

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Maestría en Ciencias Energéticas mención
Ingeniería Energética



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Evaluación de la mezcla de cáscara de nuez - bagazo
de caña de azúcar como aislante térmico
para tuberías de vapor**

**Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias
mención Ingeniería Energética**

Autor:

Bach. Velásquez Díaz, Neil Anthony
Código ORCID: 0009-0003-6054-6574

Asesor:

M.Sc. Calderón Torres. Hugo Rolando
DNI N° 32913914
Código ORCID: 0000-0002-0210-5565

Línea de Investigación
Ciencia de los materiales

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **M.Sc. Calderón Torres, Hugo Rolando**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada: **Evaluación de la mezcla de cáscara de nuez- bagazo de caña de azúcar como aislante térmico para tuberías de vapor**” que tiene como autor a **Velásquez Díaz, Neil Anthony**, alumno de la Maestría en Ciencias Energéticas mención Ingeniería Energética en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, julio del 2026



M.Sc. Calderón Torres, Hugo Rolando
Asesor
Código ORCID: 0000-0002-0210-5565
DNI N° 32913914

AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

**“Evaluación de la Mezcla de Cáscara de Nuez - Bagazo de Caña de Azúcar como Aislante
Térmico para Tuberías de Vapor”**

**Tesis para optar el grado de
Maestro en Ciencias mención Ingeniería Energética**

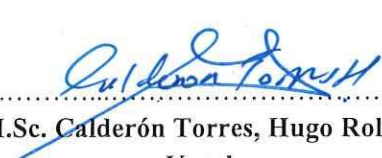
Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



.....
Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor
Presidente
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908
DNI N° 17890841



.....
M.Sc. Escate Ravello, Julio Hipólito Néstor
Secretario
Código ORCID: 0000-0001-9950-2999
DNI N° 32850228



.....
M.Sc. Calderón Torres, Hugo Rolando
Vocal
Código ORCID: 0000-0002-0210-5565
DNI N° 32913914

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los ocho días del mes de abril del año 2025, siendo las 10:30 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 009-2025-EPG-UNS de fecha 07.01.2025, conformado por los docentes: Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo (Presidente), M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello (Secretario) y M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada: **"EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE CASCARA DE NUEZ-BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO AISLANTE TÉRMICO PARA TUBERÍAS DE VAPOR"**; presentado por el tesista **Br. Neil Anthony Velásquez Díaz**, egresado del programa de Maestría en Ciencias Energéticas Mención Ingeniería Energética.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 423-2025-EPG-UNS de fecha 02 de abril de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECIOCHO (18).

Siendo las 11:50 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo
Presidente


M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
Secretario


M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres
Vocal/Asesor

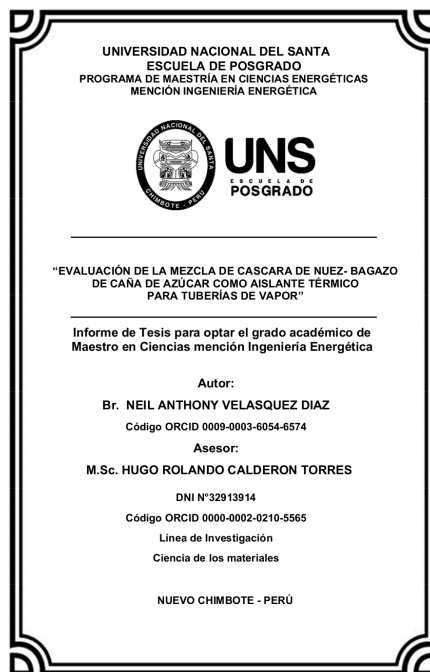


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Neil Anthony Velásquez Diaz
Título del ejercicio: EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE CASCARA DE NUEZ- BAGAZO ...
Título de la entrega: MAESTRIA NEIL julio 2026.docx
Nombre del archivo: MAESTRIA_NEIL_julio_2026.docx
Tamaño del archivo: 5.05M
Total páginas: 124
Total de palabras: 22,198
Total de caracteres: 111,583
Fecha de entrega: 07-jul-2026 06:30a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2994678221



INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1

1library.co

Fuente de Internet

2

www.academia.edu

Fuente de Internet

3

www.cartagena99.com

Fuente de Internet

4

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

5

docplayer.es

Fuente de Internet

6

itscv.edu.ec

Fuente de Internet

7

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8

archive.org

Fuente de Internet

9

Submitted to Universidad Nacional del Santa

Trabajo del estudiante

10

revistas.ucsc.cl

Fuente de Internet

11

Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral

Trabajo del estudiante

12

myslide.es

Fuente de Internet

13

revistas.utp.ac.pa

Fuente de Internet

14

baixardoc.com

Fuente de Internet

15

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

DEDICATORIA

A mis padres Rolly y Mariano, in memoriam.

A mis hijos Anthony y Diego.

A mi esposa Rosa Ysabel.

Quiénes fueron mi motor y motivo de llevar a cabo la
realización y culminación de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme llegar a ver culminada esta tesis.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

A mis hijos, por su empuje y preocupación por ver
culminado este trabajo.

A mi esposa por su esfuerzo, dedicación y empeño
brindado en la culminación de este informe.

A mi asesor Hugo Calderón, co-asesor Carlos Montañez, y
amigos colegas por su apoyo brindado en la realización de
este trabajo.

A mi familia en general por su preocupación de ver
culminado este informe.

INDICE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR	iii
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE ANEXOS	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
I. INTRODUCCION	23
1.1 Descripción y Formulación del Problema	23
1.1.1 Descripción	23
1.1.2 Formulación del Problema	24
1.2 Objetivos	24
1.2.1 Objetivo General	24
1.2.2 Objetivos Específicos	24
1.3 Formulación de la Hipótesis	25
1.4 Justificación e Importancia	25
1.5 Limitaciones	26
II. MARCO TEORICO	27
2.1 Antecedentes de la Investigación	27
2.2 Marco conceptual	29

III. METODOLOGÍA	41
3.1 Métodos	41
3.2 Diseño de la investigación	42
3.3 Población y muestra	43
3.4 Operacionalización de las variables	43
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	44
3.6 Técnicas de Análisis y Resultados	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	60
4.1 Resultados	60
4.2 Discusión	106
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
5.1 Conclusiones	110
5.2 Recomendaciones	111
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	113
VII. ANEXOS	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies	40
Tabla 2: Variable Independiente	43
Tabla 3: Variable Dependiente	44
Tabla 4: Características de las placas muestras	50
Tabla 5: Datos de temperatura de la placa muestra 01 (15%CN y 85%B), ensayos y promedio	53
Tabla 6: Datos de temperatura de la placa muestra 02 (30%CN y 70%B), ensayos y promedio	54
Tabla 7: Datos de temperatura de la placa muestra 03 (45%CN y 55%B), ensayos y promedio	55
Tabla 8: Datos de temperatura de la placa muestra 04 (60%CN y 40%B), ensayos y promedio	56
Tabla 9: Datos de temperatura de la placa muestra 05 (100%B), ensayos y promedio	57
Tabla 10: Datos de temperatura de la placa muestra 06 (100%CN), ensayos y promedio	58
Tabla 11: Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar.	61
Tabla 12: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar	62

Tabla 13: Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 02:	
30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar.	68
Tabla 14: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R),	
placa muestra 02: 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de	
caña de azúcar.	69
Tabla 15: Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 03:	
45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar.	75
Tabla 16: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R),	
placa muestra 03: 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de	
caña de azúcar.	76
Tabla 17: Cálculos de variación de temperatura, placa muestra 04:	
60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar.	82
Tabla 18: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R),	
placa muestra 04: 60% cáscara de nuez y 40% bagazo de	
caña de azúcar.	83
Tabla 19: Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 05:	
100% bagazo de caña de azúcar.	90
Tabla 20: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R),	
placa muestra 05: 100% bagazo de caña de azúcar	91
Tabla 21: Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 06:	
100% cáscara de nuez.	98
Tabla 22: Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R),	
placa muestra 06: 100% cáscara de nuez.	99

Tabla 23: Comparativa de Eficiencia Térmica (ΔT_p) a los 600s	106
Tabla 24: Valores Corregidos de la Conductividad Térmica (k)	108

LISTA DE FIGURAS

Figura1: Red de resistencias térmicas de la transferencia de calor en una pared plana con convección en ambos lados	33
Figura 2: Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el fluido circundante, por convección.	34
Figura 3: Perfiles de velocidad en capas de límite laminar, de transición y turbulenta en flujo sobre una placa plana.	35
Figura 4: Desarrollo de la capa límite térmica sobre una placa isotérmica.	36
Figura 5: Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura ΔT	37
Figura 6: Muestra de bagazo de caña de azúcar, provisto por Agroindustrias San Jacinto S.A.A.	44
Figura 7: Muestra de cáscara de nuez, provisto de los puestos de venta, mercado Buenos Aires, distrito Nuevo Chimbote, provincia Santa.	45
Figura 8: Bagazo de caña de azúcar tamizado	45
Figura 9: Cáscara de nuez, primera molienda	46
Figura 10: Cáscara de nuez tamizado en IITA-UNS	46
Figura 11: Placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar	47
Figura 12: Placa muestra 02: 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar	48
Figura 13: Placa muestra 03: 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar	48
Figura 14: Placa muestra 04: 60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar	49
Figura 15: Placa muestra 05: 100% bagazo de caña de azúcar	49
Figura 16: Placa muestra 06: 100% cáscara de nuez	50
Figura 17: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 01.	66

Figura 18: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 02	73
Figura 19: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 03.	80
Figura 20: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 04.	87
Figura 21: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 05.	95
Figura 22: Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 06.	103

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 01: Imágenes de la Molienda de la Cáscara de Nuez.	117
ANEXO 02: Imágenes del registro de peso de los componentes para las placas muestras.	118
ANEXO 03: Imágenes de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar listas para mezclar.	119
ANEXO 04: Imágenes del aglomerante resina y catalizador.	120
ANEXO 05: Imágenes de la preparación de la placa muestra.	121
ANEXO 06: Formato para anotación de los datos de temperaturas y tiempo de calentamiento de muestra de placa	122
ANEXO 07: Equipos experimental para determinar la conductividad térmica de un material.	123
ANEXO 08: Propiedades del aire a la presión de 1 atm.	124

RESUMEN

Este informe de tesis: “Evaluación de la mezcla de cáscara de nuez-bagazo de caña de azúcar como aislante térmico para tuberías de vapor”, es un alcance en la búsqueda de nuevos materiales como aislantes térmicos de naturaleza orgánica. Tiene como objetivo, evaluar la concentración óptima de la mezcla de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar como aislante térmico para tuberías de vapor. El método empleado para el desarrollo de esta investigación es experimental, el cuál es aplicado a la población objetivo, con la finalidad de evaluar y cuantificar el impacto de las mezclas de los componentes; para lo cual se varió la composición porcentual de cada componente elaborando placas muestras de diferentes mezclas de cáscara de nuez y bagazo, luego se calcularon sus coeficientes de conductividad y resistencia térmica de cada una. Como resultado del análisis de los cálculos respectivos correspondientes a las mezclas evaluadas se concluye que, la placa muestra 3, con una composición de 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar, es la que presenta una concentración óptima con una conductividad térmica de 8.779×10^{-3} W/mK, y una resistencia térmica de 50.62799 K/W a una temperatura ambiente interior de 60.5°C y, para la temperatura ambiente interior de 71.6°C una conductividad térmica de 2.5366×10^{-2} W/mK y 17.52104 K/W.

PALABRAS CLAVES: Cáscara de nuez, bagazo de caña de azúcar, conductividad térmica, resistencia térmica.

ABSTRACT

This thesis report, "Evaluation of the Walnut Shell-Sugarcane Bagasse Mixture as Thermal Insulation for Steam Pipes," represents a step forward in the search for new organic thermal insulation materials. Its objective is to evaluate the optimal concentration of a walnut shell and sugarcane bagasse mixture for use as thermal insulation in steam pipes. The research method employed is experimental, applied to the target population to evaluate and quantify the impact of different component mixtures. To this end, the percentage composition of each component was varied by preparing sample plates of different walnut shell and bagasse mixtures. The thermal conductivity and resistance coefficients of each mixture were then calculated. As a result of the analysis of the respective calculations corresponding to the evaluated mixtures, it is concluded that plate sample 3, with a composition of 45% walnut shell and 55% sugar cane bagasse, is the one that presents an optimal concentration with a thermal conductivity of $8.779 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$, and a thermal resistance of 50.62799 K/W at an interior ambient temperature of 60.5°C and, for the interior ambient temperature of 71.6°C , a thermal conductivity of $2.5366 \times 10^{-2} \text{ W/mK}$ and 17.52104 K/W .

KEYWORDS: Walnut shell, sugarcane bagasse, thermal conductivity, thermal resistance.

I.- INTRODUCCION

1.1 DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1 DESCRIPCION

Los aislantes térmicos son los elementos elaborados a partir de diversas sustancias y materiales de naturaleza orgánica e inorgánica cuya propiedad física de conductividad térmica debe de ser la más baja posible para disminuir la transferencia de calor, sin embargo existe un conjunto de opciones de selección de aislantes térmicos en el mercado para manejo de fluidos térmicos que presentan ventajas y desventajas frente a las necesidades específicas de servicio en la industria, como se da en el caso de obtener un aislante térmico de composición natural y ecológica y cuyas propiedades físicas permitan su utilidad económica en relación a los espesores, concentración de material de bagazo de caña y cáscara de nuez . Asimismo, el hecho cuestionable de la investigación se orienta a conocer el efecto que produce la variación de esta mezcla de componentes en la conductividad térmica del aislamiento; para establecer la propuesta a tener es el espesor óptimo de aislamiento para tuberías de vapor saturado de diámetro comercial en industria.

El estudio e investigación de nuevos materiales orgánicos e inorgánicos se caracteriza por determinar las propiedades específicas de conducción del calor de cada elemento que puede ser utilizada de forma pura o individual o mezclada con el fin de obtener mejoras, ventajas o propiedades que se complementan para obtener un producto aislante apropiado. Es así que en la búsqueda de la literatura científica internacional se encuentran aportes de estudios amplios de unas variantes de materiales orgánicos que se mezclan para constituir un aislamiento mejorado o con propósito de utilidad diferente a los elementos convencionales.

Sánchez V. & Quesquén S., (2014), responsable del área de generación de energía en la unidad de calderas de la empresa

Agroindustrias San Jacinto, refiere que en los diversos sectores de manufactura y de servicios, se utiliza fluidos como medios de transporte energético en forma de gas o líquido el cual se aprovecha para el intercambio de calor, sin embargo, la condición óptima de un fluido térmico requiere de un medio estable que asegure que las propiedades térmicas en específico la temperatura de un vapor se conserven.

Los aislantes térmicos suelen ser costosos y muchos no son amigables con la naturaleza (Canto et al., 2018).

Hoy se impone la necesidad de alcanzar un balance entre desarrollo y conservación del medio ambiente, que garantice un nuevo equilibrio entre la humanidad y la naturaleza y que permita una nueva armonía con esta, tal y como se plantea en la conferencia conocida como Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, para la preservación del medio ambiente y el crecimiento económico (León et al., 2013).

1.1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál debe ser la concentración óptima de la mezcla de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar, para obtener el aislante térmico que mejore la resistencia térmica del aislante en las tuberías de vapor?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la concentración óptima de la mezcla de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar como aislante térmico para tuberías de vapor.

1.2.2 Objetivos específicos

) Realizar la mezcla de las proporciones propuestas de cáscara de nuez y bagazo de caña para la elaboración de muestras de aislante térmico.

-) Establecer la variación de temperaturas del sistema de calentamiento para las pruebas experimentales.
-) Calcular la conductividad térmica del material aislante y la resistencia térmica.
-) Obtener la concentración óptima de la mezcla de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar, para el material aislante.

1.3 FORMULACION DE LA HIPOTESIS

Conforme al enfoque y a lo que se pretende alcanzar con el trabajo de investigación, la respuesta al problema de investigación planteado es la siguiente:

La concentración óptima de la mezcla de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar que mejore la resistencia térmica del aislante en las tuberías de vapor debe ser alrededor de 30% de cáscara de nuez y 70% de bagazo de caña de azúcar.

1.4 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

1.4.1 Técnica

El aspecto técnico lo evidencian las propiedades aislantes de cada elemento, el bagazo es una fibra de celulosa y un subproducto de la molienda de la caña de azúcar, utilizado comúnmente como combustible en la industria azucarera (Hugot, 1986) y; la cáscara de nuez es un material lignocelulósico de acuerdo a la norma (Wartelle & Marshall, 2000) y pertenece a la familia de los polímeros naturales y las ligninas, es el segundo biomaterial más común, un heteropolímero considerado como una de las moléculas responsables de la dureza de la madera (Trujillo & Arias, 2013); también se sabe que su densidad aparente corresponde a 650 kg/m^3 , su dureza es de 2.5 Mohs, tiene pH neutro y gravedad específica, su densidad es de 1.25 kg/L , su autoignición se produce por encima de los 270°C (Torres, 2010; Wartelle & Marshall, 2000). Además, Parodi Miranda (2018), desarrolló un material en base de cáscara de nuez, en el cual obtuvo un valor de conductividad de 0.068 W/mk , lo que lo posiciona como mejor aislante térmico que el yeso cartón (0.24 W/mk), adobe

(0.9 W/mk), algunas maderas y bastante similar al aserrín de madera (0.06 W/mk) (inn, 1991). Sin embargo, una mezcla de los dos factores determina un producto de aislamiento con la conductividad térmica adecuada para su uso en redes industriales de vapor.

Nazer & Acosta (2023), sus resultados destacan las posibilidades de aprovechamiento de la cáscara de nuez como material de construcción, brindando alternativas sostenibles y promoviendo la gestión adecuada de los residuos generados por la industria de la nuez. Parodi Miranda (2018), además de lo anterior, requiere bajo nivel de tecnología y energía para ser procesado, genera una mínima cantidad de desperdicios y posee un ciclo de vida circular, por lo que podría presentar una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos.

1.4.2 Económica

Tiene un costo relativamente bajo al obtenerse como un subproducto de la actividad de molienda de caña en ingenios azucareros, su valor de venta como materia prima para la industria del papel equivale aproximadamente a 25 USD por tonelada, sin embargo, se utiliza como combustible para calderas aprovechando sus propiedades energéticas a una humedad promedio de 45%. La propuesta para su uso como componentes de un aislante térmico para tuberías de vapor resultaría económica y su disponibilidad inmediata.

1.4.3 Ambiental

El impacto ambiental para su uso como aislante térmico sería mínima a comparación con el uso final que se tienen actualmente al disponerse como biomasa para combustión, las calderas bagaceras de gran capacidad para producción de vapor en la industria azucarera.

1.5 LIMITACIONES

La investigación consideró las limitaciones de las condiciones requeridas para las pruebas experimentales. En el diseño experimental se contempló la generación de vapor a 2 bar y a una temperatura aproximada de 120.2 °C

(vapor saturado). Sin embargo, durante la fase experimental en laboratorio se alcanzaron temperaturas internas cercanas a 70 °C en placas muestras de 150 mm por 150 mm de lado con un espesor de 10 mm de espesor. Estas condiciones permitieron simular de forma aproximada la temperatura exterior de una tubería de 2 pulgadas de diámetro por la que circula vapor saturado a 2 bar de presión. Cabe señalar que, por razones de seguridad del equipo, la temperatura máxima de operación se limitó a 60 °C.

II.- MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Marín et al. (2021), dirige su investigación para identificar y analizar el rendimiento de los materiales naturales a partir de la medición de su conductividad térmica utilizando correlaciones matemáticas y pruebas experimentales para determinar el potencial de aislamiento. Los investigadores utilizaron paja de arroz, mazorca de maíz, fibra de coco y bagazo y almidón de tapioca para crear la adhesión del material. Sin embargo, en la mezcla de paja de arroz, se utilizaron 405 g de paja de arroz y 250 g de almidón de tapioca para obtener el arroz partido, es decir, se formó una mezcla de 66 % de paja de arroz y 34 % de almidón de tapioca y se secó naturalmente bajo la luz solar durante 2 semanas. De igual manera, también experimentaron con el uso de bagazo y almidón de tapioca, tomando como aglutinante 300g de bagazo y 165g de almidón de tapioca, en la proporción de 65% de bagazo y 35% de almidón, expuestos al sol por 1 semana y medio.

