



[193042] Creación de un material compuesto a partir de  
desechos textiles, aplicable al aislamiento acústico y térmico  
María Camila Franco Carrillo<sup>a,c</sup> , María Camila Talero Bernal<sup>a,c</sup> , Juanita Zapata<sup>a,c</sup>,

Martha Manrique Torres<sup>b,c</sup>

*<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial*

*<sup>b</sup>Profesor, Director del Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial*

*<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*

**Resumen**

This project aims to contribute to the use of waste generated by the textile industry in Colombia. In particular, this industry today, is one of the most significant in the country and concentrates a large number of wastes, specifically in the clothing finishing process, causing major negative environmental consequences such as water and air pollution. Likewise, many studies show that a great number of wastes of all kinds of materials are reused, but unfortunately textile waste is not a significant part of these quantity, since not even a quarter of the waste generated per year is reused. In addition to this, although the Colombian government has proposed incentives and regulations for business from the textile sector there is no proof of improvement in the generation or management of textile wastes, on the contrary, they have increased over the years. Finally, taking into account what was said previously, it is intended to develop a circular economy model which is based on the use of textile waste, designing a composite material made from these wastes from the textile industry.

For the creation of the panel, firstly, textile wastes were collected in the city of Bogotá provided by tailors. Consequently, all the wastes were classified according to their composition and properties, carrying out a detailed investigation to choose the one that was closest to being thermal and acoustic insulator. As a result, cotton and polyester textiles are chosen. Secondly, research and quality tests were carried out on construction binders such as gypsum, lime and clay, which are suitable for the application of the panel as they are acoustic and thermal insulators. However, at the time of drying the mixtures, the lime is discarded, as it is very fragile and brittle. Once the materials to compose the panel have been chosen, different prototypes of panels are made in a quadrangular mold made up of six modules with the same dimensions to guarantee that all the prototypes are the same and thus decrease the error rate. When obtaining the panels from the mold, acoustic and thermal tests are carried out with the use of different measuring tools such as the sound level meter and the thermal plate to measure the ability of each panel to isolate the temperature and sound for a certain period of time. Results from the tests show that the compound that provides the most functionality representing a percentage of acoustic and thermal insulation is the combination of gypsum and the cotton and polyester scraps. Consequently, it is concluded that the design and creation process comply with the declared standards, since the composition of the panel was made from textile wastes, contributing to the use of these wastes and to a circular economy model.

As for the design restrictions, the creation of this new panel was intent to propose a new use to the solid wastes generated by the textile industry, without generating a higher level of contamination in the environment and providing a percentage of acoustic and thermal insulation of 55,69% and 111,38% respectively. However, the minimum level of decibels allowed to acoustically insulate exposed in the Spanish acoustic insulation standard were not achieved.

Imagen del prototipo realizado



Imagen tomada por el grupo de trabajo

## 1. Justificación y planteamiento del problema

Con base en estudios del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, la industria textil y de confección en Colombia es una de las más significativas, ya que ésta concentra el 12,1% de la producción industrial del país y cerca del 6% de las exportaciones totales. Sin embargo, esta industria genera un alto impacto ambiental. Dicho impacto se evidencia en las diferentes etapas del proceso de la producción textil, específicamente en la etapa de acabado, tanto de telas como de prendas. Por ejemplo, el componente hídrico en la cadena textil genera vertimientos con cargas contaminantes, entre los que se destacan fenoles, tensoactivos, colorantes y algunos metales, según el análisis ambiental del sector textil realizado por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente [1].

En consecuencia y de acuerdo a la tabla 1, el gobierno colombiano ha planteado diferentes estrategias para contrarrestar el impacto negativo de la industria textil. Dichas estrategias, se basan en el ahorro significativo del consumo de materias primas e insumos, y en el mejoramiento del desempeño ambiental mediante una producción limpia. Sin embargo, y desde la perspectiva de un enfoque dirigido hacia el reciclaje y aprovechamiento de los desechos sólidos (retazos) de la industria textil, estas estrategias son menos desarrolladas.

Tabla 1. Estrategias del gobierno colombiano para incentivar la producción limpia en la industria textil.

ASPECTO	ETAPA	ACTIVIDAD	IMPACTO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	BUENA PRÁCTICA
Emisiones de material particulado	Hilandería y tejeduría	Cardado, hilado, tejido, confección	Problemas respiratorios en los empleados.	El material particulado que se genera en estas operaciones puede acumularse en las zonas de trabajo, afectando el sistema respiratorio de los trabajadores.	<p>Instalación de filtros y sistemas de retención de partículas y motas en las máquinas de tejeduría.</p> <p>Mejorar la ventilación de las zonas de trabajo.</p> <p>Suministrar implementos de protección respiratoria y señalar adecuadamente las diferentes áreas de la empresa.</p>

Emisiones de gases, vapores o neblinas	Acabado de telas y prendas	Tinturado, estampado	Contaminación atmosférica. Afectación de la salud de los empleados	La utilización de solventes y tinturas en las operaciones de estampado generan compuestos orgánicos volátiles que generan tanto problemas de contaminación atmosférica como sobre la salud de las personas expuestas.	Favorecer la circulación de aire en las áreas de estampado. Minimizar la cantidad de solventes utilizada y evaluar los insumos utilizados para programar su sustitución.
Generación de ruido	Hilandería y tejeduría	Hilado, tejido	Afectación de los niveles de audición de los empleados.	La exposición continua a niveles de ruido superiores a los 80 dB ocasiona efectos irreversibles en el nivel de audición de los afectados. Adicionalmente, esta exposición incrementa los niveles de estrés y reduce la productividad de los empleados.	Programas de mantenimiento preventivo a todos los equipos.  Programas de medición del nivel de ruido y confinamiento de las operaciones más ruidosas.  Rotación de personas y programación de turnos, en las operaciones que más ruido generan. Señalización de las zonas de trabajo y dotación de los implementos de protección auditiva adecuados.

Elaborado a partir de información sacada de: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá.

Por otro lado, la Alcaldía Mayor de Bogotá implementó una guía dirigida a los empresarios para la gestión y manejo integral de residuos de la industria textil y tintorería. Esta guía, tiene como objetivo mostrar diferentes estrategias (tabla 2) para la prevención y minimización de los residuos. Así mismo, expone las diferentes sanciones a las cuales se expone el empresario al incumplir las normativas asociadas al mal manejo de residuos.

Tabla 2. Estrategias para la minimización y prevención de residuos en la industria textil en Bogotá.

<b>Estrategia</b>	<b>Actividad</b>
Prevención y minimización	Recopilar información técnica de la empresa sobre sus procesos de prevención. Dividir el proceso de producción en operaciones unitarias. Realizar análisis del ciclo de vida de los productos.
Manejo interno seguro	Establecer medidas de contingencia dentro de la empresa. Implementar medidas para la entrega de residuos al transportador (envasado, rotulado, etiquetado). Realizar programas de capacitación.

Manejo externo seguro	Describir los procedimientos de manejo externo de los residuos. Identificar los gestores autorizados. Cumplir condiciones de entrega y transporte.
-----------------------	---

Elaborado a partir de información sacada de: Guía para la gestión y manejo integral de residuos de la industria textil y tintorería.

A pesar de las estrategias descritas anteriormente, en la guía se presentan los resultados obtenidos en el año 2010, en donde se evidencia un aumento en la generación de residuos a comparación con el año anterior. Es importante resaltar que ésta sigue vigente en la actualidad.

Pese a las estrategias planteadas por el gobierno nacional y por la Alcaldía Mayor de Bogotá, aún se siguen evidenciando altos índices de residuos, pues según el Departamento Nacional de Desarrollo (DNP), la industria textil genera 1.836 toneladas de materiales residuales al año [2]. Del total de toneladas, la cantidad promedio de residuos del sector textil que son reciclados o reutilizados tan solo llega al 5%, mientras que el potencial máximo estudiado referente a otros países indica que podría llegar a ser del 53% de aprovechamiento [3], es decir, existe una baja tasa de aprovechamiento de residuos de la industria textil en Colombia.

Como se ha señalado, existe un aprovechamiento de dichos residuos del sector textil, dentro del porcentaje mencionado anteriormente, en el que las telas son segregadas y clasificadas de acuerdo con su calidad y color para producir fibras y productos finales como traperos o colchonetas [4]. Sin embargo, según el Informe Nacional de Aprovechamiento, en el año 2016 se reutilizaron 97,905 toneladas de distintos materiales, como el papel y el cartón, donde solo el 0,4% de ese total, corresponde al aprovechamiento de los residuos textiles [4].

Teniendo en cuenta la problemática planteada anteriormente, es esencial hacer énfasis en las consecuencias ambientales del no aprovechamiento y reciclaje de los desechos de la industria textil, ya que los residuos textiles terminan, la mayoría de las veces, en rellenos sanitarios u otros sitios de disposición final, impidiendo la iniciación de un proceso de reciclaje, y resultando, por el contrario, en la producción y causa de la contaminación hídrica y atmosférica [4].

Por otro lado, una de las estrategias que ha impulsado el gobierno colombiano desde hace unos años, se ha basado en invitar a todos los ciudadanos a que utilicen los residuos generados por las diferentes industrias, dándoles una utilidad en todo momento, así sean considerados desechos. Dicha práctica se denomina actualmente como economía circular, la cual se puede definir como "un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible" [5].

Para abarcar la problemática mencionada anteriormente, es importante tener en cuenta que la economía circular promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los desechos, buscando responder a los cambios y desafíos que han surgido gracias al crecimiento económico y productivo. Se puede decir que, mediante esta economía, se quiere diseñar un material que utilice como materia prima los residuos generados por la industria textil y que pueda ser aplicable a cualquier producto que requiera aislamiento térmico o acústico [5].

Adicionalmente, es importante resaltar que un principio de la economía circular es promover el uso responsable de los recursos naturales a la hora de extraerlos y transformarlos, en la producción de bienes y servicios. Dicho lo anterior, al momento de realizar el material se buscará la manera de aplicar dicho principio.

Teniendo en cuenta la falta de aprovechamiento de los desechos textiles junto con las consecuencias que esto conlleva, se puede afirmar que la prevención y el manejo de residuos del sector textil deben integrarse mediante el modelo de economía circular, para que de esta manera se logre contribuir con la sostenibilidad del ambiente.

Ante lo anteriormente expuesto, el objetivo de este proyecto reafirma el aprovechamiento de los recursos de la industria textil, específicamente de los residuos de la etapa final de producción, es decir los retazos, dentro de una economía circular que contribuya a la sostenibilidad del ambiente y la producción eficiente de recursos para futuros proyectos de la industria.

Este trabajo se enfoca en desarrollar un material compuesto, tratando de responder a la siguiente pregunta: ¿Es posible elaborar un material compuesto a partir de desechos textiles que permita cierto aislamiento acústico y térmico?

