptor principal y la pantalla digital deberá encenderse. Coloque el selector de temperatura en T1 para mostrar la temperatura en el extremo calentado de la barra. Gire el potenciómetro para aumentar el voltaje, hasta llegar al valor indicado en cada experimento.
- f. Observe la temperatura T1. Esta debe comenzar a aumentar.
- g. Permita que el sistema se estabilice y comience a tomar las medidas. Proceda con los ajustes necesarios de acuerdo con las instrucciones detalladas en cada experimento. Si utiliza el kit opcional de adquisición de datos para computadora HC112, siga las instrucciones en el manual HC112A.
- h. Cuando el experimento haya concluido, se recomienda apagar el elemento térmico, reduciendo la tensión a cero, y permitir que el sistema se enfríe antes de cortar el suministro de agua.
- i. Asegúrese de que la válvula de control de entrada de agua esté completamente cerrada. Apague el interruptor principal y aisle la unidad de la fuente de energía eléctrica.
- j. Tenga en cuenta que, si se retira la pasta presente en las superficies de las secciones calientes y frías mucho tiempo después del experimento, será mucho más difícil que si se retira justo al terminarlo.

Si queda pasta en las secciones intermedias, atraerá polvo y partículas, lo que impedirá un buen contacto térmico.

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicará un diseño de mezclas para optimizar las formulaciones del aislante orgánico a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña. Un diseño de mezclas es una técnica estadística que te permite evaluar sistemáticamente cómo las proporciones de diferentes componentes afectan las propiedades de un producto final. Se utilizará este enfoque para encontrar la combinación óptima de materiales que permita obtener un aislante orgánico con las mejores propiedades térmicas y físicas.

La formulación de aislante orgánico, tendrá como variable independiente la formulación de la mezcla de materiales:

Cascarilla de arroz: 0% - 100%

Bagazo de caña de azúcar: 0% - 100%

Aditivo (Almidón): 0% - 5%)

Las variables dependientes serán:

Propiedades Térmicas: Conductividad, resistencias térmicas

Propiedades Físicas: Densidad y resistencia.

En la tabla 4 se presenta la matriz de operacionalización de las variables de estudio.

**Tabla 4: Matriz de operacionalización de Variables de estudios**

<b>Variable Independiente</b>		<b>Niveles</b>
Cascarilla de arroz	0%	100%
Cagazo de caña	0%	100%
Aditivo (Almidón)	0%	5%
<b>Variable Dependiente</b>		<b>Indicador</b>
Conductividad térmica	W/m·°C	
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	
Resistencia Térmica	Espesor/Conductividad térmica. (°C/W)	
Resistencia ruptura	mJ.	

Se realizará un análisis de varianza para determinar la significancia estadística de las variables estudiadas. Se empleará el estadístico P-valor con una confiabilidad de 95%. En la tabla 5 se presenta la matriz de experimentos del diseño mezclas simplex con centroide.

**Tabla 5: Matriz experimental de diseño mezclas Simplex con centroide**

Std	Run	A: Cascarilla de arroz: %	B: Bagazo de caña %	C: Aditivo (Almidón): %	Conductividad térmica W/m·°C	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Resistencia Térmica °C/W	Resistencia ruptura mJ
3	1	48	48	5				
2	2	0	95	5				
4	3	98	0	3				
8	4	72	24	4				
12	5	0	95	5				
5	6	50	50	0				
6	7	100	0	0				
1	8	95	0	5				
7	9	0	100	0				
11	10	0	100	0				
10	11	65	33	2				
9	12	24	72	4				

### 3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis estadístico empleando el programa Design Expert 11, con el propósito de identificar los efectos de las variables independientes. Esto se llevó a cabo para comprobar la presencia de alguna discrepancia significativa ( $p > 0,05$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Determinar las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar.