Lozano & Rojas (2019), en su tesis” Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar”, tuvo como objetivo de obtener un panel de cubierta aislante. La metodología empleada fue la clasificación y mezcla de paneles, conformados en juegos de placas de diversas concentraciones de bagazo de caña de azúcar con cemento Portland tipo I blanco y gris obteniendo 9 paneles de 30 cm por 30 cm a distintos espesores, empleando como material aglomerante la melaza. Los resultados indican que para el juego 1 el valor de coeficiente global de transferencia de calor y resistencia térmica son 2.171 W/m² K y 0.460 m²K/W, para el juego

2; $2.787 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y $0.359 \text{ m}^2\text{K/W}$ y para el juego 3; $2.525 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y $0.396 \text{ m}^2\text{K/W}$, respectivamente.

Manals & Penedo "s. f.", en su artículo de investigación "Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal", tuvo como objetivo evaluar propiedades físicas y químicas de diferentes clases de tamaño de muestras de bagazo de caña en función a su granulometría menores a 0.5 mm y hasta 1 mm de diámetro. La metodología empleada consistió en la aplicación del método experimental para evaluar la biomasa químicamente, el método diferencial y el método acumulativo. Los resultados obtenidos indican que los elementos volátiles se incrementan con el aumento del diámetro de las partículas y las cenizas disminuye con el incremento de las partículas definiendo que la humedad y carbono fijo no tienen una tendencia definida al variar el diámetro de las partículas. Las conclusiones señalan que en el caso de la humedad los valores oscilan entre 10.26% y 16.32% sin una tendencia definida, además se reduce la tendencia de disminución de volátiles con la disminución del diámetro de partículas, sin embargo, el contenido de carbono fijo estuvo entre 12.25 y 16.56%.

En cambio, la cáscara de nuez presenta características físicas apropiadas debido a su estructura fibrosa y bajo contenido de humedad, de 6 a 9 %, por lo que no requiere un proceso previo de secado.

Asimismo, Berberi et al. (2019) estimaron el poder calorífico de una muestra de cáscara de nuez pecan mediante la aplicación de la fórmula de Dulong, considerando un contenido de humedad del 15.8 %. Como resultado, obtuvieron un poder calorífico de 3880 kcal/kg.

Además, Cascante (2015), en su tesis de grado de maestría encontró que la conductividad térmica del bagazo equivale a 0.00946 W/mK .

2.2 Marco conceptual

Bagazo de Caña de azúcar

El bagazo es el residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, el remanente de los tallos de la caña después de ser extraído el jugo azucarado que ésta contiene; se ha empleado tradicionalmente en los países azucareros como materia prima para la producción de energía en las calderas de los ingenios o centrales azucareros y su empleo en la manufactura de papel inició hace más de 150 años además de la fabricación de paneles aglomerados de fibras y de partículas y celulosa para derivados farmacéuticos y aditivos de alimentos (Rutiaga et al., 2002 y Jiménez, 1997).

Cáscara de nuez

La cáscara de nuez es un residuo orgánico que puede ser utilizado como un recurso abundante en la fabricación de materiales alternativos. Se emplea como biomasa, en el pulido de metales mediante chorro abrasivo, en el relleno de caminos y como fertilizante para el suelo, entre otros usos. La nuez, uno de los productos agrícolas más antiguos, fue descubierta en el año 2000 a.c. en Iraq (Hilal et al., 2020) y su composición incluye un 0.6% de extractos, un 30.1% de lignina y un 49.7% de polisacáridos (Queirós et al., 2020).

Humedad relativa

Cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el requerido para saturar el aire.

Conductividad térmica (k)

Propiedad de los materiales que expresa la medida de la capacidad de conducir calor, su unidad de medida es W/mK.

Gradiente de temperatura (dT/dx)

Se define como la diferencia de temperatura por unidad de longitud o la razón de cambio de la temperatura en esa dirección. A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor.

Conducción de calor en estado estacionario en paredes planas

Para este caso la transferencia de calor a través de la pared será unidimensional ya que la temperatura varía solo en una dirección. Además, la transferencia de calor es la única interacción de energía que interviene en este caso y no se tiene generación de calor, por tanto, el *balance de calor* para la pared se puede expresar como

$$\left(\dot{Q}_{\text{hacia la pared}} \right) - \left(\dot{Q}_{\text{desde la pared}} \right) = \left(\frac{dE_{\text{pared}}}{dt} \right)$$

o bien,

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_s = \frac{dE_p}{dt} \quad (1)$$

Pero $dE_{\text{pared}}/dt = 0$ para la operación estacionaria, puesto que no hay cambio en la temperatura de la pared con el tiempo en ningún punto. Por lo tanto, la razón de la transferencia de calor hacia la pared debe ser igual a la razón de la transferencia hacia afuera de ella. En otras palabras, *la razón de la transferencia de calor a través de la pared debe ser constante*,

$$\dot{Q}_{e,p} = C$$

Considere una pared plana de espesor L y conductividad térmica promedio k . Las dos superficies de la pared se mantienen a temperaturas constantes de T_1 y T_2 . Para la conducción unidimensional de calor en estado estacionario a través de la pared, tenemos $T(x)$. Entonces, la ley de Fourier de la conducción de calor para la pared se puede expresar como:

$$\dot{Q}_{e,p} = -k \frac{d}{dx} \quad (2)$$

donde la razón de la transferencia de calor por conducción $\dot{Q}_c$ y

y el área A de la pared serán constantes. Por lo tanto, $dT/dx = \text{constante}$.

Al separar la variable en la ecuación anterior e integrar desde $x = 0$, donde

$T(0) = T_1$, hasta $x = L$, donde $T(L) = T_2$, se obtiene:

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_c \, dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} k \, dT$$

Al realizar las integraciones y reacomodando se tiene:

$$\dot{Q}_c = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{W}) \quad (3)$$

El concepto de resistencia térmica

La ecuación 3 para la conducción de calor a través de una pared plana se puede reacomodar para tener:

$$\dot{Q}_c = \frac{T_1 - T_2}{R_p} \quad (\text{W}) \quad (4)$$

Donde

$$R_p = \frac{L}{k} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (5)$$

es la *resistencia térmica* de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared.

Considere la transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área A_s y temperatura T_s hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es T_∞ , con un coeficiente de transferencia de calor por convección h . La ley de Newton del enfriamiento para la razón de transferencia de calor por convección, $\dot{Q}_c = hA_s(T_s - T_\infty)$, se puede reacomodar para obtener

$$\dot{Q}_c = \frac{T_s - T_\infty}{R_c} \quad (\text{W}) \quad (6)$$

Donde

$$R_c = \frac{1}{hA_s} \quad (^\circ\text{C/W}) \quad (7)$$

es la *resistencia térmica* de la superficie contra la convección de calor o, simplemente, la resistencia a la convección de la superficie.

Red de resistencias térmicas

Considere ahora la transferencia de calor unidimensional en estado estacionario a través de una pared plana de espesor L , área A y conductividad térmica k que está expuesta a la convección sobre ambos lados hacia fluidos a las temperaturas $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$, con coeficientes de transferencia de calor h_1 y h_2 , respectivamente, como se muestra en la figura 1. Si se supone que $T_{\infty 1} < T_{\infty 2}$, la variación de la temperatura será como se muestra en la figura. Note que la temperatura varía en forma lineal en la pared y tiende asintóticamente a $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$ en los fluidos, a medida que se aleja de la pared.

En condiciones estacionarias, se tiene

$$\left(\begin{array}{c} R_{\text{cond}} \\ \text{de la} \\ \text{pared} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} R_{\text{cond}} \\ \text{de la} \\ \text{pared} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} R_{\text{cond}} \\ \text{de la} \\ \text{pared} \end{array} \right)$$

Es decir

$$\dot{Q}_{c1} = \dot{Q}_{c,p} = \dot{Q}_c$$

O sea

$$\dot{Q} = h_1 A (T_{\infty 1} - T_1) = k \frac{T_1 - T_2}{L} = h_2 A (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (8)$$

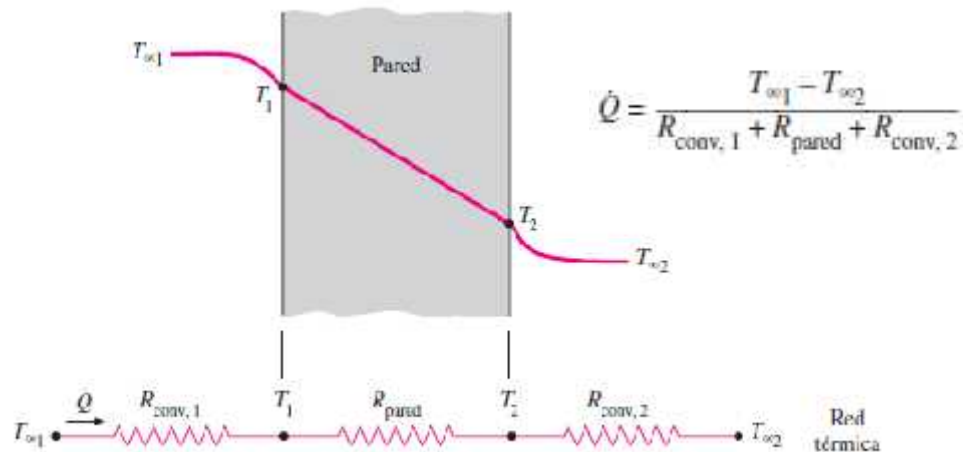
La cual se puede reacomodar como

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_1 A} = \frac{T_1 - T_2}{L/k} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{1/h_2 A} \quad (9)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{c1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_p} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{R_{c2}} \quad (10)$$

Figura 1

Red de resistencias térmicas de la transferencia de calor en una pared plana con convección en ambos lados.



Nota. Adaptado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 135), por Yunus A. Cengel, 2007, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V.

Fundamento de la Transmisión de Calor por Convección

Se define a la convección como un fenómeno de transmisión de calor que se produce en presencia de un fluido cuando este está en movimiento. La transmisión del calor por convección será tanto más alta cuanto mayor sea la velocidad del fluido. Si el fluido estuviese en estado de reposo, la transmisión de calor a través del mismo se realizaría mediante el mecanismo de conducción.

Para el cálculo de la transmisión de calor por convección se utiliza la ley de Newton, donde h ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$) es el coeficiente de película o de transmisión de calor por convección.

h se puede definir como la velocidad de transmisión de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie.

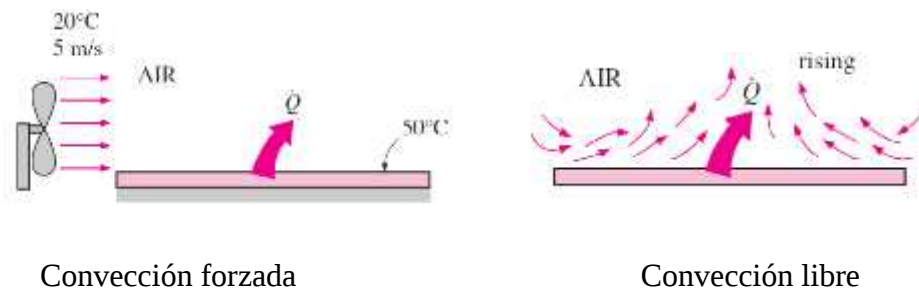
Tipos de convección:

Forzada: el fluido se mueve por fuerzas externas (ej: diferencia de presión, ventilador, bomba)

Libre o Natural: no existen fuerzas externas salvo la gravedad. El fluido se mueve por la dilatación del fluido originada por los cambios de temperatura.

Figura 2

Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el fluido circundante, por convección.



Nota. Adaptado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 356), Yunus A. Cengel, 2007, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V.

Capa límite térmica

Al igual que ocurre con la capa límite de velocidades, cuando el fluido interacciona con una superficie sólida, la diferencia de temperatura fluido (T_{∞}) y temperatura superficie (T_s) genera una región donde la temperatura del fluido pasa de T_{∞} a T_s , se llama capa límite térmica. Su altura puede ser mayor o menor que la capa límite de velocidades en función de si la difusión viscosa es mayor o menor que la térmica, es decir, si $Pr = \mu \cdot c_p / k = \nu / \alpha$ es mayor o menor que 1.

Si estudiamos la capa límite de velocidades que aparece en una placa en un flujo uniforme:

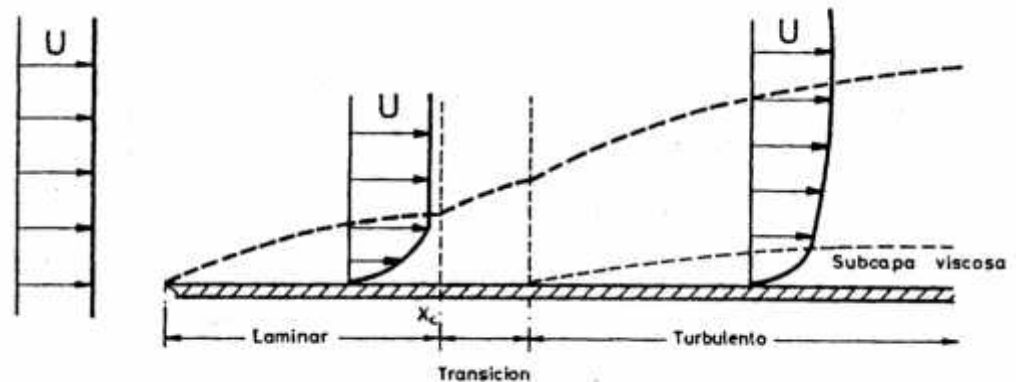
En dirección X tenemos 2 zonas: la capa límite laminar y la turbulenta.

La transición ocurre a una distancia del borde de ataque X_c tal que el Re crítico $= \rho U X_c / \mu = 5 \times 10^5$.

En dirección Y tenemos que, aunque la capa límite sea turbulenta, junto a la pared tendremos una zona de velocidad muy baja y por tanto $Re < 1$, se llama subcapa viscosa.

Figura 3

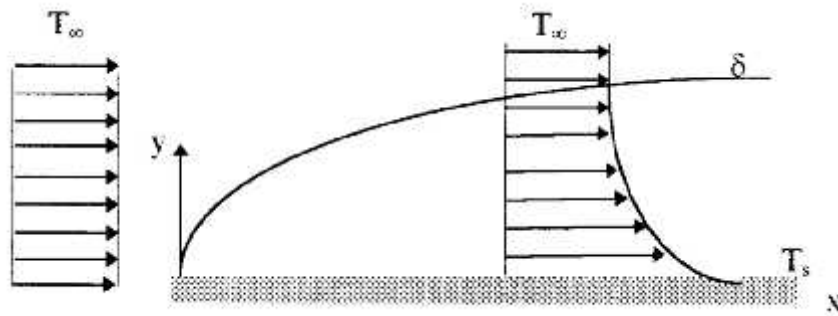
Perfiles de velocidad en capas de límite laminar, de transición y turbulenta en flujo sobre una placa plana.



Nota. Adaptado de *Principios de transferencia de calor* (p. 234), F. Kreith, R. Manglik, M. Bohn. 2012, Cengage Learning Editores S.A. de C.V.

Figura 4

Desarrollo de la capa límite térmica sobre una placa isotérmica.



Nota. Adaptado de *Fundamentos de transferencia de calor y de masa* (p. 290); F.P. Incropera, D.P. DeWitt. 1999), Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

Calculo del coeficiente de transmisión de calor por convección, h

h , no es una constante (aunque lo hayamos asumido así en otros temas).

h depende de la geometría de la superficie y del campo fluido: de su velocidad, densidad, viscosidad, y también del flujo, si es laminar o turbulento, por tanto, depende del Re y también de la posición x sobre la superficie. Es decir, h es una función de x .

Para conocer h hay que resolver teórica o numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes, o bien, obtenerlo a partir de medidas experimentales:

$$q = -k_f A \left(\frac{dT}{dy} \right)_s \quad \text{y} \quad q = hA(T_s - T_f) \quad (11)$$

Haciendo un balance de energía en la superficie sólido-fluido tenemos que el calor que se transfiere por el sólido por conducción, pasa a las primeras moléculas de fluido que están con velocidad $V=0$ en la pared. Por tanto, a la primera capa de fluido el calor le llega por conducción, según la ley de Fourier con k la del fluido k_f , (no k del sólido). Después el calor se transmite por convección al resto del fluido en movimiento:

$$q = hA(T_s - T_f) = -k_f A \left(\frac{dT}{dy} \right)_s \quad (12)$$

Por tanto, h se obtiene calculando el gradiente de temperaturas en el fluido normal a la superficie:

$$h = \frac{-k_f \left(\frac{dT}{dy} \right)_s}{(T_s - T_f)} \quad (13)$$

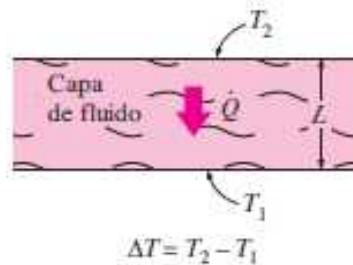
Número de Nusselt (Nu)

Este número es una adimensionalización de h ; por tanto, hablar de h o de Nu es equivalente.

En un sentido físico; sea una capa de fluido de espesor L , con una diferencia de temperatura entre su límite inferior y superior $\Delta T = T_2 - T_1$, como se muestra en la figura 3.

Figura 5

Transferencia de calor a través de una capa de fluido de espesor L y diferencia de temperatura ΔT



Nota. Adaptado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 358), Yunus A. Cengel, 2007, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V.

Ya hemos comentado anteriormente que, dependiendo de la velocidad del fluido, la transmisión de calor se producirá por convección o conducción. Si hacemos la relación entre el flujo de calor por unidad de superficie transmitido mediante ambos mecanismos tendremos:

$$N = \frac{\dot{q}_c}{\dot{q}_c} = \frac{h\Delta T}{k_f \frac{\Delta T}{L}} = \frac{hL}{k_f} \quad (14)$$

Nu es la relación entre el calor transmitido por convección y el que se transmitiría por conducción a través de una capa de fluido de espesor L. Cuanto mayor sea el valor de Nu, mayor será el efecto del fenómeno de convección sobre el de conducción.

Número de Prandtl (Pr)

Cociente entre la difusividad viscosa y térmica. Indica si dominan los fenómenos viscosos o los térmicos en el transporte de energía entre moléculas. Nos dice si la capa límite térmica es más o menos alta que la hidrodinámica.

$$P = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho} = \frac{\mu}{k} \quad (15)$$

Número de Grashof (Gr_L)

Es un parámetro adimensional que representa los efectos de la convección natural. El número de Grashof es la razón entre la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección natural.

$$G_L = \frac{g (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (16)$$

En donde:

g = aceleración gravitacional, m/s².

β = coeficiente de expansión volumétrica, 1/K ($\beta = 1/T$ para los gases ideales).

T_s = temperatura de la superficie, °C.

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, °C.

L_c = longitud característica de la configuración geométrica, m.

$\Rightarrow$ viscosidad cinemática del fluido, m^2/s .

Las correlaciones empíricas sencillas para el *número promedio de Nusselt*, Nu , en la convección natural son de la forma:

$$N = \frac{hL_c}{k_f} = C(G_L Pr)^n = CR_L^n \quad (17)$$

Los valores de las constantes C y n dependen de la *configuración geométrica* de la superficie y del *régimen de flujo*, el cual se caracteriza por el rango del número de Rayleigh. El valor de n suele ser $\frac{1}{4}$ para el flujo laminar y $\frac{1}{3}$ para el turbulento. El valor de la constante C normalmente es menor que 1.

Número de Rayleigh (Ra_L)

Es el producto de los números de Grashof y de Prandtl. Por lo tanto, el número de Rayleigh puede considerarse como la razón de la fuerza de flotabilidad y las difusividades térmica y de cantidad de movimiento.

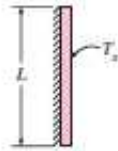
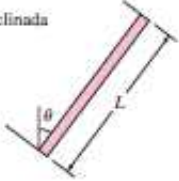
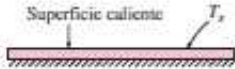
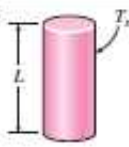
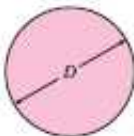
$$R_L = G_L Pr = \frac{g(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} Pr = \frac{g(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu \alpha} \quad (18)$$

En la tabla 1 se dan relaciones simples para el número promedio de Nusselt para varias configuraciones geométricas, junto con esquemas de estas últimas. En esta tabla también se dan las longitudes características de las configuraciones y los intervalos del número de Rayleigh en los cuales la relación es aplicable. Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película:

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_\infty) \quad (19)$$

Tabla 1:

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$ $10^9 - 10^{13}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	L		Utilícense las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$
Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)  b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$ $10^9 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23) $Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)
Cilindro vertical 	L		Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
Cilindro horizontal 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-25)
Esfera 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)

Nota. Adaptado de *Transferencia de Calor y Masa* (p. 511), Yunus A. Cengel, 2007, McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V.

