

**DESARROLLO DE UN MATERIAL AISLANTE TÉRMICO A PARTIR DE
RESIDUOS DE POLIPROPILENO**

**VALERIA TATIANA BUSTAMANTE ORTEGA
EDINSON FABIÁN RÍOS ADARME**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2023

**DESARROLLO DE UN MATERIAL AISLANTE TÉRMICO A PARTIR DE
RESIDUOS DE POLIPROPILENO**

**VALERIA TATIANA BUSTAMANTE ORTEGA
EDINSON FABIÁN RÍOS ADARME**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**DIRECTOR
YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
PhD en Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2023

DEDICATORIA

A Dios, quien no me desamparó ni un solo momento durante el recorrido, quien cada vez que pedí, respondió y me concedió, quien cada vez que necesite disciplina me sostuvo y me brindó el impulso que necesitaba para seguir intentándolo, quien cada vez que necesite un descanso de mis penas, las sostuvo por mí y me brindó la paz que me hacía falta. A Él siempre la gloria.

A los más grandes amores de mi vida,

Mi madre, Berenice Ortega, quien cada día sacrificó hasta el alma por cada uno de sus hijos y jamás se rindió ante nada con tal de vernos convertidos en profesionales.

Mi padre, Héctor Bustamante, quien siempre creyó en mí y me brindó su amor incondicionalmente, sus abrazos siempre me dieron fuerzas para continuar.

Mi sobrino, Nicolas Bustamante, por enseñarme que el amor si se puede palpar, que el amor tiene brazos y piernas y me llama tía.

Mis abuelos, Rubira Saurith y Rafael Ortega que, aunque hoy no estén presentes, sin ellos jamás sería la gran mujer que soy hoy en día.

Los que, entre risas, apoyo y mucho amor, me hicieron sentir en familia lejos de casa...Edinson Lizarazo, Edinson Ríos, Edgar Velandía, Javier Martínez, Jhan Bahamón y Karla Pinzón.

Valeria Tatiana Bustamante Ortega

DEDICATORIA

A mi madre Rosa y mi padre José Libardo por lo seres humanos maravillosos que son, por esa confianza absoluta y el apoyo que siempre me han brindado.

A mis hermanos Andrea, Fernando, Sofia y Samuel. Siendo su hermano mayor, he aprendido muchas cosas de ustedes.

A mi sobrino Santiago por esa alegría que irradia y contagia.

A mi familia y amigos en general por sus sabios consejos y por sus buenos deseos.

Edinson Fabian Rios Adarme

CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
4. MARCO TEÓRICO.....	18
4.1 AISLANTE TÉRMICO	18
4.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	18
4.3 POLIPROPILENO.....	20
4.4 CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	21
5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	22
5.1 DESARROLLO DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD).....	22
5.2 MATRIZ DE CALIDAD.....	25
5.2.1 Matriz de calidad para el material base	26
5.2.2 Matriz de calidad para el aglutinante	27
5.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	28
5.4 EVALUACION DE ALTERNATIVAS	29
6. GESTIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	33
6.1 IDENTIFICACION DE TAREAS Y SUBTAREAS	33
7. METODOLOGÍA	35
7.1 OBTENCIÓN DEL POLIPROPILENO	35
7.1.1 Corte de las láminas de polipropileno.	36
7.1.2 Tamaño del polipropileno después del proceso de picado	37
7.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS MOLDES.....	39
7.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA.....	41
7.3.1 Dosificación de las probetas.	42

7.4 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	43
7.5 PRUEBA TERMICA	47
7.5.1 Determinación de la conductividad térmica.....	51
7.6 PRUEBAS MECÁNICAS.....	56
7.6.1 Prueba de compresión.....	57
7.6.2 Prueba de tracción.....	58
7.7 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL MATERIAL DESARROLLADO	61
7.7.1 Estructura del mercado actual	62
7.7.2 Propiedades térmicas del material.....	68
8. CONCLUSIONES	72
9. RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFIA	75
ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Aislante térmico	18
Figura 2. Métodos de transferencia de calor.....	19
Figura 3. Polipropileno.....	20
Figura 4. Bolsas de polipropileno.....	30
Figura 5. Yeso.....	32
Figura 6. Láminas de polipropileno	35
Figura 7. Molino de martillos del laboratorio de combustión	36
Figura 8. Listones de polipropileno	36
Figura 9. Polipropileno picado manualmente	37
Figura 10. Juego de mallas tamices	37
Figura 11. Agitador vibratorio de tamices.....	38
Figura 12. Molde para probetas cuadradas	40
Figura 13. Base para molde de probetas cilíndricas	41
Figura 14. Molde de probeta cilíndrica.....	41
Figura 15. Elementos de seguridad	43
Figura 16. Balanza de precisión.....	44
Figura 17. Componentes listos para la preparación de una probeta.....	44
Figura 18. Proceso de mezclado	45
Figura 19. Preparación de los moldes	45
Figura 20. Probeta secando en molde	46
Figura 21. Proceso de desmoldeo	46
Figura 22. Probetas con proporciones diferentes de ceniza	47
Figura 23. Elementos necesarios para la prueba térmica.....	48
Figura 24. Representación de la prueba térmica.....	49
Figura 25. Cara superior de la cava con la bombilla y termocuplas.....	49
Figura 26. preparación de la prueba térmica	50
Figura 27. Estabilización del sistema	51

Figura 28. Máquina universal MTS	56
Figura 29. Probeta cubica realizada para la prueba de compresión	57
Figura 30. Posición de una probeta cubica para la prueba de compresión	57
Figura 31. Probetas realizadas para la prueba de tracción.....	59
Figura 32. Posición de una probeta para la prueba de tracción.....	59

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores de la relación entre requerimientos Consumidor-Diseñador	25
Tabla 2. Matriz de calidad para el material base.....	26
Tabla 3. Resultados del QFD para el material base	26
Tabla 4. Matriz de calidad para el aglutinante.....	27
Tabla 5. Resultados del QFD para el aglutinante	27
Tabla 6. Alternativas de materiales base	28
Tabla 7. Alternativas para aglutinante.....	28
Tabla 8. Ponderación de los parámetros seleccionados.....	29
Tabla 9. Matriz de evaluación para el material base	29
Tabla 10. Resultados de la matriz de evaluación para el material base	30
Tabla 11. Matriz de evaluación para el aglutinante.....	31
Tabla 12. Resultados de la matriz de evaluación para el material base	31
Tabla 13. Masa retenida en cada tamiz	38
Tabla 14. Porcentaje retenido en cada malla.....	39
Tabla 15. Dosificación de las primeras 4 tipos de probetas.....	42
Tabla 16. Resumen de los resultados de la prueba.....	51
Tabla 17. Datos previamente conocidos.....	53
Tabla 18. Datos dimensionales de la cámara (interior de la cava).....	53
Tabla 19. Calor que se pierde por las paredes la cava.....	53
Tabla 20. Datos dimensionales de la probeta	54
Tabla 21. Conductividades térmicas de diferentes probetas (ceniza variable)	54
Tabla 22. Dosificación de las probetas variando la cantidad de polipropileno	55
Tabla 23. Resumen de los resultados de la segunda prueba	56
Tabla 24. Resumen de los mejores resultados de las pruebas térmicas	56
Tabla 25. Resultados de la prueba de compresión.....	58
Tabla 26. Resultados de la prueba a tracción.....	60

Tabla 27. Valores de referencia para las pruebas mecánicas	61
Tabla 28. Cambio porcentual de la resistencia a la compresión	61
Tabla 29. Cambio porcentual de la resistencia a la tracción	61
Tabla 30. Conductividades térmicas de materiales aislantes comunes	69
Tabla 31. Costos de materiales	69
Tabla 32. Precios de mercado de materiales aislantes.....	70
Tabla 33. Esfuerzos de compresión y tensión para diferentes aislantes	70

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Temperaturas de las probetas a diferentes proporciones	79
Anexo B. Autorización para el uso del laboratorio de ensayos mecánicos	88
Anexo C. Datos de las pruebas mecánicas	89

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UN MATERIAL AISLANTE TÉRMICO A PARTIR DE RESIDUOS DE POLIPROPILENO

AUTOR: VALERIA TATIANA BUSTAMANTE ORTEGA, EDINSON FABIAN RIOS ADARME **

PALABRAS CLAVE: Aislante térmico, Conductividad térmica, propiedades mecánicas, Polipropileno, ceniza volante.

DESCRIPCIÓN:

Mediante una matriz QFD se deduce que los materiales a usar como material base y aglutinante son el polipropileno y el yeso respectivamente. Además, se decide adicionar ceniza volante a la mezcla para analizar el efecto producido tanto en las propiedades térmicas, así como en las propiedades mecánicas. Las probetas tienen como componentes: yeso, agua, polipropileno y ceniza. Inicialmente se hicieron 4 tipos de probetas donde se mantuvo constante la cantidad de polipropileno (7 gramos) y se varió la masa de ceniza en 0%, 2.5%, 5% y 7.5% (porcentaje de peso del yeso) a las cuales se realizaron la prueba térmica para conocer la conductividad de dichas muestras, escogiendo las dos probetas que obtuvieran mejores resultados (0% y 2.5% de ceniza). Después de conocer las cantidades de ceniza que ofrecen la mejor conductividad, se realizan otros 4 tipos de probeta en las que se dejará constante las cantidades de ceniza mencionadas anteriormente y se variará la masa de polipropileno a la mitad y al doble con respecto a las primeras probetas (3,5 y 14 g de polipropileno) realizando nuevamente la prueba y escogiendo las dos muestras con mejor conductividad térmica. En general, las probetas 1,2,7 y 8 obtuvieron los mejores resultados. Luego, A las probetas ganadoras, se le realizan ensayos de compresión y tracción y se analizaron los resultados de todas las pruebas realizadas. Teniendo dos conclusiones: el aumento de polipropileno a la mezcla influye en la reducción del valor de la conductividad térmica y que a pesar de que el aumento de ceniza a la mezcla aumenta la conductividad del material, la adición de ceniza provee un incremento considerable en las propiedades mecánicas. Por lo tanto, se debe considerar este factor a la hora de decidir la mejor combinación de todas las probetas expuestas.

*Trabajo de grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD en ingeniería Química.

ABSTRACT

TITLE: THERMAL INSULATION MATERIAL DEVELOPMENT USING POLYPROPYLENE WASTE

AUTHOR: VALERIA TATIANA BUSTAMANTE ORTEGA, EDINSON FABIAN RIOS ADARME **

KEY WORDS: Thermal insulator, Thermal conductivity, mechanical properties, Polypropylene, fly ash.

DESCRIPTION:

Using a QFD diagram, it can be deduced that the materials to be used as a base and binder are polypropylene and plaster, respectively. Also, fly ash was added to the mixture to analyze its effect on the thermal properties, as well as in the mechanical properties. The components in the developed specimens were gypsum, water, polypropylene and fly ash. Initially, 4 types of specimens were made keeping the propylene proportion constant (7 grams) and the fly ash's mass was varied in different proportions 0%, 2.5%, 5% and 7.5% (percentage of weight of the gypsum), these ones underwent a thermal test to determine the thermal conductivity of each and choose the best results from it (0% and 2.5% ash). After knowing the proportions of fly ash that offer the best conductivity, another 4 types of specimens were made in which the fly ash proportion was left constant, and the polypropylene mass was varied by half and double in comparison to the first specimens (3.5 and 14 g of polypropylene) these ones underwent a new thermal test to choose the best thermal conductivity. Overall, samples 1,2,7 and 8 had the best properties and underwent compression and traction tests to proceed to the analysis of the results. The two main conclusions were that the increase of polypropylene in the mixture influences the reduction of the thermal conductivity value and at the same time the increase of fly ash to the mixture increases the conductivity of the material, but also provides a considerable increase in the mechanical properties. Therefore, all these factors must be considered when deciding which would be the best combination.

* Degree work

**Physics-Mechanics Faculty. Mechanical Engineer School. Director: Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD in Chemical Engineering

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante décadas, las diferentes industrias alrededor del mundo han aumentado su producción de plásticos de manera abismal, de acuerdo con la organización ambientalista Greenpeace, se han fabricado alrededor de 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción comenzara a darse en 1950, convirtiendo a este en uno de los principales problemas medioambientales de nuestro tiempo. En la actualidad, el mundo se encuentra superando una situación de pandemia que ha afectado al planeta de forma drástica en diferentes aspectos, el medioambiente no es la excepción, los niveles de desechos han aumentado y alcanzado uno de los puntos más críticos durante la historia.

El manejo de los diferentes desechos plásticos ha sido tema de discusión por muchos años y aunque se han desarrollado diferentes opciones amigables con el ambiente que incentiven al público a la disminución del uso de los plásticos e incluso al no uso de estos, su uso ha seguido en aumento debido a las diferentes ventajas que representa para la industria. Esto ha ocasionado que se aborde la problemática desde un punto de vista diferente, no solamente intentar brindar opciones que a futuro nos eviten el uso de los plásticos, sino que también se está trabajando en soluciones que nos permitan tratar con la contaminación que ya se ha generado y hacer del plástico un aliado.

Una alternativa ambiental, es darle una segunda vida útil a aquello que se conoce como desecho ambiental, este proceso es lo que en la actualidad llaman reciclaje, a pesar de las muchas ventajas que el reciclaje ha aportado a la sociedad, hay productos que hoy en día no pueden ser reciclados debido a su composición, dejando un aspecto más a tratar. Las soluciones que se han propuesto se están enfocando en encontrar

alternativas que permitan reciclar este tipo de materiales “no reciclables”, creando productos útiles para la sociedad.

Desechos orgánicos de diferentes cultivos agrícolas han sido implementados en la creación de papel, como una alternativa más ecológica a la tradicional tala de árboles, e incluso se ha encontrado en estos una alternativa para los combustibles, los llamados biocombustibles. Por otro lado, Comsa Corporación, una empresa española participante en el proyecto europeo INSUM-ECO ha decidido ir más allá y se ha centrado en uno de estos materiales “no reciclables” que mencionamos anteriormente, han logrado extraer la fibra de neumáticos y utilizarla en un panel acústico para una vivienda, y su siguiente objetivo es introducir este material en el sector de la construcción con el fin de incrementar su uso.

