

**DESARROLLO DE PANEL ACÚSTICO A PARTIR DE LA RECOLECCIÓN DE BOLSAS DE CEMENTO Y GUADUA  
PARA DISMINUIR LOS FENÓMENOS DE ABSORCIÓN DENTRO DE LOS ESPACIOS**

María Camila Castro Gómez



UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2022

**Desarrollo de panel acústico a partir de la recolección de bolsas de cemento y guadua para disminuir  
los fenómenos de absorción dentro de los espacios**

**Maria Camila Castro Gómez**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto**

**Arq. Liliana Rocío Patiño León**

**Directora de tesis**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Programa de Arquitectura, Facultad de Arquitectura**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá**

**2022**

TABLA DE CONTENIDO

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 21**

    DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 21

    MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ..... 25

    IMPACTO ACÚSTICO EN LOS ESPACIOS Y SU EFECTO EN LA SALUD ..... 26

    PREGUNTA PROBLEMA ..... 28

    JUSTIFICACIÓN ..... 28

    MANEJO DE RCD A NIVEL NACIONAL ..... 31

    ANTECEDENTES DEL PROBLEMA ..... 33

    ANTECEDENTES BOLSAS DE CEMENTO ..... 34

    REFERENTES PANELES DE FIBRA DE CELULOSA ..... 39

**HIPÓTESIS ..... 43**

**OBJETIVOS ..... 44**

    OBJETIVO GENERAL ..... 44

*OBJETIVOS ESPECÍFICOS* ..... 44

**MARCO TEÓRICO ..... 45**

    CELULOSA ..... 45

**METODOLOGÍA ..... 65**

**OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES ..... 67**

    CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES ..... 67

    BOLSA DE CEMENTO ..... 67

    AGLUTINANTES ..... 71

*Resinas - aglutinantes* ..... 71

*Resina de Pino* ..... 71

*Colbon de madera* ..... 72

<i>Resina de PVC</i> .....	72
<i>Aglutinante PVA OK (interiores)</i> .....	73
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLUTINANTES .....	73
ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LA TOMA DE MUESTRAS Y PROTOTIPOS DE PANEL .....	75
<i>Molde 1</i> .....	75
<i>Molde 2</i> .....	76
FABRICACIÓN Y TRANSFORMACIÓN PARA LA PROPORCIÓN DE LAS MEZCLAS. ....	78
ELABORACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS Y PROTOTIPOS .....	81
DESCRIPCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LAS MUESTRAS. ....	82
ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DESARROLLADAS .....	85
MUESTRAS NO. 1.....	86
BOLSA DE CEMENTO CORTADA EN TIRAS .....	86
TABLA 17 .....	86
<i>MUESTRA BOLSA DE CEMENTO CORTADA EN TIRAS SIN AGLUTINANTE, DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA DESARROLLADA.</i> .....	86
<i>Bolsa de cemento doblada en cuatro partes, triturado de madera y resina de pino</i> .....	87
<i>Bolsa de cemento completa, triturado de madera y PVA</i> .....	87
<i>Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA</i> .....	89
<i>Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA</i> .....	90
<i>Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA</i> .....	90
<i>Bolsa de cemento molida y Resina de PVC</i> .....	91
CONCLUSIONES MUESTRAS NO. 1 .....	92
MUESTRAS NO. 2.....	93
<i>Bolsa de cemento y aserrín</i> .....	93
<i>Bolsa de cemento exprimida y aserrín</i> .....	94
<i>Bolsa de cemento, triturado de madera y aglutinante PVA</i> .....	95
<i>Bolsa de cemento molida y triturado de madera</i> .....	96

<i>Bolsa de cemento molida y aserrín</i> .....	96
<i>Bolsa de cemento molida</i> .....	97
<i>Bolsa de cemento molida</i> .....	98
CONCLUSIONES MUESTRAS NO. 2 .....	98
<i>Muestras No. 3</i> .....	99
<i>Bolsa de cemento molida</i> .....	99
<i>Bolsa de cemento molida + fibra de guadua + aglutinantes</i> .....	100
<i>Bolsa de cemento molida + aserrín</i> .....	101
<i>Bolsa de cemento molida + aserrín + fibra de guadua</i> .....	101
<i>Bolsa de cemento molida + aserrín</i> .....	102
CONCLUSIONES MUESTRAS NO. 3 .....	102
PANELES 30x30 .....	103
BOLSA MOLIDA + ASERRÍN + FIBRA DE GUADUA .....	104
BOLSA MOLIDA + ASERRÍN + FIBRA DE GUADUA RASGADA.....	105
BOLSA MOLIDA + FIBRA DE GUADUA RASGADA + SAL DE BÓRAX.....	105
PANELES 60x60 .....	106
BOLSA MOLIDA + ASERRÍN + FIBRA DE GUADUA .....	107
BOLSA MOLIDA + ASERRÍN + FIBRA DE GUADUA RASGADA.....	107
BOLSA MOLIDA + FIBRA DE GUADUA RASGADA .....	108
BOLSA MOLIDA + FIBRA DE GUADUA Y ASERRÍN.....	109
<i>Conclusiones paneles 60x60</i> .....	109
<b>ENSAYOS.....</b>	<b>111</b>
METODOLOGÍA DE ENSAYOS .....	111
PRUEBA TUBO DE IMPEDANCIA .....	111
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA.....	117
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA PANEL 60x60 .....	118

PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA PANEL 30x30 – 2CM .....	121
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA PANEL 30x30 – 3CM .....	122
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA PANEL 30x30 – 2CM – BLACK THEATER .....	123
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA PANEL 30x30 – 2CM – DRYWALL Y FRESCASA.....	124
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA – MURO MAMPOSTERÍA.....	126
PRUEBA CON CÁMARA TERMOGRÁFICA - MURO EN CONCRETO .....	127
PRUEBA CON SONÓMETRO .....	130
PRUEBA CON SONÓMETRO – REGISTRO SONIDO AMBIENTE.....	133
PRUEBA CON SONÓMETRO – REGISTRO SONIDO PANEL BLACK THEATER.....	134
PRUEBA CON SONÓMETRO – REGISTRO SONIDO PANEL BOLSA DE CEMENTO Y FIBRA DE GUADUA.....	135
PRUEBA CON SONÓMETRO – REGISTRO SONIDO PANEL BOLSA DE CEMENTO, FIBRA DE GUADUA Y SAL DE BÓRAX .....	136
PRUEBA IGNIFUGA.....	138
<b>ANÁLISIS CICLO DE VIDA (ACV) .....</b>	<b>143</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>147</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>153</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>160</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	Porcentajes de producción y reciclaje anual de basura en Colombia .....	23
<b>Figura 2</b>	<i>Espacios donde se pueden instalar los paneles de celulosa</i> .....	39
<b>Figura 3</b>	Fibra de celulosa .....	45
<b>Figura 4</b>	Producción de papel el Colombia por subsectores 2015.....	47
<b>Figura 5</b>	Descripción gráfica del sonido .....	50
<b>Figura 6</b>	Concepto del periodo de una onda .....	51
<b>Figura 7</b>	Frecuencia de 10Hz .....	52
<b>Figura 8</b>	Longitud de onda .....	55
<b>Figura 9</b>	Representación gráfica del Sonido directo .....	56
<b>Figura 10</b>	Ondas reflejadas .....	56
<b>Figura 11</b>	Absorción sonora .....	57
<b>Figura 12</b>	Difusión de las ondas acústicas.....	57
<b>Figura 13</b>	Difracción ondas sonoras.....	58
<b>Figura 14</b>	Transmisión de onda a través de una superficie .....	58
<b>Figura 15</b>	Conducción de las ondas sonoras.....	59
<b>Figura 16</b>	Coefficiente de absorción acústica .....	62
<b>Figura 17</b>	Diagrama metodológico de investigación y experimentación.....	66
<b>Figura 18</b>	Descripción del empaque de la bolsa de cemento.....	67
<b>Figura 19</b>	Bolsa de cemento reciclada vacía.....	70
<b>Figura 20</b>	Resina natural de pino en estado sólido.....	71
<b>Figura 21</b>	Colbon para madera por kilo .....	72
<b>Figura 22</b>	Resina Plástica de PVC .....	72
<b>Figura 23</b>	Aglutinante PVA.....	73