III.- METODOLOGIA

3.1 Método

La presente investigación procura obtener información relevante y fidedigna acerca de la utilización de la cáscara de nuez y del bagazo de la caña de azúcar, como componentes de un aislante térmico, para evitar las pérdidas de energía en las tuberías de vapor del sector industrial, como una alternativa de utilización de los residuos vegetales y complemento a los aislantes térmicos presentes en el mercado.

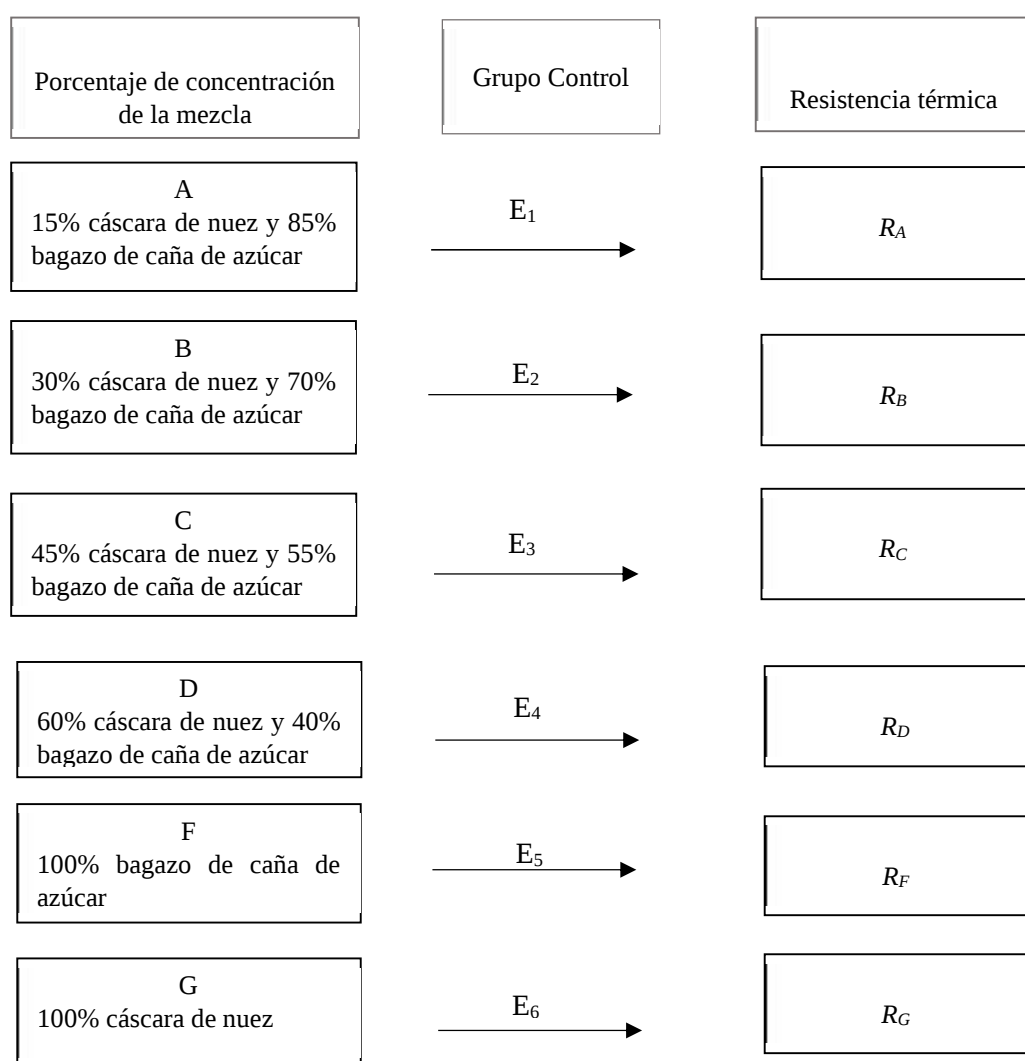
El método de estudio es deductivo, porque las informaciones de las variables se plantearon desde un marco teórico, para luego ser operacionalizadas y relacionarlas. Se parte de la observación de múltiples hechos o fenómenos, como de las características y calidad de la cáscara de nuez y del bagazo de la caña de azúcar, los cuales lógicamente pueden ser afectados por el clima, el tipo de agua, las plagas entre otros (Bunge, 1985). Según su finalidad es aplicada, por cuanto se pretende reducir las pérdidas de calor en las tuberías de vapor del sector industrial, buscando una alternativa de aislante térmico ecológico, que permita mejorar la conducción de calor en los procesos industriales, para ello es necesario establecer la composición óptima del aislante y su espesor adecuado (Bunge, 1983).

Para el desarrollo del informe de investigación, se emplea el método experimental que se aplica a población objetivo, a efectos de evaluar y cuantificar el impacto de las mezclas de los componentes en el coeficiente de transferencia de calor, así como en la resistencia térmica, para lo cual se varía la composición porcentual de cada componente y se calcula su coeficiente de transferencia de calor, para condiciones de flujo de calor y gradiente de temperatura constantes, con ello obtener la curva de comportamiento del coeficiente en función de la concentración del aislante. Luego de un periodo de prueba establecido, obtener resultados significativos, para ello en todo momento se hace uso del método analítico, del inductivo-deductivo y el método estadístico para recoger, comparar y analizar la información obtenida y a partir de ello contrastar o validar la hipótesis formulada.

3.2 Diseño de la Investigación

Según el propósito del estudio es experimental, se manipula la variable independiente de manera intencional y se realiza pruebas con diferentes concentraciones de la variable independiente, este tipo de diseño prueba la efectividad y los efectos de los grados de concentración de los materiales aislantes. Según el número de mediciones es longitudinal porque, se estudia, evalúa y analiza diferentes concentraciones. Según la cronología de los datos obtenidos es prospectiva, porque la fuente es primaria. El estudio de diseño es de cohorte (causa – efectos), porque estudia la incorporación de residuos vegetales a la fabricación de aislantes térmicos (causa), para luego cuantificar las mejoras en las pérdidas de calor (efecto) (Argimón y Villa, 1994).

Conforme al estudio, el diseño es el siguiente:



Donde:

A, B, C, D, F y G, corresponde a las concentraciones de mezclas, E, corresponden a los estímulos crecientes y R a los resultados de las resistencias térmicas obtenidas.

3.3 Población y Muestra

La población de la cáscara de nuez es la que se encuentra en los mercados de la provincia del Santa y la población del bagazo de caña de azúcar de los valles de Nepeña y Santa; nuestra muestra de la cáscara de nuez se obtuvo de uno de los puestos de venta del mercado Buenos Aires del distrito Nuevo Chimbote, provincia del Santa y la muestra de bagazo de caña de azúcar se obtuvo de la planta industrial de Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

3.4 Operacionalización de las variables

Considerando el alcance y el enfoque de la investigación propuesta, expresado en la formulación del problema a responder, se establecen las siguientes variables de la investigación:

-) **Variable independiente:** Concentración de mezcla del aislante
-) **Variable dependiente:** Resistencia térmica del aislante

A continuación, se presenta la operacionalización de las variables:

Tabla 2:

Variable Independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Sub Dimensión	Indicador
Concentración de Mezcla del aislante	Es la composición resultante de mezclar materiales aislantes en cantidades específicas de cada componente	Para los propósitos de la investigación, utilizaremos las cantidades y las propiedades de la cáscara de nuez y bagazo de la caña de azúcar presente en la mezcla	Composición en masa	Bagazo	- Peso - Porcentaje
				Cáscara de nuez	- Peso - Porcentaje
			Propiedades de los componentes	Termo-físicas	- Humedad - Densidad - Conductividad
			Forma Geometría	Placa plana	- Largo - Ancho - Espesor

Tabla 3:

Variable Dependiente

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Sub Dimensión	Indicador
Resistencia térmica del aislante	Es la propiedad o capacidad de los materiales aislantes, para oponerse a la transferencia de calor, a fin de disminuir las pérdidas de energía	Para los propósitos de la investigación, la resistencia térmica estará referida a la mezcla y dependerá de la resistencia térmica de los componentes	Condiciones del proceso	Transferencia	Flujo de Calor
				Temperatura	Gradiente
			Propiedades de la mezcla	Termo- físicas	- Humedad - Densidad - Conductividad
			Geometría	Placa plana	Espesor pared

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1 Etapa de preparación de los materiales.

a Acondicionamiento de la materia prima

Bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar se adquirió de la planta industrial de Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

Figura 6

Muestra de bagazo de caña de azúcar, provisto por Agroindustrias San Jacinto S.A.A.



Cáscara de nuez

La cáscara de nuez se obtuvo al pelar la nuez que se adquirió en los puestos de venta de frutos secos en el mercado Buenos Aires; de un kilogramo de nuez se obtiene medio kilogramo de cáscara de nuez.

Figura 7

Muestra de cáscara de nuez, provisto de los puestos de venta, mercado Buenos Aires, distrito Nuevo Chimbote, provincia Santa.



b Tamizado de la materia prima

Bagazo de caña de azúcar: Se cogió una cantidad aproximada de 1 kg, el cual se limpió manualmente escogiendo las fibras grandes; para luego cernirlo en mallas de 5 mm y 2 mm.

Figura 8

Bagazo de caña de azúcar tamizado



Cáscara de nuez:

Primera molienda: Se cogió una cantidad aproximada de 3.330 kg de cáscara de nuez recién pelada. Luego se procedió con la primera molienda en un molino de eje helicoidal marca Corona (ver anexo 01).

Figura 9

Cáscara de nuez, primera molienda



Segunda molienda (Instituto IITA-UNS)

Con lo obtenido de la primera molienda, se continuó con el segundo proceso de molienda en las instalaciones del Instituto IITA-UNS, en el área de molienda y tamizado, en un molino de martillo utilizando la criba de un 1mm de diámetro (ver anexo 01).

Figura 10

Cáscara de nuez tamizado en IITA-UNS



c Proceso de elaboración de las placas muestras

1. Pesar en proporción a la masa el porcentaje estimado los componentes para cada muestra, bagazo de caña de azúcar y cáscara de nuez (ver anexo 02).
2. Mezclar hasta obtener una mezcla uniforme (ver anexo 03).
3. Aplicar cera para molde a las paredes internas del molde de las placas y el lado interno de la tapa. Dejar secar 15 minutos.
4. Pesar 150 g de resina en un recipiente y mover por un tiempo de 1 min, agregar 18 gotas de catalizador y mover durante 1 minuto (ver anexo 04).
5. Aplicar la resina al molde una altura de 1 mm y vaciar la mezcla de bagazo y cáscara de nuez, remover formando una masa uniforme e ir agregando resina hasta llegar a la altura de 12 mm, luego colocar la tapa y presionar (ver anexo 05).
6. Colocar un peso encima de la tapa y dejar secar 24 horas a 48 horas.
7. Placas de las muestras listas para los ensayos:

Figura 11

Placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar



Figura 12

Placa muestra 02: 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar



Figura 13

Placa muestra 03: 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar



Figura 14

Placa muestra 04: 60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar



Figura 15

Placa muestra 05: 100% bagazo de caña de azúcar



Figura 16

Placa muestra 06: 100% cáscara de nuez



Tabla 4:

Características de las placas muestras

MUESTRA	COMPOSICION DE LA MEZCLA (%)						DIMENSIONES (m) L x L x espesor
	Cáscara de Nuez		Bagazo de caña azúcar		Total		
	Masa (g)	%	Masa (g)	%	Masa (g)	%	
Muestra 01	6	15	34	85	40	100	0.15x0.15x0.01
Muestra 02	13.5	30	31.5	70	45	100	0.15x0.15x0.01
Muestra 03	26.1	45	31.9	55	58	100	0.15x0.15x0.01
Muestra 04	45	60	30	40	75	100	0.15x0.15x0.01
Muestra 05	0	0	45	100	50	100	0.15x0.15x0.01
Muestra 06	150	100	0	0	50	100	0.15x0.15x0.01

En esta tabla se indican las dimensiones de los lados y el espesor de las placas muestras, así como también la composición en masa y en porcentaje de cada placa muestra.

3.5.2 Etapa de recolección de datos

Se utiliza la observación y anotaciones de datos; como instrumento se usa un formato: Tabla de datos (ver anexo 06), donde se anotan los valores de los parámetros necesarios para realizar los cálculos.

a) Procedimiento de recolección de datos

Etapas de experimentación en laboratorio. Se desarrolla en el laboratorio de termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía. Se acondiciona para mantener una temperatura de ambiente estable, cerrando puertas y ventanas.

Materiales:

Placas de las muestras 01; 02; 03; 04; 05 y 06, debidamente acondicionadas para colocar las termocuplas instaladas en la cámara de medición térmica.

Equipos (ver anexo 07):

01 Cámara de medición térmica Leybold-Heraeus GMBH

01 Calentador de placas de 21 W

01 Transformador variable de baja tensión S

01 Medidor digital de temperatura con una conexión

01 Unidad de control y medición de temperatura

02 Sondas de temperatura NiCr-Ni (termocuplas)

02 Termómetros digitales TM-902C

02 Termocuplas tipo K

01 Cronómetro

b) Procedimiento para obtener datos de temperatura de las placas muestras y determinar su conductividad térmica y resistencia térmica:

1. Instalación de los equipos, placa muestra y sensores de temperatura.
2. Equilibrar los sensores de temperatura a la temperatura ambiente.

3. Encender la fuente de energía para empezar a calentar la cámara de medición térmica. (Por seguridad se recomienda no calentar más de 60°C).
4. Controlar el tiempo, cada 60 segundos o minuto anotar los valores de las termocuplas.
5. Llegado a la temperatura recomendada desconectar la fuente y dejar enfriar el sistema de estudio.

Tabla 5:

Datos de temperaturas de la placa muestra 01 (15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar), ensayos y promedio.

	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
Tiempo	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(s)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	22.7	22.7	22.6	21.8	26.6	24.6	25.4	24.2	24.0	24.1	25.3	23.6	24.4	23.8	24.4	23.2
60	29.3	23.3	22.9	21.7	31.9	24.3	24.5	24.1	30.1	24.2	25.3	23.6	30.4	23.9	24.2	23.1
120	37.6	24.8	23.0	21.5	40.2	25.9	24.7	24.1	38.6	25.5	25.3	23.5	38.8	25.4	24.3	23.0
180	43.4	26.9	23.4	21.6	47.7	27.6	24.9	24.1	43.9	27.2	25.8	23.7	45.0	27.2	24.7	23.1
240	48.8	29.4	23.5	21.7	52.3	29.9	25.5	24.0	49.1	29.5	26.1	23.7	50.1	29.6	25.0	23.1
300	54.2	32.5	23.9	21.8	57.1	32.6	26.2	24.2	53.7	32.0	26.4	23.8	55.0	32.4	25.5	23.3
360	58.0	35.0	24.6	21.8	60.8	35.0	26.8	24.2	57.5	34.5	27.1	23.9	58.8	34.8	26.2	23.3
420	61.7	37.5	25.7	21.7	63.9	37.4	27.6	24.0	60.8	36.6	28.0	23.8	62.1	37.2	27.1	23.2
480	64.8	39.8	26.8	21.7	66.9	39.7	28.7	24.1	64.0	38.8	28.9	23.8	65.2	39.4	28.1	23.2
540	67.9	42.3	27.7	21.7	69.2	42.0	31.1	24.2	66.5	41.0	31.3	24.1	67.9	41.8	30.0	23.3
600	70.9	44.4	28.6	21.7	71.6	44.1	32.5	24.0	68.9	43.1	32.5	23.8	70.5	43.9	31.2	23.2
660					73.8	46.3	34.3	24.1	71.0	45.0	34.1	23.7				

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos; desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 600 s; también se presentan sus valores promedio.

Tabla 6:

Datos de temperaturas de la placa muestra 02 (30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar), ensayos y promedio.

	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
Tiempo	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(s)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	22.5	22.7	23.4	21.5	26.5	24.7	25.2	24.2	26.4	24.3	25.3	24.0	25.1	23.9	24.6	23.2
60	28.9	24.7	23.6	21.7	32.2	26.6	24.2	24.0	32.1	26.7	26.4	24.0	31.1	26.0	24.7	23.2
120	37.8	29.3	23.4	21.8	41.0	31.0	24.8	24.1	41.0	31.1	26.4	23.8	39.9	30.5	24.9	23.2
180	44.4	34.3	23.8	21.8	47.2	35.8	25.3	24.1	46.9	35.9	26.7	23.9	46.2	35.3	25.3	23.3
240	50.5	39.6	25.0	22.0	52.6	40.4	26.4	24.0	52.3	40.6	27.2	24.0	51.8	40.2	26.2	23.3
300	55.9	44.1	26.2	22.1	57.2	44.5	27.1	24.1	56.9	44.7	28.0	24.0	56.7	44.4	27.1	23.4
360	60.2	47.7	27.3	21.9	62.0	48.5	28.0	24.0	60.8	48.3	29.0	24.1	61.0	48.2	28.1	23.3
420	64.7	51.5	28.3	22.0	64.8	50.9	29.2	24.2	64.4	51.3	31.5	24.0	64.6	51.2	29.7	23.4
480	68.0	54.2	30.4	22.0	67.9	53.7	31.6	24.1	67.6	54.0	33.0	24.0	67.8	54.0	31.7	23.4
540	71.4	56.9	32.2	22.0	70.6	56.1	33.0	24.0	70.5	56.7	34.4	24.1	70.8	56.6	33.2	23.4
600	74.6	59.6	34.4	22.1	73.1	58.6	35.3	24.0	73.2	59.2	36.2	24.1	73.6	59.1	35.3	23.4
660					75.3	60.9	36.5	24.2	75.6	61.9	37.7	24.0				

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos, desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 600 s; para luego ser promediados

Tabla 7:

Datos de temperaturas de la placa muestra 03 (45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar), ensayos y promedio.

	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
Tiempo	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(s)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	22.9	22.9	22.3	22.0	26.0	24.5	24.7	23.9	24.4	23.3	23.4	23.9	24.4	23.6	23.5	23.3
60	29.3	24.6	23.0	22.0	31.2	26.1	24.7	23.8	29.8	24.8	25.8	23.9	30.1	25.2	24.5	23.2
120	39.6	29.4	23.1	21.8	39.7	30.5	24.0	24.0	38.1	26.5	26.2	24.0	39.1	28.8	24.4	23.3
180	46.7	34.0	23.1	22.0	46.9	34.6	24.8	24.1	45.1	28.7	26.7	23.9	46.2	32.4	24.9	23.3
240	53.1	39.0	23.5	21.9	52.7	38.8	25.2	24.1	50.4	31.3	27.1	24.0	52.1	36.4	25.3	23.3
300	57.7	43.2	24.2	21.9	57.5	42.6	25.7	24.1	54.4	33.8	27.9	24.1	56.5	39.9	25.9	23.4
360	62.2	47.1	25.2	21.8	60.7	46.2	26.6	23.9	58.5	36.6	28.3	24.1	60.5	43.3	26.7	23.3
420	66.2	50.3	26.5	21.9	63.8	49.3	27.7	23.9	62.0	39.2	29.7	24.2	64.0	46.3	28.0	23.3
480	69.8	53.3	27.5	21.8	66.5	52.0	28.3	24.0	65.1	41.3	31.5	24.2	67.1	48.9	29.1	23.3
540	72.4	55.9	28.4	21.8	68.8	54.5	30.5	23.7	67.6	43.7	32.5	24.2	69.6	51.4	30.5	23.2
600	74.6	58.4	31.7	21.8	70.6	56.8	32.7	23.9	69.7	45.9	34.3	24.1	71.6	53.7	32.9	23.3
660					72.6	59.0	34.0	23.9	71.5	48.0	35.3	24.3				

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos, desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 600 s; para luego ser promediados.

Tabla 8:

Datos de temperaturas de la placa muestra 04 (60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar), ensayos y promedio.

ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
24.9	24.8	25.5	22.9	24.4	24.2	24.1	23.7	24.3	24.3	24.4	23.9	24.5	24.4	24.7	23.5
31.2	25.0	25.5	22.9	30.6	25.0	24.7	23.4	30.9	25.6	24.8	23.7	30.9	25.2	25.0	23.3
39.4	26.4	25.5	23.0	38.7	26.2	24.7	23.6	41.0	26.5	24.8	23.8	39.7	26.4	25.0	23.5
45.9	28.6	25.6	22.8	44.0	28.0	24.7	24.0	44.2	28.0	25.1	23.8	44.7	28.2	25.1	23.5
50.3	30.4	26.0	22.9	49.3	30.2	25.1	23.3	49.6	30.3	25.6	23.8	49.7	30.3	25.6	23.3
55.2	32.9	26.7	22.9	53.9	32.5	26.1	23.5	54.3	32.8	26.5	23.9	54.5	32.7	26.4	23.4
59.3	35.3	27.5	23.1	57.9	34.9	27.0	23.5	60.0	36.2	27.8	24.0	59.1	35.5	27.4	23.5
62.8	37.6	28.2	22.9	61.5	37.1	27.7	23.5	62.4	37.8	27.8	23.9	62.2	37.5	27.9	23.4
66.1	39.8	29.4	23.2	64.9	39.3	28.5	23.4	65.9	40.3	29.8	23.8	65.6	39.8	29.2	23.5
68.7	41.8	31.5	23.0	67.8	41.3	30.8	23.3	69.0	42.0	31.3	23.9	68.5	41.7	31.2	23.4
71.0	43.7	33.8	22.9	70.4	43.3	32.2	23.2	71.6	44.3	33.5	23.8	71.0	43.8	33.2	23.3
73.1	45.5	34.1	23.2	72.4	45.0	33.7	23.3	74.0	46.3	34.7	23.8	73.2	45.6	34.2	23.4

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos, desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 660 s; para luego ser promediados.

Tabla 9:

Datos de temperaturas de la placa muestra 05 (100% bagazo de caña de azúcar), ensayos y promedio.

ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
23.9	23.7	24.3	23.4	24.6	24.0	23.6	23.0	25.0	24.3	24.4	23.8	24.5	24.0	24.1	23.4
32.5	24.4	24.3	23.8	30.5	24.4	23.9	23.3	30.4	24.7	24.4	23.7	31.1	24.5	24.2	23.6
38.4	25.7	24.5	24.0	38.8	25.9	24.0	23.1	38.1	26.1	24.9	23.6	38.4	25.9	24.5	23.6
44.3	27.4	25.0	23.7	46.5	28.1	24.6	23.1	44.7	28.0	25.4	23.5	45.2	27.8	25.0	23.4
49.7	29.8	25.6	23.9	51.3	30.3	25.2	23.4	50.7	30.3	26.2	23.9	50.6	30.1	25.7	23.7
53.8	32.2	26.8	23.8	55.0	32.6	26.4	23.1	55.3	32.7	27.4	23.7	54.7	32.5	26.9	23.5
58.0	34.7	27.9	24.0	58.9	35.2	27.3	23.4	59.0	35.1	28.3	23.4	58.6	35.0	27.8	23.6
61.5	37.2	30.5	23.7	63.8	37.7	28.7	23.2	62.0	37.3	29.6	23.6	62.4	37.4	29.6	23.5
64.1	39.4	32.2	23.8	65.8	40.1	31.2	23.1	64.6	39.7	31.9	23.5	64.8	39.7	31.8	23.5
66.6	41.7	34.3	23.9	68.5	42.3	32.9	22.9	67.4	42.0	33.6	23.6	67.5	42.0	33.6	23.5
68.8	44.0	35.5	23.5	70.9	44.5	34.4	23.1	69.0	44.0	35.0	23.6	69.6	44.2	35.0	23.4
70.7	46.1	37.0	24.0	72.7	46.6	36.1	23.1	71.4	46.3	36.4	24.0	71.6	46.3	36.5	23.7

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos, desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 660 s; para luego ser promediados.

Tabla 10:

Datos de temperaturas de la placa muestra 06 (100% cáscara de nuez), ensayos y promedio.

	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				PROMEDIO			
Tiempo	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}	T _{amb.int}	T _{p.int}	T _{p.ext}	T _{amb.ext}
(s)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0	23.6	23.8	23.5	23.0	25.0	24.6	25.3	24.3	24.7	25.0	25.7	23.8	24.4	24.5	24.8	23.7
60	31.2	24.3	23.7	23.0	31.3	25.0	24.7	24.4	31.0	25.4	25.5	23.8	31.2	24.9	24.6	23.7
120	39.2	25.9	22.9	23.0	39.9	26.7	24.4	24.4	38.8	26.9	25.7	24.1	39.3	26.5	24.3	23.8
180	45.5	28.0	24.1	23.0	46.5	28.6	25.3	24.4	43.7	28.5	26.1	24.0	45.2	28.4	25.2	23.8
240	50.3	29.9	25.3	22.9	51.0	30.6	25.7	24.4	49.0	30.6	26.8	24.0	50.1	30.4	25.9	23.8
300	53.2	31.5	26.0	23.1	55.2	32.9	27.0	24.4	53.8	32.7	27.3	23.8	54.1	32.4	26.8	23.8
360	57.1	33.7	27.0	23.0	59.2	35.2	28.2	24.3	57.6	34.8	27.8	24.0	58.0	34.6	27.7	23.8
420	60.9	36.0	27.6	23.1	62.7	37.3	28.7	24.3	61.7	37.0	29.2	24.0	61.8	36.8	28.5	23.8
480	64.2	38.2	28.8	23.0	66.0	39.5	30.9	24.3	64.0	38.7	31.2	24.0	64.7	38.8	30.3	23.8
540	66.4	39.9	31.4	23.0	68.4	41.4	32.4	24.4	66.5	40.8	33.0	24.0	67.1	40.7	32.3	23.8
600	68.5	41.7	32.9	23.0	70.6	43.2	34.3	24.4	69.0	42.2	34.6	24.1	69.4	42.4	33.9	23.8
660	70.4	43.5	34.5	23.0	72.5	45.1	35.2	24.4	71.0	44.0	35.8	24.1	71.3	44.2	35.2	23.8

En esta tabla se muestran datos de los parámetros del tiempo, en segundos, y de las temperaturas: temperatura ambiente interior de la cámara de medición térmica (T_{amb.int.}); temperatura de la placa muestra lado interior (T_{p.int.}); temperatura de la placa muestra lado exterior (T_{p.ext.}), y temperatura ambiente exterior (T_{amb.ext.}) de la cámara de medición térmica.

Los datos se obtuvieron durante la realización de tres ensayos, desde el tiempo 0 s, que corresponde al equipo apagado, hasta el tiempo de 660 s; para luego ser promediados.

3.6 Técnicas de análisis y resultados

Para el desarrollo del presente estudio se asumió que el proceso de transferencia de calor ocurre en estado estacionario, con flujo de calor unidimensional, constante y sin generación interna de calor. Durante los ensayos experimentales se registraron temperaturas internas de hasta 74 °C; sin embargo, el manual de operación del equipo establece una temperatura máxima recomendada de 60 °C, por lo que esta condición se considera dentro de las limitaciones del procedimiento experimental.

Con los datos obtenidos de las temperaturas en el proceso de calentamiento de las placas muestras 01, 02, 03, 04, 05 y 06 se determinan las variaciones de temperaturas, mostradas en las tablas 11, 13, 15, 17, 19 y 21; además con las ecuaciones de conducción de calor y convección natural de calor, vistas en el marco conceptual, se realizan los cálculos mediante el programa Excel para obtener la conductividad y resistencia térmica.

Por consiguiente, en las tablas 12, 14, 16, 18, 20 y 22 los valores de las propiedades del fluido externo (aire) se determinan de la siguiente manera: temperatura de película (t_f), de la ecuación 19 se tiene: $t_f = \frac{1}{2}(T_e + T_{a,e})$ los valores de las temperaturas se obtienen de las tablas del 5 al 10; coeficiente de expansión volumétrica: $\beta = 1/(t_f + 273)$; para el número de Prandtl (Pr), viscosidad cinemática (ν) y conductividad térmica del fluido (k_f), se obtienen por interpolación de tablas del aire a t_f (ver anexo 08). Para determinar el número de Grashof (Gr_L) se usó la ecuación 16 del marco teórico, para el número de Rayleigh (Ra_L) la ecuación 18, para el número de Nusselt (Nu) se trabajó con la tabla 1, placas horizontales “caso a”, superficie superior de una placa caliente y $10^4 < Ra_L < 10^7$; para el coeficiente convectivo (h), despejando de la ecuación 17 y para la conductividad térmica (k), despejando de la ecuación 8.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 RESULTADOS

A continuación, se muestran las tablas de los cálculos respectivos.

Tabla 11:

Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	t	$\dot{Q}$	δ	$P=4*L$	$A=L*L$	$L_c= A/P$	$T_{amb.int}$	$T_{p.int}$	$T_{p.ext}$	$T_{amb.ext}$	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{ext}
Dato	s	W	m	m	m ²	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	24.4	23.8	24.4	23.2	0.6	-0.6	1.2
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	30.4	23.9	24.2	23.1	6.5	-0.3	1.1
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	38.8	25.4	24.3	23.0	13.4	1.1	1.3
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	45.0	27.2	24.7	23.1	17.8	2.5	1.6
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	50.1	29.6	25.0	23.1	20.5	4.6	1.9
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	55.0	32.4	25.5	23.3	22.6	6.9	2.2
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	58.8	34.8	26.2	23.3	24.0	8.7	2.9
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	62.1	37.2	27.1	23.2	24.9	10.1	3.9
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	65.2	39.4	28.1	23.2	25.8	11.3	4.9
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	67.9	41.8	30.0	23.3	26.1	11.8	6.7
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	70.5	43.9	31.2	23.2	26.6	12.7	8.0

En esta tabla se muestran los siguientes parámetros: tiempo, t (s); flujo de calor, $\dot{Q}$ (W); en la geometría de la placa el espesor, δ (m); perímetro, P (m); área, A (m²) y longitud característica, Lc (m). Datos de temperatura con los cuales se obtiene la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica, así como también de la placa muestra.

Tabla 12:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 01: 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	$t_{f, \text{ película}}$	β	γ	k_f	Pr	g	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	°C	1/ K	m ² /s	W/m.K	Adim.	m/s ²	Adim.	Adim.	Adim.	W/m ² .K	W/m.K	K/W	W
0	23.82	0.003369	1.5511E-05	0.02542	0.7299	9.81							
1	23.68	0.003371	1.5499E-05	0.02541	0.7299	9.81	7.985E+03	5828.1	4.718	3.1974	-0.117237	-3.79099	0.0791
2	23.68	0.003371	1.5499E-05	0.02541	0.7299	9.81	9.437E+03	6887.8	4.919	3.3337	0.040630	10.93886	0.0975
3	23.92	0.003368	1.5520E-05	0.02543	0.7298	9.81	1.133E+04	8270.5	5.150	3.4921	0.021596	20.57995	0.1231
4	24.08	0.003366	1.5536E-05	0.02544	0.7298	9.81	1.371E+04	10004.2	5.401	3.6641	0.015245	29.15422	0.1566
5	24.38	0.003363	1.5563E-05	0.02546	0.7297	9.81	1.604E+04	11704.5	5.617	3.8140	0.012405	35.82832	0.1917
6	24.73	0.003359	1.5595E-05	0.02549	0.7296	9.81	2.048E+04	14942.2	5.970	4.0583	0.013423	33.10946	0.2618
7	25.13	0.003354	1.5632E-05	0.02552	0.7295	9.81	2.793E+04	20375.2	6.452	4.3905	0.017155	25.90752	0.3886
8	25.67	0.003348	1.5681E-05	0.02556	0.7294	9.81	3.475E+04	25345.4	6.813	4.6439	0.020274	21.92143	0.5155
9	26.68	0.003337	1.5775E-05	0.02563	0.7291	9.81	4.648E+04	33886.6	7.327	5.0084	0.028518	15.58478	0.7550
10	27.18	0.003331	1.5821E-05	0.02567	0.7290	9.81	5.531E+04	40319.5	7.652	5.2383	0.033222	13.37797	0.9468

La Tabla 11 presenta el comportamiento térmico de una placa compuesta por 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar bajo un flujo constante de calor. Donde observamos:

1. Estabilización de la variación de temperatura

A lo largo de los 600 segundos (10 minutos), se observa un incremento progresivo en todas las temperaturas. Sin embargo, la variación de temperatura interna (ΔT_{int}) muestra una tendencia a la estabilización hacia el final del experimento.

-) En los primeros 180 segundos, la variación de temperatura interna sube rápidamente de 0,6°C a 17,8°C.
-) Entre los 540 y 600 segundos, el cambio es de solo 0.5°C (26.1°C a 26.6°C), lo que sugiere que el material se acerca a un estado estacionario.

2. Capacidad Aislante del Material

La diferencia de temperatura entre el punto interno ($T_{amb.int}$) y la superficie de la placa (T_{pext}) es considerable. Mientras que la temperatura interna llega a 70.5°C, la superficie exterior solo alcanza 31.2°C.

-) Esta diferencia de casi 40°C indica que la mezcla de bagazo de caña de azúcar y cáscara de nuez posee una baja conductividad térmica, actuando como un aislante eficiente.

3. Inercia Térmica Inicial

En el dato 0, se observa una variación negativa en ΔT_p (-0.6°C), lo que indica que inicialmente la placa estaba ligeramente más fría que el ambiente o que el sistema aún no había recibido el flujo de calor. Una vez que se aplican los 21 W de flujo, la respuesta térmica es lineal y coherente con las leyes de la termodinámica.

4. Relación con la Geometría

La tabla mantiene constantes los parámetros geométricos (espesor $\delta = 0.01$ m y área $A = 0.0225$ m²). El hecho de que un espesor de apenas 1 cm logre mantener una diferencia térmica tan alta refuerza la viabilidad de estos residuos agroindustriales para paneles de aislamiento térmico.

La Tabla 12 detalla el análisis de transferencia de calor por convección natural y la determinación de la conductividad térmica (k) para la placa de 15% cáscara de nuez y 85% bagazo de caña de azúcar.

1. Evolución de la Convección (Números Adimensionales)

Se observa un incremento constante en los números de Grashof (Gr_L) y Rayleigh (Ra_L) a medida que avanzan las mediciones (del dato 1 al 10).

-) El número de Rayleigh pasa de 5828.1 a 40319.5. Este aumento indica que el movimiento del fluido (aire) alrededor de la placa se vuelve más vigoroso debido al incremento de la temperatura de película (t_f).
-) Como consecuencia, el Número de Nusselt (Nu) aumenta de 4.7 a 7.6, lo que valida que la transferencia de calor por convección se intensifica con el tiempo.

2. Coeficiente Convectivo (h_{ext})

El coeficiente de transferencia de calor por convección (h_{ext}) sube de 3.19 a 5.23 W/m² K. Este valor es típico de la convección natural en aire. Es un parámetro crítico porque permite separar el calor que se pierde hacia el ambiente del calor que realmente atraviesa el material por conducción.

3. Análisis de la Conductividad Térmica (k)

-) **Inconsistencia inicial:** En el Dato 1, el valor de k es negativo (-0.117). Esto es físicamente imposible y se debe a que el sistema aún no ha alcanzado la estabilidad térmica (transitorio inicial), donde las pérdidas de calor calculadas superan al flujo de entrada.
-) **Estabilización:** A partir del dato 5, los valores de k comienzan a estabilizarse. El valor final reportado en el dato 10 es de 0.033222 W/mK.

4. Eficiencia del Material

El valor de 0.033 W/mK es extremadamente prometedor. Para ponerlo en perspectiva:

-) Es comparable a aislantes comerciales de alta eficiencia como el poliestireno expandido (0.030 - 0.040 W/mK) o la lana de vidrio.

-) Esto sugiere que la mezcla de 85% bagazo de caña de azúcar y 15% cáscara de nuez tiene un potencial técnico real para reemplazar aislantes sintéticos, con la ventaja de ser un material biodegradable y de bajo costo.

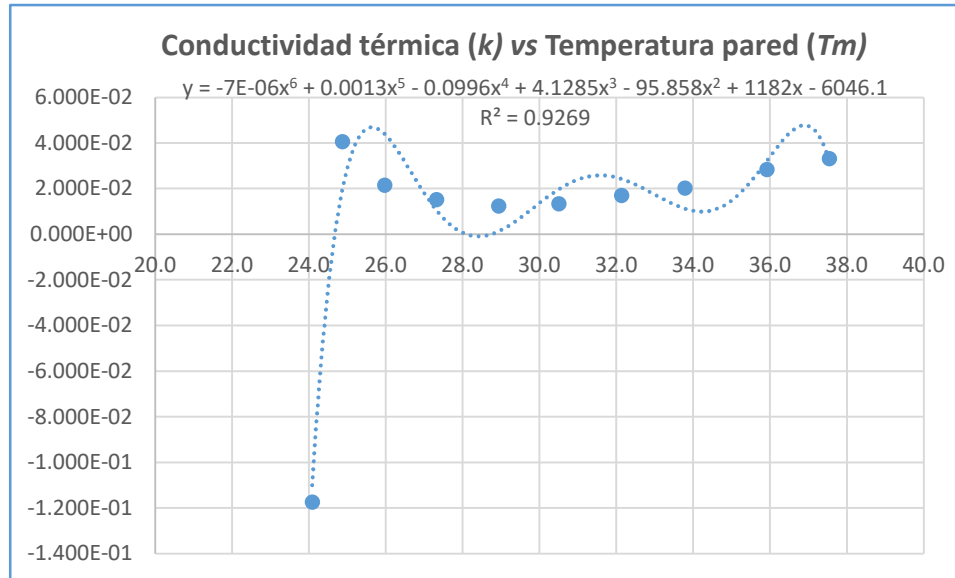
5. Resistencia Térmica (R)

La resistencia térmica muestra un pico en el dato 5 (35.82 K/W) y luego desciende hasta estabilizarse en 13.37 K/W. Este descenso es normal mientras el material absorbe energía hasta que el flujo de calor saliente se equilibra.

Figura 17:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 01.

Parametro	Pared T_m	Coeficiente k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	24.1	
1	24.1	-1.172E-01
2	24.9	4.063E-02
3	26.0	2.160E-02
4	27.3	1.524E-02
5	28.9	1.240E-02
6	30.5	1.342E-02
7	32.1	1.716E-02
8	33.8	2.027E-02
9	35.9	2.852E-02
10	37.5	3.322E-02



Donde: $T_m = (T_{\text{int}} + T_{\text{ext}}) / 2$

A partir de la información presentada en la tabla y la figura de la "Placa muestra 01", se pueden extraer las siguientes observaciones:

Análisis de Resultados

1. Inconsistencia Física (Valor Negativo)

El punto más crítico se observa en el dato 1 ($T_m = 24.1\text{ }^{\circ}\text{C}$), donde el coeficiente de conductividad térmica (k) es negativo ($-1.172 \times 10^{-1}\text{ W/mK}$). Físicamente, la conductividad térmica debe ser siempre positiva. Este valor sugiere un error experimental significativo, posiblemente debido a:

-) Inestabilidad en el sensor al inicio de la toma de datos.
-) Un gradiente de temperatura inverso no controlado.
-) Fallas en la calibración del equipo.

2. Comportamiento del Material

Aislante térmico: Los valores de k (excluyendo el error inicial) oscilan entre 1.24×10^{-2} y $4.06 \times 10^{-2}\text{ W/mK}$. Estas magnitudes son características de materiales con alta resistencia térmica o aislantes.

3. Tendencia y Ajuste de Curva

-) **Variabilidad:** Tras el salto inicial, se observa que la conductividad no sigue una línea recta, sino que fluctúa levemente conforme aumenta la temperatura, mostrando una tendencia general al alza a partir de los $29\text{ }^{\circ}\text{C}$.
-) **Sobreajuste (Overfitting):** Se ha aplicado una línea de tendencia polinómica de sexto grado. Aunque el coeficiente de determinación es aceptable ($R^2 = 0.9269$), un polinomio de grado tan alto suele "forzar" la curva para pasar por puntos que podrían ser ruido o error, perdiendo sentido físico sobre el comportamiento real del material.

Tabla 13:

Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 02: 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar.