Desde la Universidad Industrial de Santander se propone un proyecto que permita transformar materiales “no reciclables” y a la vez altamente contaminantes, en una opción de material aislante.

La propuesta consiste en la creación de un material aislante a base de productos que no cuentan con un proceso de reciclaje establecido como lo son los envoltorios plásticos de un solo uso o las mascarillas desechables, estos productos representan desechos altamente contaminantes debido a la cantidad de desperdicios que genera su elevado consumo.

Por lo tanto, la Escuela de Ingeniería Mecánica participa en el desarrollo de un material aislante innovador y de bajo costo que permita a su vez el reciclaje de materiales considerados no reciclables, mejorando así los niveles actuales de contaminación en la región.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la generación de desechos es preocupante en el mundo. En el caso del plástico, por ejemplo, según estudios realizados por la ONU, para el año 2050 habrá más plástico que peces en los océanos. Datos como estos son alarmantes, ya que el reciclaje de este tipo de desechos es muy bajo, ocasionando así, que estos residuos terminen en rellenos sanitarios, incinerados o directamente contaminando suelos, ríos y ecosistemas.

En el caso específico del país, según el exprocurador general de la nación Fernando Carrillo en Colombia se utiliza un millón de toneladas de plástico por año, de las cuales solo se recicla el 7%. Ahora, otro caso relevante, es el de las mascarillas, a causa de la pandemia de COVID-19, estos elementos tuvieron un aumento en su uso provocando también un incremento de desechos de este tipo.

Este proyecto va orientado a mitigar esta preocupación y que el problema se vuelva una solución. Se desea hacer un aislante térmico a base de este material de desecho el cual pueda ser utilizado en lugares con climas extremos, logrando no solo un efecto de confort térmico si no también una idea de reutilización de residuos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer un material aislante compuesto a partir de residuos plásticos de un solo uso que brinde una alternativa sostenible a las opciones disponibles en el mercado, cumpliendo así con la misión de la Universidad Industrial de Santander de fortalecer la construcción, aplicación y divulgación del conocimiento para dar soluciones a diferentes problemáticas de la industria.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la conductividad térmica de probetas con diferentes concentraciones de material base, aglomerante y ceniza mediante la norma ASTM C177.
- Estimar la aplicabilidad del material en el sector de la construcción a través de ensayos de tensión y compresión mediante la norma ASTM C473-03 en las probetas con mejor conductividad térmica.
- Determinar la viabilidad de la implementación del material desarrollado en el sector de la construcción a nivel nacional mediante un estudio técnico-económico del proceso de fabricación de las probetas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 AISLANTE TÉRMICO

Se trata de los materiales que presentan una elevada resistencia térmica: es decir, que se oponen al flujo de calor. Un material térmico, por lo tanto, se erige como una pared entre distintos medios, impidiendo que pase el calor para igualar las temperaturas, como sucede de modo natural.

Figura 1. Aislante térmico



Fuente: <https://definicion.de/aislante-termico/>

4.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas).

La transferencia de calor puede ocurrir mediante tres procesos: conducción, convección y radiación o la combinación entre ellos.

- **Conducción:**

Proceso en el cual fluye calor de un cuerpo de alta temperatura a uno de baja temperatura a mediante un medio (Sólido, líquido o gaseoso) que este en contacto físico con otro cuerpo.

- **Convección:**

Proceso de transporte de energía por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla.

- **Radiación:**

Proceso en el cual fluye calor de un cuerpo de alta temperatura a uno de baja temperatura, que están separados por un espacio, que puede ser vacío.

Figura 2. Métodos de transferencia de calor.



Fuente: <https://concepto.de/conductividad-termica/#ixzz7S9CujOxf>

4.3 POLIPROPILENO

Es uno de los materiales plásticos más utilizados, junto con el tereftalato de polietileno. Sus usos abarcan desde textiles y envases hasta dispositivos médicos, material de laboratorio o componentes automovilísticos. El polipropileno, como su nombre indica, se obtiene a partir de la polimerización del propileno, un material que entra en la categoría de los termoplásticos.

Entre las principales ventajas del polipropileno o PP destacan las siguientes:

- ✓ Gran resistencia mecánica, tanto al impacto como a la fatiga
- ✓ Elevado punto de fusión (a alrededor de 160°C)
- ✓ Baja absorción de humedad, por lo que no se daña con el agua
- ✓ Resistencia química, tanto a sustancias ácidas como alcalinas
- ✓ Gran versatilidad, por lo que es compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento.
- ✓ Ligereza, ya que es uno de los plásticos con menor densidad
- ✓ Buena relación coste/beneficio
- ✓ Sirve como aislante eléctrico

Figura 3. Polipropileno.



Fuente: <https://gedelplasticos.com.br/wp-content/uploads/2017/03/pp-1600.jpg>

4.4 CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es una fibra corta compuesta principalmente de celulosa y sílice que contiene el grano, es un residuo el cual según (Ávila,2018) genera aproximadamente un 20% de la producción. Es decir, por cada tonelada de arroz se originan 200 kilos de cascarilla. Este desecho ha sido una problemática habitual debido a que su utilización como alimento para animales no es recomendada por su alto contenido de sílice, sumado a esto, de acuerdo con (Sierra,2009) la cascarilla de arroz se caracteriza por su lenta biodegradación lo cual ocasiona problemas ambientales y de salud en muchos casos a causa de las partículas en suspensión de este subproducto. Al incinerar la cascarilla, produce altas concentraciones de ceniza rica en sílice.

Las propiedades más relevantes que tiene la cascarilla de arroz es que se comporta como un material ignifugo y posee un coeficiente de conductividad bajo, característica importante para ser un componente de cualquier aislante térmico (Sierra,2009)

5. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Los aislantes térmicos son materiales que se caracterizan principalmente por su baja conductividad térmica, esto significa que tiene una mayor dificultad de transferir calor, a diferencia de otros materiales como los metales. Básicamente, un aislante térmico se compone de la unión de un material base y un aglomerante con algunos procesos para mejorar propiedades tanto físicas como químicas. Dentro de la gama de aislantes térmicos, se pueden encontrar diferentes tipos de material aislante como lana de vidrio, poliuretano termoestable, o poliestireno expandido, todas con propiedades térmicas excelentes. Sin embargo, tienen puntos débiles en diversos factores que incluyen riesgos ambientales, costos de adquisición altos y en ciertas personas, probables afecciones respiratorias y cutáneas debido al contacto constante con este tipo de aislantes.

Uno de los principales usos que se tienen para los aislantes térmicos es minimizar el consumo energético de diversos equipos utilizados para dar un confort térmico en cualquier espacio cerrado (ventiladores, aires acondicionados, calentadores, etc.). Por lo tanto, el material que va a ser utilizado para el nuevo aislante térmico debe brindar propiedades físicas y químicas similares a los aislantes que se encuentran en el mercado. Mejorando a su vez, los aspectos negativos que tienen los aislantes comunes.

Teniendo en cuenta las necesidades anteriores mencionadas, el primer paso a efectuar es escoger el material base y el aglomerante que se va a utilizar para la realización del nuevo aislante térmico. La selección de dichos elementos se basará en el desarrollo de la función calidad (QFD).

5.1 DESARROLLO DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)

La función calidad relaciona los requerimientos de consumidor o cliente con los requerimientos del diseñador. La finalidad del *QFD* es filtrar o seleccionar los requerimientos más importantes en cada uno de los materiales mediante una

ponderación dada por el estudiante en la tabla 1.

5.1.1 Desarrollo de la función calidad para el material base. Los requerimientos del consumidor son las cualidades que tendría en cuenta el cliente para comprar dicho producto. A su vez, los requerimientos del diseñador son las propiedades más relevantes para este material.

5.1.1.1 Requerimientos del consumidor. A continuación, se establece una lista de requerimiento básicos teniendo en cuenta el enfoque del proyecto, se encontrarán ordenados de la siguiente manera: el primero en la lista se considera el requerimiento más importante según los consumidores y tendrá la puntuación más alta, a su vez, el último requerimiento será el menos importante y tendrá la puntuación más baja. Debido a que se evaluarán las diferentes opciones tanto para aglutinante como para el material base, se encontrarán dos matrices QFD diferentes que corresponden a cada componente del que será el material final. En el siguiente listado, se puede observar los requerimientos más destacados por el consumidor a la hora de elegir un componente. Se dará una calificación de 5 puntos al primero en la lista, y así, disminuirá la calificación sucesivamente hasta llegar al menos destacado que tendrá una calificación de 1 punto.

- conductividad térmica
- baja densidad
- material no reciclable
- Accesibilidad del material

5.1.1.2 Requerimientos del diseñador. Los requerimientos del consumidor serán comparados con las especificaciones técnicas establecidas por los estudiantes que realizan el proyecto. A continuación, se evidencian los parámetros establecidos por los diseñadores.

- Conductividad térmica
- Densidad (baja densidad)
- Costo
- Accesibilidad del material (Material abundante en la región)
- Propiedades mecánicas del material (que propiedades mecánicas pueden aportar al producto final)
- Impacto ambiental

5.1.2 Desarrollo de la función calidad para el aglutinante. Los requerimientos del consumidor son las cualidades que tendría en cuenta el cliente para comprar dicho producto. A su vez, los requerimientos del diseñador son las propiedades más relevantes para este material.

5.1.2.1 Requerimientos del consumidor. Se establece una lista de requerimientos básicos de los interesados en el desarrollo del producto, ordenados de la siguiente manera: el primero en la lista se considera el requerimiento más importante según el cliente y el último el menos importante, se le dará una puntuación de 6 puntos al más destacado y se disminuirá dicho puntaje sucesivamente hasta llegar al menos destacado que tendrá el valor de un punto. Los requerimientos más importantes para los consumidores son los siguientes:

- Calidad
- Económico
- Disponibilidad
- Fácil manejo
- Peso
- Olor

5.1.2.2 Requerimiento del diseñador. Los requerimientos del consumidor serán comparados con las especificaciones técnicas establecidas por los encargados del proyecto para así realizar una matriz de calidad, estos parámetros son:

- Conductividad térmica
- Densidad
- Rapidez de fragüe
- Trabajabilidad
- Adherencia
- Impacto ambiental
- Riesgo a la salud

5.2 MATRIZ DE CALIDAD

Para seleccionar los parámetros más importantes para tener en cuenta en el diseño de los respectivos componentes, se evaluará la matriz con los siguientes criterios.

Tabla 1. Valores de la relación entre requerimientos Consumidor-Diseñador

Criterio de relación	Puntaje
Nula	0
Baja	1
Media	3
Alta	5

5.2.1 Matriz de calidad para el material base

Tabla 2. Matriz de calidad para el material base.

		Conductividad térmica		Densidad		Costo		Disponibilidad del material		Propiedades mecánicas		Impacto ambiental	
5	Conductividad térmica	5	25	5	25	3	15	3	15	3	15	0	0
4	Baja densidad	5	20	5	20	1	4	1	4	5	20	0	0
4	Material no reciclable	1	4	1	4	3	12	3	12	1	4	5	20
3	Accesibilidad del material	0	0	0	0	5	15	5	15	0	0	1	3
Total		49		49		46		46		39		23	

Tabla 3. Resultados del QFD para el material base

Ítem	Parámetro	Puntos	%
1	Conductividad térmica	49	19.44
2	Densidad	49	19.44
3	Costo	46	18.25
4	Disponibilidad	46	18.25
5	Propiedades mecánicas	39	15.48
6	Impacto ambiental	23	9.13

En la tabla 3 se pueden observar los resultados encontrados mediante la matriz QFD, aquí se evidencian los parámetros de diseño más destacados para la selección del componente base, que posteriormente serán utilizados para la elección de la alternativa adecuada para el proyecto.

5.2.2 Matriz de calidad para el aglutinante

Tabla 4. Matriz de calidad para el aglutinante

QFD		Conductividad		Densidad		Rapidez de fragüe		Trabajabilidad		Adherencia		Impacto ambiental		Riesgo de salud	
6	Calidad	3	18	3	18	5	30	5	30	5	30	1	6	1	6
5	Económico	3	15	3	15	3	15	5	25	3	15	3	15	5	25
4	Disponibilidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	1	4
3	Fácil manejo	0	0	1	1	3	9	5	15	3	9	0	0	1	3
2	Peso	1	2	5	10	1	2	1	2	1	2	0	0	0	0
1	Olor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	1
Total			35		44		56		72		56		36		39

Tabla 5. Resultados del QFD para el aglutinante

Ítem	Parámetro	Puntos	%
1	Trabajabilidad	72	21.3
2	Adherencia	56	16.57
3	Rapidez de fragüe	56	16.57
4	Densidad	44	13.02
5	Toxicidad	39	11.54

En la tabla 5, se pueden observar los resultados encontrados mediante la matriz QFD, aquí se evidencian los parámetros de diseño más destacados para tener en cuenta para la selección del aglutinante a emplear en el proyecto.

5.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Se procede a dar 4 alternativas para el material base y el aglomerante que serán evaluadas con los resultados finales de la función calidad QFD

5.3.1 Planteamiento de alternativas para el material base. Las diferentes opciones de material base a considerar están dadas en la tabla 6.

Tabla 6. Alternativas de materiales base

Alternativa	Descripción
1	Tapabocas
2	Guantes de látex
3	Rastrojo de pina
4	Bolsas de polipropileno

5.3.2 Planteamiento de alternativas para el aglutinante. Las diferentes opciones de aglutinante para tener en cuenta están depositadas en la tabla 7.

Tabla 7. Alternativas para aglutinante

Alternativa	Descripción
1	Yeso
2	Cal
3	Cemento
4	Pegamento

5.4 EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Para la asignación de una calificación de las alternativas, se va a ponderar de la siguiente manera la importancia de los parámetros seleccionados anteriormente con respecto a las alternativas presentadas, los valores de calificación se encuentran ubicados en la tabla 8 en la cual se da una pequeña descripción u observación de lo que significa cada numeración.

Tabla 8. Ponderación de los parámetros seleccionados

Puntuación	Descripción
5	Muy alto
4	Alto
3	Medio
2	Bajo
1	Muy bajo

5.4.1 Matriz de evaluación para el material base. En la tabla 9, se encuentra la evaluación de las alternativas del material base con respecto a los resultados del *QFD*. Luego, en la tabla 10, se detalla la alternativa ganadora.