**Figura24** Prensa manual (costado izquierdo) y moldes de mezclas empleadas (costado derecho).  
 ..... 75

**Figura 25** Partes de la prensa manual..... 76

**Figura 26** Costado izquierdo, molde de 30x30 en lámina de acero de ½ con su respectiva tapa; al costado derecho, prensa manual de 3” ..... 77

**Figura 27** Descripción de muestras y sus aglutinantes..... 78

**Figura 28** Porcentajes de materiales para la mezcla ideal..... 79

**Figura29** Espesores para las muestras..... 81

**Figura30** Tipos de mezcla implementados en las muestras..... 82

**Figura31** Proceso de elaboración de una muestra y su vertimiento en el molde ..... 83

**Figura32** Costado izquierdo, tapas de madera de 20mm; costado derecho se observa el molde de 60mm en proceso de compresión con la prensa manual..... 84

**Figura 33** Costado izquierdo, muestra ingresada en cámara de calor; costado derecho toma de medida final de la muestra ..... 85

**Figura 34**Al costado izquierdo se observa la muestra con presencia de hongos, al costado derecho se visualiza la muestra dividida en dos partes debido a la humedad interna..... 88

**Figura35** Dosificaciones escogías de las primeras muestras desarrolladas..... 92

**Figura 36** Aserrín utilizado para las muestras..... 93

**Figura 37** Dosificaciones escogías de las segundas muestras desarrolladas..... 99

**Figura 38** Muestra bolsa de cemento molida acompañada con fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada ..... 100

**Figura 39** Dosificaciones escogías de las terceras muestras desarrolladas..... 103

**Figura 40** Resultado variable X ..... 113

**Figura 41** Resultados Variable Y..... 114

<b>Figura42</b> Resultados Variable Z .....	115
<b>Figura 43</b> Coeficiente de absorción acústico de la bolsa de cemento con fibra de guadua y los materiales existentes en el mercado .....	116
<b>Figura44</b> Cámara Termográfica FLIR E40. ....	117
<b>Figura 45</b> Bombilla Halógena Floodlamp Sylvania XD516 - 130 W - 150W - E27 .....	118
<b>Figura 46</b> Panel 60X60 expuesto a la bombilla halógena .....	119
<b>Figura 47</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	119
<b>Figura48</b> Temperatura de la superficie expuesta al calor (externa).....	120
<b>Figura 49</b> Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa).....	121
<b>Figura50</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna) .....	121
<b>Figura 51</b> Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa).....	122
<b>Figura52</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	122
<b>Figura 53</b> Temperatura de la superficie expuesta al calor (externa).....	123
<b>Figura 54</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	124
<b>Figura 55</b> Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa).....	124
<b>Figura56</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	125
<b>Figura 57</b> Muro en mampostería expuesto a la bombilla halógena (externa) .....	126
<b>Figura58</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	126
<b>Figura 59</b> Muro en concreto expuesto a la bombilla halógena (externa) .....	127
<b>Figura60</b> Temperatura de la superficie opuesta (interna).....	127
<b>Figura 61</b> Caja para ensayo de sonómetro .....	131
<b>Figura 62</b> Sistema de audio altavoz portátil, 1 ch batería compatible e integrado bluetooth....	132
<b>Figura 63</b> Sonómetro Extech HD600 clase 2.....	132

**Figura 64** Caja de black Theater armada (costado derecho), sonómetro dentro de la caja (costado izquierdo)..... 133

**Figura 65** Caja con sonómetro adentro sin tapa superior (izq), resultados gráfica de absorción con sonómetro (der) ..... 133

**Figura 66** Panel de 30x30 – 2cm Black Theater (izquierda), resultados gráfica de absorción con sonómetro (izquierda). ..... 134

**Figura 67** Panel de 30x30 – 2cm bolsa de cemento y fibra de guadua ..... 135

**Figura 68** Panel de 30x30 – 3cm bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax..... 136

**Figura 69** Soplete con manguera para gas..... 139

**Figura 70** Panel de 60x60 expuesto al calor ..... 139

**Figura 71** Panel de 60x60 expuesto al calor superficie externa (cost. Izquierdo), superficie interna (cost, derecho) ..... 140

**Figura 72** Área del panel afectada por calor con presencia de llama superficial. .... 140

**Figura 73** Área del panel afectada por exposición a llama directa con desprendimiento de material..... 141

**Figura 74** Emisiones directas e indirectas generadas por la producción del panel..... 144

**Figura 75** Porcentaje de Co2 generado durante la producción de un panel..... 146

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de materiales empleados en el sector en la construcción</i> .....	25
<b>Tabla2</b> Efectos ocasionales por el ruido .....	27
<b>Tabla 3</b> Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD .....	32
<b>Tabla 4</b> Dosificación A - Ladrillos de plástico .....	35
<b>Tabla 5</b> Dosificación B - Bloques de Hormigón .....	35
<b>Tabla 6</b> Clasificación de los materiales utilizados en la metodología para el desarrollo del panel .....	40
<b>Tabla 7</b> Información técnica de la celulosa.....	46
<b>Tabla 8</b> Relación de espacios de uso vs el tiempo adecuado de reverberación.....	49
<b>Tabla 9</b> Niveles sonoros audibles para el ser humano.....	53
<b>Tabla 10</b> Velocidad de propagación del sonido .....	54
<b>Tabla 11</b> Conductividad Térmica de los materiales .....	62
<b>Tabla 12</b> Conductividad térmica de los materiales acústicos.....	63
<b>Tabla 13</b> Dimensiones de la bolsa.....	68
<b>Tabla14</b> <i>Caracterización de la bolsa de cemento</i> .....	68
<b>Tabla 15</b> Caracterización de aglutinantes.....	74
<b>Tabla 16</b> Codificación de las mezclas según su aglutinante .....	80
<b>Tabla 17</b> <i>Muestra bolsa de cemento cortada en tiras sin aglutinante, descripción de la pieza desarrollada.</i> .....	86
<b>Tabla 18</b> <i>Muestra bolsa de cemento acompañada de triturado de madera y resina de pino, descripción de la pieza desarrollada.</i> .....	87
<b>Tabla 19</b> <i>Muestra bolsa de cemento completa, triturado de madera y PVA, descripción de la pieza desarrollada.</i> .....	87