## 2. Antecedentes

En la actualidad, varias empresas del sector textil y personas naturales han buscado la manera de reutilizar los residuos textiles de distintas maneras, entre las que está, incorporar los retazos a otros procesos industriales que hacen parte de su plan productivo. Mientras que otras, han aprovechado las propiedades de los textiles para aplicarlos en distintos ámbitos de la vida cotidiana, produciendo distintos materiales de construcción, dado que varios textiles aportan a la reducción de la temperatura y del sonido.

En el artículo “Ecodiseño aplicado en productos para el hogar” realizado en México por Brenda Viveros, estudiante de maestría en ciencias para el desarrollo sostenible en el Instituto Tecnológico de Monterrey. Se plantean diferentes alternativas para realizar ecodiseños de nuevos productos en donde se puedan reutilizar residuos textiles, dado que en México hay un grave problema de contaminación generada por estos mismos. Para ello, realizó una comparación entre los diferentes tipos de textiles e identificó las características propias de cada uno de ellos. Posteriormente, propuso diferentes diseños de productos que utilizan como materia prima residuos de la industria textil, para luego presentar algunos prototipos de ellos. Adicionalmente, identificó las diferentes aplicaciones que se le pueden dar a estos productos. Entre los ejemplos citados por esta autora, se encuentra el del aislamiento, en donde se plantea la posibilidad de crear un filtro de capas gruesas fabricado con retazos de los textiles, para luego ser cortado y adaptado en paredes y autos como aislantes acústicos y térmicos. Es importante resaltar que, para proponer los diseños iniciales, la autora realizó una investigación de la normativa que se debe seguir para fabricar cada uno de los productos, además del manejo que se le tiene que dar a los residuos y cómo el gobierno ha venido apoyando estas iniciativas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que la autora logró identificar que los textiles pueden ser utilizados para el aislamiento acústico y térmico, sin embargo, no realizó ningún prototipo de ello, lo cual impide haber realizado los ensayos necesarios para probar que las ideas planteadas anteriormente realmente funcionan [6].

La diseñadora industrial Juliana Montes, realizó una investigación, en donde planteó el objetivo de crear un nuevo material mediante residuos de la industria textil, para lo cual ejecutó pruebas tanto a las telas como a las sustancias que podrían ser reutilizadas para la producción del nuevo material y llegó a la conclusión que mediante la mezcla de distintos elementos como: la tela, el almidón y el cartón, entre otros, se puede crear un material que permite diseñar un panel mediante la unión de módulos, el cual puede utilizarse para el aislamiento acústico en espacios cerrados como salas de concierto o estudios de grabación. Es importante resaltar que, a pesar de que la autora hizo pruebas sobre las telas, identificando su característica de aislamiento, no se le realizó un ensayo al panel para confirmar que éste cumpliera con ese objetivo [7].

Uno de los antecedentes más relevantes es el artículo “Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón: Un aporte a la construcción sostenible” [8], realizado por Gerardo Wadel docente de posgrado en la Escola Sert del Colegio de arquitectos de Cataluña, ya que presenta un acercamiento al uso de los desechos textiles aplicados a la construcción. El problema planteado por el autor se basa en las altas repercusiones en el impacto ambiental debido a la extracción y el uso de los materiales de construcción, pues según el artículo, la industria de edificación consume hasta el 25% de todas las materias primas extraídas de la litosfera, lo que al mismo tiempo puede llegar a producir hasta el 40% de todos los residuos vertidos en la misma.

Para contrarrestar esta problemática, el autor quiso realizar un aporte a la construcción sostenible, a partir de la renovación y el reciclaje de los materiales como la lana de oveja (renovable) y el algodón (reciclado) aplicados a un producto de aislamiento térmico. En términos de la metodología, se evidencia la aplicación de un producto cuyo objetivo es ser un aislante térmico fabricado a partir de lana de oveja y retales textiles de confección, compuesto por 75% de algodón y el 25% de otras fibras que se obtiene exclusivamente de residuos textiles pre y post consumo. De igual forma, el producto se utilizó en viviendas de paneles de madera, donde Gerardo Wadel obtuvo como resultado que el producto, en combinación con otros materiales naturales, como la madera en este

caso, permiten reducir drásticamente el impacto ambiental en la fase de extracción de materias primas para la construcción, además de ser un aislamiento térmico en dichas viviendas.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que Gerardo Wadel ha tenido un acercamiento a la problemática que abarca la utilización de los desechos textiles para la creación de un producto aplicado en suelos, muros y cubiertas, por lo que es un aporte importante para este proyecto [8].

Teniendo en cuenta la importancia de conocer el alcance de los textiles en el aislamiento acústico, se pudo evidenciar que en el artículo “Aplicaciones acústicas de lanas textiles” se analizaron los diferentes comportamientos de las fibras textiles como materiales absorbentes para su aplicación en la acústica arquitectónica. Esta aplicación, ofrece diferentes soluciones con este tipo de materiales, ya que en la actualidad se ha ampliado la gama de posibles alternativas incorporando materiales basados en fibras textiles al ámbito del aislamiento y del acondicionamiento acústico. Este artículo es clave, debido a que el autor presenta ejemplos en donde las fibras textiles aportan a la reducción del ruido en sistemas de aire acondicionado y en el diseño de sistemas radiantes.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que es viable diseñar un producto a partir de desechos textiles que cumpla con el objetivo de aislamiento acústico, pues como se puede ver en el artículo, el uso de las lanas textiles redujo significativamente el ruido en ambos sistemas, dado que una fibra textil de poca densidad y grosor ya consigue este efecto de mejora [9].

Con el fin de comparar los antecedentes planteados anteriormente con la propuesta de este proyecto, se puede decir que el desarrollo será similar a los acercamientos obtenidos por los dos primeros autores, ya que estos proponen el diseño de productos a partir de los desechos textiles, afianzando el concepto de economía circular. En cuanto al tercer autor, se pueden rescatar los resultados obtenidos, donde se evidencia que los materiales textiles reciclados aportan significativamente al aislamiento térmico al ser utilizados en muros, techos y suelos. Sin embargo, en este artículo se contempla un desarrollo diferente, ya que el autor realiza placas a partir de dichos materiales, mientras que el enfoque de este proyecto radica en la fabricación de un material compuesto. Frente al último antecedente planteado, se puede resaltar la eficiencia al utilizar los textiles como aislamiento acústico, debido a que se presentan diferentes ensayos para medir la capacidad acústica, identificando el tipo de grosor y de densidad necesarios en los textiles, para cumplir con dicho objetivo.

### **3. Objetivos:**

#### **Objetivo general:**

*Diseñar un elemento de construcción mediante un material compuesto aplicable al aislamiento acústico y térmico, a partir de los desechos de la industria textil.*

#### **Objetivos específicos:**

- Analizar los tipos de textiles que son aptos para la aplicación de aislamiento acústico y térmico.
- Elaborar un material compuesto a partir de desechos textiles cumpliendo las funciones aisladoras acústicas y térmicas.
- Diseñar un elemento de construcción que cumpla con las funciones acústicas y térmicas determinadas.
- Caracterizar el producto desde el comportamiento del material.

### **4. Cuerpo del documento**

*- Analizar los tipos de textiles que son aptos para la aplicación de aislamiento acústico y térmico.*

Para cumplir con este objetivo, fue necesario establecer un orden que será presentado a continuación:

En primer lugar, se escogieron dos sastrerías (una se encuentra ubicada cerca a la Universidad Javeriana y la otra en el barrio Mazurén) que nos permitieron tener acceso a diferentes retazos de manera constante (ver anexo 1). Es importante resaltar que dichos retazos ya no iban a ser reutilizados, por ende, se ejecutó una recolección

de desechos. A partir de los desechos obtenidos se prosiguió a realizar una clasificación y caracterización de cada retazo textil.

En segundo lugar, se realizó una clasificación y agrupación de los textiles según su procedencia. Es importante tener en cuenta que en el mercado existe gran variedad de textiles que se pueden clasificar en tres grandes grupos: naturales, sintéticos y artificiales [10]. Esto se realizó con el fin de obtener características más específicas que abarquen las propiedades acústicas y térmicas, dado que gracias a su composición se le pueden atribuir ciertas características.

Según la clasificación que se puede evidencia en la tabla 3, se encontraron las siguientes propiedades acústicas y térmicas.

Tabla 3. Clasificación de los textiles recolectados

CLASIFICACIÓN DE LOS TEXTILES RECOLECTADOS			
ORIGEN VEGETAL		SINTÉTICOS	
		POLÍMEROS	
		POLIÉSTER	POLIURETANO
<b>Características y propiedades:</b> La fibra de algodón absorbe del 8 al 8.5% de humedad del aire, cuando hay un bajo porcentaje de humedad; y el 32% cuando la humedad relativa es del 100% [13].		<b>Características y propiedades:</b> Según la revista Vilssa, la fibra de poliéster es un producto hidrófugo que repele el agua. Sus aplicaciones van desde las fachadas ventiladas hasta los trasdosados, falsos techos, cubiertas o fachadas tradicionales. Su conductividad térmica puede variar entre los 0,033 y 0,038 W/mK. Dependiendo de las densidades también nos puede servir como un buen aislamiento acústico, con valores que pueden estar entre los 0,5 y los 0,8 [11].	<b>Características y propiedades:</b> Según la asociación de la industria del poliuretano rígido [12], el poliuretano utilizado en la industria textil es un material aislante con un valor de conductividad térmica muy bajo. Adicionalmente, su capacidad de aislamiento se caracteriza por ser vigoroso frente a los efectos de desgaste a los que están expuestos habitualmente los aislamientos térmicos.
Algodón	Jean rígido	Brioni	Lycra estampada
Algodón	Algodón licrado	Crepé satén	Lycra
Algodón	Dril rígido	Cuero sintético	
Algodón	Jean Licrado	Impermeable	
Algodón	Algodón perchado	Poliéster	
Algodón	Gabardina		

Elaborada por el equipo de trabajo

Adicionalmente, con el fin de identificar las fibras empleadas en la fabricación de textiles, se realizaron visitas a distintos almacenes en Bogotá, los cuales tienen presencia en distintas ciudades del mundo, en donde se revisaron las etiquetas de distintas prendas de ropa para poder identificar qué tipo de textiles son utilizados con mayor frecuencia, los cuales a su vez son los que generan mayores residuos. Como resultado de la visita, se obtuvo que, del 100% de las prendas observadas, el 70,59% de ellas fueron confeccionadas completamente o en algún porcentaje a partir de poliéster, mientras que el 20,59% fueron confeccionadas a partir de algodón. El poliuretano se encontró en un 26,48%, pero se identificó que ninguna de ellas fue confeccionada 100% con este textil.