Tabla 9. Matriz de evaluación para el material base

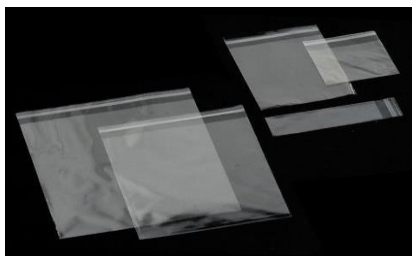
			Alternativas			
ítem	Parámetro	%	Tapabocas	Guantes de látex	Rastrojo de pina	Bolsas de polipropileno
1	Conductividad térmica	19.44	3	1	5	3
2	Densidad	19.44	5	4	3	5
3	Costo	18.25	3	3	5	5
4	Disponibilidad	18.25	5	5	4	5
5	Propiedades mecánicas	15.48	3	2	4	3
6	Impacto ambiental	9.13	5	4	3	5

Tabla 10. Resultados de la matriz de evaluación para el material base

	Tapabocas	Guantes de látex	Rastrojo de pino	Bolsas de polipropileno
	0.583	0.194	0.972	0.583
	0.972	0.778	0.583	0.972
	0.548	0.548	0.913	0.913
	0.913	0.913	0.730	0.913
	0.464	0.310	0.619	0.464
	0.456	0.365	0.274	0.456
Resultado	3.937	3.107	4.091	4.302

5.4.1.1 Descripción de la alternativa ganadora. El polipropileno es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Las bolsas de polipropileno son empaques más ligeros con una menor densidad que el polietileno. A pesar de ello presenta una alta resistencia a los ácidos, solventes y electrolitos. En la figura 4, se puede observar una presentación usual del polipropileno.

Figura 4. Bolsas de polipropileno



Fuente. https://www.ibzstore.com/?category_id=2511675

5.4.2 Matriz de evaluación para el aglutinante. En la tabla 11, se encuentra la evaluación de las alternativas del aglomerante con respecto a los resultados del QFD. Luego, en la tabla 12, se detalla la alternativa ganadora.

Tabla 11. Matriz de evaluación para el aglutinante

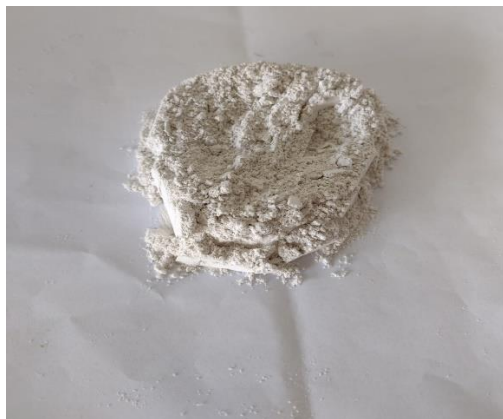
Requerimiento		%	Alternativas			
			Yeso	Cal	Cemento	Colbon
1	Trabajabilidad	21.3	3	4	3	3
2	Adherencia	16.57	3	4	2	4
3	Rapidez de fragüe	16.57	4	2	3	3
4	Densidad	13.02	3	2	4	4
5	Toxicidad	11.54	4	2	2	2

Tabla 12. Resultados de la matriz de evaluación para el material base

	Yeso	Cal	Cemento	Colbon
	0.6489	0.8652	0.6489	0.6489
	0.4971	0.6628	0.3314	0.6628
	0.6628	0.3314	0.4971	0.4971
	0.3906	0.2604	0.5208	0.5208
	0.4616	0.2308	0.2308	0.2308
Resultado	2.661	2.3506	2.229	2.5604

5.4.2.1 Descripción de la alternativa ganadora. El yeso se obtiene a través de la deshidratación parcial o total del aljez (piedra de yeso). Entre sus principales características se encuentran que es un material barato, tiene una alta velocidad de fragüe, posee una gran adherencia, es tenaz y blando. Su principal falencia es que es un material higroscópico, por lo cual absorbe mucha humedad. A consecuencia de ello, su uso para exteriores es poco recomendable. En la figura 5, se muestra una muestra de yeso en polvo utilizado en el sector de la construcción para diversos trabajos.

Figura 5. Yeso



6. GESTIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Para tener una mayor organización en los tiempos del proyecto de grado, se decide clasificar las diferentes etapas por fases, dichas fases tendrán a su vez subtareas en las cuales se especifica lo que se va a realizar en determinada etapa

6.1 IDENTIFICACION DE TAREAS Y SUBTAREAS

6.1.1 Fase de investigación

- Identificación de las necesidades
- Recopilación de bibliografía
- Planteamiento del problema
- Planteamiento de objetivos
- Justificación del problema
- Desarrollo del cronograma de actividades

Tiempo requerido: 4 semanas

6.1.2 Fase de Estudio

- Análisis de la información recopilada
- Requerimientos consumidor diseñador
- Lluvia de ideas
- Selección de alternativa ganadora

- Elaboración del presupuesto del proyecto
- Elaboración del plan de trabajo de grado

Tiempo requerido: 8 semanas

6.1.3 Fase de pruebas y verificación

- Preparación y molienda del material base
- Elaboración de las probetas
- Pruebas fisicoquímicas
- Análisis de resultados
- Conclusiones

Tiempo requerido: 8 semanas

6.1.4 Fase de documentación

- Documentación registrada y realización del trabajo de grado (se realiza durante todo el tiempo en el desarrollo del trabajo de grado)

Tiempo requerido: 20 semanas

7. METODOLOGÍA

7.1 OBTENCIÓN DEL POLIPROPILENO

El polipropileno con el que se van a realizar las probetas fue obtenido a través de bolsas de snacks, específicamente de papas fritas. Se decidió limitar la recolección de bolsas a una misma marca y mismo tipo de botana para mantener fija la proporción de polipropileno de un mismo fabricante. Después de la recolección, se procede a desplegar las bolsas utilizando unas tijeras y cortando los bordes de esta, con lo que se tendría una laminas como las que se ven en la figura 6. Estas bolsas después del consumo quedan con restos de comida y a su vez con una textura aceitosa debido al alto contenido de ácidos grasos saturados que poseen las papas fritas. Para su limpieza, se introdujo las láminas en una solución de agua-bicarbonato de sodio-vinagre y se dejó allí durante una hora para luego dejar secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

Figura 6. Láminas de polipropileno



7.1.1 Corte de las láminas de polipropileno. Inicialmente se tenía la idea de picar el material de manera mecánica en el molino de martillos que se ve en la figura 7 y que se encuentra ubicado en el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander por lo que se cortó el material en listones de dos centímetros de ancho como se puede observar en la figura 8 para facilitar el manejo en la entrada de alimentación de la maquina ; sin embargo, debido a las características de las láminas de polipropileno esto no fue posible.

Figura 7. Molino de martillos del laboratorio de combustión



Figura 8. Listones de polipropileno



Como alternativa, al no encontrar una máquina que pudiera realizar dicho trabajo, se dispuso a hacer el proceso de picado de manera manual obteniendo como resultado el material que se ve en la figura 9.

Figura 9. Polipropileno picado manualmente



7.1.2 Tamaño del polipropileno después del proceso de picado. Para determinar los tamaños a los que fueron cortadas las láminas de polipropileno, se decide hacer un análisis de granulometría en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la Universidad Industrial de Santander mediante el juego de mallas tamices de acero inoxidable que se puede contemplar en la figura 10, el cual tiene tamices en un rango de apertura desde 50 mm (milímetros) hasta 75 μm (micrómetros). Se deposita el material picado en el juego de mallas que previamente debe estar organizado de mayor a menor número de malla (apertura del tamiz) y se procede a llevar a un agitador vibratorio de tamices que se ve en la figura 11, localizado en el mismo edificio. Se sella mediante una tapa guía en la parte superior del juego de mallas y se ajusta mediante unos tornillos mariposa, esto con el propósito de fijar de mejor manera los tamices.

Figura 10. Juego de mallas tamices



Figura 11. Agitador vibratorio de tamices



Se programa para que el agitador vibre durante dos minutos, luego, se desmonta el juego de mallas desajustando los tornillos mariposa y quitando la tapa guía para desmontar tamiz por tamiz y pesar el contenido retenido en cada una de estas. Los resultados de este procedimiento están depositados en la tabla 13.

Tabla 13. Masa retenida en cada tamiz

Denominación de la malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)
2"	50	0
1 1/2 "	37.5	0
1 "	25	0
3/4"	19	0
1/2 "	12.5	0
3/8 "	9.5	0
# 4	4.75	35.1
# 10	2	15.5
# 20	0.850	1.1
# 40	0.425	0
# 60	0.25	0
# 100	0.15	0
# 200	0.075	0

Para conocer el porcentaje de masa retenida en cada tamiz se utiliza la ecuación (1)

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{masa retenida en la malla}}{\text{masa total del material}} * 100 \quad (1)$$

Obteniendo así, los valores que se pueden ver en la tabla 14.

Tabla 14. Porcentaje retenido en cada malla

Denominación de la malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido
2"	50	0	0.00
1 1/2 "	37,5	0	0.00
1 "	25	0	0.00
3/4"	19	0	0.00
1/2 "	12,5	0	0.00
3/8 "	9,5	0	0.00
# 4	4,75	35.1	67.89
# 10	2	15.5	29.98
# 20	0,850	1.1	2.13
# 40	0,425	0	0.00
# 60	0,25	0	0.00
# 100	0,15	0	0.00
# 200	0,075	0	0.00
Total		51.7	

Por lo tanto, según los datos de la anterior tabla, aproximadamente el 98% del material picado que se va a utilizar en las probetas tiene un tamaño entre 2 a 4,75 milímetros.

7.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS MOLDES

Una vez se ha realizado el tamizado del material y se ha determinado el tamaño de partícula con el que se trabajará, se continua con el proceso de construcción de los moldes para realizar las probetas. Se debe tener en cuenta que para estas probetas se utilizan dos tipos de molde, uno para la prueba térmica (removible) y otro para las pruebas mecánicas (desechable).

El molde que se pueden ver en la Figura 13, se construye para obtener probetas cuadradas que serán utilizadas en la prueba que permite determinar la conductividad térmica del material. A su vez, las probetas cilíndricas se fabrican con el fin de realizar las pruebas mecánicas que se llevaran a cabo en el laboratorio.

Figura 12. Molde para probetas cuadradas



El molde para las probetas cuadradas está construido en madera y consta de una placa base removible que esta ajustada por medio de dos tornillos al marco que dará forma a la probeta, este último tiene unas medidas de 15 x 15 x 1.27 cm de profundidad. Una vez se han integrado todos los componentes de la probeta, esta se vierte en el molde y se deja secar al aire libre por 7 días, una vez la probeta se ha secado se procede a desajustar los tornillos y liberar la probeta del molde.

En el caso de las probetas cilíndricas, se cuenta con una base de madera que se puede visualizar en la Figura 13, en la cual se introduce un molde cilíndrico que es el que dará la forma a la probeta, dicho molde como se ve en la figura 14, es un tubo fabricado en cloruro de polivinilo, mejor conocido como PVC. Se introduce el molde cilíndrico en el agujero de la base de madera quedando vertical y fijo. Luego, se vierte el material en el molde, quedando el contenido dentro del cilindro y obteniendo así, la forma deseada de la probeta. Una vez las probetas se han secado al aire, se remueve el molde cilíndrico de la base de madera y se procede a destruir el tubo mediante el uso de una segueta con el fin de liberar la probeta

Figura 13. Base para molde de probetas cilíndricas



Figura 14. Molde de probeta cilíndrica



7.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA

La mezcla contendrá 4 elementos: Yeso, agua, ceniza y polipropileno. Haciendo pruebas preliminares se decidió utilizar una relación de agua-yeso de 0,7 (ecuación 2) debido principalmente al mayor tiempo de fraguado que proporciona esta relación permitiendo realizar la adición de los componentes sin riesgo alguno de endurecerse antes de depositar la mezcla en los moldes.

$$R = \frac{\text{masa de agua (g)}}{\text{masa de yeso (g)}} \quad (2)$$

El artículo “Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento” concluye que un porcentaje de ceniza mayor al 10% de la masa del cemento disminuye la propiedad de dicho material. En contraparte, afirma que un porcentaje optimo entre 3% y 6% ocasionaría un aumento en la resistencia del concreto. Basados en la información suministrada por este artículo, se decide ampliar el rango de porcentajes para la mezcla actual y variar los porcentajes de ceniza en la mezcla de la siguiente manera: 0%,2.5%,5% y 7.5%.

7.3.1 Dosificación de las probetas. La manera en cómo será distribuido cada componente perteneciente a la mezcla va a estar depositado en la tabla 15.

Tabla 15. Dosificación de las primeras 4 tipos de probetas

Probeta	Componente	Masa (g)
1 (0%)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	0
	Polipropileno	7
2 (2,5%)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	12,5
	Polipropileno	7
3 (5%)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	25
	Polipropileno	7
4 (7,5%)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	37,5
	Polipropileno	7

Como se puede ver en la tabla anterior, el componente que se varia es la ceniza. Por otra parte, la masa del polipropileno es constante para los cuatro tipos de muestras (7 gramos). Cabe aclarar que, aunque su masa en comparación con los

otros componentes de la mezcla es pequeña, su baja densidad le brinda un alto volumen ocasionando que esta cantidad sea aceptable para las muestras.

7.4 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Antes de empezar con la fabricación de las probetas se recomienda por precaución utilizar elementos de seguridad tales como tapabocas, guantes y gafas para evitar el contacto con componentes como el yeso o la ceniza que podrían causar algún tipo de irritación en la garganta y en las vías respiratorias o algún tipo de excoriación cutánea. En la figura 15, se puede observar los elementos con los que se cuentan a la hora de hacer las probetas.

Figura 15. Elementos de seguridad



Después, se procede a pesar cada componente asumiendo las especificaciones dadas anteriormente en la tabla 15 utilizando la balanza de precisión que se ubica en el laboratorio de combustión, la cual se puede apreciar en la figura 16. En la figura 17, se aprecia los componentes de una probeta previamente pesada que se encuentra clasificada mediante diversos vasos de plástico.