<b>PANEL ACÚSTICO PARA DISMINUIR LOS FENÓMENOS DE ABSORCIÓN EN LOS ESPACIOS</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 20</b> Muestra bolsa de cemento molida, descripción de la pieza desarrollad.....	89
<b>Tabla 21</b> Muestra bolsa de cemento molida, descripción de la pieza desarrollada.....	90
<b>Tabla22</b> Muestra bolsa de cemento molida, triturado de madera y aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada .....	90
<b>Tabla23</b> Muestra bolsa de cemento molida, molde T4, resina de PVC, descripción de la pieza desarrollada. ....	91
<b>Tabla 24</b> Muestra bolsa de cemento molida acompañada de aserrín, descripción de la pieza desarrollada. ....	93
<b>Tabla 25</b> Muestra bolsa de cemento molida acompañada de aserrín, descripción de la pieza desarrollada. ....	94
<b>Tabla 26</b> Muestra bolsa de cemento molida, triturado de madera y aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada. ....	95
<b>Tabla 27</b> Muestra bolsa de cemento molida y triturado de madera, descripción de la pieza desarrollada. ....	96
<b>Tabla 28</b> Muestra bolsa de cemento molida y aserrín, descripción de la pieza desarrollada.....	96
<b>Tabla 29</b> Muestra bolsa de cemento molida acompañada del aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada. ....	97
<b>Tabla 30</b> Muestra bolsa de cemento molida exprimida, descripción de la pieza desarrollada. ...	98
<b>Tabla 31</b> Muestra bolsa de cemento molida con porosidad manual, descripción de la pieza desarrollada. ....	99
<b>Tabla 32</b> Muestra bolsa de cemento molida y aserrín, descripción de la pieza desarrollada....	101
<b>Tabla 33</b> Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada.....	101

**Tabla 34** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada..... 102

**Tabla 35** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada..... 104

**Tabla 36** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada ..... 105

**Tabla 37** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada y sal de bórax, descripción de la pieza desarrollada ..... 105

**Tabla 38** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua descripción de la pieza desarrollada..... 107

**Tabla 39** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada ..... 107

**Tabla 40** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada..... 108

**Tabla 40** Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida, aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada..... 109

**Tabla 41** Clasificación de las muestras según su espesor ..... 111

**Tabla 42** Resultados de coeficiente de absorción acústico. .... 112

**Tabla43** Temperatura registrada en superficies internas y externas de los paneles. .... 128

**Tabla 44** Decibeles registrados al interior y exterior de la caja de paneles de 30x30 con diferente materialidad..... 137

**Tabla 45** Comportamiento y resultados del panel – distancia 40 centímetros..... 140

**Tabla 46** Comportamiento y resultados del panel – distancia 20 centímetros..... 141

**Tabla 47** *Etapa I de la elaboración del panel para Análisis ciclo de vida*..... 143

<b>Tabla 48</b> Resultados Emisiones directas e indirectas .....	146
<b>Tabla 49</b> Costo de panel acústico por de 60x60 .....	147
<b>Tabla 50</b> Costo de panel acústico por de 30x30 .....	147
<b>Tabla 51</b> Costo de panel acústico por M <sup>2</sup> .....	148
<b>Tabla 52</b> Costo de sistema portante .....	148
<b>Tabla 53</b> Valores totales .....	149

### Resumen

Este proyecto propone un panel acústico para disminuir los fenómenos de absorción en los espacios. El panel fue elaborado bajo la recolección y reciclaje de las bolsas de cemento y fibra de guadua, con el fin de demostrar una alternativa constructiva e innovadora en el mercado, cumpliendo con las características físicas y acústicas que debe tener un aislante termoacústico, éste a su vez contribuirá con la disminución del impacto ambiental; ya que la industria de la construcción es el principal consumidor de recursos en el mundo; pues de acuerdo a estudios realizados, el 40% de la energía total y el 30% de emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de dicha industria por su alto consumo. Por otra parte, es pertinente mencionar el impacto acústico producido por materiales de baja calidad implementados en espacios que son susceptibles a la emisión de ruidos y no suplen la necesidad de mitigar los fenómenos como el eco o la reverberación que se puedan propagar con facilidad, a tal punto de ocasionar efectos negativos en la salud de las personas. Actualmente, no existe gran variedad de aislamientos térmicos y acústicos que sean ecológicos. El diseño de este panel tiene como objetivo suplir dicho problema; este cuenta con unas dimensiones determinantes, un espesor de 2cm y 3cm en consecuencia a los resultados obtenidos en las muestras de 4" iniciales, se evaluó propiedades físicas como flexibilidad, rigidez, porosidad. Posteriormente, se escogió la dosificación ideal para poder elaborar los paneles en las dimensiones finales (30x30,60x60). Por último, fueron sometidos a las pruebas acústicas como el sonómetro, tubo de impedancia, prueba ignifuga y cámara de calor en donde se evidencia que el panel de 30x30 con un grosor de 2cm presento resultados favorables en los ensayos mencionados.

*Palabras clave:* Residuos de Construcción, bolsa de cemento, fibra de guadua panel acústico, absorción.

### Abstract

This project proposes an acoustic panel to reduce absorption phenomena in spaces. The panel was elaborated under the collection and recycling of cement bags and guadua fiber, in order to demonstrate a constructive and innovative alternative in the market, complying with the physical and acoustic characteristics that a thermoacoustic insulator must have, this in turn will contribute to the reduction of the environmental impact; since the construction industry is the main consumer of resources in the world; according to studies, 40% of the total energy and 30% of CO<sub>2</sub> emissions come from this industry due to its high consumption. On the other hand, it is pertinent to mention the acoustic impact produced by low quality materials implemented in spaces that are susceptible to noise emission and do not meet the need to mitigate phenomena such as echo or reverberation that can propagate easily, to the point of causing negative effects on people's health. Currently, there is not a wide variety of thermal and acoustic insulation that are environmentally friendly. The design of this panel aims to solve this problem; it has determining dimensions, a thickness of 2cm and 3cm as a result of the results obtained in the initial 4" samples, physical properties such as flexibility, stiffness, porosity were evaluated. Subsequently, the ideal dosage was chosen to be able to produce the panels in the final dimensions (30x30, 60x60). Finally, they were subjected to acoustic tests such as the sound level meter, impedance tube, fireproof test and heat chamber where it is evident that the 30x30 panel with a thickness of 2cm presented favorable results in the mentioned tests.

*Keywords:* Construction waste, cement bag, guadua fiber, acoustic panel, absorption.

### Introducción

El sector de la construcción año tras año ha venido en una constante evolución en donde buscan suplir procesos constructivos antiguos con las nuevas tecnologías y metodologías desarrolladas. Para ser más específicos, los avances tecnológicos han sido de gran apoyo y avance para poder culminar proyectos. Sin embargo, no todo es favorable, debido a que este sector cuenta con altos porcentajes de contaminación por los residuos de construcción y demolición (RCD) que día a día son generados y no cuentan con una debida disposición final; a tal punto que en las calles de la ciudad utilizan los empaques de cemento como bolsa de basura, en barrios de estratos bajos, al no tener vías pavimentadas, recurren a estos desechos para “conformar” su accesibilidad a su hogar.

Ambientalmente el golpe es sumamente negativo puesto que esto genera la huella de carbono alta y compleja de disminuir.

