

ELABORACIÓN DE PANELES TERMOAISLANTES PARA CUBIERTA A PARTIR DE
FIBRAS DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

LAURA VANNESA LOZANO ZAMORA

ELKIN ALEJANDRO ROJAS FRAILE



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

BOGOTÁ D.C.

15 DE NOVIEMBRE DEL 2019

**ELABORACIÓN DE PANELES TERMOAISLANTES PARA CUBIERTA A PARTIR
DE FIBRAS DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Laura Vannesa Lozano Zamora

Elkin Alejandro Rojas Fraile

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de tecnólogo en
construcciones arquitectónicas**

Melisa Gálvez Bohórquez

Directora de proyecto



Universidad La Gran Colombia

Facultad arquitectura

Programa de tecnología en construcciones arquitectónicas

Bogotá D.C

Tabla de contenido

RESUMEN	1
Palabras claves	1
ABSTRACT.....	2
Keywords	2
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	5
Pregunta problema.....	7
HIPÓTESIS.....	8
1. OBJETIVOS	9
1.1. Objetivo general	9
1.2. Objetivos Específicos	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Caña de azúcar	10
2.2. Bagazo de la caña de azúcar.....	11
2.2.1. Estructura y composición.....	11
2.2.2. Tratamientos del bagazo	15
2.3. Temperatura y calor	19
2.4. Formas de Transmisión de Calor	20
2.4.1. Conducción	20
2.4.2. Convección	20
2.4.3. Radiación	20
2.5. Radiación Solar.....	21
2.6. Envolverte Térmica.....	22
2.7. Confort Térmico	22

2.8. Transmitancia Térmica	23
3. METODOLOGÍA	25
3.1. Fase práctica: Elaboración de paneles.....	28
3.1.1. Porcentajes (%) de mezcla	28
3.1.2. Materiales que componen los paneles.....	29
3.1.3. Herramientas	30
3.2. Fabricación de los moldes	30
3.3. Elaboración de la mezcla para los paneles y fundición.....	31
3.4. Pruebas de laboratorio	38
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
5. CONCLUSIONES.....	47
6. BIBLIOGRAFIA	49

Lista de figuras

Figura 1. Usos del bagazo de la caña de azúcar.....	3
Figura 2. Promedio anual de la radiación solar (energía)	6
Figura 3. Caña de azúcar.....	10
Figura 4. Bagazo de la caña de azúcar.....	11
Figura 5. Movimiento de partículas a distintas temperaturas	19
Figura 6. Transferencias de calor en una vivienda.	21
Figura 7. Envolvente térmica en una vivienda.....	22
Figura 8. Confort térmico en una vivienda	23
Figura 9. Transmitancia térmica	24
Figura 10. Dimensiones de los paneles.....	28
Figura 11. Partes del molde	31
Figura 12. Elementos de seguridad.....	32
Figura 13. Mezclado del cemento con el agua.....	33
Figura 14. Adición de las fibras de bagazo de caña a la mezcla.....	33
Figura 15. Molde de madera al que se le aplicó aceite quemado	34
Figura 16. Vertido de la mezcla sobre el molde	34
Figura 17. Panel fundido y apisonado.....	35
Figura 18. Desencofrado de paneles	35
Figura 19. Juego de moldes limpio para ser reutilizarse.....	36
Figura 20. Primer juego de paneles.....	36
Figura 21. Deformación del Panel, Pandeo	40
Figura 22. Paneles, bombilla y sonda	40
Figura 23. Termohigrómetros	41
Figura 24. Resistencia térmica superficial de cerramiento	42
Figura 25. Porcentaje de los elementos de la mezcla.....	44
Figura 26. Juego de paneles numero dos	45

Lista de tablas

Tabla 1. Composición morfológica del bagazo	12
Tabla 2. Ficha técnica del bagazo de la caña de azúcar.....	13
Tabla 3. Composición química del bagazo	14
Tabla 4. Variación del valor de la energía con respecto a la humedad en el bagazo.....	18
Tabla 5. Metodología planteada del proyecto.....	25
Tabla 6. Dosificaciones por volumen en mezcla para los paneles.....	27
Tabla 7. Tabla de dimensiones y densidades aparentes.....	37
Tabla 8. Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de transmitancia de calor	43
Tabla 9. Propiedades termoaislantes de materias primas de construcción	45

RESUMEN

Ante la exigencia del mundo contemporáneo de crear nuevos métodos de reciclaje que permitan el empleo de materiales desechados en procesos industriales, ya sean biodegradables o no, se proyecta desarrollar un panel de cubierta termoaislante para zonas calurosas con fibras de bagazo de la caña de azúcar. Estas fibras serán aprovechadas debido a su condición de materia prima natural, aportando así a la disminución del impacto ambiental que se produce por una inadecuada disposición de los desechos (bagazo) de la caña. La oportunidad de reutilizar este producto de fibras vegetales, posibilita la innovación en el área de las materias primas biodegradables, contribuyendo a la sustitución de productos contaminantes y derivados del petróleo. Para ello se ha trabajado en la producción de nueve (9) paneles de 30 X 30 cm, con distintos espesores y dosificaciones donde la materia prima principal han sido las fibras de bagazo de la caña provenientes de Palmira – Valle del Cauca. El aglutinante utilizado para fundir los paneles es cemento Portland tipo I (blanco y gris), y melaza de caña de azúcar. Para darles la forma y las dimensiones adecuadas a los paneles, se usaron formaleas en madera, también de distintos grosores, además de los procesos de fabricación mencionados anteriormente se llevarán a cabo pruebas de transmitancia térmica (u) del panel para saber su comportamiento frente al calor y qué tan idóneos y funcionales pueden llegar a ser estos paneles.

Palabras claves

Cubierta termoaislante, fibras vegetales, transferencia de calor, conductividad térmica, bagazo, caña de azúcar, aislamiento térmico.

ABSTRACT

In view of the contemporary world's demand to create new recycling methods that allow the use of waste materials in industrial processes, whether biodegradable or not, it is planned to develop a thermo-insulating cover panel for hot areas with bagasse fibres from sugar cane. These fibers will be used due to their condition of natural raw material, thus contributing to the reduction of the environmental impact produced by an inadequate disposal of the waste (bagasse) of the cane. The opportunity to reuse this vegetable fiber product enables innovation in the area of biodegradable raw materials, contributing to the substitution of polluting products and petroleum derivatives. To this end, work has been done on the production of nine (9) panels of 30 X 30 cm, with different thicknesses and dosages where the main raw material has been the bagasse fibers of sugarcane from Palmira - Valle del Cauca. The binder used to melt the panels is Portland cement type I (white and grey), and sugar cane molasses. To give the appropriate shape and dimensions to the panels, for-laying slats were used in wood, also of different thicknesses, in addition to the manufacturing processes mentioned above, thermal transmittance tests (u) will be carried out to know their compartment in the face of heat and how suitable and functional these panels can reach.

Keywords

Thermal insulation cover, vegetable fibers, heat transfer, thermal conductivity, bagasse, sugar cane, thermal insulation.

INTRODUCCIÓN

El Valle del Cauca es una de las regiones colombianas privilegiadas para el sector azucarero ya que cuenta con unas muy buenas características geográficas para la siembra, cosecha y producción de caña de azúcar, también posee unas óptimas condiciones climáticas con zonas cálidas que cuentan con una temperatura que superan con creces los 24 °C.

Esta región ha aprovechado las condiciones climáticas para incrementar una de las concentraciones agroindustriales más importantes y significativos del país, según la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia [Asocaña], (2019) se trituran alrededor de 25 millones de toneladas de caña de azúcar anuales. “El residuo más importante derivado del procesamiento de la caña de azúcar es el bagazo que representa el 30% de la caña molida” (Becerra-Quiróz, Buitrago-Coca, Pinto-Baquero 2016, p. 3), del que, para el siguiente año los ingenios del Valle del Cauca generaron 25’036.168 toneladas. Como asegura Asocaña (2019) del total de bagazo producido, una fracción aproximada del 15,9 % (3’980.750,71 toneladas) es llevada a la generación de Bioetanol, el 26.4 % (6’609.548.35 toneladas) a la producción papel y a la cogeneración de energía eléctrica, y se estima que el 57.7 % restante (14’445.868.94 toneladas) se queda en los ingenios para ser utilizados ineficientemente en la quema de calderas.

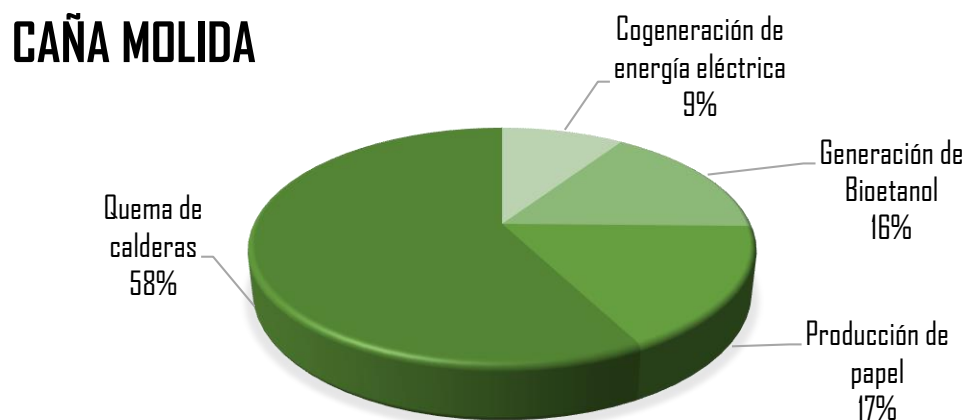


Figura 1. Usos del bagazo de la caña de azúcar en la industria. Adaptado de <https://www.asocana.org/documentos/2352019-D0CA1EED-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>

Teniendo en cuenta las grandes cantidades de bagazo que se desechan anualmente, se busca emplear e implementar dicho residuo, por sus características y propiedades, en la fabricación de paneles de cubiertas termoaislantes para viviendas de uno y dos pisos. Cada panel contará con dosificaciones diferentes de cemento blanco y bagazo, anexado a esto los paneles tendrán espesores distintos; se planea utilizar melaza, como aditamento, para reducir y minimizar la conductividad térmica.

JUSTIFICACIÓN

La envolvente de una vivienda que más radiación solar absorbe es la cubierta, esto debido a que la ubicación y la disposición (plana o inclinada) se encuentra directamente expuesta, recibiendo así toda la radiación solar emitida, por m^2 , que recae en la superficie terrestre (Figura 2). Las elevadas temperaturas y el alto consumo de energía eléctrica son las principales problemáticas de las poblaciones colombianas que se encuentran en regiones cálidas, esto a su vez se ve representado en las obligaciones económicas y altos consumos eléctricos que cada persona tiene que suplir (1.159 kW por año). Este aumento constante de temperatura (isla de calor) se ve reflejado mayormente en las viviendas de los consumidores.

El calor extremo que enfrentan la mayoría de poblaciones colombianas, debido al cambio climático, afectan seriamente la productividad, la salud y la calidad de vida de las personas. La Organización Mundial de la Salud [OMS] afirma que la temperatura ambiente óptima para el organismo humano está en un intervalo de 18 a 24 °C citado por la British Broadcasting Corporation [BBC] (2013, párr. 10), el centro médico de la Universidad de Chicago (2019) también asegura que cuando el cuerpo se mantiene en reposo su temperatura normal es de 36.5 o 37.2 °C, siendo esta la temperatura ideal corpórea.