Figura 16. Balanza de precisión

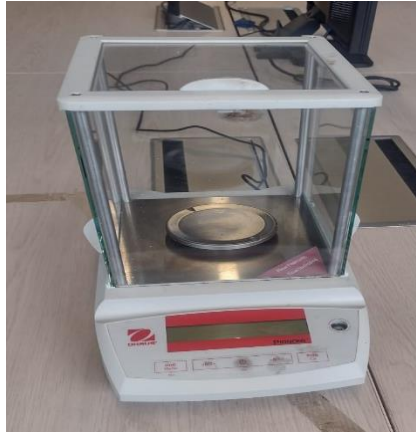


Figura 17. Componentes listos para la preparación de una probeta



Luego del pesaje, continua el proceso de mezclado de los componentes. El procedimiento usado es el siguiente:

- a) En un recipiente de tamaño mediano totalmente limpio se deposita el agua. Luego, se empieza a espolvorear el yeso y se deja reposar durante 1 a 2 minutos para permitir una humectación adecuada.
- b) Después de pasado este tiempo, se empieza a batir con un mezclador previamente limpio hasta conseguir una pasta homogénea, evitando de cualquier forma algún tipo de grumo.
- c) Se empieza a agregar el polipropileno en pequeñas cantidades y se sigue batiendo para que el material se acople a la mezcla

d) Por último, se deposita la ceniza de manera lenta pero constante hasta lograr que toda la mezcla sea uniforme

En la figura 18, se puede evidenciar la transformación de la mezcla durante las diferentes etapas.

Figura 18. Proceso de mezclado



Cuando se obtiene la mezcla homogénea compuesta por los 4 elementos mencionados, se lleva este material a los moldes y se vierte en ellos. Cabe resaltar que, dichos moldes han sido impregnados con pequeñas cantidades de aceite quemado para facilitar el procedimiento del desmoldeo de las probetas. Adicionalmente, como se puede apreciar en la figura 19, se decidió añadir papel vinipel que al estar acompañado del aceite crearán una capa protectora para evitar cualquier tipo de problema a la hora de sacar la probeta del molde.

Figura 19. Preparación de los moldes



La manera sugerida de verter el contenido en el molde es empezar por las esquinas y los lados y terminar de depositar el material en el centro esto con el fin de reducir las posibilidades que queden cámaras de aire en la probeta. Por último, con la ayuda

de un palustre se quita el exceso de mezcla y se aplanar de la mejor manera posible para obtener un mejor acabado. En la figura 20, se puede ver una probeta que se dejará secar a temperatura ambiente durante una semana.

Figura 20. Probeta secando en molde



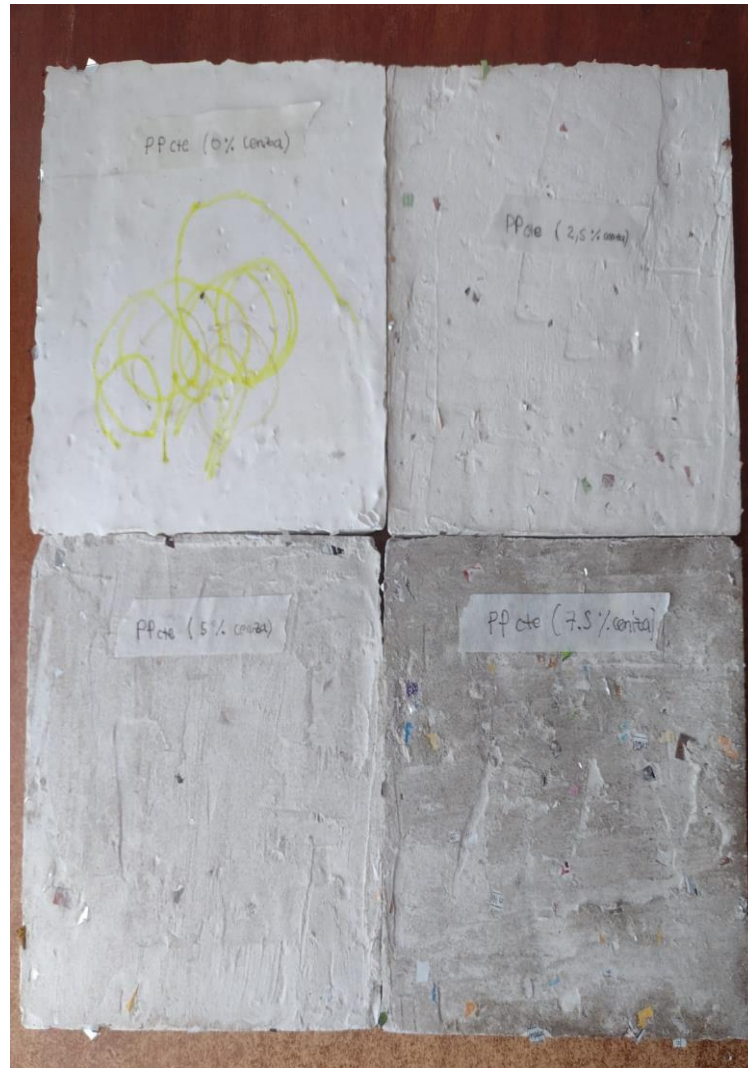
Para desmontar la probeta se requiere de un destornillador tipo estrella y desajustar los dos tornillos que une el marco a la base del molde. Con mucho cuidado, haciendo leve presión por las esquinas y los lados, se puede sentir el momento en el que el material empieza a ceder con respecto al marco. Se debe tener precaución para que la probeta no caiga bruscamente y pueda sufrir algún tipo de percance que afecte sus propiedades. En la figura 21, se puede observar la secuencia del proceso de desmoldeo.

Figura 21. Proceso de desmoldeo



Los procesos de mezclado y desmoldeo se repite para todos los tipos de muestras a realizar, obteniendo probetas de la forma que se puede visualizar en la figura 22.

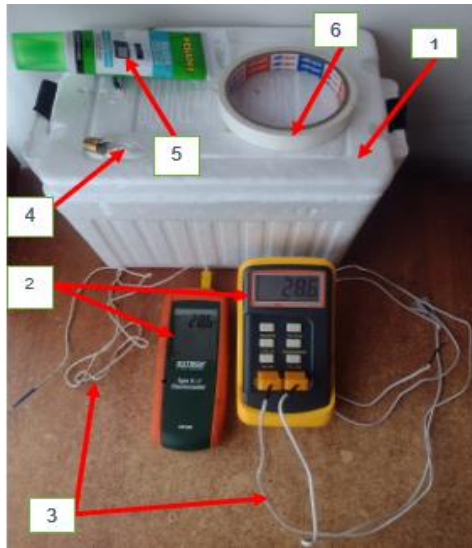
Figura 22. Probetas con proporciones diferentes de ceniza



7.5 PRUEBA TERMICA

Despues de tener las probetas desmoldadas, se procede a hacer pruebas para poder determinar la conductividad termica de cada una de las probetas y asi seleccionar las dos que presenten mejores resultados. Para realizar esta prueba se necesitó los elementos que se pueden ver en la figura 23.

Figura 23. Elementos necesarios para la prueba térmica.



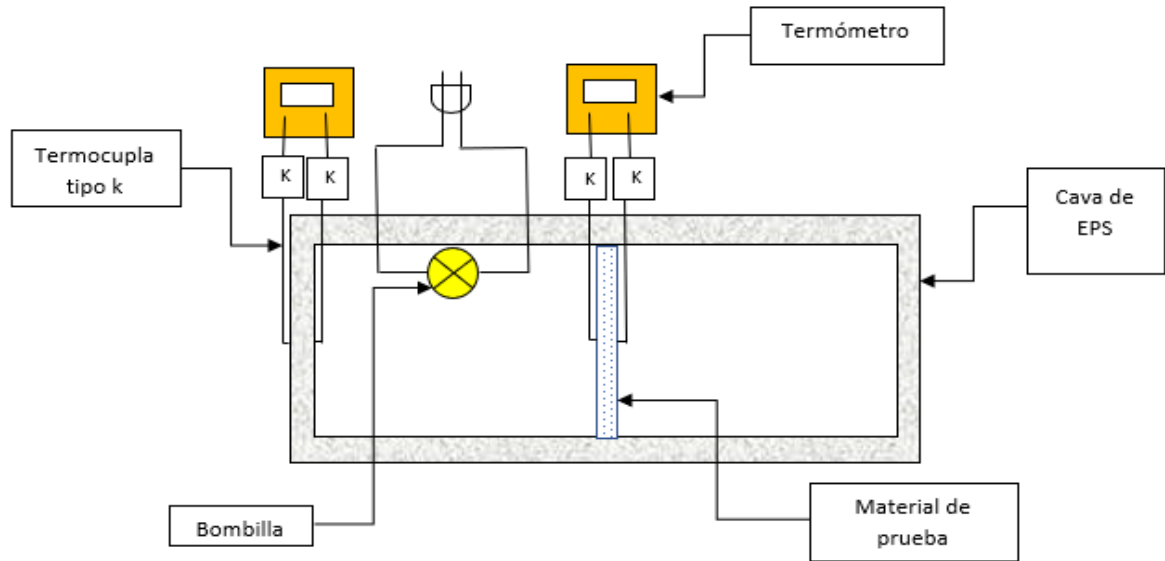
La imagen anterior se compone de:

1. Cava de EPS
2. Termometro industrial
3. Termocuplas tipo K
4. Bombilla de 12 Watts
5. Sellador de silicona
6. Cinta adhesiva protectora

La prueba consiste en introducir una de las muestras realizadas dentro de la cava de EPS. Por una de las caras, dicha muestra recibirá una parte del calor suministrado por la bombilla; para saber la diferencia de temperatura entre la cara caliente y la fria se utilizan dos termocuplas tipo k ubicadas a cada lado de las caras. A su vez, para medir las perdidas de calor que existan mediante las paredes de la cava se medirá tambien el cambio de temperatura que hay con de la cara expuesto

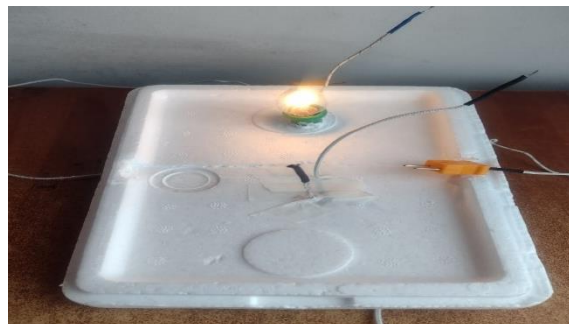
al calor de la bombilla con respecto a la cara exterior de la cava. Una representación mas clara de la prueba se puede visualizar en la figura 24.

Figura 24. Representación de la prueba térmica.



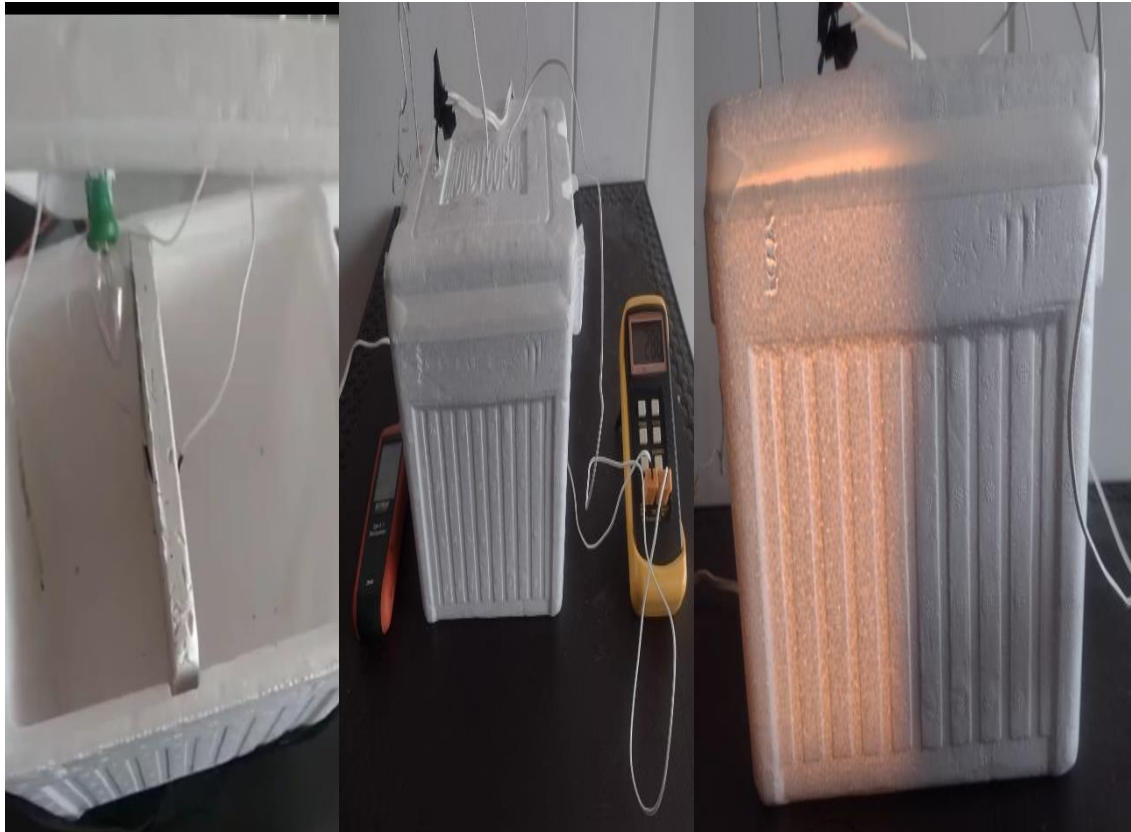
Se hacen las perforaciones por la cara superior para instalar la bombilla dentro de la cámara interior así como para introducir los sensores de temperatura (termocuplas). Se agrega sellador de silicona y posteriormente cinta adhesiva protectora para una mayor fijación de los elementos y evitar algún tipo de pérdida de calor a través de los agujeros realizados. En la figura 25, se puede observar las perforaciones mencionadas.