La presente investigación recopila y explica los porcentajes de residuos de obra que se producen en la ciudad de Bogotá y en otros países a nivel internacional, así como el impacto que esto genera al medio ambiente; la implementación de materiales no adecuados en espacios internos generando fenómenos acústicos como pueden ser el eco, reflexiones tempranas, reverberación entre otros, los cuales son molesto para el oído y salud de las personas que habiten dicho lugar. Lo anteriormente mencionado tiene como fin proponer un panel acústico a base de las bolsas de cemento y la fibra de guadua reciclada, con el fin de demostrar una alternativa constructiva ecológica e innovadora en comparación con los paneles que se encuentran en el mercado, en donde no existe gran variedad de aislamientos térmicos y acústicos que sean ecológicos. El diseño del panel tiene como objetivo, suplir dicha necesidad de contar con espacios agradables para el oído del ser humano, además de contar con un producto ecológico y funcional. Para el desarrollo de esta propuesta se plantearon unas muestras iniciales con un prototipo de 4” circular en donde se empezaron a realizar diferentes tipos de mezclas y muestras para lograr identificar los comportamientos que el material podría llegar a generar durante su

elaboración, proceso de computación y secado en la cámara de calor. Posterior a ello se escogieron las dosificaciones ideales para fabricar los paneles de 30x30 y 60x60 centímetros. Estos fueron sometidos a las pruebas acústicas como el sonómetro y tubo de impedancia donde se evidencia que el panel de 30x30 con un grosor de 2cm desarrollo una absorción acústica ideal para frecuencias altas entre 630 y 1600Hz, un aislamiento de sonido de 70.28dB constantes. Durante la prueba con cámara Termográfica, el panel de 30x30/2cm estuvo expuesto a la fuente de calor a lo largo de 15 minutos, donde se tomó la temperatura de la superficie externa (expuesta al calor) la cual estuvo sobre los 123° y tuvo una transmitancia de calor de 34.6°. Finalmente, después de realizar las muestras y los ensayos pertinentes para evaluar las capacidades desarrolladas, se puede concluir que el panel con la dimensión de 30x30 y un espesor de 2cm, presento un comportamiento favorable en los distintos ensayos y es el ideal para ser utilizados en espacios internos, donde sean emitidos sonidos en altas frecuencias.

**Dedicatoria**

El desarrollo de este proyecto quiero dedicárselo a mi familia los cuales fueron de gran apoyo, a cada una de las personas que a lo largo de la carrera estuvieron apoyándome de diferentes formas y me animaron a seguir adelante con este gran proyecto profesional y de vida.

### Agradecimientos

Quiero comenzar por agradecer a Dios por guiarme y brindarme la sabiduría necesaria para afrontar con resiliencia este arduo proceso de formación.

A mis familiares, amigos y conocidos que la vida me relaciono durante esta etapa universitaria y me respaldaron, me brindaron su apoyo y palabras de aliento para culminar de manera exitosa este proyecto de vida.

A la universidad por haberme aceptado en su programa y abrirme las puertas de esta grandiosa facultad, así como a los diferentes docentes que me incentivaron, guiaron con su conocimiento y apoyo día a día.

A mi directora de tesis la Arq. Liliana Roció Patiño, porque ha sido una profesora constante con este proyecto que ha tenido sus subidas y bajadas, pero su exigencia, sapiencia y recursividad fue un apoyo determinante para el desarrollo y culminación de la investigación para este trabajo de grado.

A mi director de semillero, el Arq. José Alcides Ruiz, por acogerme en su grupo de trabajo, por sus sabios consejos y recomendaciones que ayudaron a fortalecer las bases del proyecto.

Al Arq. Jonathan David Ruiz, quien con su carisma y paciencia estuvo a cargo de los ensayos a los cuales fue sometido el panel para lograr la previa identificación de las propiedades que este desarrollo.

Al Físico y Magister en Ingeniería Acústica Luis Jorge Herrera Fernández, docente de la Universidad San Buenaventura, por su confianza y quien fue un pilar fundamental para lograr desarrollar uno de los ensayos más importantes de esta tesis.

## Planteamiento del problema

### Descripción y formulación del problema

El sector de la construcción se encuentra en constante evolución, a partir de la implementación de procesos constructivos que están a la vanguardia de los desarrollos tecnológicos. El uso de la tecnología ha generado que la dependencia que se tenía por los proyectos edificatorios estándar se disminuya; en cambio, hoy en día, cada vez se está recurriendo a proyectos de construcción con prototipos únicos.

Para ser más específicos, los avances tecnológicos en dicho sector, se ha venido evidenciado en técnicas de construcción, fabricación de nuevos materiales, maquinaria y software que generen avances en los métodos constructivos.

Asimismo, año tras año los materiales constructivos utilizados en obras civil de pequeña y gran escala, han ido superando los límites de explotación de lo que realmente es indispensable al momento de ejecutar un proyecto.

Si bien es cierto, durante la ejecución de una obra, cuyo objetivo es favorecer a una población o ciudad determinada, el desperdicio y el manejo inadecuado del material restante ha generado altos impactos desfavorables en el medioambiente que inicialmente son poco perceptibles. No obstante, el aumento de deterioro de la huella ecológica continua en aumento. De acuerdo con Monroy (2018), “La huella ecológica tiene un vínculo estrecho con el impacto ambiental, resultante del proceso constructivo de cualquier obra, pues requieren de diversos materiales indispensables para su correcta elaboración” (párr.1).

Indudablemente, la construcción es uno de los mayores responsables de la degradación del medio ambiente, en efecto, es cuando se observa con preocupación, cómo se podría aportar a mejorar

las condiciones de habitabilidad y desarrollo de una sociedad, que busca una estrategia para mitigar el impacto negativo que se está generando al medio ambiente.

Ahora bien, desde la perspectiva de “el sector de la construcción ha crecido de forma constante en la última década, y con él, la producción de residuos de construcción y demolición” (Castaño et al., 2013, párr. 5), la disposición final de los residuos, es uno de los factores con mayor impacto ambiental en las obras. Según la (Secretaría de Ambiente, s.f.), “los residuos de construcción y demolición (RCD) son materiales de desperdicio, obtenidos en trabajos derivados de la construcción, demolición y reforma” (párr. 1).

Los residuos de construcción y demolición, son materiales que se obtienen en obras que van desde actividades menores como reparaciones y remodelaciones civiles hasta excavaciones y demoliciones.

Con el paso del tiempo, cada 12 meses se produce alrededor de 6,5 mil millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) de las cuales 2,6 y 3 mil millones de toneladas pertenecen a material sobrante que no sufren transformaciones físicas derivadas de la construcción y su respectiva demolición. En países como Finlandia, Dinamarca, Irlanda, Alemania y Luxemburgo, se recolectaron cantidades de residuos superiores a 2 ton/año per cápita; pero, la reutilización de estos mismos, superan 50% de reutilización de RCD. (I. Bio Service, “Service Contract on Management of Construction and demolition Waste”, European Commission (DG ENV), 2012, p. 11).

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es quien determina la normatividad referente a los RCD, de manera que se reglamente no solo la recolección, sino, también la reutilización de los desechos generados en las obras para una mejor disposición, promoviendo el cumplimiento normativo y contribuyendo en pro del medioambiente.