Por último, se realizó una investigación de los diferentes tipos de aglomerantes con el fin de conocer cuáles eran los que tenían mayores características acústicas y térmicas. Es importante escoger un tipo del aglomerante para la realización del material, ya que este permitirá pegar o unir los desechos textiles.

Es importante recalcar que el tipo de aglomerante a utilizar es indispensable para la creación del material compuesto, ya que como fue mencionado anteriormente, éste será el soporte para que los textiles se pueden utilizar, pues es un material capaz de unir diferentes fragmentos (en este caso los textiles) generando una cohesión. Dicha cohesión, se logra al mezclar los diferentes tipos de aglomerantes con agua, obteniendo una pasta que al secarse alcanza cierta resistencia mecánica. En la tabla 4, se puede evidenciar los aglomerantes escogidos, junto con sus propiedades.

Tabla 4. Aglomerantes seleccionados

Aglomerante	Características
Yeso	La densidad y el acabado del yeso, permite que se caracterice por ser un aislante térmico ideal. Adicionalmente, es un aglomerante que absorbe muy poco calor, por lo que permite un mayor provecho de las fuentes térmicas de donde se aplique [14].
Cal	Es un material poroso y altamente transpirable que permite un buen intercambio de vapor de agua entre el interior y el exterior, sin perder las propiedades de aislamiento térmico. Además, al no contener aditivos no emite contaminantes orgánicos volátiles al ambiente [15].
Arcilla	El aislamiento térmico es una de sus principales características, además es inalterable al paso del tiempo y posee un alto valor $\lambda$ (unidad empleada para la medición del aislamiento térmico). Por otro lado, gracias a la estructura celular y porosa de la arcilla expandida, se garantiza una buena absorción de ruidos [16].

Elaborada por el equipo de trabajo

Después de realizar el análisis de cada uno de los textiles obtenidos y de los aglomerantes más utilizados, se tuvo como resultado un entendimiento de sus características en términos del aislamiento acústico y térmico, lo cual nos permitió identificar qué tipo de desechos se pueden utilizar para la realización de los ensayos.

*- Diseñar el material compuesto a partir de desechos textiles cumpliendo las funciones aisladoras acústicas y térmicas.*

Con el objetivo de diseñar el material que cumpla las funciones aisladoras acústicas y térmicas, se realizaron diferentes ensayos. Sin embargo, antes de realizar dichos ensayos, fue fundamental escoger los tipos de retazos a utilizar.

Teniendo en cuenta la clasificación explicada anteriormente, se tomó la decisión de utilizar algodón licrado y poliéster, no solo porque ambos textiles cumplen con las propiedades aisladoras, absorbentes y durables (ver anexo 1), que se buscan para encontrar mejores resultados al momento de realizar el panel de construcción, sino también porque hacen parte de los textiles que más se encuentran en el mercado y cuya composición se puede garantizar que es 100% de fibra de cada tipo.

Por otro lado, se hicieron ensayos con los tres aglomerantes escogidos anteriormente. Dichos ensayos consistieron en realizar una mezcla y ponerla a secar para observar el comportamiento de cada uno de ellos, como resultado se obtuvo que la cal se quebraba fácilmente en el proceso de secado, como se puede evidenciar en la fotografía 1, a diferencia del proceso de secado del yeso y la arcilla, como se puede observar en las fotografías 2 y 3 respectivamente. Por lo tanto, se optó por utilizar únicamente yeso y arcilla.

Fotografía 1. Resultado de la cal en el proceso de secado



Imagen tomada por el grupo de trabajo

Fotografía 2. Resultado del yeso en el proceso de secado



Imagen tomada por el grupo de trabajo

Fotografía 3. Resultado de la arcilla en el proceso de secado



Imagen tomada por el grupo de trabajo

Después de establecer los tipos de textiles y los aglomerantes, se prosiguió a realizar las mezclas (ver anexo 7). Para esto, se utilizó un molde impreso en 3D obteniendo paneles a escala y con las mismas dimensiones, las cuales fueron de 8cm x 8cm x 1.5cm (ver anexo 11). Como se puede ver en las fotografías 4 y 5, dentro del molde se realizaron las siguientes combinaciones tanto para el yeso como para la arcilla: tres paneles de algodón licrado, tres paneles de poliéster y tres paneles de mezcla de textiles (algodón y poliéster).

Es importante resaltar que para cada panel se utilizaron tres gramos de fibra textil, ya que era un peso que se adaptó al molde, mientras que en términos de aglomerantes se utilizó 25 gramos de yeso y 60 gramos de arcilla. Estos pesos, corresponden a una mezcla homogénea de cada aglomerante y apta para el molde al mezclarlo con las telas. Al tener los dos moldes, se fabricaron las muestras (ver anexo 7), a las que se les realizó ensayos de comportamiento acústico y térmico, los cuales serán explicados a continuación.

Fotografía 4. Preparación molde yeso



Imagen tomada por el grupo de trabajo

Fotografía 5. Secado molde de arcilla



Imagen tomada por el grupo de trabajo

Para poder definir si el material compuesto cumple con las funciones aisladoras acústicas y térmicas, se realizaron dos tipos de ensayos, el primero de ellos para estudiar el comportamiento acústico de cada material compuesto y el segundo para estudiar el comportamiento térmico de cada tipo de panel. Los resultados de estos ensayos se pueden observar a continuación:

#### ***Ensayo de comportamiento acústico***

A continuación, se presentará el informe del ensayo de comportamiento acústico.

***Elementos ensayados:*** Paneles compuestos de yeso con retazos de algodón (2), arcilla con retazos de algodón (2), yeso con retazos de poliéster (3), arcilla con retazos de poliéster (2), yeso con retazos de algodón y poliéster (3) y arcilla con retazos de algodón y poliéster (3).

***Objetivo:*** Identificar el nivel de aislamiento acústico de cada uno de los paneles al ser expuestos a una transmisión directa de sonido.

***Ensayo realizado:*** Medición de la atenuación del sonido en el aire entre habitaciones en edificios.

***Norma aplicada:*** Se realizó un ensayo de laboratorio a partir de la norma ASTM E336-19 (ver anexo 5).

#### ***Elementos empleados:***

Tabla 5. Elementos empleados en el ensayo de comportamiento térmico

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>S/N</b>	<b>Ficha técnica</b>
Sonómetro EXTECH	407730	N/A	Ver anexo 6

Elaborada por el equipo de trabajo

***Lugar en donde se realizó el ensayo:*** Habitación aislada de ruidos externos.

**Observaciones:** Todos los paneles estuvieron expuestos a la misma fuente de sonido, la cual tenía una transmisión de 95.15 dbA.

**Procedimiento:** Se elaboró un modelo de prueba, el cual consistió en una caja forrada en papel aluminio por fuera y fieltro en su interior, para así lograr un espacio insonorizado, como se explica en el diagrama de flujo (ver anexo 14). Dentro de la caja se ubicó la fuente de sonido, la cual consistió en simular un ruido de construcción mediante la bocina de un teléfono móvil emitiendo un sonido de 95 dbA aproximadamente, debido a que los ruidos presentados en las construcciones son los más comunes en la ciudad de Bogotá. A continuación, se eliminó la cara superior de la caja, con el fin de reemplazarla con los paneles y además sellar las aristas del panel y de la caja, esto con el objetivo de evitar que el sonido se propagara por cualquier abertura.

Al reemplazar la cara por los paneles y sellar cualquier escape, se realizó la medida del sonido mediante el sonómetro, el cual fue posicionado directamente en el panel, debido a que era necesario medir únicamente la propagación del ruido a través de dicho panel.

**Registro fotográfico:**

En la fotografía 6, se puede evidenciar la caja que se elaboró y se utilizó para los ensayos acústicos, mientras que la fotografía 7 hace referencia al panel como arista de la caja y la medición del sonido mediante el sonómetro durante los ensayos.

Fotografía 6. Caja utilizada para los ensayos de comportamiento acústico



Imágenes tomadas por el grupo de trabajo

Fotografía 7. Caja utilizada para los ensayos de comportamiento acústico

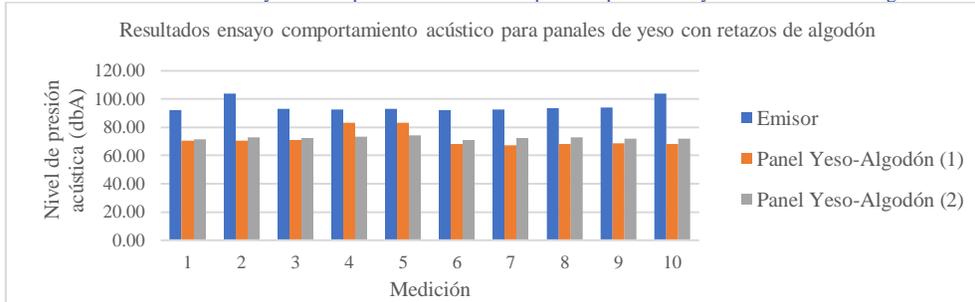


Imágenes tomadas por el grupo de trabajo

**Resultados:**

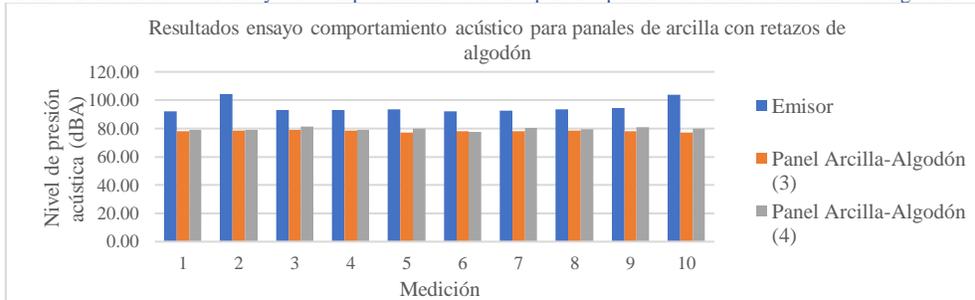
A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos realizados (para consultar los datos obtenidos en cada uno de los ensayos dirigirse al anexo 3):

Gráfico 1. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de yeso con retazos de algodón



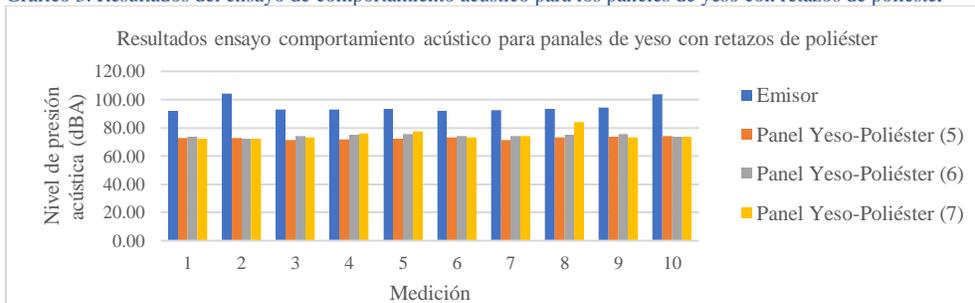
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 2. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de arcilla con retazos de algodón