Figura 25. Cara superior de la cava con la bombilla y termocuplas



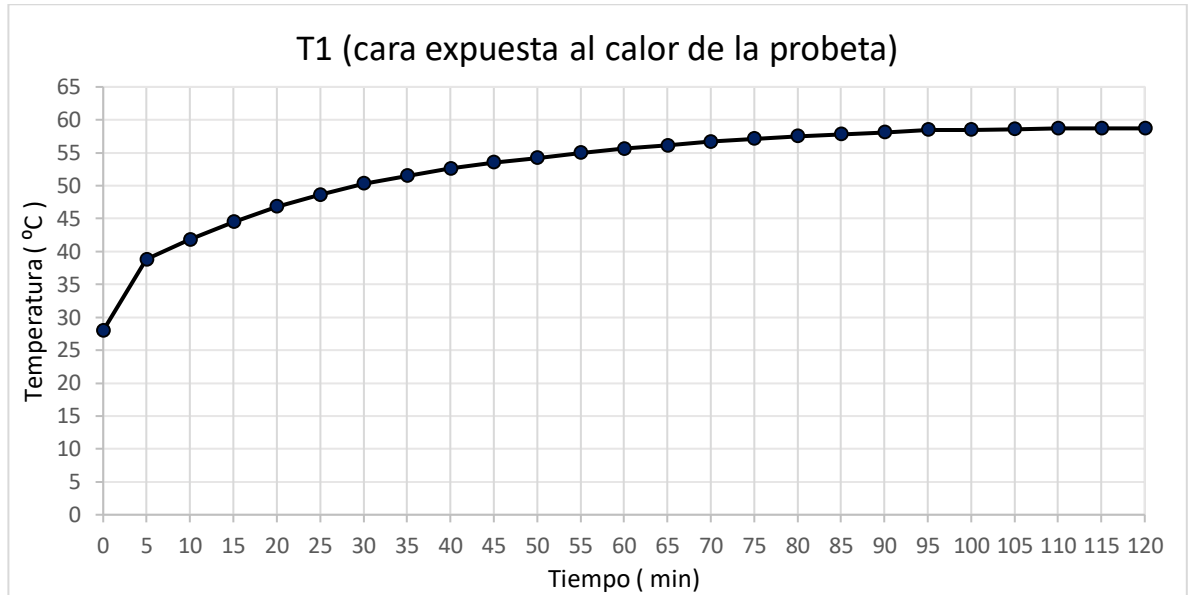
Se coloca la probeta y se fija con sellador de silicona y cinta los lados que esten en contacto con la cava, se aseguran las termocuplas a las caras de la probeta y a las paredes de la cava y se encienden los termómetros. Por ultimo, se coloca la tapa superior y se refuerza con silicona y cinta. Despues de realizado esto, se conecta la bombilla a un enchufe de 110 voltios y se empieza la prueba. En la figura 26, se muestra la secuencia de la preparacion de la prueba.

Figura 26. preparación de la prueba térmica



Se hace toma de datos (temperaturas de la cara de la probeta y paredes) cada 5 minutos y se analiza el cambio en el comportamiento de las temperaturas. Cuando el cambio sea muy pequeño o nulo durante este intervalo de tiempo, se puede considerar que el sistema se estabilizó. Como ejemplo de estabilización, en la figura 27 se puede concluir que apartir de los 95 minutos el cambio de la temperatura T1 se mantuvo constante, indicando estabilizacion del sistema.

Figura 27. Estabilización del sistema



Los resultados obtenidos en la pruebas realizadas son los depositados en la tabla 16 , en el anexo A se encuentran todos los datos depositados en el tiempo que duró la prueba.

Tabla 16. Resumen de los resultados de la prueba

Probeta	% ceniza	$\Delta T_{probeta}$ [°C]	ΔT_{pared} [°C]
1	0	17,5	25
2	2,5	16	
3	5	14,5	
4	7,5	9,5	

7.5.1 Determinación de la conductividad térmica. El calor se transfiere a la probeta y las paredes de la cava mediante conducción. La ley de Fourier concluye que el flujo de calor por conducción es proporcional a la diferencia de temperaturas y al área de transferencia e inversamente proporcional al espesor; por otro lado, la conductividad termica es una constante de proporcionalidad. La ley de Fourier está expresado en la ecuación 3:

$$\dot{Q}_{cond} = KA \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (3)$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} = Calor transferido por conducción [W]

K = Conductividad termica del material $[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}]$

A = Área de transferencia [m^2]

$T_1 - T_2$ = Diferencia de temperatura [$^\circ C$]

L = espesor del material [m]

El calor fluye desde una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura. Se acuerda para esta tesis de grado que al hablar de la temperatura uno (T_1) se estará refiriendo a la temperatura mayor y la temperatura 2 (T_2) será la temperatura menor. Además, la diferencia de dichas temperatura será denominada como delta (Δ). Por lo tanto, la ecuación 4 será interpretada así:

$$\Delta T = T_1 - T_2 ; \Delta T \geq 0 \quad (4)$$

Haciendo un balance de energía a la cámara por la cual entra la fuente de energía, se puede decir que el calor suministrado va a fluir a través de la cara de la probeta y las cinco paredes de la cava. La ecuación 5 describe ese balance de la siguiente forma.

$$\dot{Q}_{bom} = \dot{Q}_{prob} + \dot{Q}_{par} \quad (5)$$

Donde:

\dot{Q}_{bom} = Potencia calórica suministrada por la bombilla [W]

\dot{Q}_{prob} = Calor que fluye a través de la probeta [W]

\dot{Q}_{par} = Calor que fluye por las paredes [W]

Despejando el calor que pasa por la probeta se obtiene la ecuación 6

$$\dot{Q}_{prob} = \dot{Q}_{bom} - \dot{Q}_{par} \quad (6)$$

El calor que pasa puede ser expresado en la ecuacion 7 como la suma de calores que se pierden por cada una de las paredes superior, inferior, laterales y frontal

$$\dot{Q}_{par} = 2\dot{Q}_{sup} + 2\dot{Q}_{lat} + \dot{Q}_{front} \quad (7)$$

En la tabla 17 y 18 se depositarán los datos necesarios para conocer \dot{Q}_{bom} y \dot{Q}_{par}

Tabla 17. Datos previamente conocidos

Datos	
\dot{Q}_{bom}	12 W
K_{icopor}	0,033 W/m °C
ΔT_{pared}	25 °C
L	0,0125 m

Tabla 18. Datos dimensionales de la cámara (interior de la cava)

Dimensiones (m)		Áreas (m ²)	
Altura	0,15	Sup-inf	0,01875
Ancho	0,15	Laterales	0,01875
Profundidad	0,125	Frontal	0,0225

Con los datos suministrados en las dos tablas anteriores, se puede hallar el calor que se pierde a través de las paredes de la cava mediante la ecuación (3) . Los Valores de estos calores seran puestos en la tabla 19.

Tabla 19. Calor que se pierde por las paredes la cava

$\dot{Q}_{par} [W]$	
Sup-inf	2,475
Laterales	2,475
Frontal	1,485
Total	6,435

Reemplazando los valores encontrados en la ecuacion 6:

$$\dot{Q}_{prob} = 12 - 6,435$$

$$\dot{Q}_{prob} = 5,565 [W]$$

Conociendo el calor que fluye a través de la probeta, se procede a determinar la conductiva termica para cada una de las probetas expuesta a la prueba.

Entonces, despejando la conductividad termica de la ecuación 3, se obtiene:

$$K_{prob} = \frac{\dot{Q}_{prob} L_{prob}}{A_{prob} (T_1 - T_2)} \quad (8)$$

El calor que fluye por la probeta se halló anteriormente y la diferencia de temperatura de cada una de las probeta esta registrado en la tabla 16. En la tabla 20, se depositaran los datos faltantes para poder determinar la conductividad termica de cada probeta.

Tabla 20. Datos dimensionales de la probeta

Datos de la probeta	
Ancho	0,15 m
Alto	0,15 m
Area (A)	0,0225 m ²
Espesor (L)	0,0125 m

Utilizando la ecuación 8, se pueden observar las conductividades termicas para cada una de las probetas que serán colocadas en la tabla 21.

Tabla 21. Conductividades térmicas de diferentes probetas (ceniza variable)

Probeta	% ceniza	$\Delta T_{probeta} [^{\circ}C]$	K [$\frac{W}{m^{\circ}C}$]
1	0	17,5	0,177
2	2,5	16	0,193
3	5	14,5	0,213
4	7,5	9,5	0,325

Ahora, se va a variar la cantidad de polipropileno en la mezcla. Para esto, se parte de la base de cuáles fueron las dos probetas que dieron los mejores resultados respecto a la conductividad térmica. Como se puede observar en la tabla 21, las probetas que ofrecen una menor conductividad térmica son las que contiene 0 y 2,5% de ceniza respectivamente. Se harán 4 tipos de proporciones diferentes, en la tabla 22 se visualiza la composición de cada probeta.

Tabla 22. Dosificación de las probetas variando la cantidad de polipropileno

Muestra	Componente	Masa (g)
M5 (3,5 g PP)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	0
	Polipropileno	3,5
M6 (3,5 g PP)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	12,5
	Polipropileno	3,5
M7 (14 g PP)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	0
	Polipropileno	14
M8 (14 g PP)	Yeso	500
	Agua	350
	Ceniza	12,5
	Polipropileno	14

Se decide para las muestras 5 y 6 disminuir a la mitad y para las muestras 7 y 8 aumentar al doble la masa del polipropileno con respecto a la cantidad utilizada en las probetas iniciales que se puede ver en la tabla 15. Al variar ahora el polipropileno, se quiere determinar si hay un cambio favorable o desfavorable en relación con los porcentajes de ceniza que dieron una menor conductividad térmica. Realizando nuevamente la prueba térmica, ahora para este tipo de probetas, se obtienen los datos que se observan en la tabla 23.

Tabla 23. Resumen de los resultados de la segunda prueba

Probeta	Cantidad de PP (g)	% ceniza	$\Delta T_{probeta}$ [°C]	ΔT_{pared} [°C]
5	3,5	0	13,8	25
6	3,5	2,5	12,1	
7	14	0	19,5	
8	14	2,5	18,2	

Las pruebas térmicas dejan como resultado lo que se ve resumido en la tabla 24. Las cuatro probetas que ofrecen una menor conductividad térmica con sus respectivas proporciones son las siguientes.

Tabla 24. Resumen de los mejores resultados de las pruebas térmicas

Probeta	Cantidad de PP (g)	% ceniza	$\Delta T_{probeta}$ [°C]	K [$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$]
1	7	0	17,5	0,177
2	7	2,5	16	0,193
7	14	0	19,5	0,159
8	14	2,5	18,2	0,170

Ahora, a estos cuatro tipos de probetas se le harán las pruebas mecánicas de compresión y tracción para determinar los esfuerzos correspondientes para cada una de las proporciones observadas en la tabla 24.

7.6 PRUEBAS MECÁNICAS

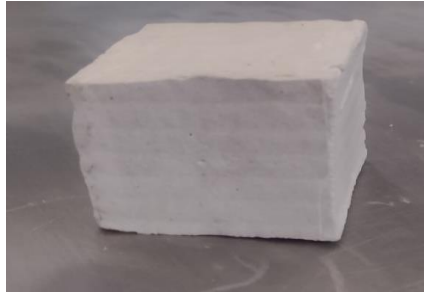
Las pruebas tanto de compresión como de tracción se realizaron en el laboratorio de ensayos mecánicos ubicado en el salón 007 de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander. Se utilizó la maquina universal MTS modelo 370.02 que se puede apreciar en la figura 28.

Figura 28. Máquina universal MTS



7.6.1 Prueba de compresión. La norma ASTM C 472 infiere la elaboración de cubos de yeso de dos pulgadas (50,8 mm) en moldes de máximo tres compartimientos lo suficientemente rígidos para que evitar el derramamiento de la mezcla. En la figura 29, se visualiza la representación final de una de las doce probetas que serán expuestas a la prueba de compresión.

Figura 29. Probeta cubica realizada para la prueba de compresión



Después de centrar la probeta entre la base de la máquina y el pistón, como se muestra en la figura 30, se procede a seleccionar la velocidad de descenso del embolo. La prueba termina cuando la probeta falla. Obteniendo así, la fuerza máxima aplicada, dato que es necesario para conocer el esfuerzo de compresión del material.

Figura 30. Posición de una probeta cubica para la prueba de compresión



El esfuerzo de compresión viene descrito en la ecuación 9, como la relación entre la fuerza aplicada y el área de la sección transversal

$$\sigma_{\max, c} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (9)$$

Donde:

$\sigma_{\max, c}$ = Esfuerzo máximo por compresión (Mpa)

F_{\max} = Carga máxima aplicada a la probeta (N)

A = Área transversal de la probeta (m^2)

De la prueba de compresión realizada a cada una de las probetas se obtuvieron los resultados que se ven en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la prueba de compresión

Probeta	% ceniza	Polipropileno (g)	F promedio [N]	Area[m ²]	Esfuerzo [Pa]	Esfuerzo [Mpa]
1	0	7	6238	0,00258	2417829,457	2,42
2	2,5	7	6723		2605813,953	2,61
7	0	14	6782		2628682,171	2,63
8	2,5	14	6906		2676744,186	2,68

7.6.2 Prueba de tracción. Se realiza un ensayo a tracción indirecta mediante la norma ASTM C-496. En esta prueba, se aplica una fuerza de compresión diametral controlada en velocidad a una probeta cilíndrica hasta que se produce la falla. Esta carga genera esfuerzos de tracción en el plano que contiene la carga y fuerzas de compresión relativamente altas en el área cercana a la carga. Debido al estado de compresión triaxial en las áreas de aplicación de la carga, la falla suele ser por tracción en lugar de compresión, lo que permite soportar esfuerzos de compresión más altos de lo que se obtendría en un ensayo de resistencia a la compresión uniaxial. La norma sugiere lo siguiente:

- La relación espesor diámetro debe estar en el rango de valores de 0,2 a 0,75
- Velocidad de carga entre 0,7 y 1,4 Mpa/min
- Utilizar listones de madera de espesor de 3.2 mm, ancho 25 mm y longitud igual o mayor a la de la probeta.

Las probetas se realizaron de un diámetro de 50 mm y una longitud de 100 mm obteniendo una relación espesor-diámetro de 0,5. En la figura 31, se puede visualizar probetas fabricadas para la prueba de tracción. Las muestras se colocan en posición horizontal con los listones de madera en la parte superior e inferior, dichos listones se utilizan para que la carga ejercida por la maquina universal se distribuya uniformemente a través de la longitud de todo el cilindro. En la figura 32, se puede visualizar una de las probetas antes de empezar la prueba de tracción.