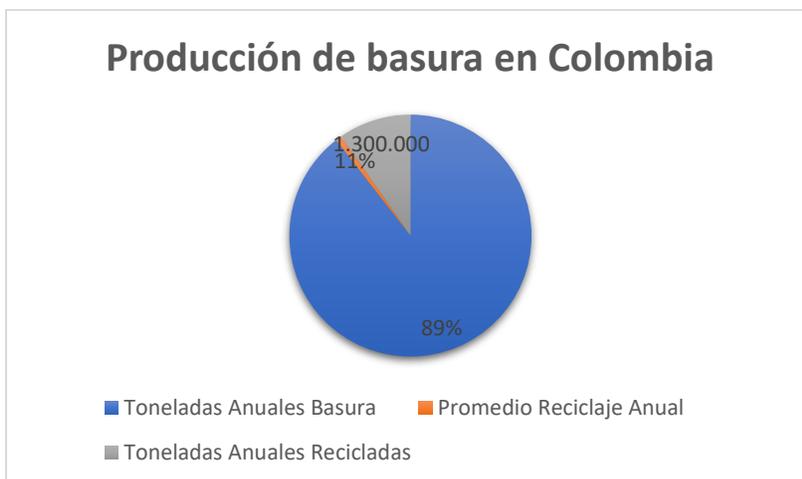
Según Trujillo y Quintero (2021), los RCD componen en promedio el 40% de los residuos sólidos, esto quiere decir que la producción media es de 22'270.338 toneladas, por esa razón el 60% y el 90% se

trasladan a lugares autorizados; el restante se dispone a lugares aprobados para la exposición a cielo abierto. A nivel local, para el año 2013 en la ciudad de Bogotá se producían cerca de 15 millones de ton/año de RCD, aproximadamente 2000 kg/habitante/año. En la ciudad de Bogotá, capital de Colombia, el sector de la construcción ha incrementado de manera exponencial en los últimos años, centralizándose entre 20 a 30 % del producto interno bruto (PIB) de la construcción del país y con esto la adquisición de residuos. Lo más preocupante, es la controversia obtenida por los escasos de materia prima cerca al sector urbano, la explotación desmesurada de la naturaleza, adicional al agotamiento de áreas libres que presentan los sitios autorizados para la recolección de dichos desechos.

Dentro de los botaderos autorizados Colombia cuenta con 101 botaderos expuestos a cielo abierto así mismo con 15 celdas transitorias, dichas celdas son sitios clandestinos pues no se encuentran autorizados para la disposición de basuras, que sin importar continúan funcionando ante la falta de un ente de regulación y control que genere políticas ideadas por las alcaldías locales y de conformidad con la ley, quienes serían las responsables de velar por la prestación del servicio de aseo de manera eficiente.

**Figura 1**

*Porcentajes de producción y reciclaje anual de basura en Colombia*



*Nota.* El gráfico describe la cantidad de basura generada anualmente en Colombia y el promedio de reciclaje del mismo. Adaptado de “Carestía de los materiales para la construcción amenaza a la vivienda” Semana, 2022. (<https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/carestia-de-los-materiales-para-la-construccion-amenaza-a-la-vivienda/202254/>).

De acuerdo con la Revista Semana (2020), en país produce un aproximado de 12 millones de toneladas de basuras al año, de las cuales se recicla el 11% en promedio; es decir, cerca de 1.300.000 toneladas. El mandato presidencial que gobernó durante el año 2018 se propuso que al llegar al año 2030, se esté reciclando el 17% de la basura que se produce a nivel nacional, encaminados a estar alineados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Es importante destacar que en la ciudad de Bogotá se encuentra ubicado uno de los 101 botaderos a cielo abierto, llamada Relleno de Doña Juana. Mariana, afirma que “nos encontramos camino al relleno Doña Juana, a celda, a enterramiento, y llevando más de 6.200 toneladas, solamente aprovechando 1.200 toneladas” (Africano, 2021, párr. 3). Es decir que, 5.000 toneladas de desechos se quedan fuera del proceso de revisión, recolección y reciclaje.

En ese mismo contexto, el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) ha publicado los resultados del análisis realizado del Producto Interno Bruto (PIB), en donde se generó el siguiente análisis:

“La reactivación económica del país presenta un aumento significativo, dicho por La presidenta de Camacol, Sandra Forero Ramírez, quien conoció que la economía colombiana creció 10,6% frente al año 2020 y que los resultados obtenidos en el valor agregado del sector edificador presentaron un incremento destacado de 11,6% en 2021, lo que evidencia que la construcción de vivienda impulsó, el crecimiento de la economía y así mismo, el valor agregado en sectores como la industria y el comercio de insumos los cuales mantiene un alto nivel de encadenamientos productivos” (Camacol, 2022, párr. 1).

Probablemente, el crecimiento de la economía en el sector de la construcción es favorable por motivos de empleabilidad, desarrollo de una ciudad en conjunto con la sociedad que la habite y

beneficios en el estado anímico de la población; sin embargo, se considera que la realización de un proyecto de obra civil es un proceso que conlleva un alcance superior al de realizar el levantamiento de una nueva edificación; los riegos e impactos son múltiples debido a los materiales utilizados de carácter local tales como el ladrillo, madera, corcho, drywall, prefabricados, entre otros.

**Materiales de construcción**

En gran medida, la mayoría de materiales de construcción generan consecuencias nocivas en conjunto para la salud del ser humano y el medio ambiente, en la siguiente Tabla 1, se puede visualizar algunos de los materiales y/o sustancias que presentan variedad en los niveles de toxicidad.

**Tabla 1**

*Tipos de materiales empleados en el sector en la construcción*

MATERIAL o SUSTANCIA	PROBLEMA	SE RECOMIENDA
Aislación de fibra de vidrio	El polvo de lana de vidrio es un carcinógeno, la resina plástica ligante tiene fenolformaldehido	Sellar para evitar el contacto de la fibra con el aire interior.
Aislación de espuma plástica (poliuretano o PVC)	Emanaciones de componentes orgánicos volátiles. Humo muy tóxico al inflamarse	Evitar su uso si está en contacto con el interior. Buscar sustitutos naturales como la viruta de madera o el corcho.
Tuberías de cobre para agua (con soldadura de plomo)	La soldadura de plomo desprende partículas de este metal.	Solicitar soldadura sin plomo y contraflujo de vapor o agua sobrecalentada por el sistema antes de habilitar la instalación
Pinturas sintéticas de interior	Algunas emanan componentes orgánicos volátiles y gases de mercurio	Optar por pinturas al agua y libres de mercurio. Ventilar bien el edificio antes de ocuparlo. Emplear pinturas de baja toxicidad
Ladrillos refractarios	Contienen distintos porcentajes de aluminio tóxico	Elegir los ladrillos de tonalidad más clara, que contienen menos aluminio

*Nota.* La tabla describe los tipos de material, el problema que genera y las recomendaciones en su uso. Tomada de “Contaminación en los Elementos Constructivos” por Construmática 2018. ([https://www.construmatica.com/construpedia/Contaminaci%C3%B3n\\_en\\_los\\_Elementos\\_Constructivos#Componentes\\_de\\_los\\_Edificios](https://www.construmatica.com/construpedia/Contaminaci%C3%B3n_en_los_Elementos_Constructivos#Componentes_de_los_Edificios))

En relación con el análisis realizado en los datos mencionados en la anterior tabla, se logra reconocer que en el mercado existen distintos materiales los cuales son comercializados e implementados en proyectos constructivos, que progresivamente van afectando el sistema inmune del organismo humano debido a la exposición de químicos tóxicos. Para Construmatica (2018), los síntomas que presentan pueden ser dolor de cabeza, trastornos como la depresión hasta estados gripales repetitivos. Es por ello que en su mayoría los productos considerados tóxicos no sólo afectan la integridad física y mental los seres humanos pues, también repercuten en la naturaleza generando contaminación en el aire, la tierra y el agua siendo parte de los principales elementos de vida. Por consiguiente, con el tiempo, estos agentes contaminantes pueden generar desde malformaciones congénitas hasta el desarrollo de distintos tipos de enfermedades cancerígenas. Cabe resaltar que, generalmente los productos tienen derivados pétreos.