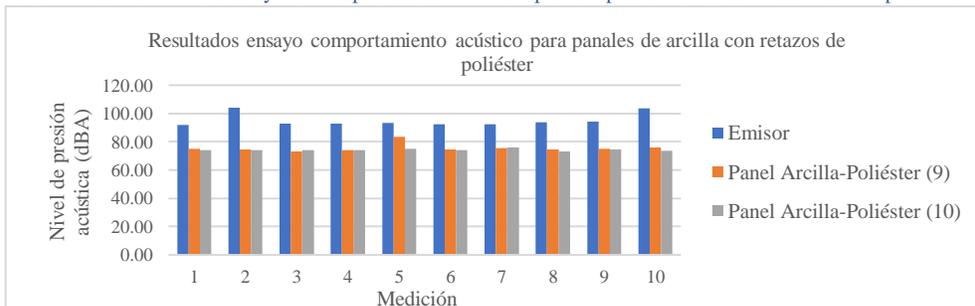
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 3. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de yeso con retazos de poliéster



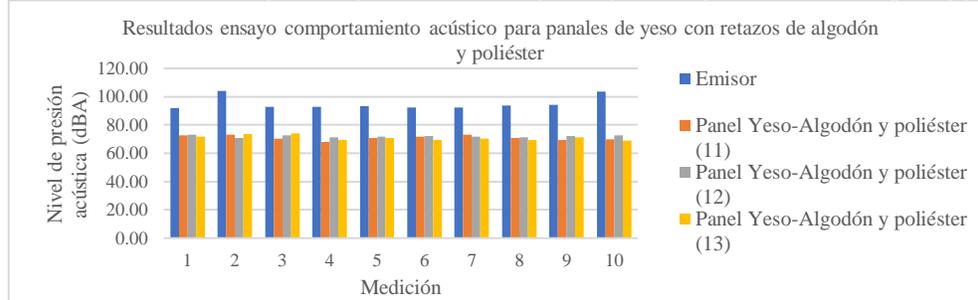
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 4. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de arcilla con retazos de poliéster



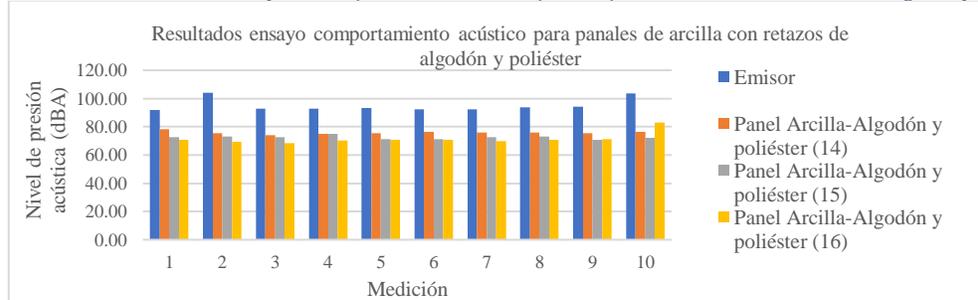
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 5. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de yeso con retazos de algodón y poliéster



Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 6. Resultados del ensayo de comportamiento acústico para los paneles de arcilla con retazos de algodón y poliéster



Elaborado por el equipo de trabajo

**Análisis de los resultados:**

En el siguiente apartado se realiza el cálculo del índice de aislamiento acústico (R), el cual se define como la capacidad que tiene un elemento de construcción para reducir la intensidad acústica de un ruido [17]. Para calcular dicho índice se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = L_{p1} - L_{p2} \quad (1)$$

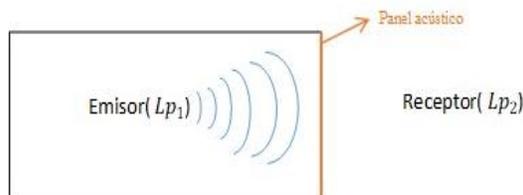
Donde:

$L_{p1}$ : Nivel de presión del ruido efectuado por la fuente (dB(A)).

$L_{p2}$ : Nivel de presión del ruido percibido al otro lado del panel (dB(A)).

$L_{p1}$  y  $L_{p2}$  se pueden evidenciar en el gráfico que se muestra a continuación:

Gráfico 7. Diagrama ensayo acústico



Elaborado por el equipo de trabajo

Es importante mencionar que  $L_{p1}$  y  $L_{p2}$  se calcularon mediante la siguiente ecuación [18]:

$$L_{pi} = 10 * \text{Log} \left( \frac{\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{10^{10}}}{n} \right) \quad (2)$$

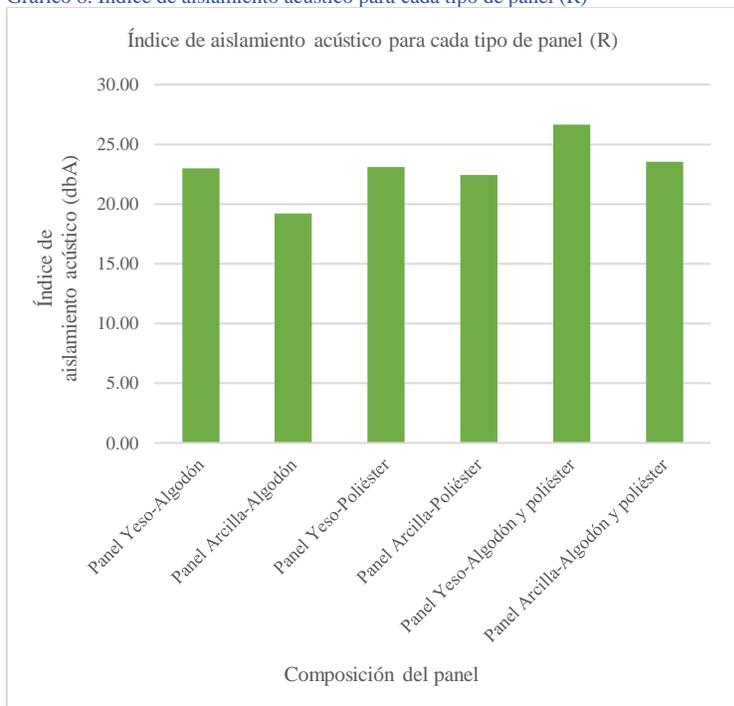
Donde:

$S_j$ : Ruido medido por el sonómetro (emisor/receptor) (dB(A)).

*n*: Número total de mediciones.

A partir de esto se obtuvieron los siguientes resultados frente al índice de aislamiento acústico (R) (los resultados se pueden observar en el anexo 3):

Gráfico 8. Índice de aislamiento acústico para cada tipo de panel (R)



Realizado por el grupo de trabajo

**Conclusiones:**

Teniendo en cuenta los resultados expuestos anteriormente, se puede afirmar que el panel con mayor índice de aislamiento acústico fue el de yeso con retazos de algodón y poliéster, alcanzando un índice de 26,62 dbA.

**Ensayo de comportamiento térmico**

A continuación, se presentará el informe del ensayo de comportamiento térmico.

**Elementos ensayados:** Paneles compuestos de yeso con retazos de algodón (2), arcilla con retazos de algodón (2), yeso con retazos de poliéster (3), arcilla con retazos de poliéster (3), yeso con retazos de algodón y poliéster (3) y arcilla con retazos de algodón y poliéster (3).

**Objetivo:** Identificar el comportamiento de cada uno de los paneles al ser expuestos a altas temperaturas por un tiempo determinado.

**Ensayo realizado:** Medición de la transmisión de calor por el método de placa caliente.

**Norma aplicada:** Se hizo un ensayo de laboratorio a partir de la norma ASTM C177-19 (Ver anexo 8).

**Elementos empleados:**

Tabla 6. Elementos empleados en el ensayo de comportamiento térmico

Equipo	Modelo	S/N	Ficha técnica
Placa térmica JISICO	J-HMS	1310-2	Ver anexo 9
Cámara termográfica FLIR	E6-XT	N/A	Ver anexo 10

Elaborada por el equipo de trabajo

**Lugar en donde se realizó el ensayo:** Laboratorio de materiales de la Pontificia Universidad Javeriana

**Observaciones:** Todos los paneles estuvieron expuestos a la misma temperatura, 205°C.

**Procedimiento:** Se colocó cada panel en la placa térmica, se tomó la temperatura inmediatamente, tanto de la placa como del panel, se dejó expuesto el panel a esa misma temperatura y se realizó la medición de la temperatura después de 5, 10 y 20 minutos, como se puede observar en el diagrama de flujo (ver anexo 15). Si después de 20 minutos, el panel seguía presentando una temperatura menor que la que presentaba la placa, significaba que el material del panel aislaba en cierta medida la temperatura.

**Registro fotográfico:**

En la fotografía 8, se puede observar cómo se colocó cada uno de los paneles sobre la placa térmica, mientras que la fotografía 9, es una imagen de la cámara termográfica, en donde se muestran 3 temperaturas distintas: la que se encuentra en la esquina superior izquierda, es la temperatura del objeto, que en este caso es un panel de yeso con retazos de algodón. En la esquina inferior izquierda se ve la temperatura mínima que experimenta el objeto y en la esquina inferior derecha, se observa la temperatura máxima, la cual representa la temperatura a la que está expuesto el panel.