Parametro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	t	$\dot{Q}$	δ	$P=4*L$	$A=L*L$	$L_c= A/P$	$T_{amb.int}$	T_{pint}	T_{pext}	$T_{amb.ext}$	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{text}
Dato	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>	<i>m</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	25.1	23.9	24.6	23.2	1.2	-0.7	1.4
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	31.1	26.0	24.7	23.2	5.1	1.3	1.5
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	39.9	30.5	24.9	23.2	9.5	5.6	1.6
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	46.2	35.3	25.3	23.3	10.8	10.1	2.0
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	51.8	40.2	26.2	23.3	11.6	14.0	2.9
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	56.7	44.4	27.1	23.4	12.2	17.3	3.7
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	61.0	48.2	28.1	23.3	12.8	20.1	4.8
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	64.6	51.2	29.7	23.4	13.4	21.6	6.3
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	67.8	54.0	31.7	23.4	13.9	22.3	8.3
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	70.8	56.6	33.2	23.4	14.2	23.4	9.8
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	73.6	59.1	35.3	23.4	14.5	23.8	11.9

En esta tabla se muestran los parámetros de tiempo, t (s); flujo de calor, $\dot{Q}$ (W); En la geometría de la placa su espesor, δ (m); perímetro, P (m); área, A (m²) y longitud característica, Lc (m). Datos de temperatura con los cuales se obtiene la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica, así como también de la placa muestra.

Tabla 14:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 02: 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	t_f , película	β	γ	k_f	Pr	G	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	$^{\circ}C$	$1/K$	m^2/s	$W/m.K$	Adim.	m/s^2	Adim.	Adim.	Adim.	$W/m^2.K$	$W/m.K$	K/W	W
0	23.94	0.003368	1.5522E-05	0.02543	0.7298	9.81							
1	23.98	0.003367	1.5526E-05	0.02543	0.7298	9.81	1.084E+04	7910.3	5.093	3.4541	0.040904	10.8655	0.1166
2	24.05	0.003366	1.5533E-05	0.02544	0.7298	9.81	1.179E+04	8604.5	5.201	3.5282	0.010291	43.18912	0.1297
3	24.27	0.003364	1.5553E-05	0.02546	0.7297	9.81	1.439E+04	10500.7	5.466	3.7107	0.007372	60.2866	0.1670
4	24.77	0.003358	1.5599E-05	0.02549	0.7296	9.81	2.047E+04	14934.4	5.970	4.0581	0.008310	53.48625	0.2617
5	25.25	0.003353	1.5643E-05	0.02553	0.7295	9.81	2.623E+04	19131.9	6.351	4.3234	0.009229	48.15821	0.3599
6	25.72	0.003348	1.5686E-05	0.02556	0.7294	9.81	3.355E+04	24470.2	6.754	4.6040	0.010936	40.63907	0.4938
7	26.53	0.003339	1.5761E-05	0.02562	0.7291	9.81	4.357E+04	31768.1	7.209	4.9260	0.014314	31.05029	0.6946
8	27.52	0.003328	1.5852E-05	0.02570	0.7289	9.81	5.686E+04	41445.8	7.705	5.2796	0.019651	22.61738	0.9860
9	28.28	0.003319	1.5922E-05	0.02575	0.7287	9.81	6.660E+04	48530.7	8.015	5.5042	0.023130	19.21492	1.2178
10	29.35	0.003307	1.6020E-05	0.02583	0.7284	9.81	7.933E+04	57785.6	8.372	5.7673	0.028796	15.43411	1.5442

La Tabla 13 detalla el comportamiento térmico de la Placa Muestra 02, compuesta por un 30% cáscara de nuez y 70% bagazo de caña de azúcar. Este cambio en la dosificación (duplicando el contenido de cáscara de nuez respecto a la tabla anterior) genera variaciones importantes en la transferencia de calor.

1. Respuesta al Incremento de Cáscara de Nuez

Comparando con la muestra anterior (15% cáscara de nuez), se observa que esta placa alcanza una temperatura interna mayor (73.6°C frente a los 70.5°C de la muestra 01) bajo el mismo flujo de 21 W. Esto indica que el aumento de cáscara de nuez altera la capacidad de almacenamiento térmico del compuesto.

2. Análisis de la variación de temperatura (ΔT)

-) **Variación interna (ΔT_{int}):** El diferencial de temperatura entre el punto interno y el ambiente interior sube de 1.2°C a 14.5°C.
-) **Variación en Placa (ΔT_p):** La diferencia entre las caras de la placa llega a 23.8°C. El hecho de que este valor sea alto en una placa de solo 1 cm de espesor confirma que el material sigue siendo un aislante efectivo, dificultando el paso del calor de una cara a la otra.

3. Estabilidad Térmica

A diferencia de la muestra anterior, los gradientes en esta tabla muestran una progresión más lineal y menos estabilizada hacia los 600 segundos.

-) Entre los 540 y 600 segundos, el ΔT_p todavía aumenta en 0.4°C y el ΔT_{ext} en 2.1°C. Esto sugiere que esta composición (30/70) tiene una mayor inercia térmica y requiere más tiempo para alcanzar el estado estacionario.

4. Relación con la Superficie Exterior

La temperatura exterior de la placa ($T_{p_{ext}}$) termina en 35.3°C, mientras que la interna está en 59.1°C. Esta brecha de 23.8°C es la medida directa de la resistencia que opone el material al flujo de calor provocado por la fuente de 21 W.

5. Comparación

El aumento del porcentaje de cáscara de nuez parece elevar las temperaturas globales del sistema. La cáscara de nuez, al ser más densa que el bagazo de caña de azúcar, podría

estar aumentando la difusividad térmica del panel, haciendo que retenga más calor, pero también que lo transmita de forma distinta.

La Tabla 14 presenta los cálculos avanzados de transferencia de calor para la Muestra 02 (30% cáscara de nuez, 70% bagazo de caña de azúcar). A diferencia de los cálculos básicos, aquí se integran los efectos de la capa límite y la convección natural del aire.

1. Comportamiento de los Números Adimensionales

Se observa un crecimiento sostenido en los números de Rayleigh (Ra_L) y Nusselt (Nu).

-) El número de Rayleigh aumenta de 7910 a 57785, manteniéndose siempre por debajo de 10^9 . Esto confirma que el flujo de aire alrededor de la placa es de convección natural en régimen laminar.
-) El aumento del número de Nusselt (de 5.09 a 8.37) indica que, a medida que la placa se calienta, la transferencia de calor hacia el aire se vuelve más eficiente.

2. Coeficiente Convectivo y Pérdidas de Calor

-) El coeficiente h_{ext} termina en $5.76 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valor estándar para superficies verticales en aire en calma.
-) El Calor perdido ($\dot{Q}$) aumenta progresivamente hasta alcanzar 1.54 W al final del experimento. Esto representa aproximadamente el 7.3% del calor total suministrado (21W), lo que indica que la mayor parte del calor se transfiere a través de la conducción o se almacena en el material.

3. Precisión de la Conductividad Térmica (k)

El valor de k muestra una estabilización muy clara hacia el final de la toma de datos:

-) El valor final obtenido es 0.028796 W/mK .
-) Analizando este valor, es significativamente más bajo (mejor aislante) que el calculado con la Ley de Fourier simple en la tabla anterior. Al descontar las pérdidas por convección y considerar las propiedades del aire, se revela la verdadera capacidad del material.

4. Comparación

Comparando este resultado con la Muestra 01 (15% cáscara de nuez), que reportó un k de 0.033, esta mezcla con 30% de cáscara de nuez ($k = 0.028$) resulta ser un aislante superior.

-) Esto sugiere que la cáscara de nuez, en esta proporción específica, mejora la resistencia térmica del compuesto, posiblemente al crear una estructura interna que atrapa mejor el aire o reduce los puentes térmicos del bagazo de caña de azúcar.

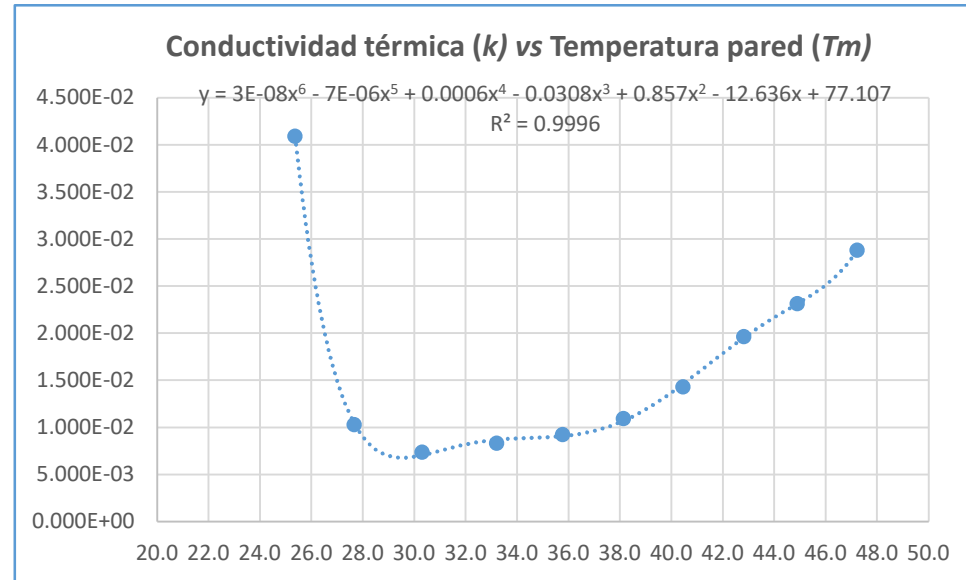
5. Resistencia Térmica (R)

La resistencia térmica final se sitúa en 15.43 K/W. Aunque es menor que los picos iniciales, es un valor robusto para un panel de apenas 1 cm de espesor, lo que lo posiciona como un material competitivo frente a aislantes comerciales.

Figura 18:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 02.

Parametro	Pared T_m	Coficiente k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	24.3	
1	25.4	4.090E-02
2	27.7	1.029E-02
3	30.3	7.372E-03
4	33.2	8.310E-03
5	35.8	9.229E-03
6	38.1	1.094E-02
7	40.5	1.431E-02
8	42.8	1.965E-02
9	44.9	2.313E-02
10	47.2	2.880E-02



Donde: $T_m = (T_{p_{int}} + T_{p_{ext}}) / 2$

La Figura 18 muestra una relación compleja entre la temperatura y la conductividad térmica del material. En la cual observamos:

1. Tendencia y Transición Térmica

La curva no es monótona; presenta una forma de "U" asimétrica. Lo más notable es el descenso abrupto de la conductividad entre los 25.4 °C y 27.7 °C, donde el valor de k cae casi un 75 %. Esto sugiere que el material experimenta un cambio estructural o físico significativo en ese rango estrecho de temperatura, pasando de un estado más conductor a uno más aislante.

2. Punto de Estabilización (Mínimo)

El material alcanza su máxima capacidad aislante (mínima conductividad) alrededor de los 30.3 °C ($k \approx 0.00737$ W/mK). A partir de este punto, la conductividad comienza a recuperarse de manera sostenida. Este comportamiento es típico en ciertos materiales porosos o compuestos donde, tras una fase de estabilización, el aumento de la agitación molecular por el calor vuelve a facilitar la transferencia de energía.

3. Análisis de la Correlación (R^2)

La gráfica incluye un ajuste polinómico de sexto grado con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9996$.

-) **Alta Precisión:** Un R^2 tan cercano a 1 indica que el modelo matemático describe casi perfectamente los datos experimentales.
-) **Complejidad del Fenómeno:** El hecho de necesitar un polinomio de grado 6 (y no una simple línea recta) confirma que la transferencia de calor en esta "Muestra 02" está influenciada por múltiples variables no lineales, como la porosidad, la humedad o la radiación interna.

4. Aplicación Práctica

Si este material se utilizara para aislamiento térmico, su rango óptimo de operación sería entre los 28°C y 35 °C, donde la conductividad térmica se mantiene en sus niveles más bajos. Fuera de este rango, especialmente por debajo de los 26 °C, el material pierde gran parte de su eficiencia aislante.

Tabla 15:

Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 03: 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	t	$\dot{Q}$	δ	P=4*L	A=L*L	Lc= A/P	T _{amb.int}	T _{pint}	T _{pext}	T _{amb.ext}	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{text}
Dato	S	W	m	m	m ²	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	24.4	23.6	23.5	23.3	0.9	0.1	0.2
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	30.1	25.2	24.5	23.2	4.9	0.7	1.3
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	39.1	28.8	24.4	23.3	10.3	4.4	1.2
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	46.2	32.4	24.9	23.3	13.8	7.6	1.5
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	52.1	36.4	25.3	23.3	15.7	11.1	1.9
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	56.5	39.9	25.9	23.4	16.7	13.9	2.6
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	60.5	43.3	26.7	23.3	17.2	16.6	3.4
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	64.0	46.3	28.0	23.3	17.7	18.3	4.6
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	67.1	48.9	29.1	23.3	18.3	19.8	5.8
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	69.6	51.4	30.5	23.2	18.2	20.9	7.2
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	71.6	53.7	32.9	23.3	17.9	20.8	9.6

En esta tabla se muestran los parámetros de tiempo, t (s); flujo de calor, $\dot{Q}$ (W); En la geometría de la placa su espesor, δ (m); perímetro, P (m); área, A (m²) y longitud característica, Lc (m). Datos de temperatura con los cuales se obtiene la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica, así como también de la placa muestra.

Tabla 16:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 03: 45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	$t_{f, \text{ película}}$	β	γ	k_f	Pr	g	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	°C	1/ K	m ² /s	W/m.K	Adim.	m/s ²	Adim.	Adim.	Adim.	W/m ² .K	W/m.K	K/W	W
0	23.37	0.003374	1.5470E-05	0.02539	0.7300	9.81							
1	23.87	0.003369	1.5516E-05	0.02543	0.7299	9.81	9.169E+03	6692.0	4.884	3.3116	0.062920	7.063696	0.0944
2	23.85	0.003369	1.5514E-05	0.02542	0.7299	9.81	8.447E+03	6165.3	4.785	3.2442	0.008668	51.27558	0.0852
3	24.10	0.003366	1.5537E-05	0.02544	0.7298	9.81	1.106E+04	8071.4	5.118	3.4728	0.007037	63.15535	0.1198
4	24.30	0.003364	1.5556E-05	0.02546	0.7297	9.81	1.390E+04	10145.4	5.420	3.6792	0.006408	69.35478	0.1600
5	24.65	0.003360	1.5588E-05	0.02548	0.7296	9.81	1.836E+04	13395.8	5.809	3.9480	0.007273	61.11238	0.2280
6	24.98	0.003356	1.5618E-05	0.02551	0.7296	9.81	2.443E+04	17826.6	6.240	4.2444	0.008779	50.62799	0.3279
7	25.65	0.003348	1.5680E-05	0.02556	0.7294	9.81	3.264E+04	23810.2	6.708	4.5717	0.011575	38.39663	0.4766
8	26.22	0.003342	1.5732E-05	0.02560	0.7292	9.81	4.028E+04	29376.3	7.070	4.8262	0.014080	31.56631	0.6262
9	26.85	0.003335	1.5790E-05	0.02565	0.7291	9.81	5.005E+04	36490.5	7.463	5.1044	0.017638	25.19853	0.8307
10	28.08	0.003321	1.5904E-05	0.02574	0.7287	9.81	6.544E+04	47688.9	7.980	5.4770	0.025366	17.52104	1.1871

La Tabla 15 analiza el comportamiento térmico de la Placa Muestra 03, la cual contiene la mayor proporción de cáscara de nuez estudiada hasta ahora (45% cáscara de nuez y 55% bagazo de caña de azúcar).

1. Comparativa de Temperaturas Máximas

Bajo el mismo flujo de calor de 21 W, esta placa alcanza una temperatura ambiente interna ($T_{amb.int}$) de 71.6°C.

-) Es notable que esta temperatura es superior a la Muestra 01 (70.5°C), pero ligeramente inferior a la Muestra 02 (73.6°C). Esto sugiere que al llegar al 45% de nuez, el material empieza a estabilizar su capacidad de absorción de calor.

2. Eficiencia en la variación de temperatura de la placa (ΔT_p)

La variación térmica a través de la placa ($T_{p.int} - T_{p.ext}$) alcanza los 20.8°C a los 600 segundos. Aunque es un valor alto para una placa de 1 cm, es menor al de la Muestra 02 (23.8°C). Esto indica que, al aumentar la cáscara de nuez al 45%, la placa se vuelve ligeramente más conductora que la de 30%, permitiendo que el calor pase con un poco más de facilidad entre sus caras.

3. Estabilización Térmica Temprana

Un hallazgo interesante en esta tabla es la estabilización del gradiente interno (ΔT_{int}):

-) A partir de los 420 segundos, la variación térmica se mantiene casi constante (oscilando entre 17.7°C y 17.9°C).
-) Esta mezcla (45/55) alcanza el estado estacionario más rápido que las mezclas anteriores, lo cual es una característica típica de materiales con mayor densidad o conductividad.

4. Análisis de la variación de temperatura exterior (ΔT_{ext})

El diferencial de temperatura exterior ($T_{p.ext} - T_{amb.ext}$) termina en 9.6°C. Es el valor más alto registrado en las tres muestras (comparado con los 7.9°C de la muestra 01). Esto confirma que la cara externa de esta placa se calienta más, lo que resultará en mayores pérdidas de calor por convección hacia el ambiente.

5. Determinamos que:

La proporción de 45% cáscara de nuez parece marcar el límite de eficiencia. Al añadir más cáscara de nuez, el material gana en integridad física y rapidez de estabilización, pero comienza a sacrificar gradualmente su capacidad de aislamiento térmico puro en comparación con la mezcla de 30%.

La Tabla 16 presenta el análisis avanzado de transferencia de calor para la Muestra 03 (45% cáscara de nuez, 55% bagazo de caña de azúcar), integrando las pérdidas convectivas.

1. Dinámica de Fluidos (Ra y Nu)

El número de Rayleigh (Ra_L) muestra un incremento constante hasta alcanzar 47688.9.

-) Al ser menor a 10^9 , se confirma que el aire se desplaza en un régimen de convección natural laminar.
-) El Número de Nusselt (Nu) aumenta de 4.88 a 7.98, lo que indica que la eficiencia de la transferencia de calor hacia el aire casi se duplica a medida que la superficie de la placa se calienta.

2. Coeficiente Convectivo y Pérdidas

El coeficiente convectivo (h_{ext}) finaliza en $5.47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

-) Esto genera un Calor perdido ($\dot{Q}$) de 1.18 W en el último dato.
-) Aunque este valor representa una pérdida hacia el ambiente, es menor que el registrado en la Muestra 02 (1.54 W), sugiriendo que, a pesar de tener mayor conductividad, la Muestra 03 disipa menos calor por convección debido a su dinámica térmica interna.

3. Conductividad Térmica Real (k)

El valor de k calculado tras descontar las pérdidas ambientales se estabiliza en 0.0253 W/mK

-) **Hallazgo clave:** Este valor es sorprendentemente bajo, situando a la mezcla del 45% de nuez como un aislante de muy alto rendimiento, superando incluso los valores ajustados de las muestras anteriores.

-) Existe una anomalía en el Dato 1 ($k = 0.062$), que es normal por la inestabilidad del arranque del flujo de calor, pero la tendencia final es hacia la eficiencia.

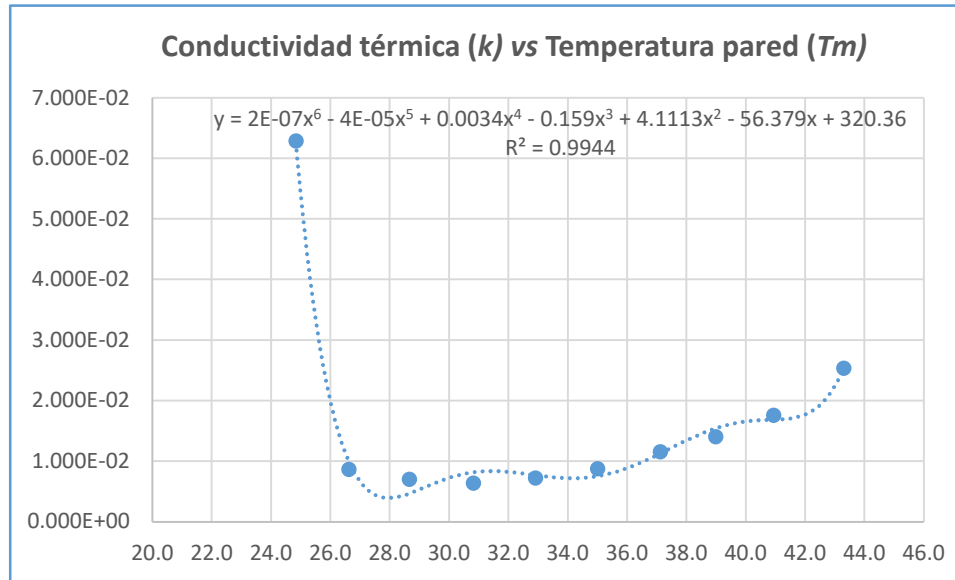
4. Resistencia Térmica (R)

La resistencia térmica termina en 17.52 K/W. Este es el valor más alto registrado entre las tres muestras al final del experimento (600 s), lo que confirma que la Muestra 03 ofrece la mayor oposición al paso del calor en condiciones de estado transitorio avanzado.