En un estudio comparativo realizado sobre las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar (Tabla 6), se observaron diferencias significativas en varios componentes clave. La investigación reveló que la humedad en el bagazo de caña fue considerablemente más alta, alcanzando un  $12.0\% \pm 0.6$ , en comparación con el  $9.0\% \pm 0.3$  de la cascarilla de arroz. Esto podría deberse a la mayor porosidad del bagazo, que facilita una mayor retención de agua. En cuanto al contenido de cenizas, la cascarilla de arroz mostró una cantidad significativamente superior, con un  $17.5\% \pm 1.5$ , frente al  $5.0\% \pm 0.5$  del bagazo de caña. Esto indicó que la cascarilla de arroz contenía más minerales. Por otro lado, el análisis de la fibra cruda mostró que el bagazo de caña contenía un porcentaje mayor,  $40.0\% \pm 2.5$ , comparado con el  $35.0\% \pm 2.0$  de la cascarilla de arroz, lo que sugiere una mayor resistencia mecánica del bagazo. Respecto al contenido de lignina, el bagazo de caña también presentó valores más elevados, con un  $23.0\% \pm 1.5$ , en comparación con el  $20.0\% \pm 1.0$  de la cascarilla de arroz. Esto puede influir en la digestibilidad del bagazo y su uso en la producción de bioenergía, debido a la resistencia que la lignina ofrece a la descomposición bioquímica. El contenido de celulosa fue mayor en la cascarilla de arroz, alcanzando un  $25.0\% \pm 1.5$ , en comparación con el  $20.0\% \pm 1.0$  del bagazo de caña. Esta propiedad podría hacer que la cascarilla sea más adecuada para aplicaciones industriales, como la fabricación de papel o productos biodegradables. Finalmente, en cuanto a las grasas, el bagazo de caña mostró un contenido más alto, con un  $2.0\% \pm 0.3$ , frente al  $1.5\% \pm 0.2$  de la cascarilla de arroz, lo que podría mejorar sus propiedades energéticas si se utiliza como biomasa.

Cada uno de estos materiales presenta características distintivas que deben considerarse cuidadosamente para determinar su aplicabilidad en diversos sectores industriales y energéticos.

**Tabla 6: Características fisicoquímicas de la Cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar**

<b>Componente</b>	<b>Cascarilla de Arroz (%)</b>	<b>Bagazo de Caña (%)</b>
Humedad	9.0±0.3 <sup>a</sup>	12.0±0.6 <sup>b</sup>
Cenizas	17.5±1.5 <sup>c</sup>	5.0±0.5 <sup>d</sup>
Fibra Cruda	35.0±2.0 <sup>e</sup>	40.0±2.5 <sup>f</sup>
Lignina	20.0±1.0 <sup>g</sup>	23.0±1.5 <sup>h</sup>
Celulosa	25.0±1.5 <sup>i</sup>	20.0±1.0 <sup>j</sup>
Extracto Etéreo (grasas)	1.5±0.2 <sup>k</sup>	2.0±0.3 <sup>l</sup>

#### **4.2 Determinar las propiedades físicas del aislante orgánico formulado a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña.**

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos del estudio sobre la formulación y elaboración de aislantes orgánicos utilizando cascarilla de arroz y bagazo de caña en distintas proporciones, con la adición de aditivos orgánicos como el almidón. Se exploraron siete formulaciones diferentes, variando la proporción de cascarilla de arroz y bagazo de caña para evaluar su impacto en las propiedades físicas del aislante resultante. Los resultados de la tabla 2 obtenidos mostraron que, a medida que se aumentaba la proporción de cascarilla de arroz en las formulaciones, se observaba una disminución en la densidad del material. Por ejemplo, la Formulación 7, que tenía un 80% de cascarilla de arroz y solo un 20% de bagazo de caña, presentó la menor densidad con valores de 125 y 145 kg/m<sup>3</sup>. Esta tendencia indica que la cascarilla de arroz contribuye a un material más ligero, lo cual es beneficioso para aplicaciones donde el peso es una consideración crítica.

Por otro lado, la resistencia a la ruptura también mostró variaciones significativas dependiendo de la proporción de los componentes. Las formulaciones con mayor contenido de bagazo de caña demostraron mayores niveles de resistencia a la ruptura, como se vio en la Formulación 4, que alcanzó valores de hasta 50 mJ. Esto sugiere que el bagazo de caña añade robustez al aislante, haciéndolo más adecuado para situaciones donde se requiere mayor durabilidad mecánica.

El análisis de estos datos revela una relación clara entre la composición del material y sus propiedades físicas. La cascarilla de arroz, siendo más ligera, reduce la densidad del material y ofrece mejores propiedades de aislamiento térmico, mientras que el bagazo de caña, más denso y robusto, aumenta la resistencia mecánica del producto. Este equilibrio entre ligereza y resistencia es crucial para optimizar el aislante para diferentes aplicaciones, permitiendo a los diseñadores y fabricantes elegir la formulación adecuada en función de los requisitos específicos del proyecto.