Fotografía 8. Ejemplo de la realización de los ensayos de comportamiento térmico



Imagen tomada por el equipo de trabajo

Fotografía 9. Imagen obtenida mediante la cámara termográfica

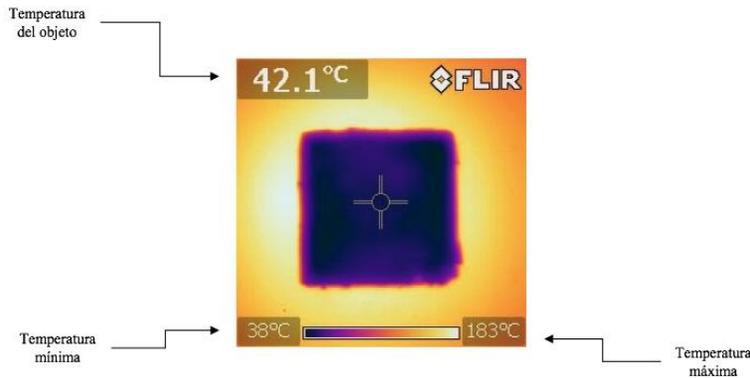
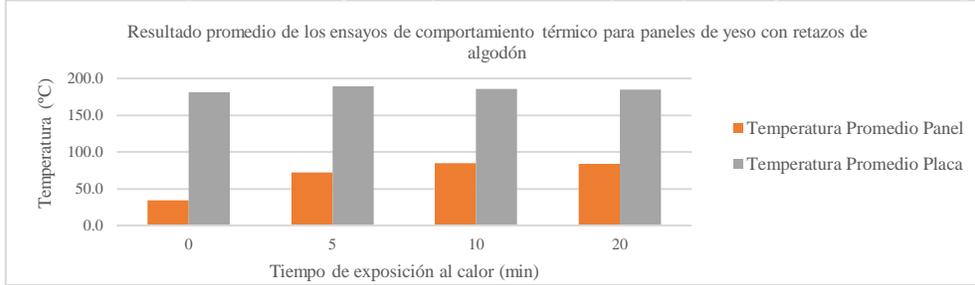


Imagen tomada por el equipo de trabajo

**Resultados:**

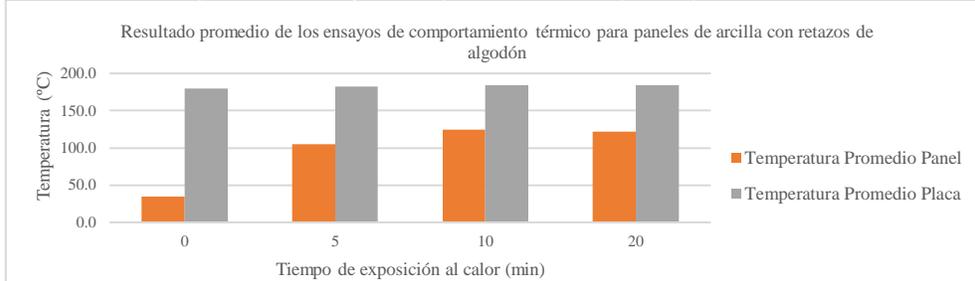
Ahora se pueden observar los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos realizados (si se quiere observar los datos obtenidos en cada uno de los ensayos dirigirse al anexo 4):

Gráfico 9. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de yeso son retazos de algodón



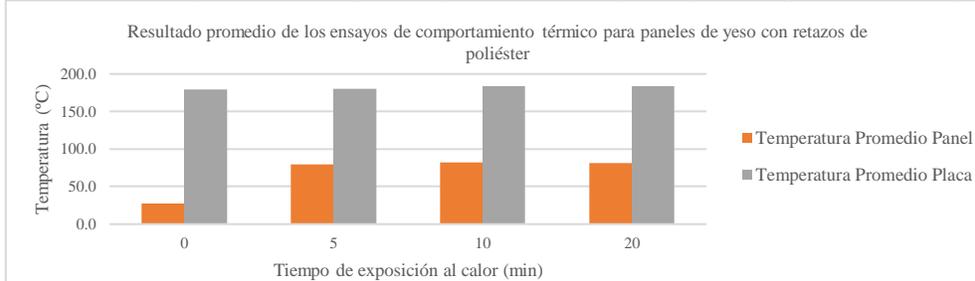
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 10. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de arcilla son retazos de algodón



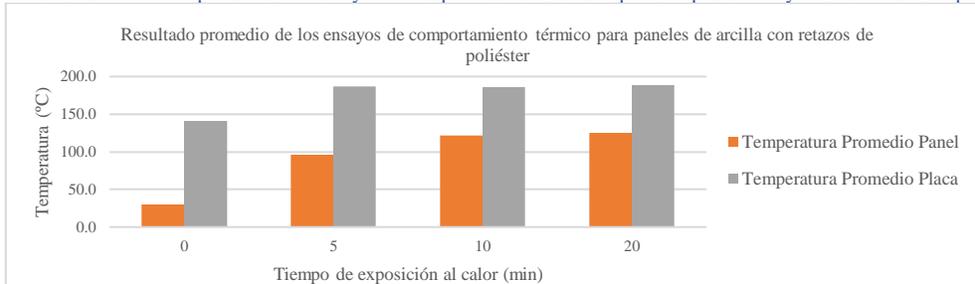
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 11. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de yeso son retazos de poliéster



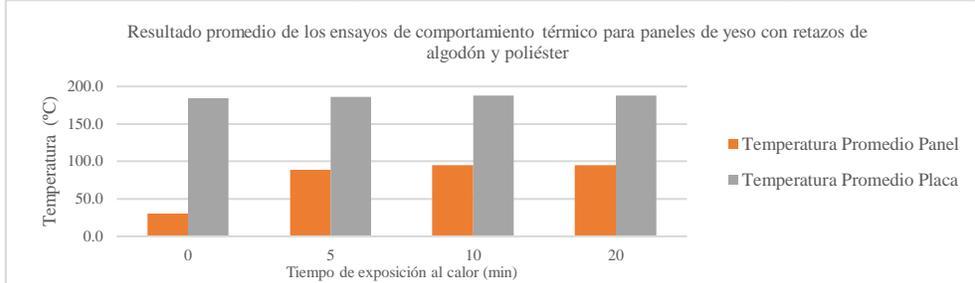
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 12. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de yeso son retazos de poliéster



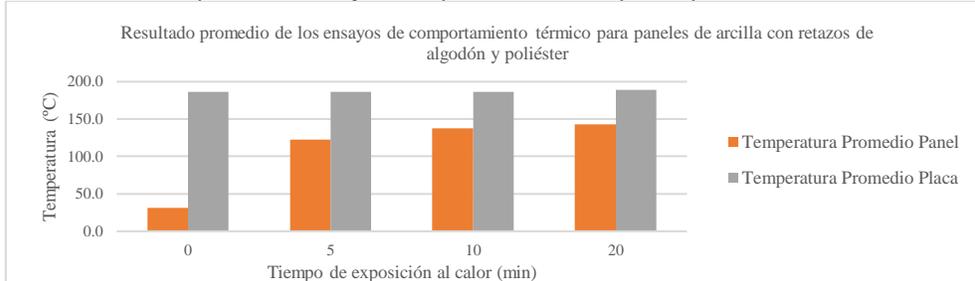
Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 13. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de yeso con retazos de algodón y poliéster



Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 14. Resultado promedio del ensayo de comportamiento térmico para los paneles de arcilla con retazos de algodón y poliéster



Elaborado por el equipo de trabajo

**Analisis de los resultados:**

En el siguiente apartado se realiza el cálculo del índice de aislamiento térmico (R), el cual se define como la resistencia al flujo de calor, es importante mencionar que en cuanto más alto sea el valor de R, mayor será el poder de aislamiento del material [19]. Para calcular dicho índice se realizó el siguiente procedimiento:

En primer lugar se calculó Q (tasa de flujo de calor en W) de cada panel a partir de la ecuación (3):

$$Q = E \times I \quad (3)$$

Donde:

- E: Voltaje de la placa térmica (V).
- I: Corriente de la placa térmica (A).

En segundo lugar, se reemplazó Q (3) en la ecuación (4) para obtener, q (flujo de calor por unidad de área):

$$q = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Donde:

- Q: Tasa de flujo de calor (W)
- A: Área del panel (m<sup>2</sup>)

Finalmente, se reemplazó q (4) en la ecuación de R (5) evidenciada a continuación:

$$R = -\frac{T_2 - T_1}{q} \quad (5)$$

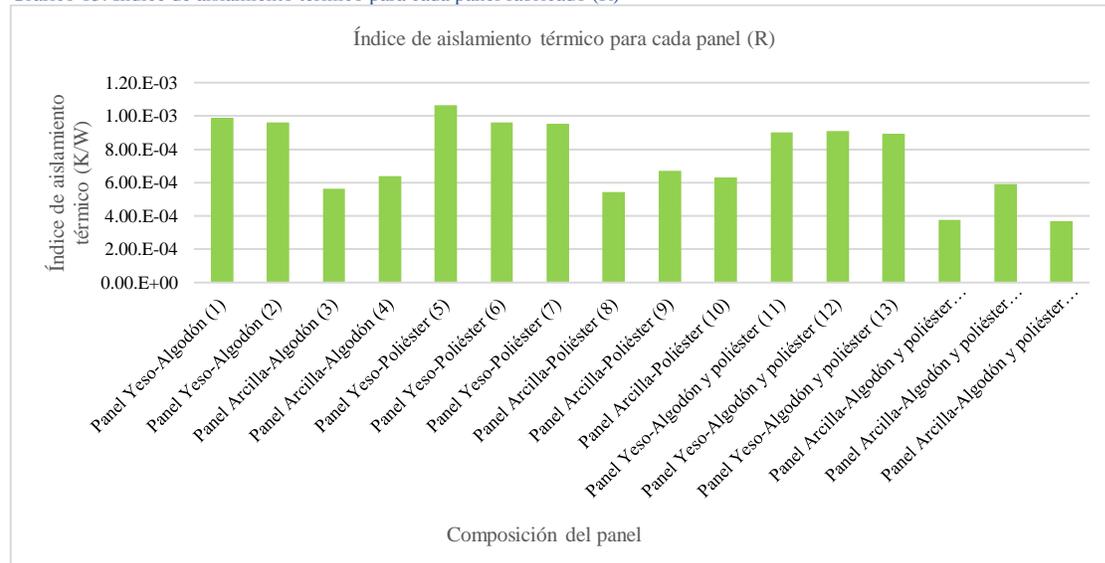
Donde:

- T<sub>2</sub>: Temperatura del panel (K).
- T<sub>1</sub>: Temperatura de la placa (K).
- q: Flujo de calor por unidad de área ( $\frac{W}{m^2}$ ).

Es importante mencionar que este procedimiento se realizó según la norma ASTM C177-19.

Los resultados obtenidos se pueden evidenciar a continuación (los resultados se presentan en el anexo 4):

Gráfico 15. Índice de aislamiento térmico para cada panel fabricado (R)



Elaborado por el equipo de trabajo

#### **Conclusiones:**

Teniendo en cuenta lo expuesto, se puede concluir que el panel con mayor índice de aislamiento térmico, es el que está compuesto por yeso con retazos de poliéster, con un valor de  $1,07 \times 10^{-3}$  K/W.

#### **Elección del material a utilizar para el diseño y caracterización del elemento de construcción:**

Para la elección del material a utilizar se tuvo en cuenta los resultados de ambos ensayos, con el fin de escoger el panel que tuviera mayor índice de aislamiento acústico y térmico. Sin embargo, se llegó a la conclusión de seleccionar el panel de yeso con retazos de algodón y poliéster, no solo porque obtuvo el mayor índice de aislamiento acústico, sino también porque presentó un alto índice de aislamiento térmico. Por lo que dicho panel cumple con ambas condiciones.

Índice de aislamiento acústico del panel de yeso con retazos de algodón y poliéster: 26,64 dbA.

Índice de aislamiento térmico del panel de yeso con retazos de algodón y poliéster:  $9,08 \times 10^{-4}$  K/W.