Figura 31. Probetas realizadas para la prueba de tracción



Figura 32. Posición de una probeta para la prueba de tracción



Se programa la maquina universal MTS con una velocidad continua y sin sacudidas hasta que la probeta falle. Luego, se registra la carga máxima aplicada. Este ultimo dato, se necesita para hallar el esfuerzo por tracción por partidura, la ecuación 10, muestra la manera de hallar dicho esfuerzo.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi ld} \quad (10)$$

Donde:

σ_t = Esfuerzo a la tracción (Mpa)

P = Carga máxima aplicada por la maquina universal MTS (N)

l = Longitud de la probeta (m)

d = Diámetro de la probeta (m)

Los datos de la resistencia a la tracción para cada una de las probetas se encuentran depositados en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la prueba a tracción

Probeta	% ceniza	Polipropileno (g)	Carga promedio [N]	Longitud (m)	Diametro (m)	Esfuerzo [Pa]	Esfuerzo (Mpa)
1	0	7	3842,82	0,1	0,05	489283,04	0,489
2	2,5	7	4317,17			549679,16	0,550
7	0	14	4192,09			533753,48	0,534
8	2,5	14	4895,36			623296,59	0,623

Para poder comparar los resultados y conocer si las propiedades mecánicas mejoraron o empeoraron, se hicieron probetas de las mismas dimensiones (longitudes y diámetros) pero solo compuestas de yeso y agua. Las muestras, al igual que las anteriores fueron expuestas a las pruebas de compresión y tracción en la misma maquina universal MTS. Obteniendo los resultados que se pueden ver en la tabla 27.

Tabla 27. Valores de referencia para las pruebas mecánicas

Probeta de referencia	
σ_c [Mpa]	σ_t [Mpa]
2,25	0,625

Con base en lo anterior, se puede considerar que el cambio porcentual en las propiedades mecánicas para cada una de las probetas tanto para la resistencia a la compresión como a la resistencia a la tracción, son los valores que se encuentran en la tabla 28 y 29.

Tabla 28. Cambio porcentual de la resistencia a la compresión

Probeta	σ_c [Mpa]	Referencia	σ_c [Mpa]	Cambio porcentual [%]
1	2,42	100% Yeso	2,25	7,46
2	2,61			15,81
7	2,63			16,83
8	2,68			18,97

Tabla 29. Cambio porcentual de la resistencia a la tracción

Probeta	σ_t [Mpa]	Referencia	σ_t [Mpa]	Cambio porcentual [%]
1	0,5	100% Yeso	0,625	-21,71
2	0,5			-12,05
7	0,5			-14,60
8	0,6			-0,27

7.7 ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL MATERIAL DESARROLLADO

El estudio técnico-económico tiene como objetivo determinar si las probetas evaluadas presentan características térmicas y mecánicas deseadas en un material que pretender ser empleado en el área de construcción. Si dichas características resultan favorables, se pretende manufacturar placas de yeso de ½ in cuyo material principal es el yeso que sirve como aglutinante entre el polipropileno y la ceniza,

donde estos últimos representan los materiales a evaluar en la investigación y se espera que mejoren las propiedades mecánicas y térmicas de las placas de yeso actualmente disponibles en el mercado.

Durante el desarrollo de las pruebas se utilizaron probetas de tres diferentes formas, cubicas, cuadradas y cilíndricas, esto con el fin de realizar las diferentes pruebas (térmicas y mecánicas), necesarias para determinar las propiedades del nuevo material.

7.7.1 Estructura del mercado actual. En la actualidad, el mercado de construcción de vivienda está enfocado hacia la sostenibilidad, de tal forma que los agentes gestores en este le están apuntando a la innovación de los diferentes materiales a utilizar y de las diferentes funciones que estos pueden cumplir. Un claro ejemplo de esta innovación es el auge de los llamados “techos verdes”, aunque esta propuesta ha estado disponible por siglos para la humanidad, no fue hasta los años 60¹ cuando Alemania empezó a desarrollar tecnología referente a esta innovadora idea, que permitiera su ejecución de manera más eficiente y mucho más asequible al público en general. Hoy en día los techos verdes se han convertido en una propuesta habitual al momento de diseñar una vivienda, ya que es una forma innovadora de aprovechar el espacio disponible que antes solo era usado para dar cubierta a la vivienda pero que ahora además permite brindar confort térmico y disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

En Colombia, los “techos o paredes verdes” se han venido implementando cada día más con el fin de brindar una solución alternativa a los incrementos de temperatura que se vienen presentando en las diferentes zonas del país. Generalmente cuando se trata de materiales aislantes en el país no hay mucha variedad ya que, al ser un país ubicado en la región ecuatorial y no contar con estaciones climáticas, como lo es el caso de Europa o Estados Unidos, este no ha sido un tema de mayor

¹ Tomado de: Artículo: Antecedentes de techos verdes. Karla del Rosario Ramos Gómez. Online: https://www.unicach.mx/_ambiental/descargar/Gaceta8/Art4.pdf. 11/4/2023.

preocupación. Desafortunadamente, el cambio climático es un fenómeno que está ocurriendo a nivel mundial y Colombia no es la excepción, en las últimas décadas las épocas de lluvia y las épocas de sequía se han visto incrementadas, lo cual se ha visto reflejado también en el incremento de la temperatura ambiente, haciendo necesario ahondar en la investigación con el fin de aportar nuevas soluciones.

Hoy en día se encuentran distintas opciones de materiales aislantes tales como:

- Fibras de plástico

Son producidas a partir del petróleo, en general, son muy eficaces en la prevención de la dispersión de calor, y su calidad principal es que con un pequeño espesor se puede lograr una alta eficiencia térmica. Las fibras de plástico son materiales con una estructura porosa que permite que el aire seco permanezca inmóvil dentro de esta lo que brinda un control más efectivo de la temperatura.

- Poliuretano

Este material impide la entrada de aire, ya que funciona de manera muy eficaz a temperaturas altas o bajas, lo que ayuda a eliminar la condensación y la humedad. Se utiliza como material aislante en diversas formas, la más común es como aislamiento térmico y acústico en el sector de la construcción, también es empleado en el llenado de espacios que necesitan estar aislados, o incluso para la creación de sistemas de aire acondicionado más eficientes. Tiene la desventaja de no ser reciclable.

- Espuma de polietileno

Es uno de los mejores materiales para aislamiento térmico y se utiliza en gran escala para ambientar hogares y edificios, destinados a un ahorro energético de hasta un 60%, reduciendo al mínimo las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre sus principales cualidades, están la resistencia a los procesos de humedad y la pudrición, pero su principal desventaja es ser un derivado de un recurso no

renovable, como el petróleo, con un proceso que daña la capa de ozono y es inflamable.

- Fibras naturales

Estos materiales están compuestos principalmente de sustancias de origen vegetal o animal y son fáciles de reciclar y reutilizar, con un bajo impacto ambiental, entre estos se destacan los siguientes:

- ✓ Fibra de madera: proviene de retazos que son reciclados y utilizados como aislante en la construcción.
- ✓ Corcho: proviene del árbol del alcornoque, cuya corteza (corcho) se procesa para producir un buen aislamiento térmico y acústico, muy eficaz en la lucha contra la humedad, no libera gases tóxicos en caso de fuego.
- ✓ Fibra de cáñamo: proviene de la planta de cáñamo y se utiliza en paneles flexibles utilizados en la construcción para la instalación de paredes, suelos y techos
- ✓ Entre otras fibras vegetales se encuentran: el lino, que es fácil de cultivar y producir mediante procesos de bajo impacto ambiental; la fibra de coco, que se presenta como un buen aislamiento térmico y acústico; y el algodón, que es fácil de plantar y cultivar.
- ✓ Como ejemplos de fibra natural de origen animal, tenemos la lana de las ovejas, que es un excelente aislante térmico y acústico y tiene una gran capacidad para absorber y ajustar la concentración de agentes tóxicos.

- Celulosa

Es un material ecológico, utilizado en la construcción como aislante térmico y acústico. Está hecho de papel reciclado y cartón, con la adición de hidróxido de aluminio. Se aplica en seco o húmedo, con máquinas especiales, llenando los huecos en los muros de los edificios.

- Lana mineral

Se produce a partir de rocas volcánicas y se usa como aislamiento, así como para protección pasiva contra incendios. Debido a su baja conductividad térmica, es eficaz para aislar temperaturas altas y bajas; y, en virtud de su estructura elástica y multidireccional, es capaz de disipar la energía del sonido, proporcionando un buen aislamiento acústico. Es un material no inflamable y puede mantenerse sin cambios, incluso cuando se expone a temperaturas por encima de 1000 ° C.

- Fibra de vidrio

Los paneles de fibra de vidrio retienen aire en su interior, lo que resulta en una baja conductividad térmica. Este material surgió como una alternativa no tóxica para reemplazar el asbesto².

- Placas de yeso laminado (PYL)

Las placas de yeso laminado están compuestas de un núcleo de yeso unido a dos láminas de celulosa por ambas caras, son sistemas ligeros y manejables, que eliminan fácilmente puentes térmicos, con resistencia a los golpes, una clasificación A1 frente al fuego y una instalación rápida y sencilla.

² Tomado de: Materiales aislantes para proteger tu hogar. Joo Castro Chan. Online: https://www.homify.com.co/libros_de_ideas/2445857/7-materiales-aislantes-para-proteger-tu-hogar

- Poliestireno expandido (EPS)

Es un material plástico espumado, rígido, que se fabrica a partir de gránulos de poliestireno expandible o de uno de sus copolímeros. El poliestireno expandido tiene una gran resistencia y conductividad térmicas, es un material ligero, resistente al agua y a los golpes, fácil de manejar y de instalar. Tiene un gran desempeño como aislante térmico para cubiertas, suelos y fachadas.

- Poliestireno extruido (XPS)

Es una espuma termoplástica, rígida, de estructura celular cerrada, que se obtiene a partir del poliestireno o alguno de sus copolímeros a través de procesos de extrusión y expansión. Destaca por su excelente resistencia mecánica y altas prestaciones como aislante térmico y protección frente a la humedad.

Por otro lado, se encuentran los diferentes materiales que pueden ser usados en el área construcción y que además poseen diferentes propiedades térmicas, entre ellos están los siguientes:

- Hormigón: Es uno de los materiales de construcción más comunes. Se trata de un material compuesto de áridos finos y gruesos mezclados con un aglutinante como el cemento y el agua, tarda siete días en curarse y una media de 28 días en alcanzar su máxima resistencia. Una de sus desventajas es que posee una baja resistencia térmica por lo cual requiere recubrimiento de otros materiales para cumplir esa función.

- Acero: Es un material compuesto de aleaciones de hierro y carbono, tiene una gran resistencia y funcionalidad. También es ligero, fácil de trabajar y más barato de transportar que otros materiales de construcción. El acero tiene cualidades distintivas, como una elevada relación resistencia/peso, además posee una baja conductividad térmica que le permite ser un excelente material aislante, sin embargo, es susceptible de sufrir corrosión.

- Madera: Está disponible de forma natural y es rentable, es fuerte y duradera, y es flexible en todos los sentidos. Además de su durabilidad, la madera es un material ambientalmente sostenible. En comparación con otros materiales de construcción, la madera es relativamente ligera y fácil de estandarizar en tamaño. Tiene una gran resistencia a la tracción y es buena para la insonorización y el aislamiento.

- Piedra: es el material de construcción más duradero. Su densidad afecta a su manejabilidad debido a su peso, lo que dificulta su desplazamiento. Además, la piedra es un pésimo aislante, por lo que es ineficaz para aislar en ambientes fríos.

- Ladrillo/mezcla: se fabricaban tradicionalmente con arcilla calentada y seca. Tienen una gran resistencia a la compresión, pero pueden romperse fácilmente. Los ladrillos más vitales que existen ahora son los bloques de hormigón, reforzados con acero. La mampostería es resistente al fuego y duradera, poseen una alta resistencia a la compresión y baja conductividad térmica.

También se presentan opciones menos comunes pero cuya popularidad se ha ido incrementando debido a las ventajas que estos proporcionan:

- Bambú: Posee una elevada relación resistencia-peso. Rivaliza con el hormigón, el ladrillo y la madera en términos de resistencia a la compresión y alta resistencia a la tracción.

- Vidrio: se fabrica a partir de arena líquida y se utiliza en la mayoría de los edificios para construir fachadas, pesa menos que el ladrillo y la mampostería y tiene mejor aspecto estético.

- Aluminio: La demanda de aluminio está aumentando, sobre todo por la escasez de madera en la construcción. Es un material ecológico con un efecto mínimo en el ecosistema en comparación con otros materiales de construcción. El aluminio no es tan fuerte y se mezcla con otras aleaciones como el cobre y el magnesio para aumentar su resistencia.

7.7.2 Propiedades térmicas del material. El yeso tiene varias ventajas como material usado para aislamiento térmico, entre ellas un costo relativamente bajo y un tiempo de ejecución más corto, además posee un bajo coeficiente de conductividad térmica a comparación de otros materiales, entre 0.25 a 0.50 W/(m°C). Luego de llevar a cabo las pruebas térmicas se determinó la conductividad de cada una de las probetas como se puede observar en la Tabla 25, y se obtuvo que el mejor desempeño se presenta en la probeta 7 y 8 obteniendo una conductividad de 0.159 W/(m°C) y 0.170 W/(m°C), respectivamente; ambas probetas están conformadas por 500g de yeso, 350g de agua y 14g de polipropileno, diferenciándolas el porcentaje de ceniza, la probeta 7 no tiene ceniza mientras que la probeta 8 cuenta con 12.5g (2,5%). A partir de lo cual podemos decir que el valor agregado de parte del polipropileno es significativamente favorable, este permite disminuir la conductividad térmica del material final y, en consecuencia, lo convierte en un mejor material aislante mientras que el aumento de ceniza evidencia todo lo contrario. Teniendo en cuenta los valores mencionados anteriormente se presenta a continuación en la tabla 30, una comparación de las conductividades térmicas entre los diferentes materiales mencionados al inicio de esta sección y el nuevo material desarrollado, con el fin de observar sus ventajas en el mercado nacional actual:

Tabla 30. Conductividades térmicas de materiales aislantes comunes

Materiales	Conductividad termica W/(m°C)
Yeso	0,25-0,50
Madera	0,29-0,13
Poliuretano	0,028
Lana mineral	0,031-0,045
Fibra de vidrio	0,03-0,07
Probeta #7	0,156
Probeta #8	0,170

De acuerdo con la Tabla 30, se puede observar que tanto la probeta 7 así como la probeta 8 presentan una mejor conductividad que el yeso, como se mencionó anteriormente, y que la mayoría de los diferentes tipos de madera que se emplean en esta área. Aunque los materiales aislantes más populares aun presentan una mejor conductividad térmica que el material desarrollado, a continuación, se observan dos tablas comparando aspectos como costos y propiedades mecánicas de estos, con el fin de aportar valor al nuevo material.