**Tabla 7: Propiedades físicas de los aislantes orgánicos formulados a base cascarilla de arroz (%) y Bagazo de caña (%)**

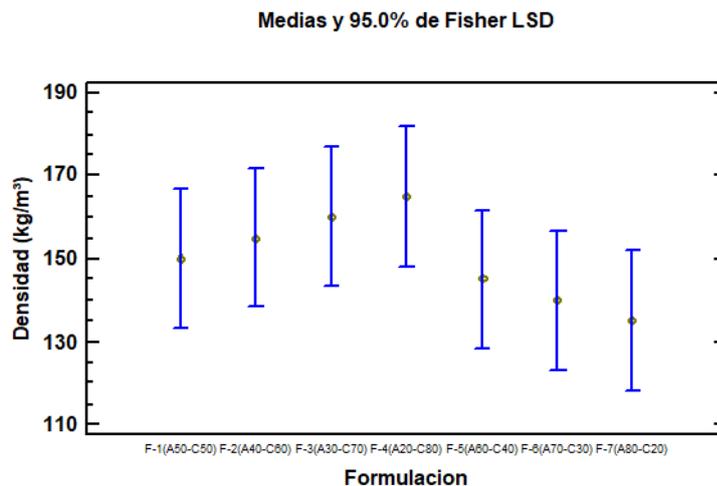
<b>Formulación</b>	<b>Cascarilla de Arroz (%)</b>	<b>Bagazo de Caña (%)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la Ruptura (mJ)</b>
Formulación 1	50	50	140	37
Formulación 1	50	50	160	43
Formulación 2	40	60	145	39
Formulación 2	40	60	165	45
Formulación 3	30	70	150	42
Formulación 3	30	70	170	48
Formulación 4	20	80	155	44
Formulación 4	20	80	175	50
Formulación 5	60	40	135	35
Formulación 5	60	40	155	41
Formulación 6	70	30	130	33
Formulación 6	70	30	150	39
Formulación 7	80	20	125	31
Formulación 7	80	20	145	37

El análisis de varianza de la tabla 8, se observa que las diferencias en la densidad de los aislantes orgánicos no son aleatorias y pueden ser atribuidas a las diferencias en las formulaciones de los materiales. La significancia estadística de los resultados (valor-P < 0.05) indica que la proporción de cascarilla de arroz y bagazo de caña influye significativamente en la densidad de los aislantes, lo que es crucial para aplicaciones específicas donde la densidad puede afectar tanto el rendimiento térmico como la resistencia y durabilidad del material. Este hallazgo valida la importancia de seleccionar cuidadosamente las proporciones de materiales en la fabricación de aislantes orgánicos para lograr las propiedades deseadas.

**Tabla 8: Análisis de Varianza para Densidad (kg/m<sup>3</sup>) por Formulación**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	1400.0	6.0	233.333	1.17	0.04171
Intra grupos	1400.0	7.0	200.0		
Total (Corr.)	2800.0	13.0			

La figura 18 muestra las medias de la densidad de diferentes formulaciones de aislantes orgánicos, cada una con variaciones en las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña. Los intervalos de confianza del 95% indicados por las barras verticales ilustran la variabilidad y la precisión de las estimaciones de densidad para cada formulación.



**Figura 18: Grafico de medias para la densidad de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.**

En la interpretación de la figura 18, se observó que las formulaciones con una mayor proporción de cascarilla de arroz, específicamente la F7 (80% cascarilla de arroz y 20% bagazo de caña), mostraron generalmente una densidad más baja, con valores alrededor de los 125 a 145 kg/m<sup>3</sup>. Esta tendencia destaca la ligereza de la cascarilla de arroz como componente en los aislantes. Por otro lado, las formulaciones con mayor contenido de bagazo de caña, como la F4 (20% cascarilla de arroz y 80% bagazo de caña), presentaron densidades más altas, alcanzando hasta 175 kg/m<sup>3</sup>. Esto refleja la influencia del bagazo de caña en aumentar la densidad del material, lo cual puede ser preferido en aplicaciones que requieren mayor resistencia física, aunque con un compromiso en el peso del material. Las barras de error extendidas sugieren una variabilidad significativa en las mediciones de densidad dentro de algunas formulaciones, lo que puede ser atribuido a la heterogeneidad en la mezcla o a diferencias en el proceso de compactación durante la fabricación de los aislantes.