- Diseñar un elemento de construcción que cumpla con las funciones acústicas y térmicas determinadas.

Teniendo en cuenta las características del panel de yeso con retazos de algodón y poliéster, se realizó el diseño del elemento de construcción, partiendo de las siguientes variables: dimensiones, índices de aislamiento acústico y térmico, viabilidad ambiental y costos. Las cuales serán abordadas a continuación.

#### **Dimensiones:**

Según el acuerdo 20 de 1995, expuesto por la [Secretaría Distrital del Hábitat de Bogotá](#), la altura mínima de una habitación habitable debe ser de 2,10m, por un ancho mínimo de 1,80m. Teniendo en cuenta lo anterior, se definió que los paneles tendrán dimensiones estándares de 1,22m de ancho, 2,44m de alto y 0,02m de espesor (ver anexo 2 para ver los planes). Es importante mencionar, que dichas dimensiones también corresponden a las medidas que se utilizan frecuentemente en el mercado colombiano en productos como láminas drywall.

A continuación, se muestra el contenido de materia prima del panel de construcción según las dimensiones expuestas anteriormente:

Tabla 7. Contenido de materias primas del panel

Materia prima	Contenido en la muestra (kg)	Contenido en el panel (kg)	Porcentaje de uso (%)
Retazos de textiles	0,003	1,86	6,25%
Yeso en polvo	0,025	15,50	52,08%
Agua	0,02	12,40	41,67%

Elaborada por el equipo de trabajo

El contenido de materias primas del elemento de construcción (panel comercial), se calculó teniendo en cuenta la relación de volumen de éste, respecto al panel de muestra. Así mismo se obtuvo el peso total del panel comercial, el cual fue de 18,605 kg (ver anexo 12).

**Índice de aislamiento acústico del panel comercial:**

Teniendo en cuenta estas nuevas medidas, se realizó el cálculo del índice de aislamiento acústico que tendrá el panel fabricado a partir de yeso con retazos de algodón y poliéster. Para calcular este resultado se utilizó la ley de masa, explicada en el Código Técnico de la Edificación (CTE-DB-HR). La cual se basa en “cuanto menor es el peso de la pared simple, más vibrará y, por tanto, más ruido transmitirá” y en la siguiente ecuación [18]:

$$R = (16,6 * \text{Log } m) + 5, \text{ masa} \leq 150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (6)$$

Donde:

*m*: Masa del panel comercial (kg)

Reemplazando en la ecuación (3) se obtuvo:

$$R = (16,6 * \text{Log } 18,605) + 5$$

$$R = 26,08 \text{ dbA}$$

Obteniendo que el panel comercial tendrá un índice de aislamiento acustico de 26,08 dbA.

**Índice de aislamiento térmico del panel comercial:**

Para calcular el índice de aislamiento térmico del panel comercial se realizó una simulación térmica con el fin de obtener el flujo del calor del panel al ser sometido durante 20 minutos a una temperatura de 205°C. Se decidió realizar la simulación térmica mediante SolidWorks, ya que a partir de ésta fue posible observar la distribución de la temperatura mediante un mecanismo de convección (la simulación y el informe se pueden ver en los anexos 16 y 17 respectivamente).

En la fotografía 10, se puede observar la cara de panel que fue sometida directamente al calor después de los 20 minutos. Mientras que en la fotografía 11, es evidente el comportamiento de las capas del material (yeso, poliéster y algodón) expuestas a una temperatura constante. Por último, en la fotografía 12, se muestra la temperatura resultante en la última cara del panel, esta fue de 4,308x10<sup>2</sup> K.

Fotografía 10. Cara del panel expuesta directamente al calor durante 20 minutos

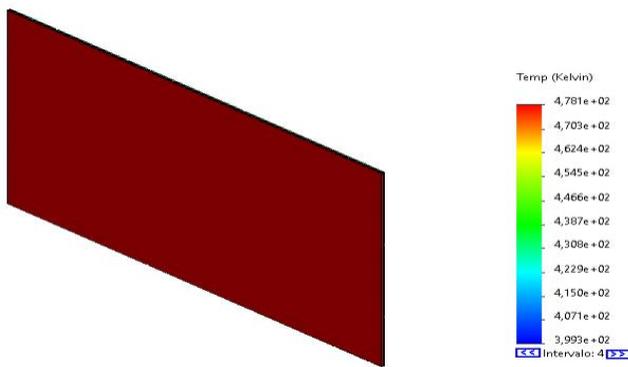


Imagen sacada del informe de SolidWorks

Fotografía 11. Comportamiento térmico de cada capa de material

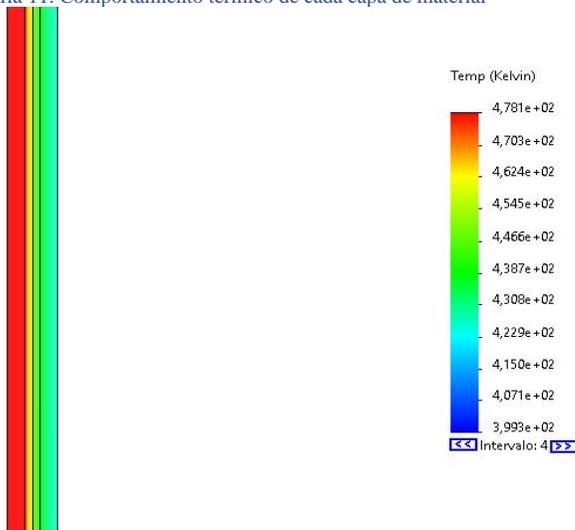


Imagen sacada del informe de SolidWorks

Fotografía 12. Temperatura resultante en la cara contraria a la expuesta



Imagen sacada del informe de SolidWorks

A partir de dicha simulación, se obtuvo que el flujo de calor ( $q$ ) del panel fue de 949,998 W/m<sup>2</sup> (ver anexo 18). Al reemplazarlo en la ecuación (5) junto con las temperaturas ( $T_2$ ,  $T_1$ ) es posible estimar el índice de aislamiento térmico del panel comercial:

$$R = -\frac{T_2 - T_1}{q} \quad (5)$$

Obteniendo que el panel comercial tendrá un índice aislamiento térmico de  $5 \times 10^{-2}$  K/W.

**Viabilidad Ambiental:**

Los retazos textiles utilizados para la construcción del panel son 100% viables para el ámbito ambiental, porque lo que se pretende es generar una economía circular donde los textiles como el algodón y poliéster, sean reutilizados en un proceso de producción que no genere contaminación en el medio ambiente. Por el lado del yeso, se conoce que es un compuesto que se encuentra abundantemente en la naturaleza, sus residuos son biodegradables y tiene un buen balance ecológico debido a su eficiente utilización de componentes de materias primas como el agua y el cartón [20].

**Costos:**

Para la estimación de costos del panel, se realizó una comparación con las placas o láminas de drywall comercialmente vendidas en Homecenter en la ciudad de Bogotá. De igual forma, se tomó en cuenta el costo de la materia prima a utilizar para la construcción del panel, y el costo de producción expresado en horas.

De acuerdo con la imagen 1, en el mercado existen diferentes tipos de láminas a base de yeso, las cuales tienen la funcionalidad de ser usados en sistemas de muros, paredes y cielo rasos, reparaciones, remodelaciones y revestimientos en ambientes interiores. Los precios oscilan dependiendo del productor, el material y las dimensiones (en el anexo 19, se pueden observar las características del drywall).

Imagen 1. Precios comerciales de las láminas de drywall a base de yeso

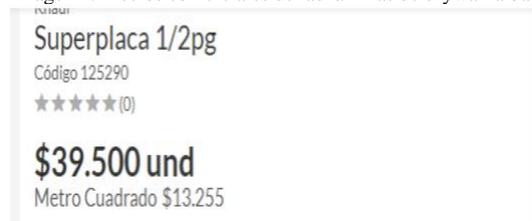


Imagen sacada de: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>

Observando las tablas 8 y 9, el costo asociado al panel construido se compone de la suma del costo de los materiales utilizados y el costo de producción por unidad, concluyendo así que el costo por panel es de \$34.103 pesos colombianos. En cuanto a los retazos textiles, cabe resaltar que estos se obtienen de forma gratuita, por lo que no se asume costo alguno. Sin embargo, a nivel industrial los costos pueden incrementar por maquinaria, salarios, prestaciones, materia prima e incluso el valor de compra de los retazos textiles. Por esto, se puede decir que el panel construido puede llegar a tener un costo más elevado al del comercialmente encontrado con las mismas dimensiones.

Tabla 8. Costos de la materia prima

Costos de materia prima			
Material	Contenido	Costo/und	Costo total
Retazos de tela (kg)	2,79	\$0,00	\$0,00
Yeso (kg)	23,26	\$1.156,00	\$26.883,94
Agua (lt)	18,61	\$3,60	\$67,01
<b>TOTAL</b>			<b>\$26.950,95</b>

Elaborada por el equipo de trabajo

Tabla 9. Costos de producción del panel

Costos de producción		
Proceso	Tiempo (hr)	\$/hr
Corte textiles	0,5	\$2.043,50
Preparación yeso	0,25	\$1.021,75
Mezcla yeso con retazos	1	\$4.087,00
Secado	6	\$0,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$7.152,25</b>

Elaborada por el equipo de trabajo

- Caracterizar el producto desde el comportamiento del material.

Teniendo en cuenta que el producto se define como un panel realizado a partir de yeso y retazos de poliéster y algodón, se le pueden atribuir diferentes características que no solo aportan a una economía circular basada en la reutilización de retazos textiles, sino también a un elemento de construcción que logra aislar el sonido y la temperatura.

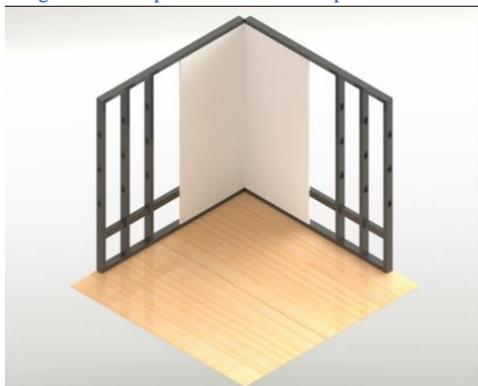
El producto se caracteriza por ser significativamente liviano con un peso aproximado de 18,605 kg, lo que garantiza facilidad de adaptación y de transporte, empleando el mínimo de operarios hacia o dentro de la construcción y de la misma manera reduciendo costos. Además de ser liviano, presenta alta durabilidad, lo cual se debe a su alta resistencia a la temperatura, pues esto garantiza que no se expanda ni se contraiga al experimentar diferentes cambios de temperatura.