### **Impacto acústico en los espacios y su efecto en la salud**

Hoy por hoy, el aislamiento acústico dentro de los espacios es uno de los problemas que se ha incrementado de manera negativa cuando se analiza la calidad de una edificación.

Las fuentes de ruido emiten niveles altos y estas se propagan con facilidad. Un ejemplo de ello es el tráfico, el cual por la facilidad de acceso a medios de transporte ha venido creciendo de manera exponencial, causando que el nivel de ruido llegue a las fachadas de las edificaciones, viviendas, estudios, lugares de esparcimiento y este genere molestias en la comunidad.

Según las investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) refiere que cualquier sonido que supere los 65 decibelios (dB) es catalogado como ruido. Si el ruido supera los 75 dB, este se vuelve nocivo, y a partir de los 120dB la molestia ya es dolorosa. Es por ello que se recomienda no superar los 65 dB durante el transcurso del día y en horas de la noche, cuando las personas desean obtener un sueño reparador, el ruido nocturno no debe exceder los 30 dB.

Por otra parte, en el año 1972, durante la Convención de Estocolmo, se clasificó al ruido como una agente contaminante específico. En este aspecto Amable et al. (2017), manifiesta que la contaminación sonora es uno de los grandes problemas en la sociedad moderna a escala mundial.

Ahora bien, es necesario traer a colación los efectos que causan este contaminante en la salud. Por consiguiente, a continuación, se relacionarán algunos de los efectos negativos provocados por el ruido son el daño en los odios, malestar general, pérdida de atención y concentración, bajo rendimiento en el desempeño de actividades y dispersión.

**Tabla2**

*Efectos ocasionados por el ruido*

Fuente	Nivel de ruido (db)	Tiempo de exposición	Efectos sobre la Salud
Exterior de una vivienda 	50-55	16 horas	Molestia
Interior de una vivienda 	35	16 horas	Interferencia de la comunicación
Dormitorios 	30	8 horas	Interrupción del sueño
Áreas industriales, comerciales y de alto tráfico 	70	24 horas	Deterioro auditivo
Música en auriculares 	85	1 hora	Deterioro auditivo
Actividades de ocio (pubs, discoteques) 	100	4 horas	Deterioro auditivo

*Nota.* Tomado de diferentes fuentes.

En la tabla 2 podemos observar los valores del ruido que generan malestar e incomodidad dependiendo de la sensibilidad de cada individuo. Así mismo, en la segunda columna se muestran los efectos que ocasiona el ruido en la salud del ser humano.

**Pregunta Problema**

¿Cómo desarrollar un panel acústico a partir de la recolección y reciclaje de las bolsas de cemento, la fibra de guadua de las obras de construcción, el cual sea aplicable a espacios internos y tenga propiedades que mitiguen los fenómenos de absorción?

**Justificación**

Según (Ambiente, s.f) en la ciudad de Bogotá, la alcaldía plantea como meta a mediano plazo, controlar 32.000.000 millones de toneladas de RCD, con la finalidad de disminuir el impacto de residuos de las obras civiles y residuos sólidos domiciliarios producidos por la población, preservando los elementos de la Estructura Ecológica Principal que soporta una pérdida de los ecosistemas del Distrito Capital; de igual modo, se quiere mitigar la contaminación empleada en los recursos naturales agua, aire y suelo, siendo la causa de la proliferación de riesgos para la salud de la población.

Es por ello que se pretende realizar acciones que permitan llevar a cabo un control total y seguimiento al manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD generados en la ciudad capital, del contexto establecido bajo la resolución 1138 de 2013 y el decreto 586 de 2015, las cuales buscan garantizar que los residuos derivados de la construcción, se transporten y se realice una disposición adecuada, la cual cumpla con lo establecido en las resoluciones 01115 de 2012 y 00932 de 2015, a fin de minimizar el impacto en el ambiente y la salud de los ciudadanos que pueda generar los residuos generados por la ciudad.

**México**

Durante el año 2013, el estado mexicano estableció que el sector de la construcción está obligado a efectuar la formulación de un Plan de Manejo de RCD conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011.

Dicha norma implementa y contempla que los RCD se clasifiquen como Residuos de Manejo Especial, lo que promueve a cumplir e implementar y ejecutar acciones para su reciclaje y reutilización, sin dejar a un lado una buena disposición final de los residuos no aprovechables.

Según, Vargas (2019), la anterior norma: “Resulta funcional para utilizar materiales nuevos o reciclados generados en la construcción y los mismos sean aprovechados para ser reutilizados, con el objetivo de aumentar el aprovechamiento de los materiales y consigo minimizar la propagación de residuos” (p. 23).

### **Chile**

En Santiago de Chile, dentro de los residuos generados, manejan una clasificación que se divide en 4 categorías:

Residuos Sólidos Domiciliarios (10%)

Residuos Industriales (5%)

Residuos Hospitalarios (15%)

RCD (70%)

En Chile se presenta un caso en particular y es el alto índice de RCD, debido a que hace parte del residuo con mayor producción, el cual ha aumentado al pasar de los años. De acuerdo con Vargas (2019), la cantidad de botaderos ilegales es mayor que los autorizados por el estado, lo que provoca que no existan controles adecuados para la recolección de RCD.

Cabe resaltar que en este país se prioriza el control los residuos denominados áridos, tales como arena, materiales pétreos, grava y ripio de tamaño variable; para la manipulación de dichos agregados se implementó una planta tecnificada situada en la ciudad de Santiago.

### **Bélgica**

Este país europeo se ha posicionado como uno de los ejemplos a seguir sobre la gestión de residuos, considerando que posee la tasa de desviación más alta perteneciente a ese continente, siendo aproximadamente tres cuartos de los residuos domésticos y RCD que se producen en la región son reciclados, reutilizados o transformados, estabilizando la generación de residuos. Cabe resaltar que este posicionamiento se debe a las políticas regionales de gran rigor y a la coordinación de los programas generados en sus ciudades locales (Vargas,2019).

### **España**

De acuerdo a lo investigado se logra analizar que el desarrollo de nuevas tecnologías y el continuo control en las áreas de producción de RCD, ha permitido que España cuente con un tratamiento beneficioso de los residuos que generan.

De acuerdo con RCD asociación (2017)

“La gestión de RCD en España durante el periodo de 2011 a 2015 arrojó que el 70% de todos los RCD producidos acceden a instalaciones de gestores autorizados, este se ha reducido a un 30% la producción descontrolada. En los últimos años, la fabricación de áridos reciclados procedentes del tratamiento de RCD permitió que España sea uno de los países avanzados tecnológicamente a nivel mundial en su tratamiento, así como el cumplimiento normativo y técnico en los numerosos proyectos de innovación en este campo, demuestran que es posible lograr el cumplimiento de los objetivos de la Directiva siempre que exista una disposición y voluntad directa de todos los agentes competentes e implicados en el sector de la construcción”

En definitiva, se puede comprender que los países europeos mencionados, presentan un manejo de los RCD superior, debido a sus normas rigurosas y los desarrollos tecnológicos que permiten tener programas que impulsan a prácticas sostenibles y el debido control de los residuos; a comparación con los países latinoamericanos en donde se evidencio que se debe seguir trabajando desde las políticas

locales para impulsar estrategias que mitiguen el empleo inapropiado de los residuos procedentes de la construcción.