El análisis de varianza presentado en la Tabla 9 se realizó para evaluar las diferencias en la resistencia a la ruptura, medida en milijulios (mJ), entre las distintas formulaciones de aislantes orgánicos compuestos por cascarilla de arroz y bagazo de caña. El estudio abordó específicamente

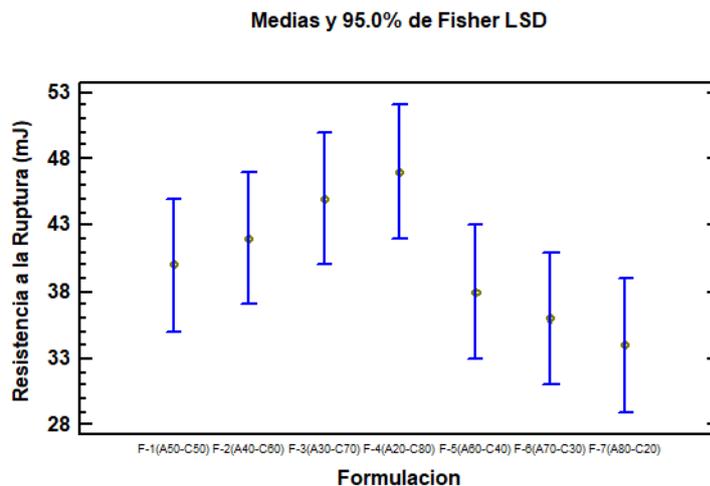
si las variaciones en las proporciones de estos componentes tenían un impacto estadísticamente significativo en la resistencia a la ruptura de los materiales formulados.

**Tabla 9: Análisis de varianza para Resistencia a la Ruptura (mJ) por Formulación**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	266.857	6.0	44.4762	2.47	0.01310
Intra grupos	126.0	7.0	18.0		
Total (Corr.)	392.857	13.0			

La significancia estadística obtenida en el análisis (valor-P = 0.01310) revela que la composición de las formulaciones influye notablemente en la resistencia a la ruptura de los aislantes orgánicos. Este hallazgo es crucial para la fabricación de materiales aislantes, ya que permite identificar las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña que optimizan la durabilidad del producto final. Las diferencias observadas sugieren que algunas combinaciones de materiales proporcionan una mayor integridad estructural que otras, un factor importante para aplicaciones donde la resistencia mecánica es prioritaria. El análisis confirmó que ajustar las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña en la fabricación de aislantes puede ser una estrategia efectiva para mejorar su resistencia a la ruptura, adaptándose así a las necesidades específicas de resistencia y durabilidad requeridas en distintas aplicaciones de construcción.

En la figura 19 se observa la resistencia a la ruptura en milijulios (mJ) para varias formulaciones de aislantes orgánicos compuestos por cascarilla de arroz y bagazo de caña. La figura muestra las medias de resistencia a la ruptura con sus correspondientes intervalos de confianza del 95%, permitiendo una evaluación clara de las diferencias entre las formulaciones en términos de su robustez mecánica.



**Figura 19: Grafico de medias para la Resistencia a la ruptura de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.**

Las formulaciones con un mayor contenido de bagazo de caña tienden a mostrar mayores valores de resistencia a la ruptura. Por ejemplo, la formulación F4 (20% cascarilla de arroz y 80% bagazo de caña) alcanzó los valores más altos, sugiriendo que el aumento en la proporción de bagazo de caña contribuye a un material más resistente. La formulación F7 (80% cascarilla de arroz y 20% bagazo de caña), por otro lado, mostró los valores más bajos de resistencia a la ruptura, destacando cómo una mayor proporción de cascarilla de arroz podría resultar en un material menos resistente a fuerzas mecánicas, aunque más ligero y potencialmente con mejores propiedades aislantes térmicas.

Las implicaciones de estos resultados son significativas para la aplicación práctica de estos aislantes en construcción. Los fabricantes podrían elegir una formulación con mayor contenido de bagazo de caña cuando la durabilidad y la resistencia sean cruciales, especialmente en contextos donde los materiales pueden estar sujetos a estrés mecánico. En contraste, para aplicaciones que requieran materiales más ligeros y con mejor aislamiento, las formulaciones con más cascarilla de arroz serían más adecuadas.

Este análisis permitió no solo verificar la influencia significativa de la composición material en la resistencia a la ruptura de los aislantes

orgánicos, sino también proporcionar una base para decisiones informadas en la selección de materiales según el propósito específico de su uso. La capacidad de ajustar las propiedades mecánicas de los aislantes mediante cambios en la formulación de sus componentes es un activo valioso para optimizar el rendimiento y la sostenibilidad de los productos de construcción.