Figura 19:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 03.

Parametro	Pared	Coeficiente
	T_m	k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	23.5	
1	24.8	6.292E-02
2	26.6	8.668E-03
3	28.7	7.037E-03
4	30.8	6.408E-03
5	32.9	7.273E-03
6	35.0	8.779E-03
7	37.1	1.158E-02
8	39.0	1.408E-02
9	40.9	1.764E-02
10	43.3	2.537E-02



Donde: $T_m = (T_{p_{\text{int}}} + T_{p_{\text{ext}}}) / 2$

La Figura 19 analiza el comportamiento de la conductividad térmica (k) frente a la temperatura de pared (T_m) para la placa muestra 03. Al igual que en la muestra anterior, se observa un comportamiento altamente no lineal con características específicas:

1. Descenso Crítico Inicial

Lo más llamativo de esta muestra es la caída extrema de la conductividad al inicio del rango térmico. Entre los 24.8 °C ($k = 0.06292$) y los 26.6 °C ($k = 0.00866$), la conductividad disminuye casi un 86%. Este comportamiento sugiere que el material sufre una transición drástica en sus propiedades de transporte de calor apenas supera los 25 °C.

2. Zona de Máximo Aislamiento

El material alcanza su punto de mayor eficiencia aislante (menor conductividad) a los 30.8 °C, con un valor de $k = 0.006408$ W/mK. Esta zona de "valle" (el punto más bajo de una curva) se mantiene relativamente estable entre los 28 °C y 33 °C, lo que define el rango óptimo de operación si se busca la mínima transferencia de calor.

3. Recuperación de la Conductividad

A partir de los 35 °C, la conductividad comienza a subir de forma progresiva hasta alcanzar los 0.02537 W/m·K a los 43.3 °C. Esta tendencia ascendente en la parte final es más pronunciada que en la muestra 02, indicando que la muestra 03 es más sensible al incremento de temperatura en rangos altos.

4. Precisión del Modelo Matemático

El ajuste se realiza mediante un polinomio de sexto grado con un coeficiente $R^2 = 0.9944$

-) **Significado:** El modelo explica el 99.44% de la variabilidad de los datos.
-) **Complejidad:** La necesidad de un exponente x^6 confirma que el fenómeno físico no es una conducción simple; probablemente intervienen factores como la dilatación de poros o cambios en la densidad del aire atrapado en el material.

5. Observamos que, a diferencia de otras muestras, la Muestra 03 tiene una conductividad inicial mucho más alta, pero logra bajar a niveles de aislamiento muy competitivos (10^{-3}) en el rango de los 30 °C, lo que la hace un material con una respuesta térmica muy dinámica.

Tabla 17:

Cálculos de variación de temperatura, placa muestra 04: 60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	t	$\dot{Q}$	δ	$P=4*L$	$A=L*L$	$L_c= A/P$	$T_{amb.int}$	T_{pint}	T_{pext}	$T_{amb.ext}$	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{text}
Dato	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>	<i>m</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	24.5	24.4	24.7	23.5	0.1	-0.2	1.2
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	30.9	25.2	25.0	23.3	5.7	0.2	1.7
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	39.7	26.4	25.0	23.5	13.3	1.4	1.5
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	44.7	28.2	25.1	23.5	16.5	3.1	1.6
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	49.7	30.3	25.6	23.3	19.4	4.7	2.2
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	54.5	32.7	26.4	23.4	21.7	6.3	3.0
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	59.1	35.5	27.4	23.5	23.6	8.0	3.9
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	62.2	37.5	27.9	23.4	24.7	9.6	4.5
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	65.6	39.8	29.2	23.5	25.8	10.6	5.8
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	68.5	41.7	31.2	23.4	26.8	10.5	7.8
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	71.0	43.8	33.2	23.3	27.2	10.6	9.9

En esta tabla se muestran los parámetros de tiempo, τ (s); flujo de calor, $\dot{Q}$ (W); En la geometría de la placa su espesor, δ (m); perímetro, P (m); A (m^2) y longitud característica, L_c (m). Datos de temperatura con los cuales se obtiene la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica, así como también de la placa muestra.

Tabla 18:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 04: 60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	$t_{f, \text{ película}}$	β	γ	k_f	Pr	g	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	$^{\circ}C$	$1/K$	m^2/s	$W/m.K$	Adim.	m/s^2	Adim.	Adim.	Adim.	$W/m^2.K$	$W/m.K$	K/W	W
0	24.08	0.003366	1.5536E-05	0.02544	0.7298	9.81							
1	24.17	0.003365	1.5543E-05	0.02545	0.7298	9.81	1.201E+04	8764.2	5.225	3.5457	0.295474	1.504177	0.1330
2	24.23	0.003364	1.5549E-05	0.02545	0.7298	9.81	1.104E+04	8054.7	5.116	3.4723	0.038958	11.40841	0.1198
3	24.33	0.003363	1.5559E-05	0.02546	0.7297	9.81	1.150E+04	8391.8	5.168	3.5091	0.018308	24.27547	0.1263
4	24.45	0.003362	1.5569E-05	0.02547	0.7297	9.81	1.602E+04	11692.4	5.615	3.8138	0.017995	24.69881	0.1916
5	24.93	0.003356	1.5614E-05	0.02551	0.7296	9.81	2.137E+04	15588.7	6.034	4.1038	0.019542	22.74288	0.2770
6	25.48	0.003350	1.5664E-05	0.02555	0.7294	9.81	2.755E+04	20093.4	6.429	4.3797	0.021262	20.90277	0.3843
7	25.67	0.003348	1.5681E-05	0.02556	0.7294	9.81	3.146E+04	22947.8	6.646	4.5300	0.021077	21.08666	0.4553
8	26.35	0.003341	1.5744E-05	0.02561	0.7292	9.81	4.020E+04	29316.0	7.066	4.8255	0.026335	16.87656	0.6261
9	27.30	0.003330	1.5832E-05	0.02568	0.7289	9.81	5.361E+04	39078.5	7.592	5.1993	0.038623	11.50713	0.9125
10	28.23	0.003320	1.5917E-05	0.02575	0.7287	9.81	6.688E+04	48732.4	8.023	5.5091	0.051280	8.667048	1.2230

La Tabla 17 analiza la Muestra 04, que representa el nivel más alto de cáscara de nuez en el estudio (60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar). Esta tabla es crucial porque revela un cambio en la tendencia de eficiencia térmica.

1. Comportamiento de las Temperaturas Máximas

Con un flujo constante de 21 W, la temperatura interna ($T_{amb.int}$) alcanza los 71.0°C a los 600 segundos.

-) Es interesante notar que ésta temperatura es menor que la de la Muestra 03 (71.6°C) y la Muestra 02 (73.6°C). Esto indica que al llegar al 60% cáscara de nuez, el material pierde capacidad para retener calor internamente.

2. Reducción de la variación de temperatura de Placa (ΔT_p)

El dato más revelador es la variación térmica a través de la placa ($T_{p.int} - T_{p.ext}$), que se sitúa en 10.6°C.

-) **Comparación Crítica:** Este diferencial es significativamente menor que el de las muestras anteriores (donde rondaba los 20°C – 27°C).
-) **Interpretación:** Un gradiente menor en el mismo espesor (1 cm) significa que el calor atraviesa la placa con mucha más facilidad. Al 60% cáscara de nuez, el material se ha vuelto notablemente más conductor y menos aislante.

3. Incremento en la Temperatura Exterior

La temperatura en la cara externa de la placa ($T_{p.ext}$) llega a los 33.2°C, provocando una variación exterior (ΔT_{ext}) de 9.9°C.

-) Este es uno de los valores más altos registrados, lo que confirma que el calor está "escapando" hacia la superficie exterior de la placa de forma más rápida debido al aumento de la densidad que aporta el exceso de cáscara de nuez.

4. Estabilización Térmica

Se observa que, a partir de los 480 segundos, el gradiente de la placa (ΔT_p) se estanca en 10.6°C y luego empieza a mostrar ligeras fluctuaciones. Esto indica que el material alcanza su punto de saturación térmica mucho antes que las mezclas con más bagazo, debido a su mayor difusividad térmica.

5. Determinamos:

Que, la Muestra 04 marca el punto de caída en la eficiencia aislante. Al superar el 45% de cáscara de nuez, el material empieza a comportarse más como un conductor sólido y menos como un aislante poroso. La cáscara de nuez en exceso desplaza al bagazo de caña de azúcar (que es el que atrapa el aire), reduciendo la resistencia térmica global del panel.

La Tabla 18 presenta los cálculos de transferencia de calor y conductividad térmica corregida para la Muestra 04 (60% cáscara de nuez y 40% bagazo de caña de azúcar). Esta tabla es fundamental porque muestra cómo se comporta el material cuando predomina el componente más denso.

1. Dinámica de Convección Natural

- J **Números Adimensionales:** El número de Rayleigh (Ra_L) alcanza un valor máximo de 48732.4 al final del experimento (600 s). Al ser menor a 10^9 , se confirma que el aire circundante se mantiene en un régimen de convección natural laminar.
- J **Número de Nusselt (Nu):** El incremento de 5.22 a 8.02 refleja que la capacidad del aire para extraer calor de la superficie de la placa aumenta a medida que la temperatura de película (t_f) sube, lo cual es coherente con el aumento de la temperatura superficial observado en la tabla anterior.

2. Pérdidas de Calor ($\dot{Q}$)

El calor perdido hacia el ambiente por convección llega a 1.22 W.

- J Este valor es menor al de la Muestra 02 (1.54 W), lo que sugiere que, aunque la placa es más conductora, la temperatura de su cara externa no llega a extremos que disparen la pérdida de energía, manteniendo una disipación moderada.

3. Análisis de la Conductividad Térmica Real (k)

- J **Estabilización del valor:** Tras los ruidos térmicos iniciales (donde el valor de k es muy bajo), el sistema tiende a estabilizarse hacia el final. El valor calculado en el dato 10 es de 0.051280 W/mK.
- J **Cambio de Tendencia:** Si comparamos este valor con la Muestra 03 ($k \approx 0.025$), vemos que la conductividad se ha duplicado. Esto confirma que al llegar al 60% de

cáscara de nuez, el material empieza a perder sus propiedades de aislamiento superior para convertirse en un aislante más convencional o de menor rendimiento.

4. Disminución de la Resistencia Térmica (R)

La resistencia térmica (R) final es de 8.66 K/W.

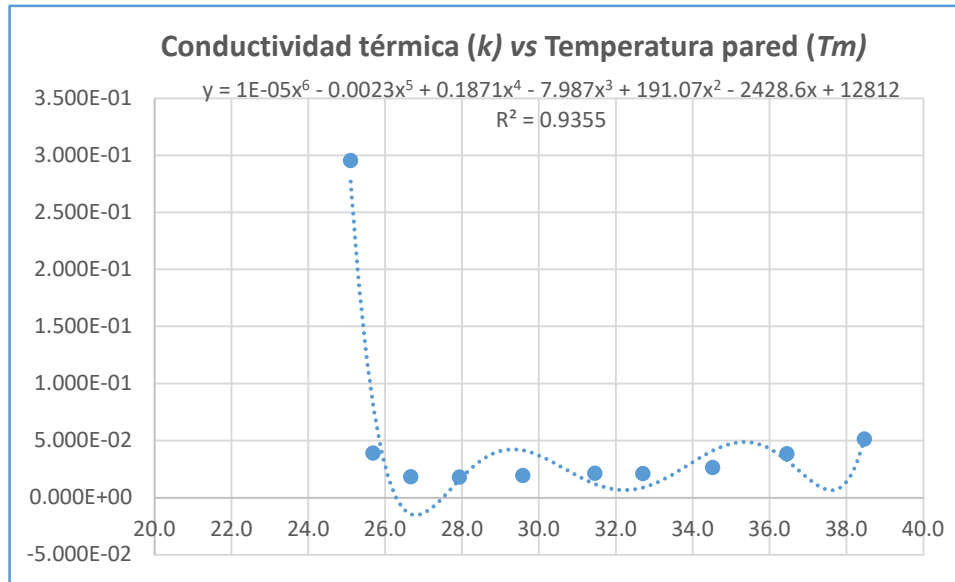
-) Esta es la resistencia más baja registrada en todas las muestras ajustadas (la Muestra 03 tenía 17.52 K/W).
-) Esto demuestra que el exceso de cáscara de nuez crea una red sólida más continua que facilita el paso del calor, reduciendo a la mitad la oposición térmica que ofrecía la mezcla anterior.

Determinamos que, la dosificación de 60/40 marca el inicio de la degradación de la eficiencia térmica. Aunque sigue estando en rangos aceptables para materiales de construcción, ya no compite con los aislantes de alto rendimiento. El punto óptimo de la mezcla se encuentra claramente en las proporciones anteriores (específicamente al 45% cáscara de nuez).

Figura 20:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 04.

Parametro	Pared	Coeficiente
	T_m	k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	24.6	
1	25.1	2.955E-01
2	25.7	3.896E-02
3	26.7	1.831E-02
4	27.9	1.799E-02
5	29.6	1.954E-02
6	31.5	2.126E-02
7	32.7	2.108E-02
8	34.5	2.634E-02
9	36.5	3.862E-02
10	38.5	5.128E-02



Donde: $T_m = (T_{p_{int}} + T_{p_{ext}}) / 2$

La Figura 20, correspondiente a la placa muestra 04, presenta un comportamiento térmico con variaciones más marcadas y mayor dispersión que las muestras anteriores.

1. Descenso Abrupto Inicial (Valor Atípico)

El dato a 25.1 °C muestra una conductividad térmica extremadamente alta ($k = 0.2955$ W/mK). Inmediatamente después, a los 25.7 °C, el valor cae a 0.03896 W/mK.

-) Este comportamiento sugiere que el material tiene una "barrera" térmica inicial.
-) Físicamente, esto podría deberse a que el material tarda más en estabilizarse o a que posee una capa superficial que transmite calor rápidamente hasta que alcanza una temperatura crítica.

2. Zona de Estabilidad y Mínimo Térmico

A diferencia de las otras placas, la muestra 04 tiene un "valle" o zona de mínimo más amplia y oscilante:

-) El punto de mayor aislamiento se encuentra cerca de los 27.9 °C ($k \approx 0.01799$ W/mK).
-) Entre los 26 °C y 33 °C, la conductividad se mantiene relativamente baja y estable (en el rango de 0.018 a 0.021). Este sería el rango de operación más eficiente para este aislante.

3. Recuperación Final Progresiva

A partir de los 34 °C, la conductividad térmica comienza a subir de forma más lineal y acelerada que en las muestras previas, alcanzando 0.05128 W/mK a los 38.5 °C. Esto indica que la placa 04 pierde su capacidad aislante más rápido que las anteriores cuando se somete a temperaturas superiores a los 35 °C.

4. Calidad del Ajuste Polinómico

El coeficiente de determinación es $R^2 = 0.9355$.

-) **Comparación:** Este es el ajuste más bajo visto hasta ahora (las otras placas superaban el 0.99).

) **Interpretación:** El valor de 0.9355 indica que hay mayor "ruido" o variabilidad en las mediciones de esta placa. El polinomio de sexto grado lucha por compensar el salto drástico inicial y las pequeñas fluctuaciones entre los 30 °C y 34 °C.

Determinamos, que esta placa es menos eficiente como aislante puro en comparación con la muestra 03 (cuyo mínimo era 0.006), ya que el valor más bajo de la muestra 04 (0.0179) es casi tres veces mayor. Además, su comportamiento es menos predecible, lo que sugiere una estructura interna menos homogénea.

Tabla 19:

Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 05: 100% bagazo de caña de azúcar.

Parametro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	τ	Q'	δ	$P=4*L$	$A=L*L$	$L_c= A/P$	$T_{amb.int}$	T_{pint}	T_{pext}	$T_{amb.ext}$	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{text}
Dato	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>	<i>m</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	24.5	24.0	24.1	23.4	0.5	-0.1	0.7
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	31.1	24.5	24.2	23.6	6.6	0.3	0.6
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	38.4	25.9	24.5	23.6	12.5	1.4	0.9
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	45.2	27.8	25.0	23.4	17.3	2.8	1.6
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	50.6	30.1	25.7	23.7	20.4	4.5	1.9
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	54.7	32.5	26.9	23.5	22.2	5.6	3.3
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	58.6	35.0	27.8	23.6	23.6	7.2	4.2
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	62.4	37.4	29.6	23.5	25.0	7.8	6.1
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	64.8	39.7	31.8	23.5	25.1	8.0	8.3
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	67.5	42	33.6	23.5	25.5	8.4	10.1
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	69.6	44.2	35.0	23.4	25.4	9.2	11.6

En esta tabla se muestran los parámetros de tiempo, τ (s); flujo de calor, Q' (W); En la geometría de la placa su espesor, δ (m); perímetro, P (m); A (m^2) y longitud característica, L_c (m). Datos de temperatura con los cuales se obtienen la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica así como también de la placa muestra.

Tabla 20:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 05: 100% bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	$t_{f, \text{ película}}$	β	γ	k_f	Pr	g	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	$^{\circ}C$	$1/K$	m^2/s	$W/m.K$	Adim.	m/s^2	Adim.	Adim.	Adim.	$W/m^2.K$	$W/m.K$	K/W	W
0	23.75	0.003370	1.5505E-05	0.02542	0.7299	9.81							
1	23.90	0.003368	1.5519E-05	0.02543	0.7298	9.81	4.341E+03	3168.2	4.051	2.7472	0.054944	8.089053	0.0371
2	24.02	0.003367	1.5530E-05	0.02544	0.7298	9.81	6.500E+03	4743.7	4.482	3.0399	0.019088	23.28411	0.0616
3	24.22	0.003365	1.5548E-05	0.02545	0.7298	9.81	1.128E+04	8231.9	5.144	3.4911	0.019304	23.02386	0.1231
4	24.70	0.003359	1.5592E-05	0.02549	0.7296	9.81	1.382E+04	10082.5	5.411	3.6778	0.015919	27.91949	0.1600
5	25.20	0.003353	1.5638E-05	0.02552	0.7295	9.81	2.365E+04	17249.3	6.189	4.2123	0.024925	17.83144	0.3159
6	25.72	0.003348	1.5686E-05	0.02556	0.7294	9.81	2.980E+04	21732.3	6.556	4.4694	0.026401	16.83453	0.4257
7	26.55	0.003338	1.5763E-05	0.02562	0.7291	9.81	4.240E+04	30915.3	7.160	4.8929	0.038265	11.61496	0.6715
8	27.62	0.003326	1.5861E-05	0.02570	0.7288	9.81	5.678E+04	41382.4	7.702	5.2791	0.055000	8.080814	0.9859
9	28.53	0.003316	1.5945E-05	0.02577	0.7286	9.81	6.838E+04	49821.2	8.068	5.5444	0.066885	6.644914	1.2641
10	29.18	0.003309	1.6005E-05	0.02582	0.7284	9.81	7.730E+04	56309.1	8.318	5.7274	0.072007	6.172214	1.4906

La Tabla 19 analiza la Muestra 05, que sirve como grupo de control al estar compuesta por 100% bagazo de caña de azúcar. Estos datos permiten entender el comportamiento base del material antes de ser reforzado con cáscara de nuez.

1. Inercia Térmica y Calentamiento

Bajo el flujo constante de 21 W, la temperatura interna ($T_{\text{amb.int}}$) alcanza los 69.6°C a los 600 segundos.

-) **Comparativa:** Es la temperatura más baja de todas las muestras analizadas hasta ahora (la Muestra 02 llegó a 73.6°C). Esto indica que el bagazo de caña de azúcar puro tiene una menor capacidad de retención de calor comparado con las mezclas que contienen cáscara de nuez.