Los aparatos eléctricos son otro punto de riesgo y consumo, esto debido a que los electrodomésticos (ventiladores y aires acondicionados) suelen trabajar a su máxima capacidad por las elevadas temperaturas, generando un alto consumo energético que se ve reflejado en sobre costos para los consumidores, sobrepasando el presupuesto real estimado en una vivienda. Es por eso que se busca generar una alternativa al uso de electrodomésticos, para brindar confort en las viviendas, por medio de un producto aplicable al interior de las cubiertas que ayude a mejorar la resistencia térmica de los materiales que conforman las viviendas y el calor que estos transmiten.

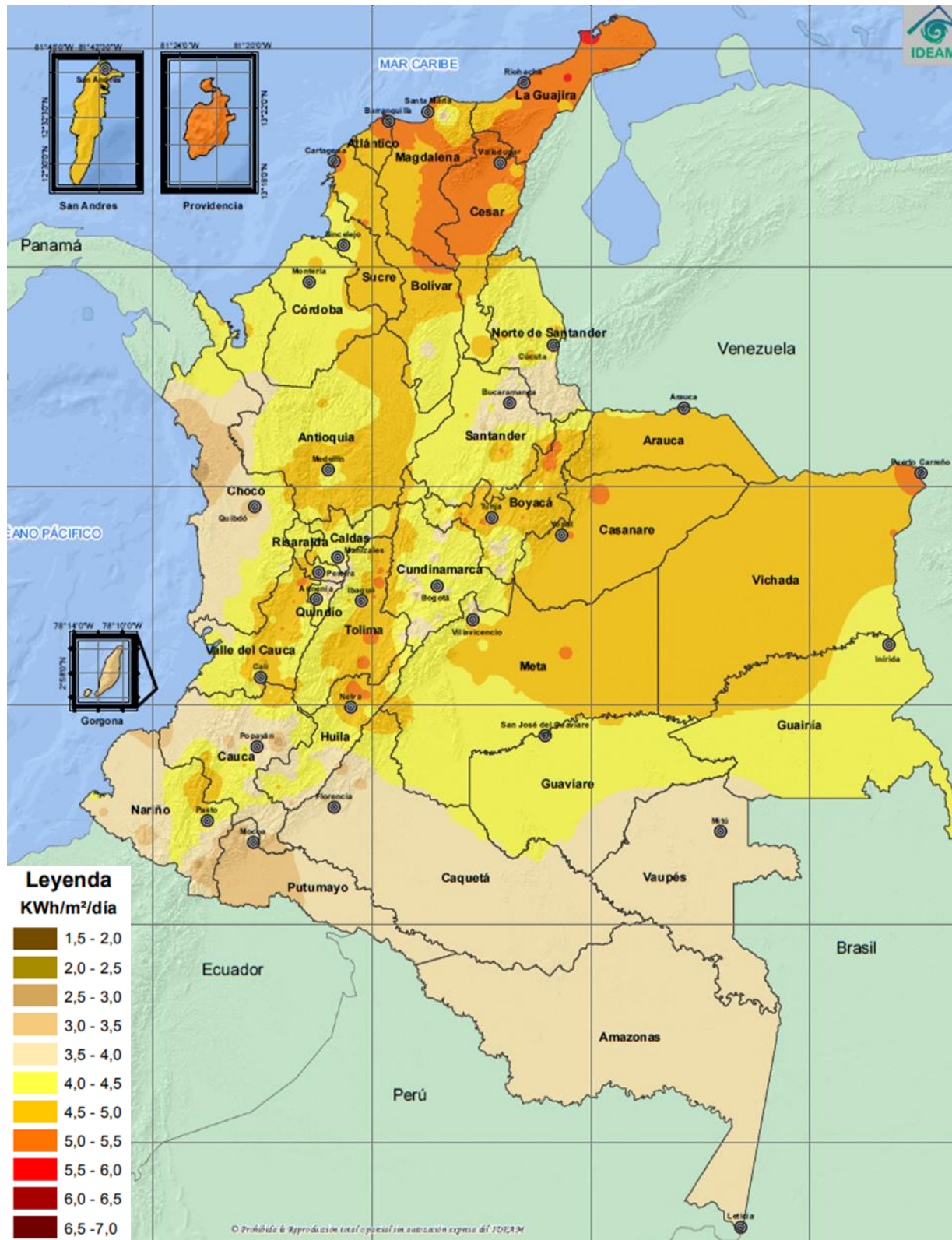


Figura 2. Promedio anual diario de la cantidad de energía de la radiación solar que incide por metro cuadrado de superficie horizontal sobre el territorio colombiano. Adaptado de:

<file:///C:/Users/ComputoC103/AppData/Roaming/Microsoft/Windows/Network%20Shortcuts/RadiacionSolar13.pdf>

Parte de la producción de energía eléctrica está asociada a la quema de combustibles fósiles y sus derivados que están fuertemente ligados con los gases de efecto invernadero (gei):

El uso de combustibles fósiles y la producción de cemento son en el mundo, de lejos, la más importante fuente de gei, con un aporte cercano al 68 %. Entre 1750 y 2011, estas dos actividades han liberado 368 Gg CO₂e/año (1 Gg = 10⁹ g) por ventas de combustibles fósiles equivalente a 718 kg CO₂e/persona/año (Arteaga, Segura y Andrade, 2017, párr. 1)

Los paneles representarán, entonces, un aporte como elemento propiamente constructivo y no como un elemento externo (como sí lo son, por ejemplo, aires acondicionados y ventiladores) aplicable a cubiertas tradicionales, tejas de barro, zinc, fibrocemento e incluso cubiertas planas de concreto, y desde el cual se pueden empezar a desarrollar otros elementos e ideas alternas para el confort térmico ideal al interior de las edificaciones.

Así mismo, el producto de la investigación (paneles), podrá ser aprovechado no solo por personas con cierta estabilidad económica que busquen una alternativa a los dispositivos eléctricos, sino que también por personas de escasos recursos que carecen de la capacidad adquisitiva para aclimatar sus viviendas con electrodomésticos y que tienen que vivir en las condiciones que ofrece su ubicación geográfica, pues por los materiales utilizados y su método de fabricación, los paneles serán de bajo costo. Dicha alternativa ofrecerá, además, cualidades amigables con el medio ambiente ya que su principal componente es de origen natural y no requiere de un proceso que genere desechos adicionales.

Pregunta problema

¿Cómo mitigar la transmitancia térmica en viviendas ubicadas en zonas cálidas a través de cubiertas termoaislantes producidas con fibras de bagazo de la caña de azúcar?

HIPÓTESIS

Empleando los paneles termoaislantes de bagazo de caña de azúcar se mejorará la calidad y el confort térmico dentro de las viviendas que se vean afectadas por las altas temperaturas y las olas de calor producidas por el cambio climático, del mismo modo se disminuirá la emisión de CO₂ producida por el consumo de energía eléctrica.

Aislar térmicamente una vivienda reduce de manera considerable las problemáticas mencionadas anteriormente; esto a su vez elevará la resistencia al calor, ahorrando y reduciendo el consumo de energía y aumentando el confort térmico dentro de las viviendas. Utilizar materiales biodegradables reducirá, en un alto porcentaje, los costos de fabricación de las materias primas necesarias para los paneles ya que se obtienen de manera natural y sin ningún proceso industrial que lo modifiquen de forma negativa, por lo tanto, no contendrá productos químicos, tóxicos o altamente perjudiciales para el ser humano.

1. OBJETIVOS

1.1.Objetivo general

Elaborar un prototipo de panel termoaislante fundible para cubierta, a partir de fibras de bagazo de caña de azúcar, comprobando su funcionalidad y el aporte de aislamiento térmico que brinda.

1.2.Objetivos Específicos

- Establecer los materiales complementarios a las fibras de bagazo de caña de azúcar y las adecuadas dosificaciones para la correcta fraguación de los paneles, a través de la fundición de varios prototipos experimentales.
- Comprobar la eficiencia térmica del material fundido a partir de pruebas de laboratorio que determinen su resistencia y transmitancia térmica.
- Determinar que mezcla brinda el menor índice de transmitancia térmica, según su dosificación, por medio de la comparativa entre los resultados de los prototipos puestos a prueba.

2. MARCO TEÓRICO

Para poder comprender los conceptos aquí expuestos es necesario definir y estudiar algunos términos y su significado tales como, caña de azúcar, bagazo, propiedades termoaislantes, pérdidas y ganancias de calor, envolventes de una edificación, aislamientos y la teoría preliminar necesaria que nos permita desarrollar y aclarar la investigación.

2.1. Caña de azúcar

Conocida científicamente como *saccharum officinarum*, es una planta que pertenece a la familia de las poáceas o gramíneas, las plantas pertenecientes a esta familia se caracterizan por tener el tallo cilíndrico, raramente leñoso y comúnmente hueco que cuenta con unas divisiones en su interior llamadas nudos, las hojas nacen y crecen en los nudos y sus flores vienen dispuestas en espigas o granos secos. La caña de azúcar se caracteriza particularmente por poseer un tallo macizo y esponjoso que suele medir de 2 a 6 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro, tiene hojas largas y flores de color púrpura, cuenta con numerosos entrenudos a lo largo de su tallo, dicho tallo contiene en su interior un extracto dulce y rico en azúcares llamado sacarosa.



Figura 3. Caña de azúcar. Adaptado de: https://www.smart-fertilizer.com/Cms_Data/Contents/smart-eng/Media/Crops/sugarcane.jpg

2.2. Bagazo de la caña de azúcar

Son los restos vegetales y fibrosos que queda del proceso agroindustrial del triturado de la caña de azúcar, representa el 30% del peso de la fibra vegetal. Esta materia prima se obtiene de la molienda y extracción de los jugos azucarados de la caña en el proceso de elaboración de panela, azúcar, melaza y otros subproductos.



Figura 4. Bagazo de la caña de azúcar.

Adaptado de: <https://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/>

2.2.1. Estructura y composición

- Composición física y morfológica

El bagazo está físicamente constituido por cuatro partes. La primera parte es la fibra, esta fibra es conocida también en la agroindustria azucarera como bagazo y constituye aproximadamente el 45 % del tallo; la segunda y tercera parte están conformadas por los sólidos solubles y los sólidos no solubles, estas dos partes se encuentran en un porcentaje aproximado del 2 y 3 % para ambos casos, el agua es la cuarta parte que constituye al bagazo y se encuentra en proporción entre el 51 y 49%.

La parte a la que se le denomina como fibra comprende originalmente toda el área sólida orgánica e insoluble, se caracteriza principalmente por ser de fibras heterogénea desde el punto de vista morfológico según Almazán, et al. (2016) éstas fibra están constituida por las fracciones del meollo.

Tabla 1.

Composición morfológica del bagazo

COMPONENTES	PROPORCIÓN %
Fibras	50
Parénquima	30
Vasos	15
Epidermis	5

Nota: Constitución física de los componentes y las proporciones del bagazo de la caña de azúcar. Tomado de revista anales de la academia de Ciencias de Cuba Vol. 7 No. 1 Patrimonio del nuevo científico ICIDCA. Parte V El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial.