#### **4.3 Determinar la conductividad térmica del aislante orgánico formulado utilizando técnicas de laboratorio como la prueba del método de la placa caliente.**

Se determinaron las propiedades térmicas de aislantes orgánicos formulados a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña, se empleó la técnica de la placa caliente en el laboratorio para medir la conductividad térmica y la resistencia térmica de diversas formulaciones. Los resultados revelaron cómo las proporciones variables de estos dos componentes afectaron el desempeño térmico de los aislantes.

En la tabla 10 se observa que las formulaciones con un mayor porcentaje de cascarilla de arroz generalmente mostraron una menor conductividad térmica y una mayor resistencia térmica. Por ejemplo, la Formulación 7, con un 80% de cascarilla de arroz, registró la menor conductividad térmica de  $0.043 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  y la mayor resistencia térmica de  $0.78 \text{ °C/W}$ , evidenciando las excelentes propiedades aislantes de la cascarilla de arroz. Esta tendencia se confirmó consistentemente en las formulaciones con un mayor contenido de cascarilla.

Por otro lado, las formulaciones con un mayor contenido de bagazo de caña exhibieron una mayor conductividad térmica y una menor resistencia térmica, indicando una peor performance en términos de aislamiento térmico. La Formulación 4, que contenía un 80% de bagazo de caña, mostró los valores más altos de conductividad térmica, llegando hasta  $0.068 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ , y los valores más bajos de resistencia térmica de  $0.5 \text{ °C/W}$ . Estos resultados sugieren que, aunque el bagazo de caña aporta cierta

robustez al material, su capacidad para aislar térmicamente es inferior comparada con la cascarilla de arroz.

Los hallazgos de la investigación proporcionan información valiosa sobre cómo la elección de las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña puede ser crucial para optimizar las propiedades térmicas de los aislantes orgánicos. Para aplicaciones donde el aislamiento térmico es prioritario, aumentar la proporción de cascarilla de arroz puede ser beneficioso, mientras que una mayor proporción de bagazo de caña podría ser considerada en situaciones donde la resistencia mecánica es más crítica, aunque esto podría comprometer el aislamiento térmico.

**Tabla 10: Propiedades Térmicas de los aislantes orgánicos formulados a base cascarilla de arroz (%) y Bagazo de caña (%)**

<b>Formulación</b>	<b>Cascarilla de Arroz (%)</b>	<b>Bagazo de Caña (%)</b>	<b>Conductividad Térmica (W/m·°C)</b>	<b>Resistencia Térmica (°C/W)</b>
Formulación 1	50	50	0.05	0.6
Formulación 1	50	50	0.06	0.7
Formulación 2	40	60	0.052	0.57
Formulación 2	40	60	0.062	0.67
Formulación 3	30	70	0.055	0.53
Formulación 3	30	70	0.065	0.63
Formulación 4	20	80	0.058	0.5

Formulación 4	20	80	0.068	0.6
Formulación 5	60	40	0.047	0.63
Formulación 5	60	40	0.057	0.73
Formulación 6	70	30	0.045	0.65
Formulación 6	70	30	0.055	0.75
Formulación 7	80	20	0.043	0.68
Formulación 7	80	20	0.053	0.78

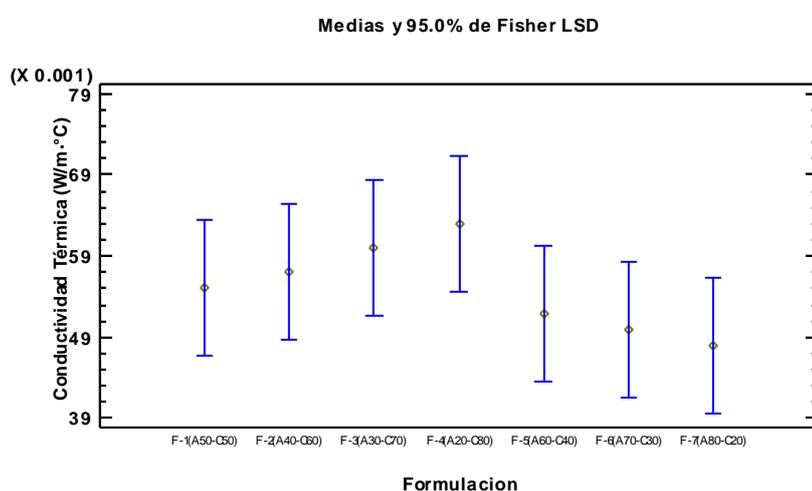
---

En el estudio realizado para determinar las diferencias en la conductividad térmica de aislantes orgánicos formulados a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar estadísticamente la variabilidad entre las distintas formulaciones. Los resultados de este análisis, reflejados en la Tabla 6. Los resultados del análisis de varianza demostraron que la composición de las formulaciones influye significativamente en la conductividad térmica de los aislantes orgánicos. Aunque la variación entre grupos no fue extremadamente alta, la significancia estadística indica que ajustar las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña puede modificar efectivamente la capacidad de los aislantes para conducir calor. Esto es crucial para el diseño de materiales aislantes donde la eficiencia térmica es un factor clave.