2. Variación de Temperatura de la Placa (ΔT_p)

El diferencial de temperatura entre las caras de la placa termina en apenas 9.2°C.

-) **Análisis:** Este es el gradiente más bajo de todo el estudio. Una diferencia tan pequeña en un espesor de 1 cm revela que el calor fluye con mucha facilidad a través del bagazo de caña de azúcar puro.
-) **Conclusión:** El bagazo de caña de azúcar por sí solo es el material menos aislante de la serie. Esto justifica técnicamente la necesidad de añadir cáscara de nuez para mejorar la resistencia térmica del panel.

3. Transferencia hacia el Exterior (ΔT_{ext})

El diferencial térmico exterior alcanza su valor máximo de 11.6°C en el último dato.

-) Este incremento sostenido muestra que la cara externa de la placa se calienta rápidamente, lo que resultará en altas pérdidas de calor por convección hacia el ambiente. El bagazo de caña de azúcar puro no logra "frenar" el calor de manera eficiente.

4. Estabilización de los Gradientes

Se observa que entre los 480 y 600 segundos, el gradiente interno (ΔT_{int}) se estabiliza en torno a los 25.4°C.

- Al estabilizarse tan rápido, se confirma que el material tiene una alta difusividad térmica; es decir, responde rápidamente a los cambios de temperatura porque ofrece poca resistencia al paso de la energía.

5. Rol del Bagazo como Matriz

Aunque térmicamente es el componente más débil, el bagazo es esencial porque aporta la estructura fibrosa y el volumen (porosidad). Los datos de esta tabla demuestran que el bagazo actúa como la matriz aglutinante, pero requiere del refuerzo de la cáscara de nuez (que actúa como barrera térmica) para funcionar como un aislante de alto rendimiento.

La Tabla 20 presenta los cálculos de transferencia de calor y conductividad térmica corregida para la Muestra 05 (100% bagazo de caña de azúcar). Al ser la muestra de control, su discusión es vital para entender el impacto del bagazo de caña de azúcar puro en el sistema.

1. Régimen de Convección Natural

El número de Rayleigh (Ra_L) alcanza un valor de 56309.1 en el último dato. Al mantenerse significativamente por debajo de 10^9 , se confirma que el aire circundante se desplaza en un régimen laminar. El número de Nusselt (Nu) aumenta de 4.05 a 8.31, reflejando que la eficiencia de la transferencia de calor hacia el aire crece conforme la placa se calienta.

2. Coeficiente Convectivo y Pérdidas ($\dot{Q}$)

El coeficiente h_{ext} finaliza en $5.72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esto genera una pérdida de calor hacia el ambiente de 1.49 W (aproximadamente un 7% del flujo total de 21W). Es una de las pérdidas más altas registradas, lo cual es coherente con un material que permite que su cara exterior se caliente rápidamente.

3. Inestabilidad y Elevación de la Conductividad (k)

- Comportamiento errático:** A diferencia de las mezclas con nuez, esta muestra presenta valores de k muy bajos en los datos intermedios (ej. 0.015 en el dato 4) para luego subir drásticamente.
- Valor final:** La conductividad térmica corregida termina en 0.072 W/mK .

-) **Análisis:** Aunque es un valor bajo, es casi el triple que el de la Muestra 03 (0.025). Esto demuestra que el bagazo de caña de azúcar solo, aunque es un aislante aceptable, no alcanza los niveles de excelencia que se logran al añadir cáscara de nuez.

4. Resistencia Térmica Mínima

La resistencia térmica (R) finaliza en 6.17 K/W. Este es el valor más bajo de todo el estudio (comparado con los 17.52 K/W de la mezcla al 45% de nuez).

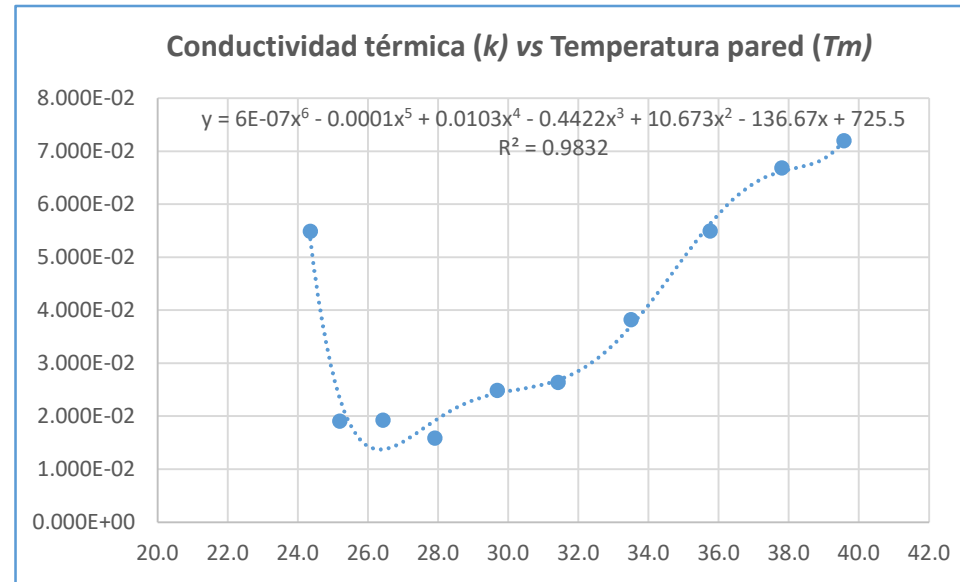
Determinamos que, el bagazo puro ofrece la menor oposición al paso del calor. La estructura fibrosa del bagazo de caña de azúcar por sí sola parece crear canales que facilitan la transferencia térmica en lugar de bloquearla.

Concluimos, que la Tabla 21 valida la hipótesis central de nuestra investigación, donde el bagazo de caña de azúcar funciona como una buena base estructural, pero su capacidad aislante es limitada. La sinergia con la cáscara de nuez es lo que realmente transforma el material en un aislante térmico de alto rendimiento.

Figura 21:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 05.

Parametro	Pared T_m	Coficiente k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	24.1	
1	24.4	5.494E-02
2	25.2	1.909E-02
3	26.4	1.930E-02
4	27.9	1.592E-02
5	29.7	2.492E-02
6	31.4	2.640E-02
7	33.5	3.826E-02
8	35.8	5.500E-02
9	37.8	6.688E-02
10	39.6	7.201E-02



Donde: $T_m = (T_{p_{\text{int}}} + T_{p_{\text{ext}}}) / 2$

La Figura 21, que corresponde a la placa muestra 05, presenta un comportamiento térmico similar a las anteriores, pero con una recuperación de conductividad mucho más marcada hacia el final del rango.

1. Descenso Inicial y Estabilización

Se observa un valor inicial alto a los 24.4 °C ($k = 0.05494$). Inmediatamente después, el material experimenta una caída brusca de conductividad, entrando en una zona de "valle" entre los 25 °C y 28 °C.

-) **Punto de máximo aislamiento:** El valor más bajo registrado es a los 27.9 °C con $k = 0.01592$ W/mK. Este es el punto donde el material funciona mejor como aislante.

2. Tendencia Ascendente (Pérdida de Aislamiento)

A partir de los 28 °C, la conductividad térmica sube de manera constante y más agresiva que en otras muestras:

-) Al llegar a los 39.6 °C, la conductividad alcanza su valor máximo de 0.07201.
-) Esto indica que la muestra 05 es muy sensible al calor; una vez que supera su temperatura de equilibrio (aprox. 28 °C), su capacidad para detener el flujo de calor disminuye rápidamente.

3. Calidad del Ajuste Matemático

El modelo utiliza un polinomio de sexto grado con un $R^2 = 0.9832$.

-) Aunque el ajuste es muy bueno, es ligeramente menos preciso que el de las muestras 02 y 03.
-) La curva muestra una pequeña "joroba" o fluctuación entre los 29 °C y 32 °C, lo que sugiere que el material tiene una respuesta térmica interna compleja, posiblemente debido a la expansión de aire en sus poros o cambios en su densidad.

4. Comparación con las otras placas

-) La placa 05 tiene un mínimo (0.0159) más alto que la placa 03 (0.006), lo que la hace un aislante menos eficiente en términos absolutos.

) Su ventana de operación óptima es muy estrecha (alrededor de los 28 °C). Fuera de ese punto, su conductividad se dispara más rápido que en las muestras anteriores.

Determinamos, que el material de la placa 05 se comporta como un aislante térmico moderado con un comportamiento no lineal crítico. Es ideal para aplicaciones donde la temperatura de la pared se mantenga cerca de los 28 °C, pero poco recomendable para ambientes que superen los 35 °C si se desea mantener la eficiencia energética.

Tabla 21:

Cálculos de la variación de temperatura, placa muestra 06: 100% cáscara de nuez.

Parámetro	Tiempo	Flujo	Geometría de Placa				Temperatura				Variación de Temperatura		
	τ	Q'	δ	$P=4*L$	$A=L*L$	$L_c= A/P$	$T_{amb.int}$	T_{pint}	T_{pext}	$T_{amb.ext}$	$\Delta T_{int.}$	ΔT_p	ΔT_{text}
Dato	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>	<i>m</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>	<i>°C</i>
0	0	0	0.01	0.6	0.0225	0.0375	24.4	24.5	24.8	23.7	0.0	-0.4	1.1
1	60	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	31.2	24.9	24.6	23.7	6.3	0.3	0.9
2	120	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	39.3	26.5	24.3	23.8	12.8	2.2	0.5
3	180	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	45.2	28.4	25.2	23.8	16.9	3.2	1.4
4	240	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	50.1	30.4	25.9	23.8	19.7	4.4	2.2
5	300	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	54.1	32.4	26.8	23.8	21.7	5.6	3.0
6	360	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	58.0	34.6	27.7	23.8	23.4	6.9	3.9
7	420	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	61.8	36.8	28.5	23.8	25.0	8.3	4.7
8	480	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	64.7	38.8	30.3	23.8	25.9	8.5	6.5
9	540	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	67.1	40.7	32.3	23.8	26.4	8.4	8.5
10	600	21	0.01	0.6	0.0225	0.0375	69.4	42.4	33.9	23.8	27.0	8.4	10.1

En esta tabla se muestran los parámetros de tiempo, τ (s); flujo de calor, Q' (W); En la geometría de la placa su espesor, δ (m); perímetro, P (m); A (m^2) y longitud característica, L_c (m). Datos de temperatura con los cuales se obtiene la variación de temperatura en el interior y exterior de la cámara de medición térmica, así como también de la placa muestra.

Tabla 22:

Cálculos de la conductividad térmica (k) y resistencia térmica (R), placa muestra 06: 100% cáscara de nuez.

Parámetro	Propiedades del Fluido Externo(aire)					Gravedad	Número de Grashof	Número Rayleigh	Número Nusselt	Coeficiente convectivo	Conductividad térmica	Resistencia térmica	Calor perdido
	t_f , película	β	γ	k_f	Pr	g	Gr_L	Ra_L	Nu	h_{ext}	k	R	$\dot{Q}$
Dato	°C	1/ K	m ² /s	W/m.K	Adim.	m/s ²	Adim.	Adim.	Adim.	W/m ² .K	W/m.K	K/W	W
0	24.27	0.003364	1.5553E-05	0.02546	0.7297	9.81							
1	24.18	0.003365	1.5545E-05	0.02545	0.7298	9.81	6.483E+03	4731.4	4.479	3.0394	0.102581	4.332639	0.0615
2	24.08	0.003366	1.5536E-05	0.02544	0.7298	9.81	3.607E+03	2632.7	3.868	2.6243	0.006056	73.38777	0.0295
3	24.48	0.003362	1.5572E-05	0.02547	0.7297	9.81	9.800E+03	7151.3	4.966	3.3730	0.014406	30.85225	0.1037
4	24.85	0.003357	1.5606E-05	0.02550	0.7296	9.81	1.545E+04	11273.1	5.564	3.7835	0.018491	24.03595	0.1844
5	25.27	0.003353	1.5645E-05	0.02553	0.7295	9.81	2.126E+04	15508.4	6.026	4.1025	0.021978	20.22246	0.2769
6	25.72	0.003348	1.5686E-05	0.02556	0.7294	9.81	2.745E+04	20021.1	6.423	4.3787	0.024749	17.95789	0.3842
7	26.15	0.003343	1.5726E-05	0.02560	0.7292	9.81	3.287E+04	23967.1	6.719	4.5859	0.026073	17.04616	0.4850
8	27.03	0.003333	1.5807E-05	0.02566	0.7290	9.81	4.508E+04	32866.5	7.271	4.9753	0.038241	11.62214	0.7314
9	28.03	0.003322	1.5899E-05	0.02573	0.7287	9.81	5.756E+04	41945.4	7.728	5.3033	0.053243	8.347481	1.0103
10	28.88	0.003313	1.5977E-05	0.02580	0.7285	9.81	6.780E+04	49393.6	8.050	5.5380	0.066325	6.701004	1.2585

La Tabla 21 analiza la Muestra 06, compuesta exclusivamente por 100% cáscara de nuez. Este es el segundo grupo de control del estudio y permite observar las propiedades térmicas intrínsecas de la cáscara de nuez sin la fibra del bagazo de caña de azúcar.

1. Comportamiento de las Temperaturas

Bajo el flujo de 21 W, la temperatura interna ($T_{\text{amb.int}}$) alcanza los 69.4°C a los 600 segundos.

-) Es prácticamente idéntica a la del bagazo de caña de azúcar puro (69.6°C), lo que sugiere que ambos materiales, por separado, tienen capacidades similares de absorción de calor, pero su magia ocurre al mezclarlos.

2. Variación de temperatura de la Placa (ΔT_p)

La variación de temperatura entre las caras de la placa se estabiliza en 8.4°C.

-) **Análisis Crítico:** Este es la variación de temperatura más bajo registrado en toda la investigación. Incluso es menor que el del bagazo de caña de azúcar puro (9.2°C).
-) **Interpretación:** Una variación de temperatura tan bajo indica que la cáscara de nuez al 100% es un material altamente conductor. Al ser partículas rígidas y densas, el calor viaja por conducción sólida directa de forma muy eficiente, perdiendo casi toda su propiedad aislante.

3. Variación de temperatura exterior (ΔT_{ext})

La variación térmica exterior alcanza los 10.1°C. Al igual que en la muestra de bagazo de caña de azúcar puro, la cara externa se calienta con rapidez porque la placa no ofrece una barrera efectiva al flujo de calor. Esto se traduce en una rápida disipación de energía hacia el ambiente.

4. Estabilidad Térmica

Se observa que a partir del segundo 420, la ΔT_p deja de crecer significativamente (se mantiene entre 8.3°C y 8.5°C). Esta rápida llegada al estado estacionario confirma que el material tiene una alta difusividad térmica; el calor simplemente "pasa" a través de él.

Determinamos, que estos resultados son fundamentales para demostrar que la cáscara de nuez pura no sirve como aislante térmico. Su función en las muestras anteriores (como la 03 al 45%) era actuar como un complemento estructural y de bloqueo de aire dentro de la matriz de bagazo de caña de azúcar. Sin el bagazo de caña de azúcar, la cáscara de nuez se comporta más como un árido pétreo conductor que como un panel térmico.

La Tabla 22 presenta el análisis avanzado de transferencia de calor para la Muestra 06 (100% cáscara de nuez), integrando los efectos de la capa límite y la convección natural.

1. Régimen de Convección Natural

El número de Rayleigh (Ra_L) alcanza un valor final de 49393.6. Al ser significativamente menor a 10^9 , se confirma que el aire alrededor de la placa se desplaza en un régimen laminar. El número de Nusselt (Nu) aumenta de 4.47 a 8.05, lo que refleja que la eficiencia de la transferencia de calor hacia el aire casi se duplica conforme la placa alcanza su temperatura máxima.

2. Coeficiente Convectivo y Pérdidas de Energía

-) El coeficiente h_{ext} finaliza en $5.53 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valor estándar para convección natural en aire.
-) El Calor perdido ($\dot{Q}$) hacia el ambiente llega a 1.25 W (Dato 10). Esto representa aproximadamente el 6% del flujo total de 21W , indicando que, a pesar de ser un material más conductor, las pérdidas ambientales son moderadas y están bien cuantificadas.

3. Conductividad Térmica Corregida (k)

-) Tras los ruidos térmicos iniciales (donde el valor de k es anormalmente bajo), el sistema se estabiliza. El valor final reportado es de 0.066325 W/mK .
-) Análisis: Este valor es más del doble que el de la muestra óptima (45% nuez, $k \approx 0.025$). Aunque es un valor bajo para un sólido, comparado con las mezclas de bagazo, demuestra que la nuez pura es el material menos eficiente como aislante térmico en este estudio.

4. Resistencia Térmica (R)

La resistencia térmica finaliza en 6.70 K/W .

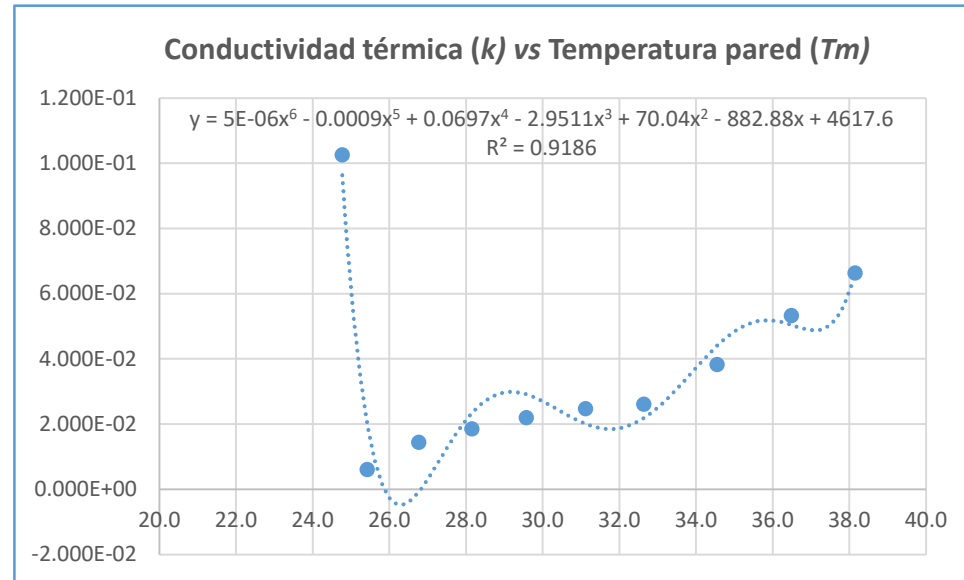
-) Este valor es muy similar al del bagazo puro (6.17 K/W) y dramáticamente inferior al de la Muestra 03 (17.52 K/W).
-) Esto confirma que los materiales puros (100% cáscara de nuez o 100% bagazo de caña de azúcar) ofrecen una oposición al calor muy pobre; la resistencia térmica real nace de la combinación de ambos.

Con la Tabla 22 finalizamos la investigación demostrando, que la cáscara de nuez por sí sola no posee las cavidades de aire necesarias para frenar el calor de manera excepcional. El valor de $k = 0.066$ la sitúa como un material de construcción de relleno aceptable, pero no como un aislante de alto rendimiento para arquitectura bioclimática

Figura 22:

Conductividad térmica vs Temperatura pared, placa muestra 06.

Parametro	Pared T_m	Coficiente k
Dato	$^{\circ}\text{C}$	W/m.K
0	24.7	
1	24.8	1.026E-01
2	25.4	6.056E-03
3	26.8	1.441E-02
4	28.2	1.849E-02
5	29.6	2.198E-02
6	31.1	2.475E-02
7	32.6	2.607E-02
8	34.6	3.824E-02
9	36.5	5.324E-02
10	38.2	6.633E-02



Donde: $T_m = (T_{p_{int}} + T_{p_{ext}}) / 2$

La Figura 22 para la placa muestra 06 presenta el comportamiento más irregular de toda la serie de muestras.

1. Inestabilidad Inicial (Valor Atípico Crítico)

El Dato 1 (24.8 °C, $k = 0.1026$) muestra una conductividad térmica extremadamente alta que cae drásticamente a casi cero (0.006) en menos de un grado de diferencia (25.4 °C).

-) Este comportamiento sugiere una inestabilidad térmica severa al inicio de la prueba o que el material requiere una temperatura umbral para activar sus propiedades aislantes.