La parte de los sólidos insolubles está conformada por elementos orgánicos e inorgánicos tales como tierra, arena, piedra, insectos, etc., este fenómeno se presenta debido a los procesamiento agrícolas (corte y recolección) por los que debe pasar la caña, por otro lado los sólidos solubles comprende la parte que se disuelve en agua, dicha parte está compuesta mayormente por sacarosa y en una menor proporción por ceras. A través del mecanismo de capilaridad y absorción el bagazo retiene grandes cantidades de agua dándole así el carácter poroso al tallo, la humedad y la densidad se encuentran íntimamente vinculadas y son dos propiedades fundamentales para el bagazo.

Según la revista anales de la academia de Ciencias de Cuba Vol. 7 No. 1 Parte V el bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial (2017):

La abundancia de grandes células parenquimatosas y segmentos de vasos presentes en el bagazo de la caña de azúcar, constituyen su rasgo más característico. Las células parenquimatosas son de paredes finas y muy porosas, los segmentos de vasos se distinguen por su gran longitud y las células epidérmicas se caracterizan por presentar bordes irregulares. (Almazán, et al. 2017, párr. 25)

Tabla 2.

Ficha técnica del bagazo de la caña de azúcar

1	Origen	El bagazo es el residuo que se obtiene después del proceso por el que se le extrae el jugo azucarado a la caña (<i>Saccharum officinarum</i>).	
2	Peso	Aprox. El 28% del peso de la caña procesada.	
3	Humedad	50% sin secado.	
4	Contenido residual	4% de su peso en sacarosa.	
5	Composición química del bagazo	Celulosa	41 - 44%
		Hemicelulosa	25 - 27%
		Lignina	20 - 22%
		Otros componentes	8 - 10%
6	Propiedades biométricas (Promedios)	Longitud (mm):	1,5
		Diámetro (µm):	20
		Diámetro Lunem (µm):	12
		Ancho de pared (µm):	4
7	Descripción del bagazo	Son fibras heterogéneas que presentan un alto contenido de humedad y baja densidad.	
8	Usos del bagazo	Fabricación de tableros aglomerados, papel, cartón, mueblería, combustible y aislante de sonido.	

Nota: Descripción técnica de las propiedades y componentes principales de las fibras del bagazo de la caña de azúcar. Elaboración propia. Información obtenida de revista anales de la academia de Ciencias de Cuba Vol. 7 No. 1 Patrimonio del nuevo científico ICIDCA.

- Composición química

Químicamente hablando las fibras de bagazo “están compuestos, aproximadamente de 41 - 44% de celulosa, 25 - 27% de hemicelulosas, 20 - 22% de lignina y 8 - 10% de otros componentes” (Almazán, et al. 2017, párr. 29).

La celulosa es un elemento homopolímero de glucosa, este componente es fundamental para las paredes celulares de la caña y de todas las plantas en general, su dilución en agua (fría o caliente), en solventes y soluciones alcalinas y su resistencia a comburentes, distingue a esta sustancia de los otros componentes químicos. El peso molecular de la celulosa del bagazo oscilan entre 150.000 y 300.000 u.

Tabla 3.

Composición química del bagazo

I	Integral %	Fracción fibra %	Médula %
Celulosa	46,6	47,0	41,2
Pentosanas	25,2	25,1	26,0
α celulosa	38,3	40,4	-
Lignina	20,7	19,5	21,7
Extractivos A/B	2,7	2,3	2,9
Solubilidad en agua caliente	4,1	3,4	4,2
Solubilidad en agua fría	2,2	2,1	4,0
Solubilidad en sosa al 1 %	34,9	32,0	36,1
Cenizas %	2,6	1,4	5,4

Nota: Porcentajes de la composición química de las fibras del bagazo de la caña de azúcar. Tomado de revista anales de la academia de Ciencias de Cuba Vol. 7 No. 1 Patrimonio del nuevo científico ICIDCA. Parte V El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial.

La hemicelulosa es otro compuesto polímero del bagazo, este polímero se encuentra en segundo lugar a nivel de importancia esto debido a su relativa abundancia en las fibras, su peso molecular esta en un promedio de 10.000 a 20.000 u y sus cadenas poliméricas son cortas. En tercer lugar se encuentra la lignina, este compuesto se caracteriza por estar conformado de polímeros reticulados, que no poseen forma. Dichos polímeros poseen un gran peso molecular, que como sugieren Fernández, Bambanaste, Sabatier y Triana (1991) en su libro *Bagasse: Morphology, Chemistry and Pulping* la naturaleza polímera es prominentemente fenólica y su unidad estructural puede ser un fenil propano. Los demás componentes del bagazo como lo son los compuestos solubles en solventes orgánicos (1 a 3%) y las ceniza (2 a 3%) se encuentran en un porcentaje menor al 10%.

2.2.2. Tratamientos del bagazo

- Desmedulado

Es un procediendo agroindustrial que se le realiza al bagazo para mejorarlo morfológicamente, como su nombre lo indica consiste en extraer el meollo o medula del bagazo. Dada sus características la medula se considerar indeseable para la producción de otras materias primas tales como la de pulpa con la que se produce papel.

En la agroindustria del procesamiento de caña de azúcar se han desarrollado diferentes métodos o equipos, según corresponda, para llevar a cabo este procedimiento dependiendo del contenido de humedad que tenga el gabazo. Así mismo, se debe remarca un método de dos pasos que se utiliza en la industria papelera para extraer la medula del bagazo, consiste en primera instancia en desmeollar las fibras húmedas, esto generará un bagazo libre de meollo, en segunda instancia la fibra que ya fue procesada y desmeollada deberá pasar por el molino de pulpa (consistencia porcentual de la fibras entre 10 – 12 %) produciendo así una fibra bien desmeollada y limpia lista para ser utilizada en la generación de papel.

- Molinada

Es necesario moler el bagazo en algunos procesos industriales donde la materia prima principal son virutas. Este proceso se lleva a cabo ya que la mayoría de veces las dimensiones del bagazo no suelen ser las apropiada para elaborar productos de buena calidad, así que es fundamental disminuir su tamaño para alcanzar las dimensiones optimas.

Los molinos de martillo suelen ser los equipos ideales para llevar a cabo el proceso de triturado de la materia prima ya que brindan unos muy buenos resultados. A la hora de realizar el proceso de molienda del bagazo se debe tener en cuenta el contenido de humedad; cuando se tiene una humedad superior al 50% se pueden generar algunas limitaciones en el rendimiento de los molinos así como atascamiento de los mismos, además, esto puede generar un incremento en el consumo de energía eléctrica durante el procedimiento de triturado. Si la humedad del bagazo es muy baja, menos de un 15%, no se produce una fibra optima y se generan, en la mayoría de los casos, polvo, por ese motivo es recomendable utilizar bagazo que cuente con una humedad entre el 20 y el 40%. No se recomienda utilizar equipamientos como molinos de cuchilla, molinos de contra cuchilla o molinos de disco ya que estos generan perdida de material, grandes cantidades de polvo y baja calidad en las fibras debido a sus reducidas dimensiones.

- Fraccionamiento y clasificación

Según Carvajal, Costales, Almazán y Casanova (2017) la separación de las partículas consiste en fraccionar el material por tamaños, esto de acuerdo a la manufacturación solicitada por la producción; por otra parte al realizar la clasificación del material se puede separar el bagazo no apto para producción, lo cual es de gran relevancia debido a que de esta selección depende, en gran parte, las propiedades finales del artículo.

Como aseguran Almazán, et al. (2017) Las maquinarias de clasificación del material pueden catalogarse en mecánicas o neumáticas. La maquinaria de tipo mecánica es la de mayor uso por las industrias azucareras, esta maquina clasifica la materia después de haberla pasado por un proceso de tamizaje (tamices planos y tamices de tambor) en utilidad de las partículas apropiadas, dichos tamices suelen ser los comunes pero los más empelados ya que generan movimientos oscilatorios (vibraciones y zarandeadas) y rotatorios. Los agujeros de los tamices varían de diámetro dependiendo de las características del material a tamizar y de sus requerimientos técnico, estos tamices se sitúan en los maquinarias (herméticas) para prevenir complicaciones producidas por el polvo.

Por otro lado las maquinarias de tipo neumática se producen en facultad de disminuir la esparsión de partículas de polvo que se generan por el fraccionamiento del material. A la hora de separar el bagazo molido en estas maquinarias, las diminutas partículas del bagazo descienden al interior del mecanismo debido a las corrientes de aire que fluyen en el interior de la maquina (circuito cerrado de circulación de aire), de modo que las partículas más ligeras se aíslan en una batería de ciclones y las partículas menos livianas son introducidas al interior de la maquinaria por un sistema mecánico.

- Secado

Después de la extracción de los jugos azucarados, este remanente de los tallos sale con una humedad que varia entre el 40 y 50 % y con un volumen de sacarosa de aproximadamente del 4%, es por ello que el secado del bagazo tiene una gran importancia en el campo de la industria azucarera. Tradicionalmente se ha utilizado Calderas para quemar bagazo, pero debido a la inestabilidad del misma, por el alto contenido de humedad del bagazo, estas calderas se han ido sustituyendo por otros hornos.

Tabla 4.

Variación del valor de la energía con respecto a la humedad en el bagazo

Humedad del bagazo, %	Valor calórico bajo, kcal/kg	Factor de reducción de masa, kg	Energía total, kcal
50	1825,0	1,000	1825,0
45	2067,5	0,909	1879,5
40	2310,0	0,833	1925,0
35	2552,5	0,769	1963,5
30	2795,0	0,714	1996,4
25	3037,5	0,667	2025,0
20	3280,0	0,625	2050,0
15	3522,5	0,588	2072,0
10	3765,0	0,556	2091,7
5	4007,5	0,526	2109,2
0	4250,0	0,500	2125,0

Nota: Porcentajes de humedad interna del bagazo con respecto a la energía total producida. Tomado de revista anales de la academia de Ciencias de Cuba Vol. 7 No. 1 Patrimonio del nuevo científico ICIDCA. Parte V El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial.

El secado del bagazo de forma natural por medio del calor que emite el sol, es uno de los principales procedimientos que se llevan acabo en la agroindustria de los ingenios azucareros para secar las fibras. Esta técnica es una de las más antiguas y más sencillas utilizadas para llevar a cabo dicha labor, sin embargo, al secar el bagazo con este método se corre el riesgo de retrasar el proceso de secado ya que se depende única y exclusivamente de la temperatura del sol, otro riesgo que se pueden presentar es el aumento del presupuesto que se tiene premeditado para esta labor ya que es necesario contratar mano de obra extra, además de esto el espacio es otra limitante porque son

necesarias grandes superficies para almacenar las fibras; los insectos, la carencia en el control del secado y las largas jornadas del secado del bagazo son otro obstáculo presente en este método.

Como sugiere De Guzmán y Meythaler (2007)

El método tradicional de secado al sol consiste en distribuir el producto en una capa fina sobre una superficie uniforme. El producto se remueve y voltea periódicamente durante el secado. La temperatura del producto durante el secado al sol oscila entre 5 y 15°C por encima de la temperatura ambiente y el tiempo de secado puede alcanzar 3-4 semanas (p.50).