Por otro lado, como fue descrito en el objetivo anterior, se pueden llegar a presentar altos costos en el proceso de producción. Sin embargo, el producto presenta alta viabilidad ambiental, dándole la opción a las empresas de construcción, de fabricarlo y adaptarlo fácilmente sin ser contraproducente en términos ambientales.

Con respecto a la aplicación, el panel podrá ser utilizado específicamente entre las paredes bajo una aplicación similar a la de un drywall, es decir, reforzado con soportes metálicos, brindándole mayor estabilidad y resistencia. Por lo tanto, puede ser instalado en obras nuevas, en remodelaciones, o en espacios en donde se requiera hacer divisiones. Es importante mencionar que estos paneles son de uso exclusivo en interiores [21].

Como se puede ver en la imagen 2, la instalación es bastante sencilla, ya que lo único que se requiere es colocar parales y canaletas de láminas de acero, en donde posteriormente serán atornillados los paneles de yeso; el tiempo que se requiere para su instalación es mucho menor que el tiempo necesario para realizar una pared de ladrillo. Es posible que después de la instalación, el panel requiera de pequeñas refacciones con el fin de obtener mejores acabados.

Imagen 2. Prototipo de instalación del panel comercial



Realizado por el equipo de trabajo

Inicialmente se busca que estos paneles sean aplicados en obras civiles en Bogotá o en ciudades con climas similares, ya que todos los ensayos fueron realizados con base en las características de temperatura, presión y humedad de la ciudad de Bogotá. Aunque, en cuanto a la temperatura, los paneles fueron expuestos a altas temperaturas y éstos respondieron correctamente, por lo que se podría pensar la posibilidad de poder ser instalados en ciudades que presentan mayores temperaturas.

## 5. Componente de diseño en ingeniería

### 5.1. Declaración de Diseño

El diseño principal del proyecto son paneles que se puedan utilizar en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá, elaborados a partir de desechos textiles con el fin de generar aprovechamiento de estos, con funcionalidad de ser un aislamiento acústico y térmico.

### 5.2 Proceso de Diseño

Así como fue mencionado en el desarrollo de los objetivos, fue esencial utilizar un molde que permitiera realizar las mezclas de aglomerantes con los retazos de tela. A partir de dicho molde y mezcla, se obtuvo el diseño propuesto. Al tener el prototipo, los ensayos de comportamiento acústico y térmico fueron un paso indispensable en el proceso de creación, ya que estas permitieron definir si se respetan las restricciones y el cumplimiento de los estándares propuestos.

Este diseño y el proceso de creación cumplen con el estándar declarado previamente, principalmente por dos razones. La primera, porque mediante los ensayos de comportamiento acústico y térmico se pudo determinar que el panel presenta un índice de alistamiento acústico de 26,62 dbA y de  $5 \times 10^{-2}$  K/W respectivamente. La segunda, porque se cumplió con el estándar y requerimiento de que la composición del panel fuera a partir de retazos textiles, aportando al aprovechamiento de estos y un modelo de economía circular.

### 5.3 Requerimientos de desempeño

Los requerimientos definitivos para el producto fabricado a lo largo del trabajo de grado consisten en darle uso a los residuos de la industria textil. Para definir si el elemento cumple con las funciones de aislamiento, se deben

tener en cuenta tanto las normas de construcción que rigen en Bogotá, como los resultados de las pruebas técnicas que se le deben realizar al elemento de construcción. El panel comercial debe tener como mínimo una altura de 2,10m y un ancho de 1,80m para ser vendida como lámina para paredes de una vivienda. Por otro lado, también se debe tener en cuenta la norma española de aislamiento acústico, la cual indica el aislamiento mínimo requerido en [viviendas](#).

#### 5.4 Pruebas de rendimiento

Para definir si el elemento de construcción cumple con los requerimientos de desempeño planteados anteriormente, se le realizaron dos pruebas técnicas, una para verificar si el material permite el aislamiento acústico y otra para el aislamiento térmico.

Para los ensayos de comportamiento acústico, se utilizó una caja de madera cubierta con papel aluminio e internamente cubierta con fieltro para tener un lugar insonorizado, y de esta forma evitar que el sonido saliera por las demás paredes de la caja. Posteriormente, se eliminó la cara izquierda de la caja y fue reemplazada por los diferentes paneles que se realizaron con los distintos materiales (esto se puede observar en las fotografías 6 y 7).

Con el fin de poder identificar qué materiales tenían un mayor porcentaje de aislamiento, se ubicó una fuente de ruido dentro de la caja, posteriormente se selló la caja con plastilina para evitar que se escapara el ruido y por fuera se ubicó el sonómetro para medir la cantidad de sonido.

Para identificar si realmente el panel aislaba el sonido, se tomó una medida inicial sin ningún panel en la cara izquierda de la caja, el cual marcaba un sonido de aproximadamente 90 a 100 db, y se comparó con lo marcado por el sonómetro al posicionar el panel en el hueco.

Para los ensayos de comportamiento térmico, se utilizó una plancha térmica, como se puede observar en la fotografía 8, en donde se colocaron los paneles durante un tiempo determinado, para identificar si los paneles soportaban el calor y, además, para identificar si estos aislaban la temperatura. Es importante mencionar que todos los paneles fueron expuestos a la misma temperatura, la cual era de 205°C. Para saber la temperatura de cada uno de los paneles, se utilizó una cámara termográfica, en donde se podía observar tanto la temperatura de la plancha como de los objetos alojados encima de ésta.

#### 5.5 Restricciones

Las restricciones presentadas en el proyecto de grado se basaron en lograr la creación de este nuevo material dándole un nuevo uso a los residuos sólidos generados por la industria textil, sin generar un mayor nivel de contaminación en el ambiente y en cumplir con la norma española de aislamiento acústico explicada a continuación:

La norma española de aislamiento acústico, la cual se presenta en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y su documento básico de protección frente al ruido (DBHR), presenta la información resumida de los valores mínimos del aislamiento exigido en cada uno de los casos. Es importante mencionar, que se va a tomar como referencia la norma española, debido a que en Colombia no existe una norma para el aislamiento acústico.

Tabla 10. Valores mínimos de aislamiento exigido

Aislamiento acústico entre	Nivel mínimo de aislamiento
Propietarios distintos	65 dbA
El recinto emisor (de uso comercial) y el recinto receptor de vivienda	60 dbA

Elaborada por el equipo de trabajo

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que el diseño del panel no cumple con ambas restricciones. Con respecto al tema ambiental, no se generó contaminación durante el proceso de creación del material, ya que como fue explicado anteriormente, no se utilizaron componentes o mecanismos que no aporten a una economía circular. Por otro lado, según los resultados obtenidos en los ensayos de comportamiento acústico, se

puede verificar que no se cumple con la norma española de aislamiento acústico, aunque el panel si presenta un índice de aislamiento, ya que según los resultados obtenidos el nivel de aislamiento fue de 26,08 dbA, siendo menor a los niveles mínimos de aislamiento presentados en la tabla 10.

### 5.6 Cumplimiento del estándar

La selección de los retazos textiles y los aglomerantes a utilizar, fueron parte fundamental para que se cumplieran los estándares declarados en el proyecto de grado, debido a que, así como se expuso en el primer objetivo, se realizó una investigación de los diferentes tipos de textiles y aglomerantes que fueran aptos para la elaboración del material compuesto según sus propiedades y facilidad de adquirirlos. Por otro lado, mediante los ensayos de comportamiento acústico y térmico, se garantizó que el panel propuesto cumpliera no solo con los objetivos establecidos, sino también con las normas y restricciones.

## 6. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada objetivo:

Tabla 11. Resultados obtenidos por cada objetivo

1	Análisis conceptual, clasificación y caracterización de los 11 tipos de textiles recolectados en Bogotá. Análisis de las características de tres tipos de aglomerantes más convenientes (cal, yeso, arcilla) a las funciones acústicas y térmicas buscadas para el proyecto.
2	Selección de los textiles tipo algodón licrado y poliéster con la composición 100% de estos y preferencia en aglomerantes cal y yeso. Se realizan ensayos de comportamiento acústico y térmico de las posibles combinaciones entre retazos de algodón, poliéster o mezcla entre estos dos con los dos aglomerantes. Finalmente se escoge el yeso con la mezcla de poliéster y algodón por su mayor porcentaje de funcionalidad.
3	A partir de la selección del material se define la forma (lámina cuadrada) y dimensiones de 1,22m ancho, 2,44m alto y 0,02m espesor del panel acústico y un costo de \$34.103 pesos colombianos. Con índices de aislamiento acústico y térmico de 26,08 dbA y $5 \times 10^{-2}$ K/W respectivamente.
4	Aplicación del elemento de construcción en obras civiles y en los hogares de Bogotá, específicamente entre las paredes bajo la aplicación similar a la de un drywall, se muestra procedimiento recomendado de instalación.

Elaborada por el equipo de trabajo

De acuerdo con el problema planteado inicialmente, se pretende aumentar el porcentaje de aprovechamiento de residuos textiles en Colombia, pues actualmente se evidencia solo un 5%. Con la elaboración del panel de construcción propuesto es posible aumentar dicho porcentaje a un 6,25%, ya que la materia prima principal de éste son los residuos textiles de algodón y poliéster. Por otro lado, también es fundamental tener en cuenta que según la Secretaría Distrital de Ambiente los materiales más utilizados en el sector textil son el algodón (55%) y el poliéster (29%), por lo que también se puede decir que, gracias al panel, se está contribuyendo a la reutilización de los textiles más presentes en el mercado y con mayor volumen de producción.

El impacto que genera el proyecto recae en el ámbito ambiental y social. Por un lado, el uso de los textiles en la economía circular es un impacto benéfico, no solo porque se crea un valor agregado a los residuos textiles que ya se creían perdidos, sino también [porque se disminuye la cantidad de toneladas desechadas en el país y a su vez la contaminación generada, como por ejemplo la acumulación de desechos que están siendo llevados a los rellenos sanitarios](#). Por otro lado, se pudo comprobar que los textiles tienen propiedades de ser aisladores

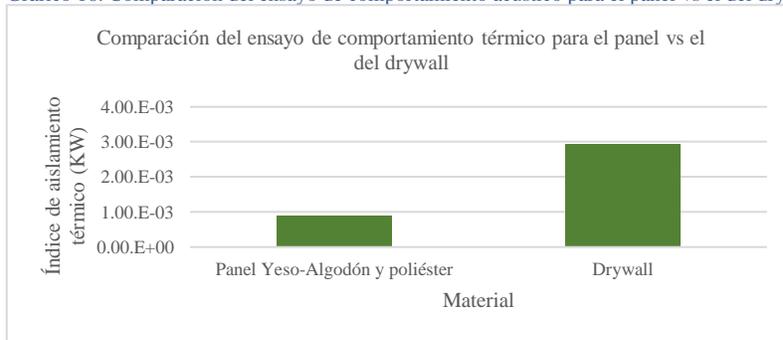
acústicos y térmicos. Al utilizarlos en el panel, que posteriormente sería instalado en viviendas, se podría generar una solución para las personas que están expuestas diariamente en sus hogares a ruidos exteriores como el de los automóviles y las construcciones.