Para determinar el costo de las materias primas involucradas en el proceso de construcción de las probetas se presenta la tabla 31, donde se describen los materiales empleados con los respectivos precios del mercado. Se debe considerar que en total se realizaron 24 probetas y que en estas se mantuvo constante la cantidad de yeso y de agua empleada (500g y 350g respectivamente).

Tabla 31. Costos de materiales

Materiales	Cantidad (Kg)	Precio unitario (\$/kg)	Costos (pesos colombianos)
Yeso	12	\$2,580	\$30,960
Ceniza	0.2	\$35,000	\$7,000
Poliopileno	0.231	\$0	\$0
Agua	8.4	\$2,358.80	\$19,814
Total	20.831	\$39,939	\$57,774

De acuerdo con la tabla anterior, se observa que el precio unitario por probeta realizada es \$2407 lo cual brinda un precio competitivo en el mercado si se decide realizar placas de este material, teniendo en cuenta los precios de las diferentes opciones presentadas. A continuación, se presenta en la tabla 32 los precios actuales en el mercado para los materiales aislantes a comparar y además en la Tabla 33 se puede observar los diferentes esfuerzos de compresión y tensión para dichos materiales y las probetas desarrolladas por los estudiantes.

Tabla 32. Precios de mercado de materiales aislantes

Materiales	Costos (\$/m2)
Yeso	\$36,430
Madera	\$38,924
Poliuretano	\$44,214.16
Lana mineral	\$40,972
Fibra de vidrio	\$20,966
Probeta #7 y #8	\$30,025

Tabla 33. Esfuerzos de compresión y tensión para diferentes aislantes

Probeta	Esfuerzo de compresión (MPa)	Esfuerzo de tensión (Mpa)
1	2,42	0,744
2	2,61	0,55
7	2,63	0,534
8	2,68	0,623
Yeso	2,25	0,625
Madera	16-23	8-18
Poliuretano	0,15-0,325	0,180-0,320
Lana mineral	0,04	0,015
Fibra de vidrio (tipo E)	1,08	3,445

En la tabla 33, se puede observar los esfuerzos de compresión y tensión obtenidos para las diferentes probetas desarrolladas por los estudiantes y además se agregaron los esfuerzos mecánicos para los diferentes materiales aislantes disponibles en el mercado. En esta tabla se puede apreciar que la probeta 8 posee las mejores propiedades mecánicas entre las 4 probetas desarrolladas y teniendo en cuenta que la diferencia en la conductividad térmica entre las probetas 7 y 8 no es apreciable se podría inferir que en términos generales la probeta 8 presenta mejores propiedades.

8. CONCLUSIONES

El aumento de la cantidad de polipropileno influye en mayor medida en la mejora de la propiedad térmica, disminuyendo así, la conductividad en el material. En contraste, al aumentar la cantidad de ceniza en la mezcla, se registró un incremento en la conductividad térmica, reduciendo su función como aislante térmico. Sin embargo, la adición de ceniza evidencia un mejoramiento en las propiedades mecánicas. Concluyendo, que la probeta que ofrece mejores propiedades tanto térmicas como mecánicas es la que contiene 14 gramos de polipropileno y 2,5% ceniza.

Se evidencia una disminución de la conductividad térmica del material con respecto al yeso sin ningún tipo de adiciones. Una reducción aproximadamente de 43% en dicha propiedad, convirtiendo al material en un mejor aislante.

La resistencia a la compresión aumenta un 19% aproximadamente con respecto al material de referencia. En cuanto a la resistencia a la tracción, se puede considerar el cambio en la propiedad despreciable.

A partir de la fabricación de este material también se está generando un impacto ambiental positivo ya que se está reutilizando un material como el polipropileno, el cual genera altos niveles de contaminación en el país por su alto consumo. Además, se debe tener en cuenta que es una opción económicamente viable ya que a pesar de ser un poco más costosa que las placas de yeso, esta brinda mejores propiedades mecánicas y el beneficio del incremento del aislamiento térmico que ofrece.

Dado que en el sector de la construcción ya se utilizan placas de yeso y teniendo en cuenta que el material desarrollado presenta mejores propiedades mecánicas que el yeso en sí, se puede concluir que este puede ser un material disponible para uso en dicho sector. Aunque las placas de yeso no estén diseñadas para soportar altas cargas en el caso del material que se desarrollo se podría implementar la mezcla como un recubrimiento de las paredes de la vivienda y de esta manera proveer las propiedades aislantes obtenidas con este material.

9. RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del proyecto se evidencio la dificultad para llevar a cabo las pruebas térmicas de acuerdo con la norma ASTM C-177 debido a que en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana no se encuentran disponible los equipos para llevar a cabo dichas pruebas. En pro del continuo desarrollo de la investigación e innovación, se sugiere incentivar a la construcción de dicho equipo a través de una tesis de grado.

Se sugiere una investigación mas extensa en el tema de desarrollo de nuevos materiales aislantes que proporcionen otro tipo de ventajas con su uso, esto con el fin de favorecer el desarrollo sostenible y de abarcar diferentes problemáticas en el país como lo es el uso desmesurado de los plásticos y su impacto ambiental.

Con el fin de respaldar los resultados obtenidos en el desarrollo de esta tesis se sugiere llevar a cabo diferentes tipos de ensayos que estudien más a fondo las propiedades mecánicas que puede proporcionar este material, entre esos, un ensayo de flexión, una prueba acústica, una prueba de resistencia al fuego y un ensayo de dureza, estas permitirán una mejor caracterización del material.

BIBLIOGRAFIA

BORJA JIMÉNEZ, Kelly Yulissa; CASTILLO MOYA, Ninfa Cristina. Elaboración de un panel aislante térmico a base de cartón y tapones de corcho reciclado para viviendas de interés social. Guayaquil, 2019. 55 p. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Diseño.

BULA, Antonio; CADENA, Carolina y GUTIÉRREZ, Jaime. Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae* [en línea]. Colombia: Dyna, vol.81, 2014. 5p. [citado 13 febrero, 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200018

CALDERON URIBE, Franz. Evaluación del mejoramiento del confort térmico con la incorporación de materiales sostenibles en viviendas en autoconstrucción en Bosa, Bogotá. Revista hábitat sustentable [online]. 2019, vol.9, n.2 [citado 12 de febrero, 2023], pp.30-41. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-07002019000200030&lng=pt&nrm=iso.

CAVALCANTI, José Reginaldo de Arruda; BATISTA, Pedro Igor Bezerra; POVOAS, Yêda Vieira y ROCHA, Joaquin Humberto Aquino. Comportamiento térmico de mampostería de bloques de yeso hidrófugo con variación del espesor de revestimiento. Obras y Proyectos [online]. 2020, n.28 [citado 20 de marzo, 2023], pp.78-89. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132020000200078&lng=es&nrm=iso.

ESCAMILLA SANTOS, Ana Milena. Construcción de termoaislante a partir de papel con recubrimiento polimérico. Bogotá, 2017, 45p. Trabajo para optar el título de licenciado en química. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de ciencias y educación.

FUENTES MOLINA, Natalia; FRAGOZO TARIFA, Oscar Iván y VIZCAINO MENDOZA, Lisette. Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural [en línea]. Colombia: Ciencia e ingeniería Neogranadina, 2015. 17p. [citado 22 de febrero, 2023]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1434>

FRANCO CARRILLO, María Camila; TALERO BERNAL, María Camila y ZAPATA, Juanita. Creación de un material compuesto a partir de desechos textiles, aplicable al aislamiento acústico y térmico. Bogotá, 2020, 28p. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Industrial.

HOYOS OBANDO, Juan. Propuesta de un prototipo de vivienda en madera como alternativa de construcción en Colombia. Envigado, Antioquia, 2019 [citado 12 de abril 2023]. 34 p. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Ingeniería Civil.

HUAQUISTO CACERES, Samuel y QUISPE, Germán Belizario. Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento [en línea]. Perú: Revista de investigaciones Altoandinas, 2018. 9p. [citado 10 febrero, 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324905070_Utilizacion_de_la_ceniza_volante_en_la_dosificacion_del_concreto_como_sustituto_del_cemento

LOZANO ZAMORA, Laura Vannesa y ROJAS FRAILE, Elkin Alejandro. Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de bagazo de la caña de azúcar. Bogotá, 2019, 56p. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas. Universidad La Gran Colombia. Facultad de Arquitectura.

MAMANI DELGADO, Dina. Evaluación comparativa de las propiedades mecánicas entre el yeso y el yeso modificado con materiales reciclados según la norma UNE-EN 13279-2 para su uso en la fabricación de placas de yeso. Cusco, 2016.180p. Trabajo de grado como requisito para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Andina del Cusco. Facultad de ingeniería y arquitectura.

OLIVER-RAMIREZ, A; GARCIA-SANTOS, A y NEILA-GONZALEZ, F.J. Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase incorporados para almacenamiento de energía térmica mediante calor latente. España: Materiales de construcción, 2011. 20p. [citado 11 febrero, 2023]. Disponible en: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/645/691>

ORDOÑEZ TORRES, Diego Julián y MARTINEZ OLARTE, John Anderson. Evaluación de un concreto modificado para el uso como aislante térmico en edificaciones. Bucaramanga,2018.55p. Trabajo de grado como requisito para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

PEÑA RAMÍREZ, Oscar Roberto; ROMAN ENCISO, Rosaly Edna. Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa. Lima, Perú, 2018. 53 p. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

ROBERTS CRUZ, Vicente Tomás. Evaluación de las propiedades térmicas y acústicas de un aislante en base a paja de trigo y sellador de cal. Chile, 2018. 48p. Trabajo de memoria para optar al título de ingeniero constructor y grado académico de licenciado en ciencias de la construcción. Universidad de Valparaíso. Facultad de ingeniería. Escuela de construcción civil.

ROCHA ALVAREZ, Delma Esther; PEREZ, Carol y VILLANUEVA, Jorge. Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli). Ciencia e Ingeniería Neogranadina. [online]. 2020, vol.30, n.2 [citado 10 de abril, 2023], pp.49-65. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702020000200049&lng=pt&nrm=iso>.

RUGGIERO, Francesco y SIFONTES, Juan. Estudio técnico-económico para la creación de una nueva unidad de negocio destinada a la producción y comercialización de velas por el método de envasado, usando como materia prima un residuo generado por una planta procesadora de parafina. Caracas,2018.62p. Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial.

ANEXOS

Anexo A. Temperaturas de las probetas a diferentes proporciones

(0 % CENIZA, 7 g PP)						
t	T1	T2	T3	T4	ΔT PROBETA	ΔT PARED
0	28	28	28	28	0	0
5	40,1	29,9	41,6	28,8	10,2	12,8
10	42,7	32,1	43,2	29,5	10,6	13,7
15	44,9	34	45,4	29,9	10,9	15,5
20	46,7	35,6	46,5	30,3	11,1	16,2
25	47,6	35	47,8	30,5	12,6	17,3
30	49	35,6	48,9	31,1	13,4	17,8
35	50,5	36,3	49,9	31,2	14,2	18,7
40	51,6	37	50,4	31,4	14,6	19
45	52,6	37,7	51,1	31,5	14,9	19,6
50	53,4	38,2	51,7	31,8	15,2	19,9
55	54,2	38,6	52,3	31,8	15,6	20,5
60	54,9	38,9	52,6	31,8	16	20,8
65	55,6	39,3	53,1	31,8	16,3	21,3
70	55,9	39,6	53,2	31,7	16,3	21,5
75	56,3	39,8	53,9	31,5	16,5	22,4
80	56,6	40	54,7	31,9	16,6	22,8
85	56,9	40,2	55,1	32,1	16,7	23
90	57,3	40,3	55,9	32,1	17	23,8
95	57,5	40,5	56,4	32,1	17	24,3
100	57,9	40,5	56,8	31,9	17,4	24,9
105	58,2	40,7	57	32,1	17,5	24,9
110	58,2	40,8	57	32,1	17,4	24,9
115	58,3	40,8	57	32,1	17,5	24,9
120	58,4	40,8	57,1	32	17,6	25,1

(2,5% CENIZA, 7 g PP)						
t	T1	T2	T3	T4	ΔT PROBETA	ΔT PARED
0	28	28	28	28	0	0
5	38,8	30,4	42,7	28,9	8,4	13,8
10	41,8	33,4	45	29,1	8,4	15,9
15	44,5	35,9	46,7	29,6	8,6	17,1
20	46,8	36,5	47,9	29,9	10,3	18
25	48,6	36,4	49,2	30,1	12,2	19,1
30	50,3	37,2	50,1	30,5	13,1	19,6
35	51,5	37,9	50,9	30,6	13,6	20,3
40	52,6	38,7	51,8	30,7	13,9	21,1
45	53,5	39,3	52,4	30,7	14,2	21,7
50	54,2	39,9	52,9	30,9	14,3	22
55	55	40,4	53,4	30,9	14,6	22,5
60	55,6	40,8	53,9	31,1	14,8	22,8
65	56,1	41,2	54,4	31,2	14,9	23,2
70	56,7	41,7	54,8	31	15	23,8
75	57,1	41,9	55	31,2	15,2	23,8
80	57,5	42,1	55,4	31	15,4	24,4
85	57,8	42,2	55,6	30,7	15,6	24,9
90	58,1	42,5	55,9	30,2	15,6	25,7
95	58,5	42,5	55,9	30,9	16	25
100	58,5	42,6	56	31,1	15,9	24,9
105	58,6	42,7	56,1	31,1	15,9	25
110	58,7	42,7	56,2	31,2	16	25
115	58,7	42,8	56,2	31,2	15,9	25
120	58,7	42,8	56,3	31,2	15,9	25,1