2.3.Temperatura y calor

La temperatura se refiere a la energía cinética que poseen las partículas que conforman los cuerpos. Dicho en otras palabras, es el movimiento que tienen los átomos o moléculas, (ya sea de translación, vibración o rotación) al interior de las estructuras que conforman. El calor es la forma como se define una mayor concentración de movimiento de partículas o energía cinética al interior de los cuerpos, es decir que, a mayor temperatura, un cuerpo se encuentra más caliente.

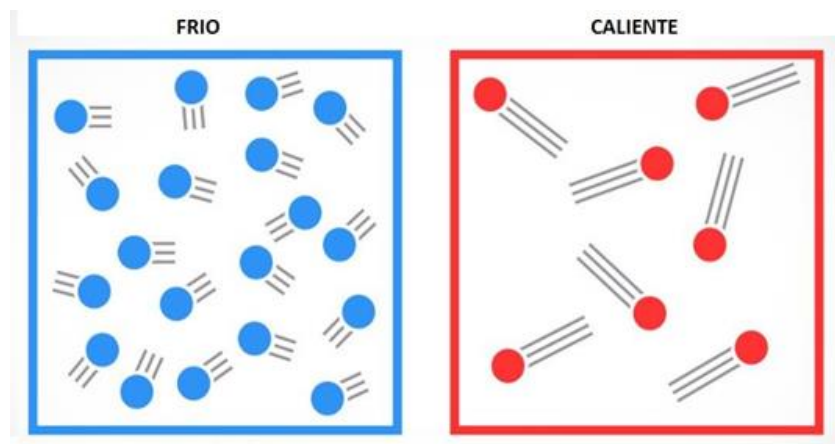


Figura 5. Calor. Se observa como a mayor movimiento de partículas, el objeto se encuentra más caliente. Adaptado de: <https://www.areaciencias.com/fisica/imagenes/que-es-la-energia-termica.jpg>

2.4. Formas de Transmisión de Calor

García-Huidobro (2016) define la transferencia de Calor como la forma en la que dos objetos que tienen temperaturas distintas, tienden a alcanzar un equilibrio, transmitiéndose energía, entendida como el movimiento de las partículas (calor), entre ellos.

2.4.1. Conducción

Es la transferencia de calor que se produce de un sólido a otro, esto ocurre debido a la diferencia de temperatura (movimientos moleculares) que existe entre ambos objetos. Estas circulaciones moleculares son más potentes y susceptibles a las altas temperaturas, por lo cual el calor conducirá desde el lugar con la temperatura más elevada (alta) hacia los sectores con menor temperatura buscando encontrar un equilibrio térmico.

2.4.2. Convección

La convección hace referencia a la transferencia de calor de un fluido, esta es producida por el movimiento continuo del mismo, es decir, la transferencia de calor sucede por la circulación continua de fluidos a diferentes temperaturas. Esta puede ser llevada a cabo de manera artificial, por medio de ventiladores o bombas que circulen los fluidos de zonas calientes hacia zonas más frías, también se pueden presentar de forma natural donde los propios fluidos extraen el calor de las áreas calientes transformando la densidad y haciendo que se dirija a las áreas más frías.

2.4.3. Radiación

La transferencia de calor que se efectúa por radiación no requiere de un contacto directo con la fuente de calor. Su emisión se genera gracias a la energía que se trasmite en forma de ondas electromagnéticas generadas por cualquier cuerpo al estar a determinada temperatura. En comparación con la conducción y convección, la radiación no requiere de materia para calentarse.

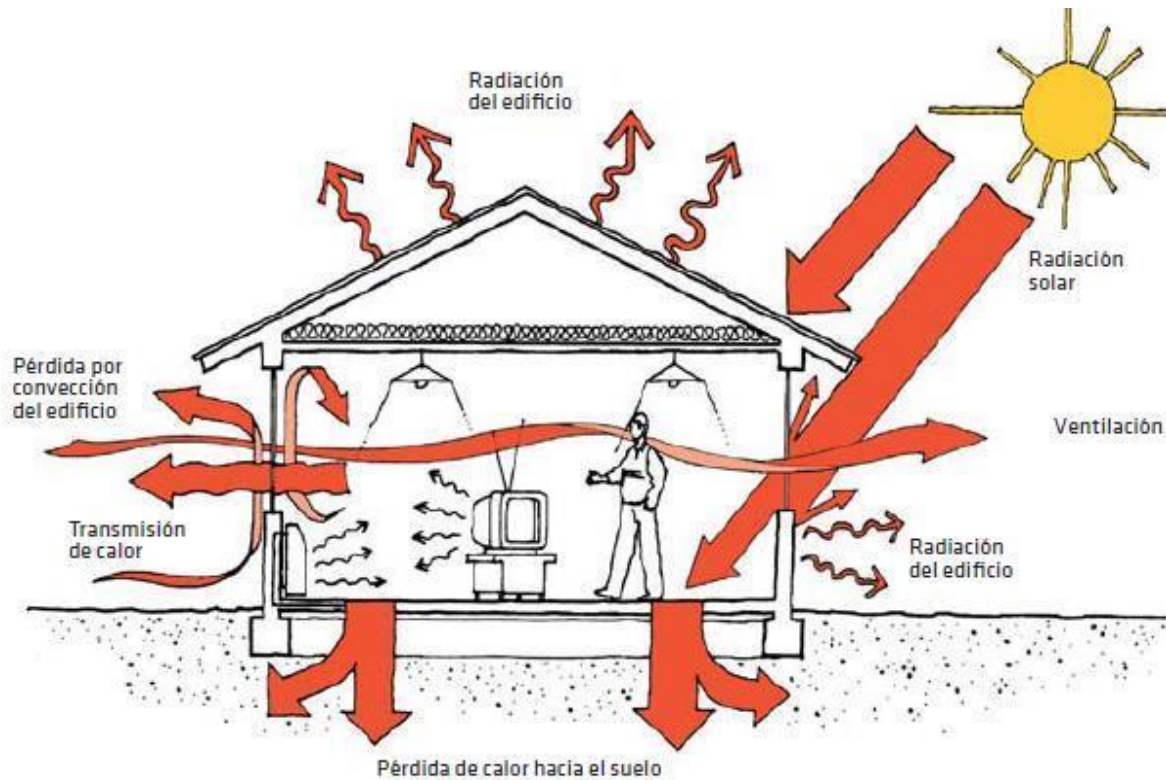


Figura 6. Transferencias de calor en una vivienda.
Adaptado de: <https://docplayer.es/docs-images/68/58216884/images/17-2.jpg>

2.5. Radiación Solar

Es la energía electromagnética producida por el sol, esta energía se obtiene de la fusión nuclear (reacciones termonucleares) que se origina al interior del núcleo solar generando así radiación que se propaga por medio de ondas electromagnéticas que varían la longitud, la frecuencia y la velocidad con la que viajan. Al diseñar una vivienda se debe tener en cuenta la influencia e incidencia que tiene el sol sobre el lugar, es por ello que al diseñar, al emplazar y la orientar la vivienda es primordial observar los efectos que puede tener la radiación solar sobre ella, ya que puede tener afectaciones de tipo lumínica de pérdida o ganancia de calor entre otras.

2.6. Envoltente Térmica

La envoltente térmica de una vivienda es el conglomerado de elementos y cerramiento constructivos (Muros, ventanas, cubiertas, suelos, etc.) que dividen las zonas habitables interiores, en las que hay flujo de calor, con las zonas habitables del exterior, por medio de elementos que generan tanto ganancia como pérdida de calor, dependiendo de las diferencias de temperatura que existan entre el ambiente interior con el exterior, piel del edificio.

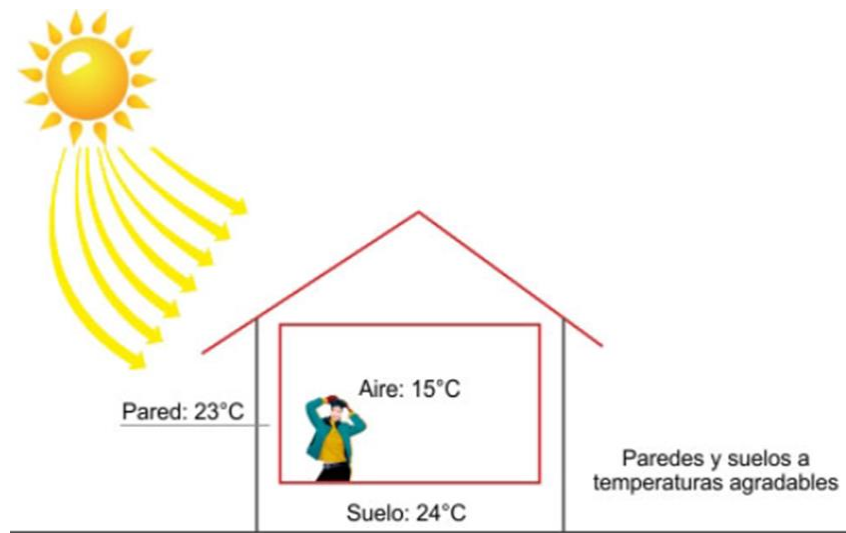


Figura 7. Envoltente térmica en una vivienda. La cubierta, los muros, los pisos y las aberturas (ventanas) conforman el esquema básico de envoltente. Adaptado de: <http://www.casasrestauradas.com/wp-content/uploads/2013/04/clima.jpg>

2.7. Confort Térmico

Es la capacidad térmica que tiene un espacio (vivienda) para ofrecer a los residentes confort y comodidad dentro de la recinto con respecto al exterior. La humedad relativa, la temperatura exterior y la velocidad del aire son algunos de los factores fundamentales que más incidencia tienen sobre las personas.

La temperatura de confort térmico al interior de una vivienda tiene una oscilación promedio de 18 a 24 °C de temperatura, esto garantiza el equilibrio que debe existir entre las zonas exteriores (ambiente) y el cuerpo humano.