### **Panel comercial vs drywall:**

Por otro lado, a modo de resultado, se realizó una comparación basada en el porcentaje de aislamiento acústico y térmico entre el panel construido en este proyecto a partir del material compuesto (retazos de algodón, poliéster mezclado con yeso) y el material de construcción drywall, ya que este último, es el componente que más se asemeja a su forma y funcionalidad.

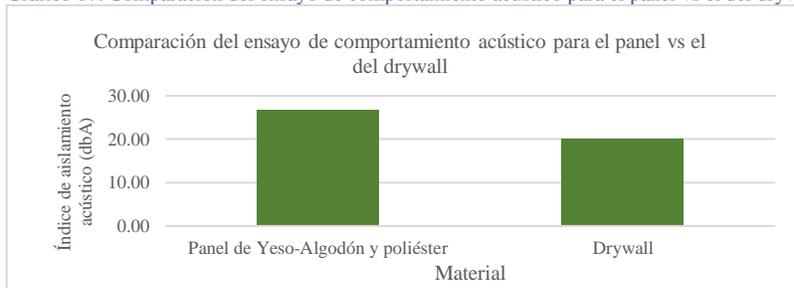
Los resultados se pueden evidenciar a continuación:

Gráfico 16. Comparación del ensayo de comportamiento térmico para el panel vs el del drywall



Elaborado por el equipo de trabajo

Gráfico 17. Comparación del ensayo de comportamiento acústico para el panel vs el del drywall



Elaborado por el equipo de trabajo

De lo anterior se puede observar que el drywall tiene un índice de aislamiento térmico de  $9,08 \times 10^{-4}$  K/W, mientras que el panel de yeso con retazos de algodón y poliéster tiene un índice de aislamiento de  $2,95 \times 10^{-3}$  K/W (ver anexo 4), lo cual indica que el drywall tiene un aislamiento mayor que el panel realizado, aunque la diferencia numérica no es muy grande. Por lo tanto, se puede decir que el panel fabricado con yeso y retazos de algodón y poliéster va a cumplir una función similar a la del drywall en cuanto al aislamiento térmico.

Por otro lado, el panel de yeso presenta un mayor índice de aislamiento acústico que el drywall, dado que este es de 26,62 dbA, mientras que el drywall presentó un índice de aislamiento de 20,09 dbA (ver anexo 3). Con lo anterior, se puede concluir que el panel fabricado tiene mayor funcionalidad acústica que los materiales encontrados actualmente en el comercio, esto gracias a que las telas le aportan al panel sus propiedades térmicas, las cuales se estudiaron anteriormente.

## **7. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.**

A modo de conclusión general, se puede afirmar que se cumplió con el objetivo general de diseñar un elemento de construcción mediante un material compuesto aplicable al aislamiento acústico y térmico, a partir de los desechos de la industria textil. Este material compuesto, es un aporte significativo a una economía circular basada en la recolección y reutilización de algodón licrado y poliéster, ya que mediante éste se diseñó y construyó un panel con la capacidad de aislar de manera acústica y térmica al ser instalado en viviendas en

Bogotá. Por otro lado, sus procesos de diseño, producción e instalación no generan mayores índices de contaminación. Es importante resaltar, que como parte de la viabilidad ambiental, es esencial utilizar agua lluvia para el proceso de producción del panel.

Por otro lado, según el análisis y la clasificación realizada para los tipos de textiles se obtuvo que las fibras adecuadas a utilizar para la creación del material y posteriormente del panel, son el algodón licrado y el poliéster, no solo porque ambos textiles presentan características aislantes, sino también porque son las más utilizadas en las prendas del sector textil, por lo que se puede encontrar gran variedad de residuos para su reutilización.

A nivel de competencia del mercado, se obtuvo que el panel se asemeja al drywall en términos de dimensiones, factibilidad y proceso de instalación. Por otro lado, es importante resaltar que el panel alcanza a superar al drywall al tener mayor aislamiento acústico, mientras que este último, presenta mayor aislamiento térmico. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que el panel puede entrar en el mercado con procesos más rigurosos de producción (estandarización de materia prima, automatización y procesos de calidad) y podría reemplazar las funciones del drywall en la actualidad.

Teniendo presente los resultados obtenidos en los ensayos acústicos y térmicos, se evidenció que el panel actual no cumple con la restricción de la norma española de aislamiento acústico, la cual se presenta en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Esto es una limitación significativa para el proyecto, ya que es uno de los estándares básicos a cumplir. Sin embargo, este porcentaje de aislamiento se puede incrementar bajo ciertas recomendaciones y de esta manera eliminar dicha limitación. Esto se evidenció al momento al estimar el nivel de aislamiento acústico teniendo en cuenta las medidas estándares establecidas, debido a que se obtuvo que el panel puede llegar a aislar 26,08 dbA.

Es importante resaltar, que los paneles pueden ser instalados únicamente en interiores. Esto es una limitación en el mercado, ya que no permite mayor flexibilidad a la hora de ser instalado, pues solo pueden ser utilizados en viviendas a construir y remodelaciones, por lo que es importante trabajar en un diseño modular para el interior de cualquier apartamento.

En consideración con los resultados obtenidos, se recomienda realizar un nuevo experimento en donde se adicione mayor cantidad de tela al panel dándole así mayor grosor, para comprobar si de esta manera se pueden obtener mejores resultados en cuanto al aislamiento acústico y térmico, en dado caso que sea necesario. Adicionalmente, dada la fragilidad del yeso, se recomienda mezclar el yeso con otro tipo de aglomerante u otro material, para que éste tenga una mayor resistencia. Para ello es importante realizar una investigación profunda sobre qué tipo de aglomerante o qué tipo de material le puede dar esta característica, teniendo en cuenta que los materiales utilizados no impacten negativamente al ambiente.

## **8. Anexos**

Anexo 1. Tabla de clasificación de los textiles

Anexo 2. Planos panel

[Anexo 3. Datos obtenidos en el ensayo comportamiento acústico](#)

[Anexo 4. Datos obtenidos en el ensayo comportamiento térmico](#)

Anexo 5. Norma ASTM E336-19

Anexo 6. Ficha técnica sonómetro

Anexo 7. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de los paneles

Anexo 8. Norma ASTM C177-19

Anexo 9. Ficha técnica placa térmica

Anexo 10. Ficha técnica cámara termográfica

Anexo 11. Plano del molde

[Anexo 12. Cálculos realizados para el nuevo panel](#)

Anexo 13. Peso final de los paneles fabricados

[Anexo 14. Diagrama de flujo del procedimiento realizado en el ensayo de comportamiento acústico](#)

[Anexo 15. Diagrama de flujo del procedimiento realizado en el ensayo de comportamiento térmico](#)

Anexo 16. Simulación térmica para el panel comercial en SolidWorks  
Anexo 17. Informe simulación térmica para el panel comercial en SolidWorks  
Anexo 18. Flujo de calor calculado a partir de la simulación térmica en SolidWorks  
Anexo 19. Ficha técnica del drywall

Los anexos se encuentran en la carpeta adjunta

## 9. Referencias

- [1] Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, «Guía ambiental para el sector textil,» Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá, 2004.
- [2] Tecnalía, «Intensidad en el Uso de Materiales y Economía Circular en Colombia: Diagnóstico,» Bogotá, 2017.
- [3] Departamento Nacional de Planeación, «POLÍTICA DE CRECIMIENTO VERDE,» Bogotá, 2018.
- [4] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, «Informe Nacional de Aprovechamiento - 2016,» Bogotá, 2017.
- [5] V. Prieto-Sandoval, C. Jaca y M. Ormazabal, «Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación,» Montevideo, 2017.
- [6] E. Viveros y Brenda Araceli, «ECODISEÑO DE PRODUCTOS MEDIANTE EL MANEJO SUSTENTABLE DE RESIDUOS TEXTILES,» Monterrey, 2013.
- [7] J. Montes Garzón, «Desarrollo de nuevo material para su implementación en acústica arquitectónica a partir de tela reciclada,» Pereira, 2013.
- [8] G. Wadel, «Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón: un aporte a la construcción sostenible,» *Revista de Arquitectura*, vol. 15, n° 20, pp. 27-32, 2009.
- [9] J. Alba, J. Ramis, J. Redondo y V. Sanchís, «APLICACIONES ACÚSTICAS DE LANAS TEXTILES,» Valencia, 2004.
- [10] F. Silva Rodríguez, «Plásticos, fibras textiles y otros materiales,» de *Tecnología Industrial 1*, Madrid, McGraw-Hill, 2008, pp. 195-224.
- [11] Anónimo, «EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE FIBRA DE POLIÉSTER,» *Vilssa*, 2013.
- [12] Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido, «Aislamiento Poliuretano,» 28 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://aislaconpoliuretano.com/ventajas-poliuretano-aislante-termico.htm>. [Último acceso: 9 Diciembre 2019].
- [13] Anónimo, «Algodón,» 18 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://fibrologiagrupo1001.blogspot.com/2016/06/algodon-co.html>. [Último acceso: 9 Diciembre 2019].
- [14] Expotile, «Propiedades del yeso,» 19 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://expotile.com.mx/propiedades-del-yeso/>. [Último acceso: 9 Diciembre 2019].
- [15] M. Bueno, E. Silvestre y D. Quesada, «Vuelven los materiales de siempre,» *Arquitectura y Diseño*, 2019.
- [16] Ferrolan, «Soluciones ligeras con aislamiento. Arcilla Expandida,» 2017. [En línea]. Available: <http://ferrolan.es/soluciones-ligeras-con-aislamiento-arcilla-expandida/>. [Último acceso: 9 Diciembre 2019].
- [17] Grupo de Acústica, «Aislamiento acústico,» [En línea]. Available: <http://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html>. [Último acceso: 11 Mayo 2020].
- [18] Grupo Valero, «Manual Técnico - Acústico,» Alicante.
- [19] ASTM International, «Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus,» Pensilvania, 2019.

- [20] Knauf, «Sustentabilidad,» [En línea]. Available: <http://www.knauf.cl/sustentabilidad>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [21] Antonia, «Placas de yeso: cómo instalarlas, ventajas y desventajas,» 15 Septiembre 2018. [En línea]. Available: [https://www.homify.com.ar/libros\\_de\\_ideas/5884756/placas-de-yeso-como-instalarlas-ventajas-y-desventajas](https://www.homify.com.ar/libros_de_ideas/5884756/placas-de-yeso-como-instalarlas-ventajas-y-desventajas). [Último acceso: 10 Marzo 2020].