### **Manejo de RCD a nivel nacional**

Las investigaciones realizadas sobre la normatividad legal dominante para el manejo de los RCD en el país, se logró identificar que la mayoría los residuos son catalogados como si procedencia y proceso fuesen los mismos. Sin embargo, como se observa en la Tabla XX, en donde se encuentra la caracterización a los distintos tipos de residuos. Los residuos no peligrosos, se clasificación entre aprovechables y no aprovechables.

Adicionalmente, se puede inferir que en la categoría de materiales aprovechables se encuentra el RCD que a que la categoría de aprovechables contiene RCD que posiblemente se puede reutilizar en el otro tipo de procesos constructivos como bases y sub base recicladas, minerales asfálticos, elementos prefabricados, elementos de mampostería, etc.

Tabla 3

Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
A. RCD APROVECHABLES	I- Residuos mezclados	1. Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosin, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(1)</sup> .
	II-Residuos de material fino	1. Residuos finos no expansivos	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(2)</sup> .
		2. Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(1)(2)</sup> .
	III- Otros Residuos	1. Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos.
		2. Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
		3. Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra.
		4. Residuos orgánicos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
B. RCD NO APROVECHABLES	IV-Residuos peligrosos	1. Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos, patógenos (biológicos)	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, y los residuos o desechos incluidos en el Anexo I y Anexo II o que presenten las características de peligrosidad descritas en el Anexo III del Decreto 4741 de 2005.

Nota. Clasificación de RCD. Tomado de: “Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015.” (<https://www.redalyc.org/journal/852/85252030015/html/#:~:text=Los%20RCD%20son%20aquellos%20residuos,%2C%20grava%2C%20rocas%2C%20etc.>).

De acuerdo a la anterior tabla, podemos evidenciar que en la clasificación de RCD APROVECHABLES, se encuentra resaltado en color amarillo el papel como residuo aprovechable. Sin embargo, para que esta clasificación se logre cumplir en el país, se debería tener control con mayor rigor, el cual vigile la dirección y manejo de residuos de la construcción y promueva la implementación de nuevas prácticas y tecnologías, para tener como país un crecimiento en procesos sostenibles.

Por consiguiente, la implementación de las bolsas de cemento y la fibra de madera como material base, inicialmente permitirá recolectar, reciclar y reutilizar estos residuos aprovechables;

promoverá procesos que pueden ser implementados en las compañías con el fin de impulsar prácticas sostenibles y, finalmente, se puede reflexionar sobre la importancia del uso y desarrollo de nuevos materiales provenientes de la reutilización que cuentan con una fácil transformación.

### **Antecedentes del problema**

De acuerdo a Piñeros y Herrera (2018), los materiales de construcción que en la actualidad maneja el mercado, se puede identificar que se prevalece el uso de materiales tradicionales tales como el mortero, concreto, prefabricados y bloques los cuales están fabricados a base de cemento o arcilla recocida.

Así mismo, se puede analizar que estos materiales presentan un comportamiento favorable con respecto a las propiedades físicas tales como flexibilidad, resistencia y durabilidad

Cabe resaltar que los procesos que se deben realizar para la fabricación y desarrollo de estos materiales generan un impacto negativo en el medio ambiente, debido a que se debe utilizar altos niveles de energía y el acompañamiento de derivados pétreos (Ambiente, s.f).

Por otra parte, no se debe dejar de lado los altos costos de los insumos para la construcción.

Según Semana (2022), “cifras del DANE indican que los materiales para construcción de vivienda subieron 7,36 % en los doce meses terminados en noviembre del año 2021, un dato por encima de lo que subió la inflación de todo el año pasado que fue del 5,62 %; especialmente, lo que más se subió de precio fueron los alambres que subieron 30,64 % anual en noviembre; las mallas (28,34 %) y los hierros y aceros (27,84 %).”

Cabe resaltar, Colombia cuenta con la facilidad de producir distintos materiales que son vitales para la construcción, pero, para poder fabricarlos, se deben importar insumos que se requieren como, por ejemplo, las resinas para fabricar tuberías de PVC; en cuanto al acero, en el país existen varias

siderúrgicas pero la demanda de este material es tan alta, que es necesario y casi obligatorio traer la cantidad faltante del exterior.

En definitiva, los costos de los materiales incrementan ya sea por alzas del dólar, retrasos de entrega, manifestaciones nacionales, entre otras, que afectan desde la compra del insumo, hasta el costo de una vivienda nueva, sin dejar de un lado el factor costos vs calidad de los mismos.

En función de lo anteriormente expuesto y con el objetivo de entender el manejo que se les ha dado a los materiales que se emplearán para la investigación y desarrollo de este proyecto, se realizó una investigación de diferentes referentes, los cuales fueron la base inicial para argumentar y demostrar la viabilidad del proyecto. Cabe resaltar que en cada una de estas investigaciones se analizó el uso de las bolsas de cemento, el papel reciclado utilizado como celulosa, en diversas aplicaciones, entre estas; como material para prefabricado en concreto, marroquinería, tejas de fibro cemento, paneles con celulosa reciclada para aislamiento termo acústico para edificaciones.

#### **Antecedentes Bolsas de cemento**

Se encontraron diferentes investigaciones como referentes, pero solo dos de ellas, nos muestran el proceso del manejo que se le dio a las bolsas de cemento recicladas; la primera de (Cairo, 2020), titulada *Reciclaje de bolsas de plástico de desecho como sustituto del cemento en la producción de ladrillos de construcción y bloques de hormigón*. Esta investigación busca presentar los resultados obtenidos de la elaboración, observación y medición térmica sobre el uso de bolsas de plástico de desecho como reemplazo del cemento en la producción de ladrillos de construcción ladrillos y bloques de hormigón.

Su proceso consiste en colocar la cantidad segundo la dosificación plantada de plástico en la olla de fundición, luego, de que este se encuentre completamente fundido y pase a un estado líquido, se añade la cantidad de arena, grava y plástico, generando una mezcla homogénea, la cual se verterá en los

moldes previamente fabricados; se espera que baje la temperatura, se desencofra el bloque para posteriormente determinar su nivel de conductividad térmica.

**Tabla 4**

*Dosificación A - Ladrillos de plástico*

Tratamiento	Relación: Plástico- Arena	Peso del plástico (g)	Peso de la arena (g)
1	2:1	300	112,5
2	1:1	255	150
3	1:2	150	180

*Nota.* Proporciones y pesos del plástico y la arena utilizados para fabricar ladrillos de plástico. Tomada de: Reciclaje de bolsas de plástico de desecho como sustituto del cemento en la producción de ladrillos de construcción y bloques de hormigón. (Ibrahim & Emam Hassanien, 2020).

En el primer experimento, el plástico se utilizó como sustituto del cemento para formar ladrillos con 3 proporciones diferentes de plástico y arena (2:1, 1:1 y 1:2).