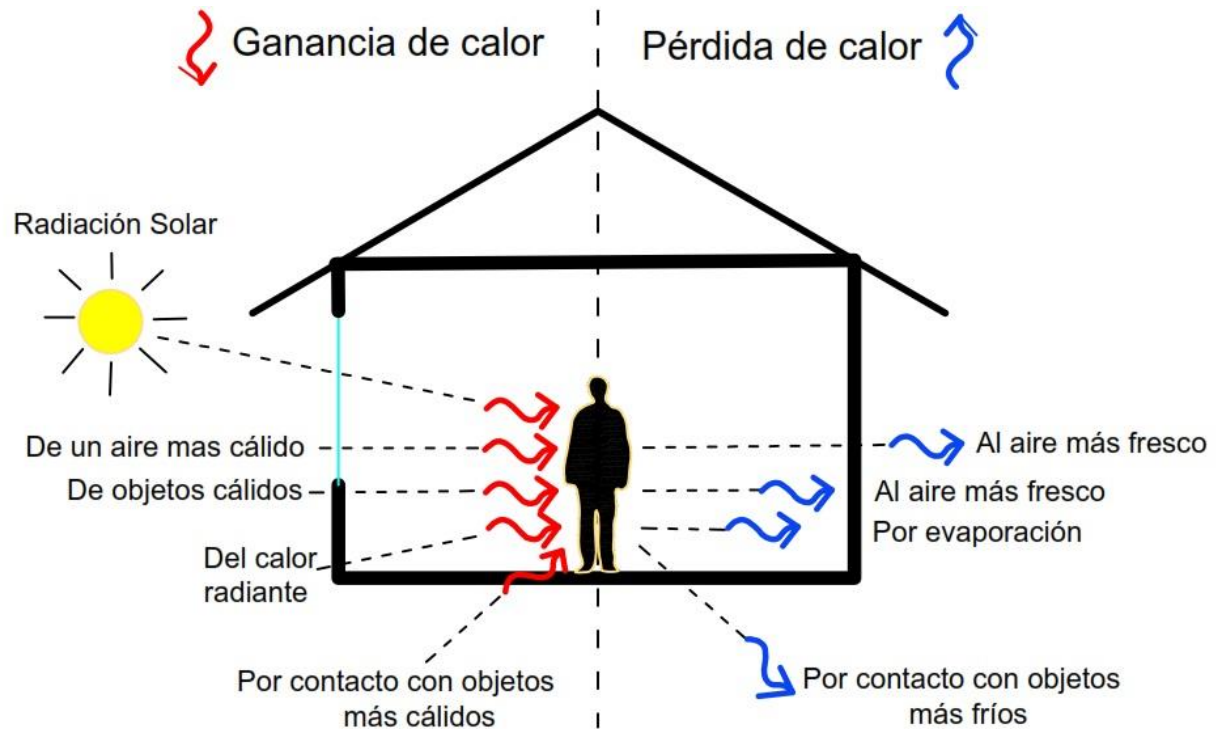


Figura 8. Confort térmico en una vivienda. Los factores que determinan el confort al interior de una vivienda, dependen de las diferencias de temperatura con el ambiente, los materiales de la envolvente y el diseño de la edificación. Adaptado de:

[https://3.bp.blogspot.com/-](https://3.bp.blogspot.com/-29PLje_uYxk/WGaOghmbzII/AAAAAAAAACAM/E7nHa1XHe0EaKay7YyUuK030sgMpe7wTwCEw/s1600/confort.jpg)

[29PLje_uYxk/WGaOghmbzII/AAAAAAAAACAM/E7nHa1XHe0EaKay7YyUuK030sgMpe7wTwCEw/s1600/confort.jpg](https://3.bp.blogspot.com/-29PLje_uYxk/WGaOghmbzII/AAAAAAAAACAM/E7nHa1XHe0EaKay7YyUuK030sgMpe7wTwCEw/s1600/confort.jpg)

2.8. Transmitancia Térmica

Se denomina transmitancia térmica (U) a la medida de tiempo y flujo de calor que circula a través de la superficie de un material pudiendo tener este material una o más capas constructivas que ayuden a mitigar la temperatura al interior de los ambientes. Según el sistema internacional de medidas (SI) la transmitancia se expresa en W/m^2K ó en $W/m^2°C$ (W = Watts, m^2 = Metro cuadrado, K = Grados Kelvin o $°C$ = Grados Celsius).

La resistencia térmica superficiales puede reflejar la transmisión de calor de los elementos constructivos (cara de los materiales) en su posición real, se debe tener en cuenta que entre menor sea al valor de transmitancia (U) menor será el flujo de calor transmitido a los materiales y por

ende será menor la energía que atraviese la cara de los mismos. A menor paso de energía mejor será es la capacidad de aislamiento de un material.

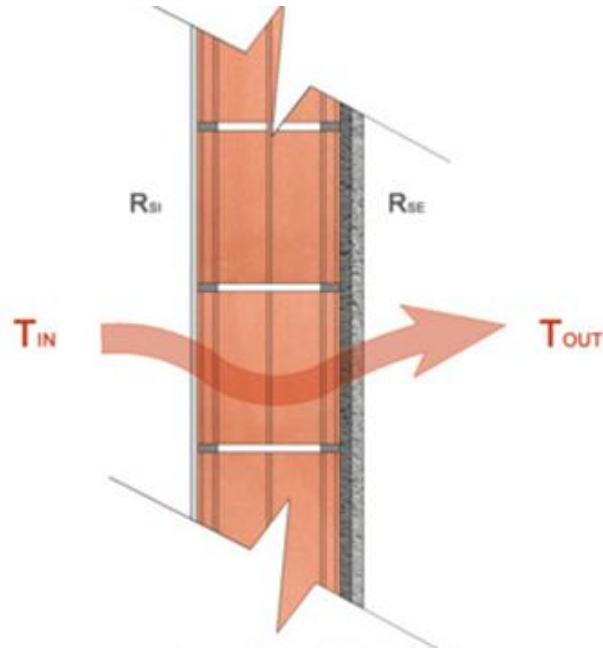


Figura 9. Transmitancia térmica. Se observa como el flujo de calor cambia a través de un material. La temperatura al exterior (T_{IN}), es diferente a la interior (T_{OUT}). Adaptado de:

https://images.adsttc.com/media/images/5b57/4ba2/f197/cc65/8700/007e/medium_jpg/

3. METODOLOGÍA

Tabla 5.

Metodología planteada del proyecto

PASO	DESCRIPCIÓN	RECURSOS
1	Investigación sobre las propiedades del bagazo de caña de azúcar para su implementación dentro del proyecto.	Revisión bibliográfica, búsqueda en el repositorio y la biblioteca de la universidad La Gran Colombia.
2	Aclaración de conceptos básicos para entender lo que se va a medir (Calor, temperatura, transmisión y transmitancia térmica, etc.)	Revisión bibliográfica.
3	Definición de los materiales complementarios con los que se van a fabricar los prototipos para las pruebas.	Asesorías y revisión bibliográfica.
4	Establecer las dosificaciones específicas para fundir los nueve prototipos tipo panel y sus dimensiones.	Asesorías y revisión bibliográfica.
5	Fabricación de moldes para la fundición de los paneles.	

		Maderos de pino, tornillos, segueta, destornillador, reglas, metro.
6	Mezcla de los materiales para los paneles, según las definiciones previamente definidas.	Materiales definidos, balde, varilla, aceite de motor usado.
7	Secado y desmoldado de los prototipos.	Ambiente en sombra.
8	Sometimiento a pruebas de los prototipos en grupos de tres según su orden de fabricación.	Laboratorio de bioclimática de la Universidad La Gran Colombia.
9	Obtención de resultados y su respectivo análisis.	Termohigrómetros, sondas, memorias y computadores.
10	Discusión de resultados y escogencia del mejor prototipo por medio del cálculo de transmitancia térmica.	Fórmulas científica.
11	Conclusiones y recomendaciones.	N.A.

Nota: Se especifican las actividades planeadas para el desarrollo del proyecto. Elaboración propia

El proyecto cuenta con unas bases teóricas bastantes extensas, en su esencia es experimental y descriptivo, pues se llevaron a cabo la fabricación de nueve paneles, cada uno distribuidos según su peso y dimensión, con distintas dosificaciones de los componentes para ser sometidos a pruebas de transmisión y transmitancia térmica, evaluando así su eficiencia. A continuación se muestran las dosificaciones de los componentes de cada juego de paneles.

Tabla 6.

Dosificaciones por volumen en mezcla para los paneles

No. De Juego	Panel	Grosor	Cemento %	Bagazo %	Melaza %	Agua %
Juego 1	1	6mm				
	2	8mm	81 cm ³	81 cm ³	27 cm ³	27 cm ³
	3	10mm				
Juego 2	4	6mm				
	5	8mm	81 cm ³	108 cm ³	54 cm ³	13.5 cm ³
	6	10mm				
Juego 3	7	6mm				
	8	8mm	81 cm ³	108 cm ³	40.5 cm ³	40.5 cm ³
	9	10mm				

Nota: Se muestra la cantidad, en centímetros cúbicos, de cada componente aplicado en la mezcla. Elaboración propia.

La proporción de cada componente se determinó a partir de las consultas con el arquitecto Pablo Castillo, asesor de proyectos de la Universidad la Gran Colombia, quien sugirió, debido a su experiencia laboral en construcciones vernáculas, el uso de la melaza como complemento adicional

de la mezcla, ya que ofrece características de consistencia y resistencia al fuego y al calor. Además de ello proporciono un acercamiento de las dosificaciones (con las cuales se ensayo) para establecer la mezcla final de los paneles. En el caso del agua, la cantidad que se agregó al cemento dependió de las instrucciones del fabricante, que recomendaba aplicar un 40% del volumen total de cemento, cantidad que varió por la adición de melaza. Los paneles termoaislantes, producto de ésta investigación, son elementos individuales prefabricados, cada uno con dimensiones de 30X30 cm de lado y con espesores que varían entre 6mm, 8mm y 10mm. Para ello se utilizaron distintos materiales, tanto en la composición propia de los paneles, como para su proceso de fundición.

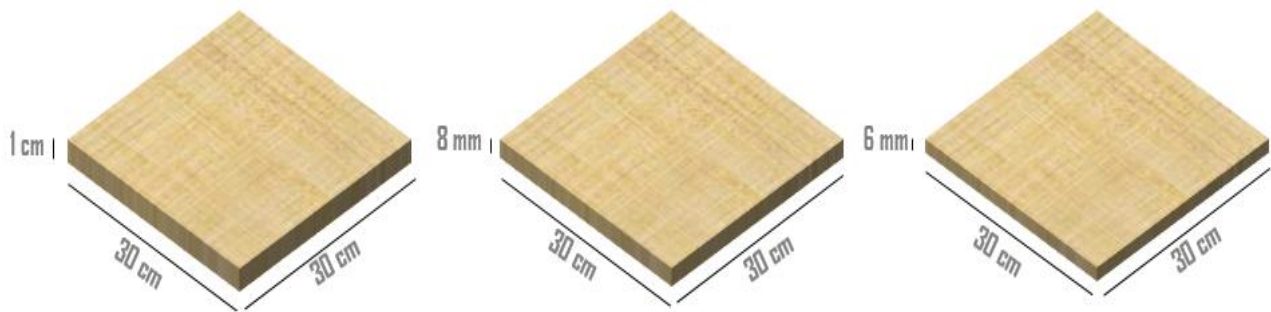


Figura 10. Medidas y dimensiones de los paneles. Elaboración propia

3.1.Fase práctica: Elaboración de paneles

3.1.1. Porcentajes (%) de mezcla

- Madera de pino: Necesaria para hacer los moldes de los paneles. Ésta madera fue seleccionada por su bajo costo y su alta resistencia (la suficiente para fundir los paneles), además de que es fácil de conseguir por su gran comercialización. Fueron necesarias dos presentaciones para hacer los moldes de los paneles: Tres tablas de 40X40 cm para las bases y palos con secciones transversales de 8 y 10 mm para los marcos. Una cuarta tabla de 30X30 cm para apisonar los paneles ya embebidos.