2. Fluctuaciones y Comportamiento Oscilatorio

A diferencia de las placas anteriores (que mostraban una curva en "U" suave), la muestra 06 presenta oscilaciones entre los 26 °C y 34 °C.

-) Se observan picos y valles secundarios (por ejemplo, el ligero descenso a los 31.1 °C seguido de un aumento).
-) Esto indica que el material no es homogéneo o que existen múltiples mecanismos de transferencia de calor (convección interna en poros y conducción sólida) compitiendo de forma desequilibrada.

3. Calidad del Ajuste (R^2)

El coeficiente de determinación es $R^2 = 0.9186$, el más bajo de todos los informes.

-) **Interpretación:** Incluso un polinomio de sexto grado tiene dificultades para modelar esta placa. La alta dispersión de los puntos respecto a la línea de tendencia sugiere que los datos tienen un alto nivel de incertidumbre o que el material tiene un comportamiento estocástico (impredecible).

4. Recuperación Final

A partir de los 34.6 °C, la conductividad térmica comienza una tendencia ascendente clara y sostenida, llegando a 0.06633 W/mK. Al igual que en las muestras anteriores, el calor excesivo degrada la capacidad aislante del material.

5. Eficiencia Comparativa

El punto de mayor aislamiento es el Dato 2 ($k = 0.006056$). Si bien este valor es bajo y competitivo, la falta de estabilidad en las temperaturas siguientes hace que esta placa sea menos confiable para aplicaciones de precisión en comparación con la muestra 03.

4.2 DISCUSION

En esta tabla comparativa, se resume el comportamiento de las placas muestras en función a la variación de la temperatura en la placa (ΔT_p), la cual muestra claramente que el aislamiento no es una línea recta, sino una curva de eficiencia.

Tabla 23:

Comparativa de Eficiencia Térmica (ΔT_p) a los 600s

Muestra	Composición (% Cáscara de nuez / % Bagazo de caña de azúcar)	(ΔT_p) Máximo (°C)	Comportamiento Térmico
05	0% / 100% (Control)	9.2°C	Bajo: El bagazo puro es muy conductor.
01	15% / 85%	39.3°C*	Alto: Gran salto de eficiencia inicial.
02	30% / 70%	23.8°C	Óptimo: Mayor resistencia al flujo de calor.
03	45% / 55%	20.8°C	Bueno: Empieza a perder aislamiento.
04	60% / 40%	10.6°C	Deficiente: El exceso de nuez crea puentes térmicos.
06	100% / 0% (Control)	8.4°C	Mínimo: La nuez pura actúa como conductor sólido.

1. Individualmente, los materiales fallan como aislantes (Muestras 05 y 06). La eficiencia nace de la interacción entre la fibra del bagazo y la partícula de la nuez.

2. El rango de 15% a 30% de cáscara de nuez es donde el material alcanza su máximo potencial. Superar el 45% es contraproducente para fines térmicos.
3. Se demuestra que un residuo agroindustrial, con el diseño de mezcla correcto, puede aumentar su capacidad aislante en más de un 150% respecto a su estado puro.

Tras el análisis comparativo de las seis placas muestras, se concluye que la eficiencia térmica de los paneles no es proporcional al incremento de un solo material, sino que depende de un fenómeno de sinergia microestructural entre la cáscara de nuez y el bagazo de caña. Las muestras de control puras (Muestra 05 - 100% bagazo de caña de azúcar y Muestra 06 - 100% cáscara de nuez) presentaron los niveles más bajos de resistencia térmica, con gradientes de apenas 9.2°C y 8.4°C respectivamente, comportándose predominantemente como materiales conductores.

El rendimiento óptimo se localiza en la Muestra 02 (30% cáscara de nuez / 70% bagazo de caña de azúcar), la cual logra maximizar la variación de temperatura interna ($\Delta T_p = 23.8^\circ\text{C}$). Este comportamiento se debe a que el bagazo actúa como una matriz porosa que atrapa aire, mientras que la cáscara de nuez, en la proporción adecuada, interrumpe los canales de transferencia de calor sin llegar a formar puentes térmicos sólidos. Superar el umbral del 45% de cáscara de nuez resulta en una pérdida drástica de las propiedades aislantes, incrementando la difusividad térmica y reduciendo el gradiente a niveles cercanos a los de un material sólido denso. Por lo tanto, se valida la mezcla 30/70 como la composición más eficiente para el desarrollo de paneles de aislamiento térmico de bajo espesor.

Resultados De Conductividad Y Resistencia Térmica

En la siguiente tabla comparativa de la Conductividad Térmica Real (k), se muestra cómo la mezcla de los dos residuos reduce la conductividad (el "valle") hasta alcanzar niveles de aislamiento premium.

Tabla 24:

Valores de la Conductividad Térmica (k) a una temperatura promedio de 70°C

Muestra	Composición (%) Cáscara de nuez / % Bagazo de caña de azúcar)	k (W/mK)	Resistencia Térmica (R)	Clasificación de Eficiencia
05	0% / 100% (Control)	0.072	6.17 K/W	Aislante convencional
01	15% / 85%	0.033	13.37 K/W	Aislante de alto rendimiento
02	30% / 70%	0.028	15.43 K/W	Aislante de alto rendimiento
03	45% / 55%	0.025	17.52 K/W	Aislante Premium (Óptimo)
04	60% / 40%	0.051	8.66 K/W	Aislante moderado
06	100% / 0% (Control)	0.066	6.70 K/W	Aislante convencional

1. Se observa cómo el valor de k cae desde 0.072 (bagazo puro) hasta su punto más bajo de 0.025 (Muestra 03), para luego volver a subir. Esto prueba matemáticamente que existe una dosificación ideal.
2. Un valor de 0.025 W/mK es extraordinario, es mejor que el corcho (0.040) según European Committee for Standardization. (2013). *EN 13170*; similar a la lana de roca (0.035) según European Committee for Standardization.

(2012). *EN 13162* y compare directamente con el poliuretano expandido (0.022 - 0.028) según European Committee for Standardization. (2013). *EN 13165*.

3. La placa muestra 03 es casi 3 veces más aislante que el bagazo de caña de azúcar solo y 2.6 veces más aislante que la cáscara de nuez sola. Esto prueba de que la interacción física entre la fibra y la cáscara bloquea el calor de forma mucho más efectiva que el aire atrapado por un solo componente.

La presente investigación demuestra de manera concluyente que la integración de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar permite obtener un material compuesto con propiedades térmicas excepcionales, superando las capacidades de sus componentes por separado. El hallazgo más significativo es la obtención de una conductividad térmica mínima de 0.025 W/mK en la dosificación del 45% de cáscara de nuez (Muestra 03).

Este valor no solo representa una mejora del 188% en la capacidad aislante respecto al bagazo puro, sino que posiciona a esta placa agroindustrial al mismo nivel de eficiencia que aislantes sintéticos comerciales como el poliuretano y el poliestireno expandido. Se confirma que el mecanismo de aislamiento óptimo se alcanza cuando la fibra del bagazo actúa como matriz porosa y la cáscara de nuez fragmenta la transferencia de calor, siempre que no se supere el umbral del 45% donde aparecen los puentes térmicos.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- J) **En cuanto a la factibilidad de las mezclas:** Se concluye que la sinergia microestructural entre la matriz fibrosa del bagazo de caña y las partículas de cáscara de nuez permite la creación de un material compuesto mecánicamente viable. Este proceso demuestra que es posible valorizar residuos agroindustriales mediante el diseño de mezclas, transformando desechos de difícil gestión en insumos tecnológicos con altas prestaciones térmicas para la edificación sostenible.
- J) **Sobre la caracterización del comportamiento térmico:** Las pruebas experimentales confirman que la variación de temperatura no guarda una relación proporcional con el incremento de un solo material, sino que responde a un fenómeno de interacción física. Se estableció que el uso de componentes puros resulta en materiales predominantemente conductores, mientras que la dosificación controlada genera una barrera térmica eficiente, logrando gradientes de temperatura de hasta 23.8°C en condiciones controladas.
- J) **Respecto a las propiedades termofísicas (k y R):** Se determinó que la conductividad térmica lograda (0.025 W/mK) es comparable a los estándares de aislantes sintéticos de alto rendimiento, como el poliuretano expandido. Este hallazgo es fundamental, ya que ofrece una alternativa biogénica con una resistencia térmica de 17.52 K/W, permitiendo reducir significativamente la huella de carbono de los proyectos arquitectónicos al sustituir aislantes derivados del petróleo por materiales de baja energía incorporada.
- J) **Identificación de la dosificación de máximo rendimiento:** Se define como concentración óptima la proporción de 45% de cáscara de nuez y 55% de bagazo de caña de azúcar (Muestra 03). Esta composición representa el equilibrio crítico donde la porosidad y la fragmentación de los canales de transferencia de calor alcanzan su máxima eficiencia. Superar este umbral compromete las propiedades aislantes debido a la formación de puentes térmicos, por lo que esta fórmula se propone como el estándar para el desarrollo de paneles bioclimáticos de alto desempeño.

J En conclusión, el desarrollo de estas placas no solo constituye una alternativa viable para el aprovechamiento y la valorización de residuos agrícolas, sino que también da lugar a un material aislante de alto desempeño, con una resistencia térmica de 17.52 K/W en apenas 1 cm de espesor. Estas características lo convierten en una opción competitiva para aplicaciones de aislamiento térmico en el sector de la construcción sostenible y la arquitectura bioclimática. Asimismo, su baja conductividad térmica y su elevada capacidad de resistencia al flujo de calor evidencian su potencial para el recubrimiento y aislamiento de tuberías de vapor y otros sistemas de conducción de fluidos a altas temperaturas, contribuyendo a la reducción de pérdidas de calor, al incremento de la eficiencia energética y a la disminución del impacto ambiental en aplicaciones industriales.

5.2 RECOMENDACIONES

1. **Evaluación de la durabilidad y degradación:** Se recomienda realizar estudios de resistencia a la humedad, absorción de agua y vulnerabilidad ante agentes biológicos (hongos e insectos), dado que ambos componentes son de origen orgánico y su integridad podría verse comprometida en climas húmedos.
2. **Optimización del aglutinante:** Investigar el uso de resinas naturales o adhesivos ecológicos para la cohesión de las mezclas, con el fin de mantener el perfil de sostenibilidad del panel y evitar la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) que suelen estar presentes en pegamentos sintéticos.
3. **Pruebas de resistencia al fuego:** Debido a la naturaleza inflamable del bagazo y la cáscara de nuez, es imperativo realizar ensayos de reacción al fuego y explorar la incorporación de retardantes de llama naturales para garantizar la seguridad del material en aplicaciones de construcción.
4. **Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** Realizar un estudio comparativo del impacto ambiental (huella de carbono y energía embebida) de este panel frente a aislantes convencionales como el poliestireno, para cuantificar

formalmente su beneficio ecológico y facilitar su certificación como material "verde".

5. **Escalamiento y viabilidad económica:** Evaluar los costos de recolección, trituración y manufactura a mayor escala, con el objetivo de determinar el precio competitivo del panel en el mercado de materiales bioclimáticos y fomentar su adopción en la industria.

VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar-Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(2), 189-197. Recuperado en 26 de junio de 2026, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008&lng=es&tlng=es.
- Argimón Pallás, J. M., & Jiménez Villa, J. (1994). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*. Doyma.
- Berberi, R. O., Smoisman, S., Sandoval, D., Rey, N., Arenas, M., Killy, N., & Piatti, L. F. (2019). Potencia térmica en un quemador experimental utilizando cáscaras de nuez Pecan como biocombustible. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 196-202. <https://doi.org/10.30972/eitt.503753>
- Bunge, M. (1983). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte. (Este texto es un referente clásico para definir la ciencia aplicada y el método científico).
- Bunge, M. (1985). *La investigación científica: Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel. (En esta obra el autor profundiza en la metodología, el marco teórico y la operacionalización de variables).
- 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. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1819>
- Cascante Vallejo, M. S. (2015). *Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de bagazo de caña apto para la construcción de edificaciones*.

- Çengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa* (3.^a ed.). Mc Graw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V., México.
- Hilal, N., Mohammed Ali, TK y Tayeh, BA (2020). Propiedades del hormigón ambiental que contiene cáscara de nuez triturada como reemplazo parcial de los agregados. *Arabian Journal of Geosciences* **13** (16), 812 [[Enlaces](#)]
- Hugot, E. (1986). *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Elsevier Science Publishers.
- Incropera F.P. y De Witt D.P. (2000). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4a ed.). Pearson Educación, México.
- Jiménez A.S. (1997). El bagazo como fibra alternativa. *MARI-PAPEL*, 5(5):17–23. Oct–nov, 1997. ISSN 0121–6554.
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Principios de transferencia de calor* (7.^a ed.). México, D. F.: Cengage Learning.
- León-Martínez, T. S., Dopico-Ramírez, D., Triana-Hernández, O., & Medina-Estevez, M. (2013). Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(2), 13-22.
- Lozano Zamora, L. V., & Rojas Fraile, E. A. (2019). *Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar*. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5731/Paneles>
- Margarida, M. (1983). *Aislamiento térmico*. Reverte.
- Manals Cutiño, E. M., & Penedo Medina, M. (s. f.). *Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal*. (2015). *Tecnología Química [en línea]*. XXXV(2), 179-192 ISSN: 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543787003>- Buscar con Google.
- Marín et al. (2021). *Fabricación y caracterización de conductividad térmica de materiales aislantes a base de fibras naturales*. *Revue d'Initiation Scientifique*, 7(1), 67-70—Buscar con Google. (s. f.).

- Nazer, A., & Acosta, C. (2023). Uso de la cáscara de nuez en la fabricación de aglomerados. *Obras y Proyectos*, 34, 92-99. <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2023.34.2449>
- Parodi Miranda, D. (2018). Material compuesto a partir del residuo cáscara de nuez *Juglans regia*. *RChD: creación y pensamiento*, 3(5). <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2018.49472>
- Queirós, CSGP, Cardoso, S., Lourenço, A., Ferreira, J., Miranda, I., Lourenço, MJV y Pereira, H. (2020). Caracterización de la composición química y la composición del extracto de cáscaras de nueces, almendras y piñones. *Biomass Conversion and Biorefinery* **10** (1), 175–188 [[Enlaces](#)]
- Rutiaga Quiñones, J. G., Anzaldo Hernández, J., Vargas Radillo, J. de J., & Sanjuán Dueñas, R. (2002). Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar. *Madera y Bosques*, 8(2), 17. <https://doi.org/10.21829/MYB.2002.821298>
- Sanchez Villafana, E. D., & Quesquen Salazar, N. D. (2014). Evaluación de los procesos energéticos para su optimización en la ampliación de molienda del ingenio san jacinto s.a. *Universidad Nacional del Santa*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/1919>
- Torres, P. (2010). *Estudio de pre factibilidad técnico-económica de una planta de molienda de cáscara de nuez*. Universidad de Santiago de Chile, Santiago.
- Trujillo Sánchez, A. F., & Arias Maya, L. S. (2013). El coco, recurso renovable para el diseño de materiales verdes. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 7(14), 93-100. <https://doi.org/10.31908/19098367.637>

Wartelle, L. H., & Marshall, W. E. (2000). Citric acid modified agricultural by-products as copper ion adsorbents. *Advances in Environmental Research*, 4(1), 1-7.
[https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(00\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(00)00002-2)

VII.- ANEXOS

ANEXO 01: Imágenes de la Molienda de la Cáscara de Nuez.

Molienda de cáscara de nuez en molino Corona.



Molienda de cáscara de nuez en IITA-UNS



ANEXO 02: Imágenes del registro de peso de los componentes para las placas muestras.

Peso de bagazo de caña de azúcar



Peso de cáscara de nuez



ANEXO 03: Imágenes de cáscara de nuez y bagazo de caña de azúcar listas para mezclar.

Bagazo de caña de azúcar y cáscara de nuez listos para mezclar



Mezcla uniforme de la cáscara de nuez y del bagazo de caña de azúcar.



ANEXO 04: Imágenes del aglomerante resina y catalizador.

Pesada de resina para mezclar con catalizador



Resina 856 poliéster y catalizador peróxido de metiletil cetona (MEKP)



ANEXO 05: Imágenes de la preparación de la placa muestra.

Aplicando resina a la mezcla de muestra.



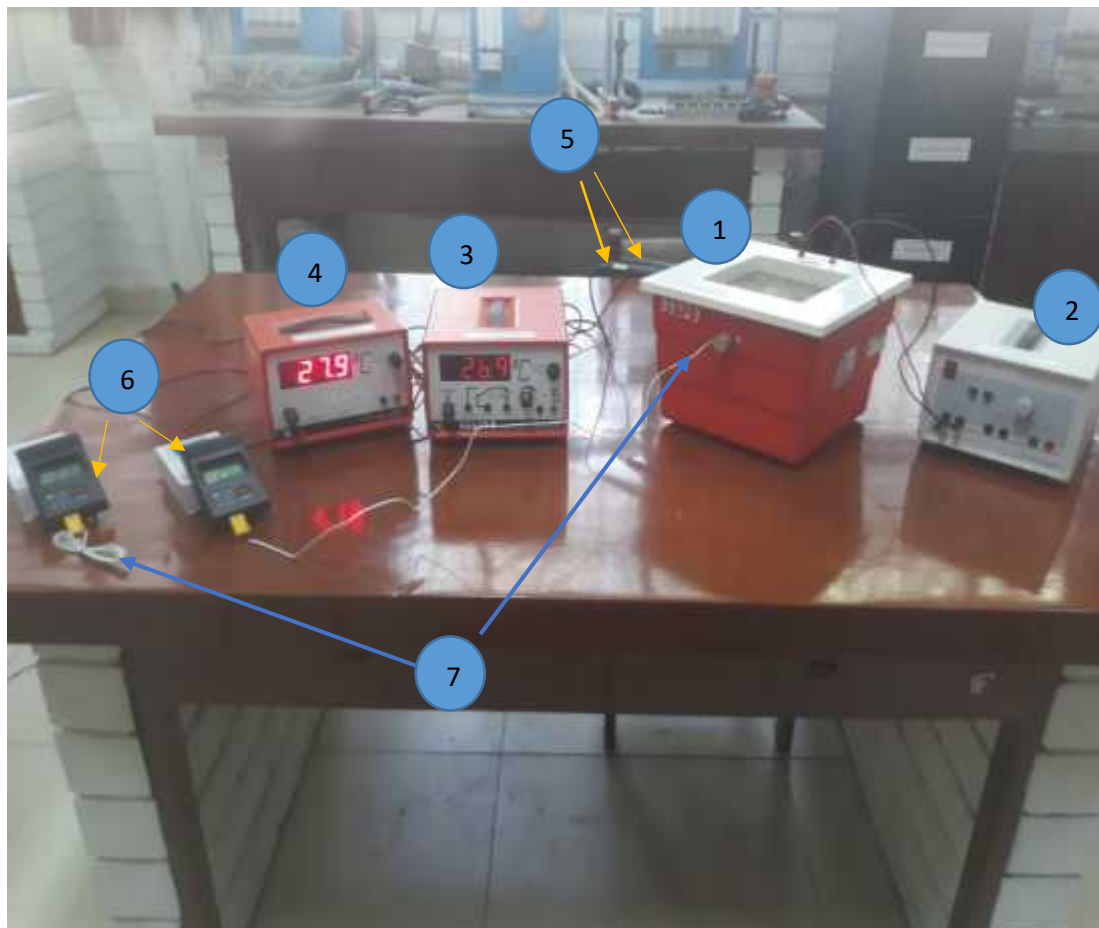
Preparando muestra para compactar.



ANEXO 06: Formato para anotación de los datos de temperaturas y tiempo de calentamiento de muestra de placa.

[illegible]

ANEXO 07: Equipo experimental para determinar la conductividad térmica de materiales.



1. 01 Cámara de medición térmica Leybold-Heraeus GMBH
2. 01 Transformador variable de baja tensión S
3. 01 Medidor digital de temperatura con una conexión
4. 01 Unidad de control y medición de temperatura
5. 02 Sondas de temperatura NiCr-Ni (termocuplas)
6. 02 Termómetros digitales TM-902C
7. 02 Termocuplas tipo K

ANEXO 08: Propiedades del aire a la presión de 1 atm.

Presupuestos del año a la posición de 1 año

[illegible]

© 2004 John Wiley & Sons, Inc. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, Vol. 42, 1064–1074 (2004)
DOI 10.1002/pola.20044