**Tabla 11: Análisis de Varianza para Conductividad Térmica (W/m·°C) por Formulación**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000352	6.0	0.0000586667	1.17	0.04144
Intra grupos	0.00035	7.0	0.00005		
Total (Corr.)	0.000702	13.0			

La Figura 20, se observa la comparación de la conductividad térmica entre diferentes formulaciones de aislantes orgánicos formulados a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña.



**Figura 20: Grafico de medias para la Conductividad Térmica de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.**

La figura 20 proporcionó una evidencia importante de que las proporciones de los componentes en las formulaciones de aislantes orgánicos afectan significativamente su conductividad térmica.

Las formulaciones con un mayor contenido de cascarilla de arroz, como F7 (80% cascarilla-20% bagazo) y F6 (70% cascarilla-30% bagazo), mostraron generalmente una menor conductividad térmica, evidenciada por medias más bajas en la gráfica. Esto sugiere que la cascarilla de arroz contribuye a una mejor resistencia térmica del material.

En contraste, las formulaciones con un mayor contenido de bagazo de caña, como F4 (20% cascarilla-80% bagazo), mostraron valores ligeramente más altos de conductividad térmica, implicando que el bagazo de caña puede disminuir la eficiencia térmica del aislante. Los resultados subrayaron la importancia de seleccionar cuidadosamente las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña para optimizar las propiedades térmicas del material, adaptándose a las necesidades específicas de aislamiento térmico en diferentes aplicaciones de construcción y manufactura.

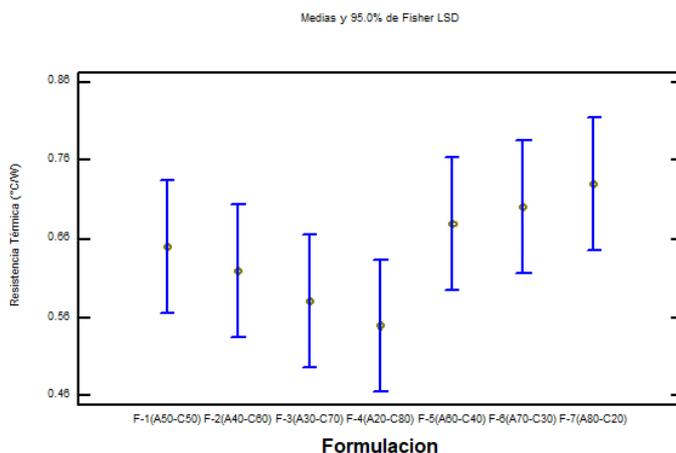
El análisis de varianza para la resistencia térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) de las diferentes formulaciones de aislantes orgánicos basados en cascarilla de arroz y bagazo de caña se presentó en la Tabla 12.

**Tabla 12: Análisis de Varianza para Resistencia Térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) por Formulación**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	0.0507429	6.0	0.00845714	1.69	0.02533
Intra grupos	0.035	7.0	0.005		
Total (Corr.)	0.0857429	13.0			

Los resultados demostraron que la composición de las formulaciones influye significativamente en la resistencia térmica de los aislantes orgánicos. El hecho de que el valor-P sea menor que 0.05 confirma que las variaciones en la resistencia térmica no son aleatorias, sino que están directamente relacionadas con las diferencias en las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña utilizadas en cada formulación. Esta información es importante para el diseño de materiales aislantes, ya que permite a los fabricantes y diseñadores seleccionar o ajustar las formulaciones para optimizar la resistencia térmica de acuerdo con los requisitos específicos de sus aplicaciones. La capacidad de influir en la resistencia térmica a través de ajustes en la composición del material abre nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia energética en construcciones y otros usos industriales de estos aislantes.