- Tornillería de acero: Se seleccionaron tornillos autorroscantes, fáciles de conseguir, económicas y resistentes al óxido, muy apropiados para asegurar los marcos a las bases.
- Cinta de enmascarar: Naturalmente las fibras de la madera tienden a abrirse y separarse cuando se les introduce un objeto distinto al de su morfología, en el caso de la madera de pino que se utilizó para hacer las formaletas ese objeto externo eran los tornillos de acero, por ello fue necesario reforzar los puntos donde se emplazaron los tornillos para evitar el agrietamiento de la madera. Al ser una cinta de papel, permite que el tornillo pase sin mucha dificultad, no se enreda y cumple con el objetivo de reforzar la madera.
- Aceite de motor usado: Coloquialmente conocido como “aceite quemado” que se obtiene al cambiar el aceite del motor de los automóviles que ya han cumplido con su ciclo de kilometraje. Es muy usado en la industria de la construcción como desmoldante. Su bajo costo y las pequeñas cantidades necesarias para cumplir su función de forma eficaz, lo hicieron el más adecuado para ser elegido como el desmoldante de los paneles.

3.1.2. Materiales que componen los paneles

- Cemento Portland tipo I gris y blanco: Este conglomerante es el más común en el ámbito de la construcción, gracias a su capacidad de adherencia, a su bajo costo y a su fácil adquisición fue seleccionado como aglutinante para la fabricación de los paneles. La variación que se le dio, responde a características netamente estéticas.
- Melaza: Ofrece cualidades como aglutinante y brinda cierta cohesión a la mezcla de los paneles. También es anti-incendiaria debido a su composición viscosa.
- Agua: Indispensable para que hidrate y fragüe el cemento, de igual forma es necesaria para que se vincule con los demás componentes y que la mezcla sea maleable.

- Bagazo de caña de azúcar: El bagazo hecho fibras, después de un proceso de desmedulado, molienda, curación, funge como el aislante térmico de los paneles. Adicionalmente les otorga resistencia por el agarre y los entrelazamientos que se forman entre las fibras.

3.1.3. Herramientas

- Herramienta menor: Destornillador, segueta.
- Elementos de seguridad y protección: Gafas, guantes y tapabocas.
- Balde o recipiente plástico.
- Regla, metro, lápiz y/o esfero.
- Varilla y Pincel con cerdas de fique.
- Vasos medidores.
- Tapa para apisonar (fabricación propia) o llana de madera.

3.2.Fabricación de los moldes

La fabricación de los moldes en madera se desarrollo de una manera sencilla. En total se realizaron tres moldes, cada uno con el grosor adecuado de los marcos o con una marquilla para darle las dimensiones predeterminadas a los paneles. Se elaboraron tres marcos con los maderos cuadrados de pino, cortándolos con una de las herramientas menores (segueta) en grupos de a dos por cada juego de molde. Los dos primeros maderos se cortaron a una longitud de 30 cm, los dos restantes a una longitud de 30 cm más la sección transversal del marco que se estaba realizando, 8 y 10 mm según fuese el caso, esto con el propósito de asegurase de que el borde interno de los moldes quedase de 30 X 30 cm. Como se aclaró en la descripción de la cinta, fue necesario reforzar los lugares en los que se enroscaron los tornillos para evitar que se abriera la madera, esto fue en

cada extremo (para asegurar cada madero con el siguiente y formar los marcos) como en la mitad, pues ahí estarían fijados los tornillos que apuntalarían los marcos a la base.

Una vez fabricados los marcos, se realizó un trazado en las tablas bases para demarcar los lugares donde iban a estar fijados, con tornillos, los marcos a las tablas. Cuando los moldes estuvieron listos para usarse, cada uno de ellos tuvo un periodo de uso de aproximadamente 24 horas por panel, en total se fundieron nueve paneles con distintas dosificaciones y aún después de desencofrar los últimos paneles, las formaleas conservan su absoluta integridad, lo que en cierta medida da cuenta del alto rendimiento que tienen.

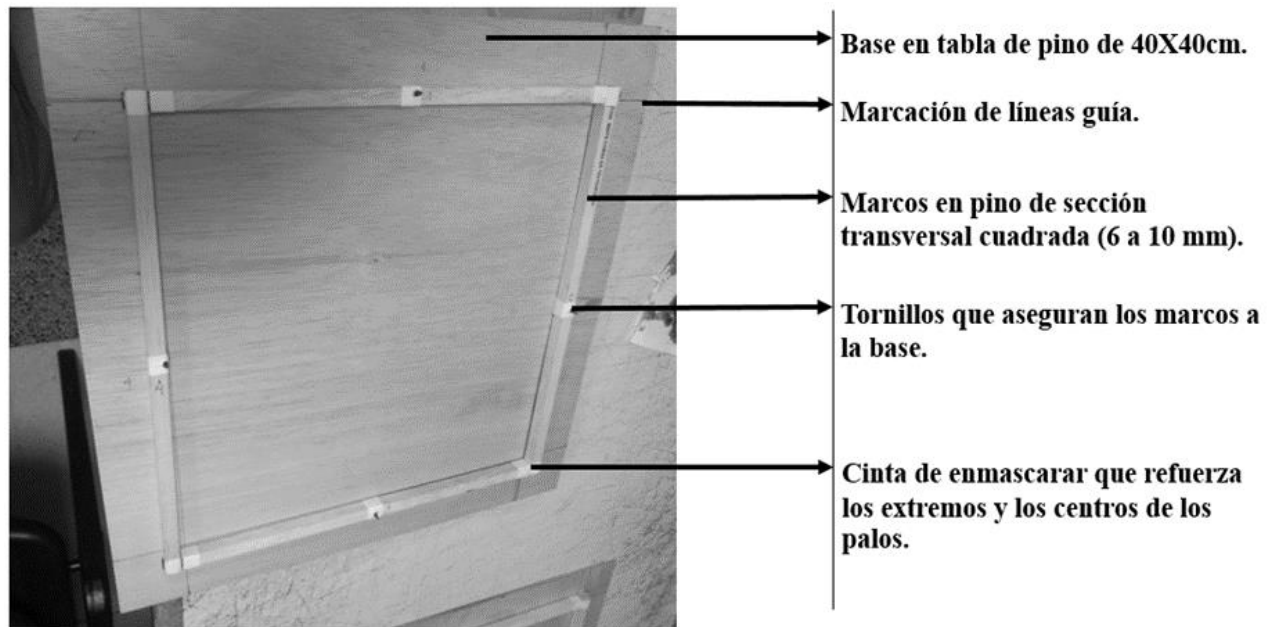


Figura 11. Partes que conforman el molde o formaleta para fundir los paneles. Elaboración propia

3.3.Elaboración de la mezcla para los paneles y fundición

Las dosificaciones fueron la única variación que se tuvo en cuenta a la hora de fabricar cada panel, también se realizaron unos leves cambios en la escogencia del conglomerante (cemento) a la hora de fundir dos de los nueve paneles, el panel de prueba número dos y numero tres se fundieron con cemento gris, esto debido a razones estéticas; se quería observar qué color era más

agradable a la vista, y con el cemento blanco se logró un amarillo ámbar mucho más disfrutable que el gris oscuro. La mezcla para cada panel se hizo de forma individual, es decir, no se hizo una mezcla general para fundir los juegos de 3 paneles debido a la dificultad que generaba homogeneizar todos los elementos para la mezcla, en esas cantidades y con los métodos de los que se disponían. El proceso paso a paso de la preparación de la mezcla y los debidos agregados (melaza y fibras de bagazo) fueron los siguientes:

1. Usar los elementos de seguridad para evitar el contacto directo del cemento con los ojos, las manos y las vías respiratorias.



Figura 12. Elementos de seguridad para el manejo del cemento. Adaptado de: <https://cdn.totalcode.com/easy/product-zoom/es/kit-gafas-%2Bguante-nitrilo-%2Btapabocas-negro-x-6-1.jpg>

2. Apartar cada elemento según la cantidad establecida en las dosificaciones por medio de los vasos medidores.
3. En un balde plástico se empezó a mezclar manualmente, con una varilla, la cantidad de cemento determinada con el agua hasta tener un fluido sin grumos y totalmente homogéneo.



Figura 13. Mezclado del cemento con el agua. Elaboración propia.

4. Al cemento ya mezclado con el agua, se le agrego lentamente la melaza, y se fue batiendo poco a poco hasta tener una amalgama homogénea.
5. En pequeñas cantidades se fueron arrojando las fibras de bagazo sobre la mezcla y se fue batiendo hasta ver que todas las fibras estuviesen totalmente inmersas y bien distribuidas en la mescolanza.



Figura 14. Adición de las fibras de bagazo de caña a la mezcla de cemento/melaza. Elaboración propia.

6. Se aplicó el aceite quemado en la cantidad apropiada sobre el molde y se esparció con el pincel sobre todos los lugares en los que la madera iba a tener contacto con la mezcla, mientras la misma se aireaba unos pocos minutos (2-3).



Figura 15. Molde de madera al que se le aplicó aceite quemado. Elaboración propia.

7. Se vertió la mezcla entre el molde, comenzando por las esquinas y los lados, terminando en el centro. Ésta forma de vertido ayuda a evitar que queden vacíos dentro del panel. Una vez llenado por completo el molde, se procedió a allanar la superficie con las manos, mientras la mezcla aún estaba líquida.



Figura 16. Vertido de la mezcla sobre el molde aceitado. Elaboración propia.

8. Pasada una hora, cuando la mezcla ya estaba más solidificada, se utilizó la tapa de madera (que también tenía aceite quemado) para allanar de mejor manera el panel y darle un mejor acabado. No se apisona la mezcla con la tapa, inmediatamente después de fundirla, porque se queda adhiere a la cara inferior de la misma.

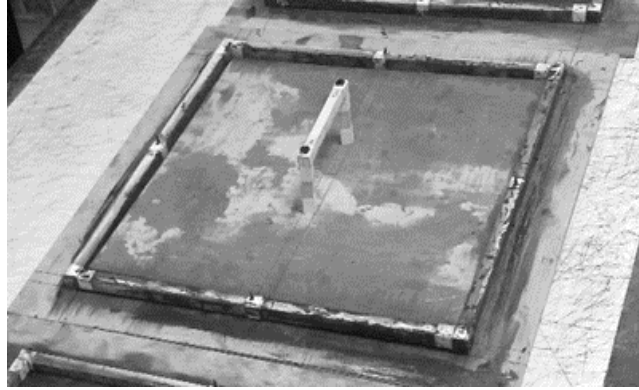


Figura 17. Panel fundido siendo apisonado con la tapa de madera. Elaboración propia.

9. Al completar 24 horas de haber sido fundidos, los paneles se desmoldaron con facilidad, siendo solamente necesario desatornillar los marcos de las bases para que salieran los mismos. En todo momento los paneles se dejaron secar a la sombra, para que no experimentaran una pérdida acelerada de humedad.

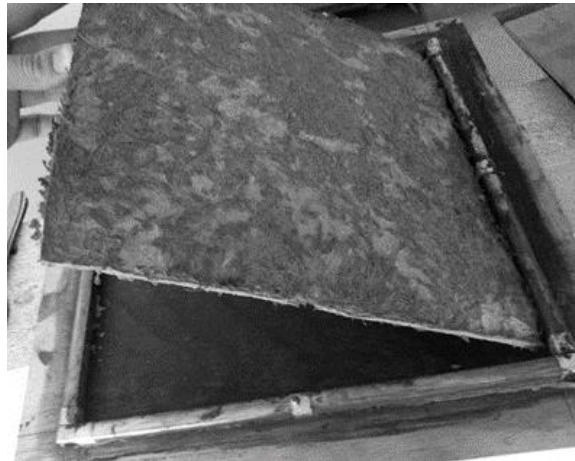


Figura 18. Desencofrado de paneles pasadas 24 horas. Elaboración propia.