(5% CENIZA, 7 g PP)						
t	T1	T2	T3	T4	ΔT PROBETA	ΔT PARED
0	28	28	28	28	0	0
5	39,4	30,1	40,6	27,8	9,3	12,8
10	42,4	33,1	43,6	28,5	9,3	15,1
15	44,9	35,6	45,7	29	9,3	16,7
20	47,1	37,7	47,3	29,2	9,4	18,1
25	49	39,5	48,6	29,6	9,5	19
30	50,6	40,9	49,6	29,8	9,7	19,8
35	51,8	41,7	50,3	29,8	10,1	20,5
40	53	42,3	51,2	30,1	10,7	21,1
45	53,8	43,2	52	30,1	10,6	21,9
50	54,5	43,4	52,5	30,3	11,1	22,2
55	55,1	41,6	52,7	30,5	13,5	22,2
60	55,8	41,6	53	30,2	14,2	22,8
65	56,1	41,9	53,3	30,5	14,2	22,8
70	56,6	42,2	53,6	30,5	14,4	23,1
75	56,9	42,4	53,9	30,4	14,5	23,5
80	57,1	42,6	55	30,5	14,5	24,5
85	57,1	42,8	54,9	30,3	14,3	24,6
90	57,3	43,1	55,3	30,5	14,2	24,8
95	57,5	43,1	55,4	30,4	14,4	25
100	57,6	43,2	55,3	30,5	14,4	24,8
105	57,7	43,3	55,4	30,3	14,4	25,1
110	58	43,4	55,5	30,6	14,6	24,9
115	58	43,5	55,6	30,4	14,5	25,2
120	58	43,5	55,7	30,7	14,5	25

(7,5% CENIZA, 7 g PP)						
t	T1	T2	T3	T4	ΔT PROBETA	ΔT PARED
0	26	26	26	26	0	0
5	38,2	29,7	38,7	26,8	8,5	11,9
10	42,3	33,2	41,7	27,7	9,1	14
15	44,9	36	44	28,2	8,9	15,8
20	47,3	38,5	45,7	28,7	8,8	17
25	49	40,4	47,1	28,9	8,6	18,2
30	50,6	42	48,2	29,1	8,6	19,1
35	51,9	43,4	49,1	29,3	8,5	19,8
40	52,7	44,5	49,8	29,6	8,2	20,2
45	53,7	45,4	50,4	29,7	8,3	20,7
50	54,2	46,2	50,9	29,8	8	21,1
55	55,2	46,9	51,3	29,9	8,3	21,4
60	56,1	47,3	51,6	30,2	8,8	21,4
65	56,6	47,8	52,9	30,2	8,8	22,7
70	57	48	53,2	30,3	9	22,9
75	57,3	48,3	53,7	30,4	9	23,3
80	58	48,4	54,2	30,5	9,6	23,7
85	58,1	48,5	54,5	30,5	9,6	24
90	58,2	48,6	54,9	30,7	9,6	24,2
95	58,4	48,7	55,3	30,4	9,7	24,9
100	58,4	48,8	55,4	30,5	9,6	24,9
105	58,5	48,9	55,5	30,4	9,6	25,1
110	58,6	49,1	55,7	30,7	9,5	25
115	58,8	49,2	55,7	30,7	9,6	25
120	58,6	49,2	55,8	30,7	9,4	25,1

Probeta (3,5 g PP 0% ceniza)						
t	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_{probeta}$	ΔT_{pared}
0	27	27	27	27	0	0
5	41,2	29,4	38,6	28,2	11,8	10,4
10	45,7	32,2	42,2	29,1	13,5	13,1
15	48,9	34,5	45,7	29,6	14,4	16,1
20	51	36,5	47,2	29,9	14,5	17,3
25	52,2	38,1	48,3	30,1	14,1	18,2
30	53,5	39,4	49,5	30,5	14,1	19
35	54,5	40,5	50,3	30,5	14	19,8
40	55,3	41,4	51,2	30,9	13,9	20,3
45	55,9	42,1	51,4	30,7	13,8	20,7
50	56,4	42,2	52,8	31	14,2	21,8
55	57,2	42,8	53,2	31,1	14,4	22,1
60	57,6	43,4	53,7	31,1	14,2	22,6
65	58	43,7	54,4	31,3	14,3	23,1
70	58,4	44,2	53,9	31,3	14,2	22,6
75	58,4	44,4	54,3	31,3	14	23
80	58,5	44,6	54,8	31	13,9	23,8
85	58,7	44,9	55,1	31,4	13,8	23,7
90	58,9	45	55,7	31,3	13,9	24,4
95	59,1	45,3	56,4	31,3	13,8	25,1
100	59,1	45,2	56,4	31,4	13,9	25
105	59,1	45,3	56,4	31,5	13,8	24,9
110	59,2	45,4	56,4	31,3	13,8	25,1
115	59,3	45,5	56,4	31,5	13,8	24,9
120	59,3	45,5	56,4	31,5	13,8	24,9



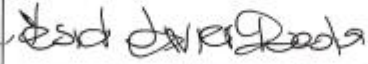

Probeta (3,5 g PP 2,5% ceniza)						
t	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_{probeta}$	ΔT_{pared}
0	26	26	26	26	0	0
5	37	26,6	39,3	26,8	10,4	12,5
10	40,1	29	42,7	27,5	11,1	15,2
15	42,4	31,1	44,7	27,4	11,3	17,3
20	44,4	32,9	46,1	27,9	11,5	18,2
25	46,1	34,6	48,4	28,2	11,5	20,2
30	47,3	36	49,4	28,5	11,3	20,9
35	48,4	36,9	50,2	28,7	11,5	21,5
40	49,2	37,9	50,8	28	11,3	22,8
45	50,2	38,8	51,6	28,8	11,4	22,8
50	51	39,4	52,2	29	11,6	23,2
55	51,6	40,2	52,5	28,4	11,4	24,1
60	52,1	40,5	53,1	29,1	11,6	24
65	52,4	41	53,3	29,2	11,4	24,1
70	52,8	41,4	53,6	29,2	11,4	24,4
75	53,2	41,5	53,9	29,5	11,7	24,4
80	53,5	41,7	54,1	29,3	11,8	24,8
85	53,8	41,9	54,4	29,3	11,9	25,1
90	54	42,1	54,4	29,3	11,9	25,1
95	54,2	42,2	54,5	29,6	12	24,9
100	54,4	42,4	54,5	29,7	12	24,8
105	54,5	42,4	54,5	29,6	12,1	24,9
110	54,5	42,4	54,5	29,5	12,1	25
115	54,5	42,4	54,6	29,6	12,1	25
120	54,5	42,4	54,6	29,6	12,1	25

Probeta (3,5 g PP 2,5% ceniza)						
t	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_{probeta}$	ΔT_{pared}
0	26	26	26	26	0	0
5	37	26,6	39,3	26,8	10,4	12,5
10	40,1	29	42,7	27,5	11,1	15,2
15	42,4	31,1	44,7	27,4	11,3	17,3
20	44,4	32,9	46,1	27,9	11,5	18,2
25	46,1	34,6	48,4	28,2	11,5	20,2
30	47,3	36	49,4	28,5	11,3	20,9
35	48,4	36,9	50,2	28,7	11,5	21,5
40	49,2	37,9	50,8	28	11,3	22,8
45	50,2	38,8	51,6	28,8	11,4	22,8
50	51	39,4	52,2	29	11,6	23,2
55	51,6	40,2	52,5	28,4	11,4	24,1
60	52,1	40,5	53,1	29,1	11,6	24
65	52,4	41	53,3	29,2	11,4	24,1
70	52,8	41,4	53,6	29,2	11,4	24,4
75	53,2	41,5	53,9	29,5	11,7	24,4
80	53,5	41,7	54,1	29,3	11,8	24,8
85	53,8	41,9	54,4	29,3	11,9	25,1
90	54	42,1	54,4	29,3	11,9	25,1
95	54,2	42,2	54,5	29,6	12	24,9
100	54,4	42,4	54,5	29,7	12	24,8
105	54,5	42,4	54,5	29,6	12,1	24,9
110	54,5	42,4	54,5	29,5	12,1	25
115	54,5	42,4	54,6	29,6	12,1	25
120	54,5	42,4	54,6	29,6	12,1	25

Probeta (14 g PP 0 % ceniza)						
t	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_{probeta}$	ΔT_{pared}
0	27	27	27	27	0	0
5	39,2	28,1	43,5	28,7	11,1	14,8
10	41,9	29,6	45,6	29,5	12,3	16,1
15	43,8	30,2	46,5	29,6	13,6	16,9
20	44,7	30,6	47,3	29,4	14,1	17,9
25	45,5	31,1	48,2	30,2	14,4	18
30	46,7	31,6	48,8	30,7	15,1	18,1
35	47	32,2	49,4	31	14,8	18,4
40	47,7	32,4	49,8	31,1	15,3	18,7
45	48,5	32,9	50,1	31,1	15,6	19
50	49,2	33,4	50,5	31,4	15,8	19,1
55	49,8	34	52	31,5	15,8	20,5
60	50,4	34,5	52,4	31,1	15,9	21,3
65	51	34,8	53,1	31,7	16,2	21,4
70	51,8	34,9	53,9	31,9	16,9	22
75	52,6	35,2	54,4	32,1	17,4	22,3
80	53,1	35,5	55,4	32,2	17,6	23,2
85	53,9	35,6	56,1	32,2	18,3	23,9
90	54,4	35,8	56,6	32,2	18,6	24,4
95	55,3	35,9	57	32,3	19,4	24,7
100	55,4	35,9	57,3	32,3	19,5	25
105	55,4	35,9	57,4	32,3	19,5	25,1
110	55,4	36	57,4	32,5	19,4	24,9
115	55,5	36	57,4	32,3	19,5	25,1
120	55,5	36,1	57,4	32,3	19,4	25,1

Probeta (14 g PP 2,5 % ceniza)						
t	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_{probeta}$	ΔT_{pared}
0	27	27	27	27	0	0
5	40,7	29,1	41,2	30,4	11,6	10,8
10	44,6	30,3	45,2	30,6	14,3	14,6
15	46,4	31,6	47,1	30,8	14,8	16,3
20	47,6	32,4	48,4	31	15,2	17,4
25	48,5	32,8	49,4	31,3	15,7	18,1
30	49,4	32,9	50,1	31,4	16,5	18,7
35	50,4	33,6	50,9	31,6	16,8	19,3
40	51,5	34,2	51,8	31,7	17,3	20,1
45	52,2	35	52,7	31,9	17,2	20,8
50	52,9	35,4	53,7	32	17,5	21,7
55	53,6	35,9	54,6	32,2	17,7	22,4
60	54,1	36,2	55,2	32,3	17,9	22,9
65	54,8	36,8	55,7	32,3	18	23,4
70	55,3	37,2	56,1	32,5	18,1	23,6
75	56	37,9	56,8	32,6	18,1	24,2
80	56,8	38,8	57,1	32,8	18	24,3
85	57,2	39,1	57,8	33	18,1	24,8
90	57,3	39,2	58	33,1	18,1	24,9
95	57,3	39,2	58,2	33,1	18,1	25,1
100	57,4	39,2	58,2	33,2	18,2	25
105	57,4	39,3	58,2	33,2	18,1	25
110	57,5	39,3	58,2	33,3	18,2	24,9
115	57,5	39,3	58,3	33,3	18,2	25
120	57,5	39,3	58,3	33,3	18,2	25

Anexo B. Autorización para el uso del laboratorio de ensayos mecánicos

 		LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Escuela de Ingeniería Mecánica SOLICITUD DE SERVICIOS		Código: F-LEM-000 Versión 01 Página 1 de 1	
DATOS DEL SOLICITANTE					
Entidad:				Fecha:	14/04/2023
Nombre:	Edinson Fabian Rios Adarme			Nit o C.C:	1 702 372 220
Email:	Edinsorios93@hotmail.com			Teléfono/fax:	318 832 13 57
Dirección:	Cra 15c #13-53			No. de solicitud:	
TIPO DE SERVICIO					
Ensayo Tracción		<input checked="" type="checkbox"/>		Ensayo Compresión	
Ensayo flexión		Tres puntos		Ensayo Fatiga	
		Cuatro puntos		Ensayo cortante	
INFORMACIÓN DE MUESTRAS					
Tipo de muestra		Material			Numero de muestras
Redonda	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuadrada	<input checked="" type="checkbox"/>	Compuesto	<input checked="" type="checkbox"/>
Plana		Amorfa		Orgánico	
Dimensiones		$\phi = 50 \text{ mm}$ $h = 100 \text{ mm}$ + cilindros cúbicos: $L = 50.8 \text{ mm}$			
TIPO DE PROYECTO					
Proyecto de grado sin financiación		<input checked="" type="checkbox"/>			
Proyecto de investigación interno		Nombre del Proyecto: Desarrollo de un material aislante térmico a partir de residuos de polipropileno			
Proyecto de Extensión					
Cliente Externo		Código del proyecto:			
Nombre del Director de Proyecto: Yesid Javier Rueda Ordoñez					
Correo electrónico: yjrueda@uis.edu.co				Extensión:	
Firma Director Proyecto				Oficina:	326 - G
AUTORIZACIÓN					
Se autoriza el trabajo solicitado con () sin () cobro.					
AUTORIZA:					
		Diego F. Villegas Bermúdez, PhD Director Laboratorio de Ensayos Mecánicos			
OBSERVACIONES					
Hablar con el aux. Than Gonzalez para programar las pruebas.					

Anexo C. Datos de las pruebas mecánicas

Datos de las probetas referencia (COMPRESIÓN)				
Probeta	F [N]	Área	Esfuerzo [Pa]	Esfuerzo [Mpa]
Ref 1	5857,6	0,00258	2270387,597	2,27
Ref 2	5660,2	0,00258	2193875,969	2,19
Ref 3	5934,3	0,00258	2300116,279	2,30

Datos de las probetas referencia (TENSIÓN)					
Probeta	Carga max	L	D	Esfuerzo [Pa]	Esfuerzo [Mpa]
REF 1	4911,68	0,1	0,05	625374,5206	0,625
REF 2	4834,7	0,1	0,05	615573,1226	0,616
REF 3	4983,64	0,1	0,05	634536,7524	0,635