La Figura 21, se muestra las medias de la resistencia térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) de distintas formulaciones de aislantes orgánicos basados en cascarilla de arroz y bagazo de caña. El gráfico desplegó las medias de resistencia térmica con los correspondientes intervalos de confianza del 95% para cada formulación, permitiendo una evaluación estadística detallada de cómo las variaciones en las proporciones de los componentes afectan esta propiedad crucial. Las formulaciones con un alto contenido de bagazo de caña, como F3 y F4, tendieron a mostrar valores más bajos de resistencia térmica, reflejando potencialmente la menor capacidad aislante del bagazo comparada con la cascarilla. Por otro lado, las formulaciones con mayor proporción de cascarilla de arroz, especialmente F7 (80% cascarilla y 20% bagazo), exhibieron en general valores más altos de resistencia térmica, destacando la cascarilla de arroz como un mejor aislante térmico.



**Figura 21: Grafico de medias para la resistencia Térmica de las diferentes formulaciones de aislante orgánico.**

Los resultados mostrados en la figura 21 confirmaron que la proporción de cascarilla de arroz y bagazo de caña en las formulaciones tiene un impacto directo y estadísticamente significativo en la resistencia térmica de los aislantes orgánicos. El análisis destacó la importancia de optimizar la composición de los materiales para maximizar la eficiencia térmica del aislante, lo cual es crucial para aplicaciones donde el control del flujo térmico es fundamental.

## V. CONCLUSIONES

- La composición proximal de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña proporciona una base sólida para su uso en diversas aplicaciones industriales y ecológicas. La elección de utilizar uno u otro material, o una combinación de ambos, deberá basarse en un análisis detallado de sus propiedades y cómo estas pueden ser aprovechadas para satisfacer necesidades específicas en la industria y la construcción sostenible.
- Los resultados han demostrado de manera concluyente que las proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña influyen significativamente en las propiedades físicas y térmicas de los aislantes. Específicamente, se encontró que mayor proporción de cascarilla de arroz mejora la resistencia térmica del material, lo cual es esencial para aplicaciones de aislamiento eficiente. Por otro lado, un mayor contenido de bagazo de caña aumenta la densidad y la resistencia a la ruptura, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones que requieren materiales más robustos.
- La conductividad térmica y la resistencia térmica de los aislantes se vieron afectadas positivamente al aumentar la proporción de cascarilla de arroz. Los análisis de varianza confirmaron que estas diferencias son estadísticamente significativas, lo que subraya la capacidad de la cascarilla de arroz para mejorar el rendimiento térmico del aislante. Esto sugiere que las formulaciones con mayor contenido de cascarilla son más adecuadas para maximizar la eficiencia energética en los edificios.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir experimentando con diferentes proporciones de cascarilla de arroz y bagazo de caña para afinar las propiedades deseables del aislante. La investigación sugiere que un mayor contenido de cascarilla de arroz mejora la resistencia térmica, mientras que un mayor contenido de bagazo de caña mejora la resistencia a la ruptura. La optimización de estas proporciones permitirá adaptar los aislantes a requisitos específicos de rendimiento.
- Evaluar el uso de diferentes aditivos naturales y sintéticos que puedan mejorar las propiedades de unión, durabilidad y resistencia al fuego de los aislantes. El almidón ha demostrado ser efectivo, pero otros biopolímeros o resinas ecológicas podrían ofrecer beneficios adicionales.
- Realizar estudios de impacto ambiental para evaluar la sostenibilidad de utilizar cascarilla de arroz y bagazo de caña en productos comerciales. Estos estudios deberían incluir análisis del ciclo de vida para entender mejor las emisiones de carbono y el consumo de energía a lo largo del ciclo de vida del producto.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Alcacio, J. L. A. P., Bravo, L. E. V., & Zaldivar, J. B. M. (2017). determinación de la conductividad térmica de un material aislante elaborado a partir de residuos sólidos y fibras vegetales para su potencial aplicación eficiencia energética.

American Association of Cereal Chemists (AACC) (2010). Method 44–19. Approved methods of the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.

AOAC (Official Methods of Analysis). (2010). Microchemical Determination of Nitrogen. AOAC 960.52-1961 (2010). Washington DC (US): Association of Official Analytical Chemist.

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of analysis. AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90. Determinación de humedad

Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis AOAC. (2012). Método A.O.A.C. 930.15/90 Determinación de cenizas.

Barnacork, S.L. (2012). Soluciones naturales para aislantes térmicos, acústicos y antivibratorios.

Canto, A., Batista, M., Sanchez, J., Moreno, M., & James, A. (2018). Aislante térmico a base de materiales orgánicos. Revista de iniciación Científica, 4, 48-51.