10. Los marcos y las bases se limpiaron, se removieron todos los residuos de la mezcla después del desmoldado y se volvieron a atornillar para ser utilizados nuevamente en la fundición del siguiente juego de paneles.



Figura 19. Juego de moldes limpio y listo para usarse en la siguiente fundición. Elaboración propia.

11. Cada juego de paneles se dejó secar 8 días a la sombra después de ser desencofrado para que su forma y consistencia fuese la más óptima, y así poder someterlos a las pruebas de laboratorio.



Figura 20. Primer juego de paneles secándose en sombra durante 8 días. Elaboración propia.

Después de haber realizado todo el proceso de fundición y de secado de los paneles, cada prototipo se pesó y se midió, de acuerdo a las dimensiones de cada uno, se calculó el volumen en

metro cúbicos (m³) y con dichos datos se halló la densidad aparente (kg/m³) de todos ellos. Como se observa en la tabla 7, los paneles del tercer juego, tuvieron un área menor a la de los demás juegos (0,084 m²); esto sucedió porque en el proceso de secado de los paneles, dicho juego sufrió una gran retracción que causó encogimiento en los modelos de ese juego, la longitud final de cada panel fue más pequeña a la estipulada; sus lados tuvieron un área menor a 30 cm (dimensiones con las que fueron fundidos) para ser más exactos con las dimensiones, los lados de los paneles del juego 3 quedaron con unas medidas de 29 cm.

Tabla 7.

Tabla de dimensiones y densidades aparentes

Paneles		Peso (kg)	Área (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad Aparente (kg/m ³)
Juego 1	Panel 1	0,701	0,09	0,006	0,00054	1298,15
	Panel 2	0,953	0,09	0,008	0,00072	1323,61
	Panel 3	1,01	0,09	0,01	0,0009	1122,22
Juego 2	Panel 4	0,52	0,09	0,006	0,00054	962,96
	Panel 5	1,003	0,09	0,008	0,00072	1393,06

	Panel 6	1,008	0,09	0,01	0,0009	1120,00
	Panel 7	0,262	0,084	0,006	0,000504	519,84
Juego 3	Panel 8	0,483	0,084	0,008	0,000672	718,75
	Panel 9	0,496	0,084	0,01	0,00084	590,48

Nota: Se aprecia como el Juego 3 tiene un área menor a la de los demás juegos, por la gran retracción que tuvieron los paneles esto debido a la gran cantidad de bagazo y el poco contenido de cemento. Elaboración propia

3.4. Pruebas de laboratorio

Para comprobar la efectividad de los paneles, estos modelos se vieron sometidos a una de prueba que determina el coeficiente de transmitancia y transmisión térmica para compararlos con los de los materiales de construcción más comunes utilizados en las regiones cálidas de Colombia. La prueba se realizó en el Laboratorio de bioclimática de la Universidad la Gran Colombia, sede Bogotá. Los elementos necesarios para la realización de la prueba fueron:

- Láminas de poliestireno expandido (Icopor).
- Cinta de enmascarar.
- Dos termohigrómetros con sonda.
- Bases para poner cada juego de paneles (Rieles de balso y pino).
- Bombilla infrarroja (Para calentar espacios).
- Cámara termográfica FLIR E40.

Se procedieron a realizar la pruebas de transmitancia térmica con la orientación de los directores del laboratorio de bioclimática, arquitectos Juan David Giraldo y Anna Gabriela Ramírez, quienes

afablemente ayudaron a idear y a llevar a cabo los ensayos del material. La prueba consistió en hacer una cámara que recreó un ambiente interior con temperatura superior a la exterior. La cámara estaba conformada en la parte lateral izquierda y trasera por los muros del laboratorio, en el costado derecho por los paneles y en la parte superior y frontal por láminas de poliestireno expandido. Para aislar los huecos entre el interior y el exterior se recurrió al uso de la cinta de enmascarar, y los paneles estaban apoyados sobre los rieles previamente hechos.

Para lograr calentar el ambiente interno se utilizó la bombilla infrarroja apuntando en dirección contraria a los paneles, con el objetivo de calentar el aire sin someter los paneles a la radiación directa de la bombilla. Después, colgando de la lámina de poliestireno expandido superior, se colocó la sonda de uno de los termohigrómetros a 3 cm de distancia de los paneles y ubicada en la parte más central de la cámara. El segundo termohigrómetro, junto con su sonda, estaba ubicado a 40 cm de la cámara y a 70 cm de altura, para medir la temperatura exterior.

En total se realizaron tres pruebas, la primera solo se realizó con dos de los tres paneles del primer juego, debido a que el primer panel fabricado, en el proceso de secado, sufrió una gran retracción y tomó una forma curvada (como se observa en la figura 21), lo que impedía que la cámara quedase hermética por el hecho de que dejaba intercambiar el aire frío con el caliente por los costados.

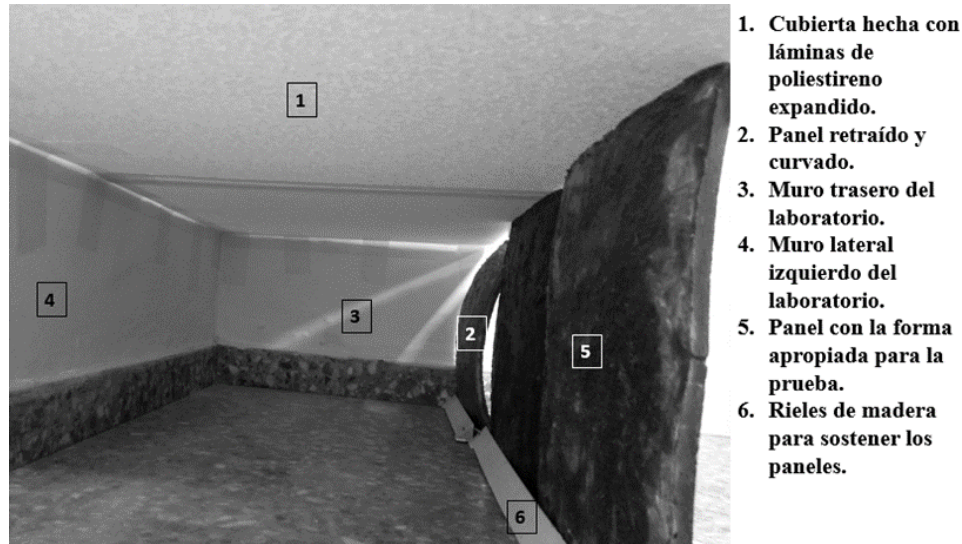


Figura 21. Se muestra como el panel curvado impedía generar un espacio hermético para la realización de la prueba. Elaboración propia.

Las dos pruebas restantes pudieron hacerse satisfactoriamente con los juegos completos de paneles. Cada prueba tuvo una duración de 24 horas, en las que se esperó a que el interior se climatizara con el calor de la bombilla infrarroja, mientras las sondas hacían la recolección de datos. Minutos antes de dismantelar la cámara y los paneles, se tomaron fotografías térmicas para ver las temperaturas variables que había en cada sección de los mismos.

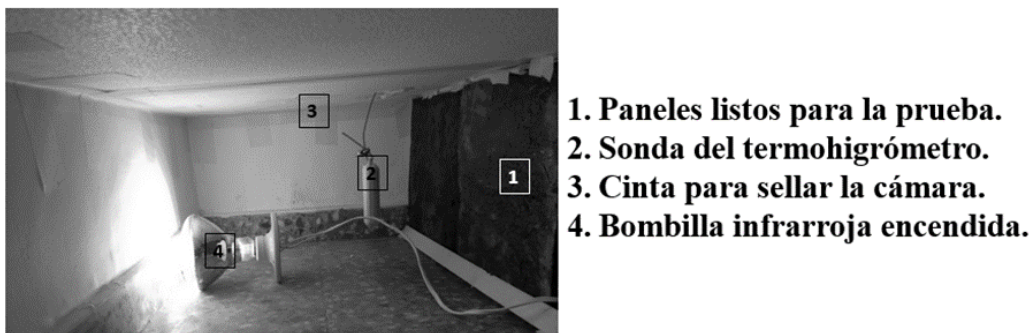


Figura 22. Paneles, bombilla y sonda listos para realizar la prueba. Elaboración propia.

Finalmente se descargaron los datos de los dos termohigrómetros que midieron la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica. También se obtuvieron las fotografías térmicas de la cámara termográfica para tener una mejor percepción de la distribución del calor de cada prueba.



Figura 23. Termohigrómetros tomando los datos de las pruebas. Elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las mediciones que proporcionaron los dos termohigrómetros, utilizados en las pruebas, realizaban medidas constantes en lapsos cortos de tiempo de diez minutos, por ello fue necesario agrupar todos los datos obtenidos y así calcular la temperatura promedio, tanto al interior, como al exterior de la cámara, en cada una de las pruebas realizadas (tres en total). Una vez calculadas las temperaturas promedio, se usaron estos valores para calcular las variables necesarias con el fin de conocer la Resistencia Térmica (RT) y consecuentemente, la Transmitancia Térmica (U) de cada uno de los paneles. Dichas variables fueron:

- ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^{\circ}\text{C}$).
- T_1 = Temperatura superficial interior ($^{\circ}\text{C}$).
- R_{si} = Resistencia superficial interior (Constante = $0,13 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$).
- T_i = Temperatura interior de la cámara ($^{\circ}\text{C}$).

La Resistencia Superficial Interior (R_{si}) corresponde a una constante que se aplica a superficies planas perpendiculares al flujo del aire. En éste proyecto se empleo un valor igual a 0,13 en la constante de R_{si} ya que dicha constante se ajusta a la forma en que la que se ejecutaron las pruebas de laboratorio, siendo que los paneles se ubicaron verticalmente respecto a la superficie del suelo, como se evidencia en la figura 23:

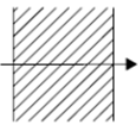
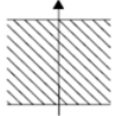
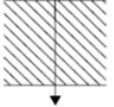
Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$			
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^{\circ}$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^{\circ}$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Figura 24. La posición del cerramiento, en éste caso los paneles, corresponde a una R_{si} de 0,13. Adaptado de: DA DB-HE / 1: Cálculo de parámetros característicos de la envolvente, febrero de 2015, p. 3.

Cada una de las variables se aplicó en el cálculo de la R_T de todos los paneles de prueba. Así mismo la R_T sirvió para calcular U , puesto que ésta última es el resultado de la división de 1 entre R_T . Aclarado ello, la fórmula utilizada para la obtención de R_T fue la siguiente:

$$Rt = \frac{Rsi \cdot \Delta T}{Ti - T1}$$

Una vez remplazadas las variables de la fórmula, por los valores que arrojaron las pruebas de los paneles, se obtuvieron los resultados de la tabla 8. Cabe aclarar que el panel 1 del primer juego no tiene resultados porque fue el único que no se pudo someter a la prueba, debido al pandeo excesivo que sufrió.

Tabla 8.

Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de transmitancia de calor

PANEL		T_1	ΔT	T_i	R_T	U
	1	---	---	---	---	---
Juego 1	2	29,01	13,4	32,8	0,460	2,176
	3	28,3	13,4	32,8	0,387	2,583
	4	28,6	13,8	33,2	0,390	2,564
Juego 2	5	28,2	13,8	33,2	0,359	2,787
	6	30,4	13,8	33,2	0,641	1,561
	7	29,6	13,1	32,5	0,587	1,703
Juego 3	8	28,2	13,1	32,5	0,396	2,525
	9	28,9	13,1	32,5	0,473	2,114

Nota: Cada valor es el resultado de las pruebas a las que fueron sometidos los paneles. El valor de R_{si} se obvia por ser una constante (0,13). Elaboración propia.

ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^{\circ}C$).

T_1 = Temperatura superficial interior ($^{\circ}C$).

T_i = Temperatura interior de la cámara ($^{\circ}C$).

R_T = Resistencia térmica ($m^2 \times K/W$).

U = Transmitancia térmica ($W/m^2 \times K$).

Como se observa en la tabla 8, el panel que presenta las mejores cualidades como aislante térmico, es el número 6, puesto que el valor de su R_T es el más alto de todos y de su U es el más bajo. Ello implica que la cantidad de calor que dicho panel deja fluir a través de sí mismo es la menor de entre todos los demás, haciéndolo el panel con la dosificación y el espesor más adecuado para reducir la transferencia de calor entre dos ambientes con distintas temperaturas. En la figura 24 se muestra la dosificación porcentual en volumen de cada elemento que se usó para la fundición del Juego 2, y por tanto del panel 6.

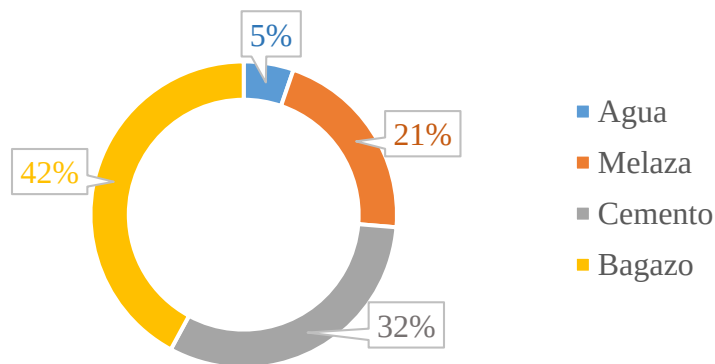


Figura 25. Porcentaje de cada uno de los elementos que componen la mezcla del Juego 2 de paneles.
Elaboración propia.

Analizando los resultados, se observa que entre las tres dosificaciones utilizadas para los paneles, la proporción más idónea es la que posee una mayor cantidad de bagazo y melaza, y en la que se minimiza la cantidad de agua. Los resultados también demuestran que entre mayor es el grosor del material, es menor la transmitancia de calor, razón por la cual, a pesar de que los tres tienen la misma composición, el de mayor espesor es superior respecto a los demás.

Los paneles del Juego 2, además de tener la dosificación más adecuada, presentaron las mejores cualidades físicas en cuanto a consistencia, retracción y carencia de agrietamiento y fisuración, dando un acabado liso por una de sus caras y rugoso por la otra, como se observa en la figura 25.



Figura 26. Juego 2 de paneles. Se muestran los paneles con las dosificaciones que mostraron los mejores resultados aislantes y su acabado de color marrón- ámbar. Elaboración propia.

Para comprobar que el panel puede ser usado como material alternativo en la construcción de cubiertas termoaislantes, se hizo una comparativa entre el Panel 6 y materiales comunes en la construcción, como se muestra en la tabla 9:

Tabla 9.

Propiedades termoaislantes de materias primas de construcción

MATERIAL	R_T ($m^2 \times K/W$)	U ($W/m^2 \times K$)
Panel 6	0,641	1,561
Concreto reforzado (acero)	0,0043	232,50
Concreto	0,0058	171,41
Ladrillo macizo	0,0067	149,25
Adobe	0,0091	109,89
Madera frondosa	0,0556	17,98
Madera conífera	0,0667	14,99

Nota: Los valores de Resistencia y transmitancia térmica de los demás materiales fueron calculados considerando un espesor de 1 cm, igual al espesor del panel 6. Adaptado de: SEISCUBOS: Importancia relativa del aislamiento térmico en los edificios.

Al observar la tabla, se evidencia que el panel 6 es un mejor aislante que el concreto, el ladrillo, el adobe e incluso las maderas. La dosificación con la que se fundió el Juego 2 de paneles no solo demostró ser la más apropiada para aumentar la capacidad aislante de los mismos, sino que también logró darles la mejor consistencia, pues entre los tres juegos, el segundo tuvo el mejor acabado y careció de retracción y fisuración. El Juego 1 mostró una deformación excesiva, especialmente el primer panel; y el Juego 3 sufrió una gran retracción, que hizo que sus dimensiones se redujeran de 30 cm de lado a 29 cm, aunado a que a pesar de conservar su forma y su integridad se agrietó y se fisuró.

5. CONCLUSIONES

1. A partir de los prototipos fabricados y las pruebas a las que fueron sometidos, se establecieron y determinaron los materiales complementarios al bagazo y la dosificación más apropiada para los paneles, que permitieron hacer una mezcla homogénea y fraguable con la que se logró fundir nueve prototipos de paneles según las dimensiones predeterminadas (30 X 30 cm) y que lograron tener un índice de transmisión térmica menor a la de los materiales tradicionales de construcción con los que se le hizo la comparativa.
2. Se determinó que los paneles ofrecen una mayor eficiencia térmica por medio de una serie de pruebas de laboratorio en las que fueron sometidos a condiciones climáticas comparables con las zonas en las que se pretenden aplicar y de donde se obtuvo el principal insumo para su fabricación (bagazo de caña), dichas zonas, emplazadas en el Valle del Cauca, se encuentran ubicadas al occidente del país donde la temperatura oscila entre los 25° y 32°C, para ello se recreó un espacio en el que la temperatura oscilaba entre 30° y 34°C en los que se mantuvieron por periodos de 24 horas.
3. Se logró elaborar un material fundible para la fabricación de elementos constructivos alternativos, cuya característica esencial es su capacidad termoaislante superior a la de ciertos materiales tradicionales de construcción. Así pues, la investigación ha brindado una alternativa de desarrollo sostenible debido a que su componente esencial (bagazo) tiene una procedencia natural, es reciclada y al mismo tiempo es biodegradable, por lo que su huella de muy baja en comparación con otros materiales para la construcción y su descomposición no afecta el medio ambiente y al mismo tiempo ofrece cualidades termoaislantes óptimas.

4. Los paneles desarrollados en la investigación no brindan las formas, los tamaños y las dimensiones en general, necesarias para ser aplicadas en la construcción, sino que ha dado como resultado el grosor apropiado y la dosificación más eficiente para la fabricación de elementos constructivos. Por ello la investigación queda abierta al desarrollo de moldes, modelos y dimensiones que permitan fundir los elementos que requiere la industria constructiva para ser adaptables a las cubiertas y/o en su defecto, a las fachadas de las edificaciones.

5. BIBLIOGRAFIA

- Almazán, O. Hernández, A. Brizuela, M. Carvajal, O. Arias, G. Fernández, N. (2017). Patrimonio del nuevo científico ICIDCA. *Parte V El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial.* 7 (1). Recuperado de http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20V/Parte%20V.pdf
- Andrade, H. Arteaga, C. y Segura, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). (Artículo de investigación científica y tecnológica, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. Asocaña. (Junio de 2017). Más que azúcar, una fuente de energía renovable para el país. Recuperado de <https://www.asocana.org/documentos/562017-BC7B477D-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. Asocaña. (21 de Mayo de 2019). ASPECTOS GENERALES DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE LA CAÑA 2018 - 2019 INFORME ANUAL. Recuperado de <https://www.asocana.org/documentos/2352019-D0CA1EED-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. Asocaña. (07 de noviembre de 2019). BALANCE AZUCARERO COLOMBIANO ASOCAÑA 2000 - 2019 (TONELADAS). Recuperado de <https://www.asocana.org/modules/documentos/5528.aspx>
- British Broadcasting Corporation. BBC. (10 de enero de 2013). Cómo enfrenta el organismo un calor de 50° centígrados. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/01/130110_calor_50_gradosorganismo_men
- Cadena, C. Bula, A. (2002). *Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales.* 12(2). 1-9. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2309/1507>
- Carvajal, O. Costales, R. Almazán, O. Casanova, E. (2017). Patrimonio del nuevo científico ICIDCA. *Parte IX Productos aglomerados del bagazo.* 7 (1). Recuperado de http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20IX/Parte%20IX.pdf
- Córdova, C. (2011). Estudio de tecnologías para la reducción del consumo energético destinado a confort térmico para el Edificio de Ingeniería Civil. (Trabajo de grado, Universidad de Chile). Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-cordova_ct/pdfAmont/cf-cordova_ct.pdf

- De Guzmán, E. Meythaler, J. (2007). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE TIPO POLIÉDRICO INCLINADO PARA SECADO DE FRUTAS POR CONDENSACIÓN, CON UNA CAPACIDAD MÁXIMA DE 55 Kg. PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES - FIME. (Trabajo de grado, Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de <https://mail.google.com/mail/u/1/?tab=wm&ogbl#starred/FMfcgxwDqndDRsmHGvHSZltrzTlpkwQV?projector=1&messagePartId=0.12>
- Fernández, N. Bambanaste, R. Sabatier, J. y Triana, O. (1991) *Bagasse: Morphology, Chemistry and Pulping*. Recuperado de http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20V/Bibliograf%C3%ADa/Capt%20II/II-3.pdf
- García-Huidobro, S. (2016). Estudio de pinturas aislantes térmicas y su posible aplicación para el ahorro energético en un tipo de vivienda. (Trabajo de grado, Universidad de Chile). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144482/Estudio-de-pinturas-aislantes-t%C3%A9rmicas-y-su-posible-aplicaci%C3%B3n-para-el-ahorro-energ%C3%A9tico-en-un-tipo-de.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Neila, F. Bedoya, C. (1997). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. Madrid, España: Munilla-Lería.
- Lois, J. (1982). *Sistemas y equipos de desmedulado en la industria del bagazo de la caña de azúcar*. La Habana, Cuba : Editorial Científico-Técnica
- The University of Chicago Medical Center. (1 de Enero de 2019). Vital Signs (Body Temperature, Pulse Rate, Respiration Rate, Blood Pressure). Recuperado de <http://healthlibrary.uchospitals.edu/content/adult-diseases-and-conditions-v0/signos-vitales-temperatura-corporal-pulso-frecuencia-respiratoria-y-pres/>
- Triana, O. Leonard, M. Saavedra, F. Fernández, N. Galvez, G. y Peña, E. (1990). *Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar*. Recuperado de http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20V/Bibliograf%C3%ADa/Capt%20II/II-1.pdf
- Unidad de planeación minero energética, UPME. Instituto de hidrología, meteorología y estudio ambientales, IDEAM. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Recuperado de <http://www.cambioclimatico.gov.co/documents/21021/21129/1-+Preliminares.pdf/2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>