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). Transient heat conduction. Heat and mass transfer: fundamentals and applications, 228.

Comité Técnico de Asociación Ibérica de Poliestireno Extruido (2016).

Ecoboards (2016). The enviromentaly friendly solution for furniture and insulating.

Ecohabitar.org (2017). Materiales asilamiento: Tablero fibras madera

Hamelinck, C.N., Hooijdonk, G.V. y Faaij, A.P.C. (2005). Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term. *Biomass and Bioenergy* 28:384-410.

Hernández G. A. (2017). *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* Vol. 7 No. 1, Capítulo II. Estructura y composición.

Lakatos, Á. (2019). Comparison of the thermal properties of different insulating materials. *Advanced Materials Research*, 899, 381-386.

Luamkanchanaphan, T., Chotikaprakhan, S., & Jarusombati, S. (2017). A study of physical, mechanical and thermal properties for thermal insulation from narrow-leaved cattail fibers. *Apacbee procedia*, 1, 46-52.

Lynd, L.R., van Zyl, W.H., McBride, J.E. y Laser, M. (2005). Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*. 16: 577-583.

Martin, C., Klinker, H.B., y Thomsen, A.B. (2006). Wet oxidation as a pretreatment method for enhancing the enzymatic convertibility of sugarcane bagasse. *Enzyme and Microbial Technology* 40(3): 426-432.

Peña Ramírez, O. R., & Roman Enciso, R. E. (2018). Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa.

Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14, 155-170.

Roycle, S. (2016). Fábrica de Poliestireno expandido. Recuperado el 2016, de Ficha técnica de panel aislante de poliestireno expandido D10: <https://www.roycle.com/images/fichas/ficha-perla-d10.pdf>

SICA. (2006). El azúcar en la comunidad andina. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

Sun, Y. y Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83: 1-11.

Sundolit, (2016). Poliestireno expandido.

Universidad Ramon Hull (2016). Cristales materiales: Construcción I. Materiales y técnicas.

Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (2017). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 13(37), 255-260.

Wadel, G. (2015). Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón: Un aporte a la construcción sostenible.

Zhang, B. M., Zhao, S. Y., & He, X. D. (2018). Experimental and theoretical studies on high-temperature thermal properties of fibrous insulation. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 109(7), 1309-1324.

## **VIII. ANEXOS**

## ANEXO N° 01

<b>Formulación</b>	<b>Cascarilla de Arroz (%)</b>	<b>Bagazo de Caña (%)</b>	<b>Conductividad Térmica (W/m·°C)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia Térmica (°C/W)</b>	<b>Resistencia a la Ruptura (mJ)</b>
Formulación 1	50	50	0.05	140	0.6	37
Formulación 1	50	50	0.06	160	0.7	43
Formulación 2	40	60	0.052	145	0.57	39
Formulación 2	40	60	0.062	165	0.67	45
Formulación 3	30	70	0.055	150	0.53	42
Formulación 3	30	70	0.065	170	0.63	48
Formulación 4	20	80	0.058	155	0.5	44
Formulación 4	20	80	0.068	175	0.6	50
Formulación 5	60	40	0.047	135	0.63	35
Formulación 5	60	40	0.057	155	0.73	41
Formulación 6	70	30	0.045	130	0.65	33
Formulación 6	70	30	0.055	150	0.75	39
Formulación 7	80	20	0.043	125	0.68	31
Formulación 7	80	20	0.053	145	0.78	37

## ANEXO N° 2

### Preparación de las muestras



Figura 1: selección de Muestra Bagazo caña de Azúcar



Figura 2: Secado de Muestra Bagazo caña de Azúcar



Figura 3: Molienda de Muestra Cascarilla de Arroz y Bagazo caña de Azúcar



Figura 4: Molienda de Muestra Cascarilla de Arroz y Bagazo caña de Azúcar



Figura 5: Material elaborado con Bagazo caña de Azúcar



Figura 6: Material elaborado con Cascarilla de Arroz



Figura 7: Material elaborado con Cascarilla de Arroz



Figura 8: Material elaborado con Bagazo caña de Azúcar



Figura 8: Modulo de Conducción Lineal de Calor H112A



Figura 9: Dimensionamiento de los materiales



Figura 10: Dimensionamiento de los materiales



Figura 11: lecturas tomadas en el Módulo de Conducción Lineal de Calor H112A



Figura 12: lecturas tomadas en el Módulo de Conducción Lineal de Calor H112A



Figura 13: lecturas tomadas en el Módulo de Conducción Lineal de Calor H112A