**Tabla 5**

*Dosificación B - Bloques de Hormigón*

Tratamiento	Relación: Plástico – Arena - Grava	Peso del plástico (g)	Peso de la arena (g)	Peso de la grava (g)
1	2:1:1	225	112,5	112,5
2	1:1:1	150	150	150
3	1:2:2	90	180	180

*Nota.* Proporciones y pesos del plástico, la arena y la grava utilizados para fabricar bloques de hormigón. Tomada de: Reciclaje de bolsas de plástico de desecho como sustituto del cemento en la producción de ladrillos de construcción y bloques de hormigón. Ibrahim & Emam Hassanien (2020).

En el segundo experimento, el plástico se utilizó como sustituto del cemento para formar bloques de hormigón con diferentes proporciones de plástico, arena y grava (2:1, 1:1:1 y 1:2:2). Las muestras de los ladrillos y bloques de hormigón en donde cada muestra arrojó un desempeño diferente.

Para concluir, se realiza una comparación entre las dos metodologías implementadas en dicha investigación en donde se evidencia que el aumento de la cantidad de plástico en la mezcla disminuyó la densidad final de los ladrillos y bloques de hormigón moldeados, además de que es una alternativa económica y ecológica en beneficio del aislamiento térmico dentro de las edificaciones. El uso de los residuos de plásticos en la fabricación de ladrillos y bloques de hormigón es de gran ventaja debido a su extrema versatilidad y capacidad de adaptarse a necesidades técnicas específicas.

De esta primera investigación, cabe resaltar método de dosificación, la empleabilidad que le dieron a los materiales sirven como base para poder lograr una mezcla ideal con las bolsas de cemento.

En la segunda investigación realizada a la compañía (Elphebo,2022) se caracterizan por la fabricación de maletines, bolsos, carteras, calzado, entre otros.

Para el desarrollo de estos productos, utilizaron como materia prima la bolsa de cemento la cual estuvo sujeta a un proceso que va desde la recolección, pasando por un tratamiento de corte y lavado, terminando en la producción de un material caracterizado por su maleabilidad.

De esta investigación cabe resaltar como prioridad inicial, el proceso de recolección y obtención de las bolsas, debido a que se asociaron con otras compañías para la obtención del material y adicional para reducir los residuos y reciclar las bolsas de cemento. Seguido del proceso de corte, en donde manualmente los empaques se someten a un lavado para eliminar los residuos del cemento sin utilizar agentes químicos, luego se deja secar al sol y posteriormente se corta en trozos para su facilidad de transporte. Adicionalmente se lleva a cabo un breve control de calidad.

Para finalizar y como dato relevante, para el año 2019, la compañía empezó a producir sus productos todas las mochilas y accesorios implementando un nuevo material reciclado, envases PET los cuales son reciclados en Camboya.

Como tercer referente, está la compañía Colombia Argos, con un proyecto titulado *Novedosa forma de reutilizar los sacos de cemento*, como lo expresa Camilo Restrepo, Vicepresidente de Innovación Argos, en la entrevista realizada donde manifiesta que:

“El proyecto o la iniciativa se llama Sacos Verdes, los sacos que iban a las obras y luego se convertían en un residuo, los estamos recogiendo a través de un proceso de recicle inversa y volviéndolos a utilizar en procesos productivos. Anteriormente los que pasaba con los sacos era que llegaban a las obras y terminaban en los rellenos sanitarios o en otras partes donde uno no quisiera ver los sacos tirados, como pasa con muchos residuos de las obras.

En el municipio de Sibaté, Cundinamarca, llegan las bolsas de cemento para completar su ciclo y convertirse luego en placas de fibro cemento” (Marin, 2014, parr.5).

Por otra parte Zapata (2014), manifiesta que:

“las bolsas de cemento recicladas llegan a nuestro proceso y ellas son mecánicamente trabajadas para poder recuperar sus fibras y aprovechar al máximo la capacidad que tiene las fibras aún de reciclar. Nuestro objetivo es llegar a consumir entre 50 y 60 toneladas de sacos de cemento al mes”. (Clima 24/7, 2015, 0.16 – 0.44),

Marin, (2014) refiere que “a la fecha han reciclado 55 toneladas, eso es equivalente a 400 árboles que no se han utilizado, 53.000 litros de agua que se han dejado de utilizar” (Clima 24/7, 2015, 1.26 – 2.10)

Como aporte al desarrollo del proyecto, se puede destacar el plan de manejo que implementaron en conjunto con sus clientes para la obtención del material que ellos mismo proveen y el aporte ambiental que están generando debido a que el programa de recicle a la inversa ha generado el

reciclaje de 1.609.465 sacos, evitando la deforestación de 2.285 árboles y protegiendo 18.284 m<sup>3</sup> de agua, lo que equivale a 7 piscinas olímpicas o abastecer de agua a 107.000 personas por día.

Como cuarto y último referente, se encuentra la compañía Cemex quien implemento y desarrollo el Proyecto Disposición Sostenible de Sacos CEMEX.

Desde el año 2018 Cemex Innovation Holding LTD (2021) dio inicio un proyecto que busca dar solución a los sacos de mezcla secas de cemento, luego de usar su producto implemento. La metodología para usar esos sacos consiste en: Recolectar, Reutilizar y Compactar, para que esta celulosa, sea insumo de prefabricados de concreto.

La metodología implementada fue:

Seleccionan el saco y se sacude los residuos restantes, luego lo aplanan de forma manual, ordenan y amarran en pacas de 50 sacos para ser ubicados en un espacio libre de grasa, aceite o pintura para su almacenaje.

Al pasar el proceso de inspección, pesaje y transporte, llega al momento de transformación realizado por los clientes Cemex. Los sacos son introducidos por los clientes en un tanque con gran cantidad de agua. Posteriormente, el material es triturado de manera mecánica hasta generar una masa de celulosa y con aditivos, sílice y cemento, inician el proceso de construcción de elementos prefabricados.

En tal sentido, este referente aporta al proyecto una de las bases fundamentales para la implementación de la metodología del proyecto, debido define el proceso por el cual pasa la bolsa para generar una masa de celulosa, y este paso es uno de los que se va a implementar en el desarrollo de la mezcla para el panel acústico.

### Referentes Paneles de Fibra de celulosa

Hace más de 20 años, en el sector de la construcción, se ha venido implementando paneles acústicos a base de celulosa en distintos países, estos son elementos constructivos que se utilizan tanto para la absorción del sonido como un aislamiento acústico. Este aislante está compuesto entre el 75% y un 85% de fibras de celulosa reciclada provenientes del papel periódico lo que lo hace un producto ecológico.

De acuerdo con Tejedor (s.f.) “la celulosa es el elemento principal de la pared de las células vegetales en la madera, plantas y fibras naturales”, además de ser una de las materias orgánicas con mayor abundancia en el planeta, la celulosa puede emplearse en diferentes usos para todo tipo de superficies, paredes tanto verticales como horizontales en hormigón armado, muros, bloques, prefabricados, madera, ladrillo. Su empleabilidad se puede llevar a cabo desde el desarrollo de un proyecto edificatorio nuevo, hasta la rehabilitación energética de los inmuebles ya existentes Becton, (s.f).

En la figura 2, se visualiza la versatilidad de los materiales dentro de un espacio

**Figura 2** Espacios donde se pueden instalar los paneles de celulosa



Nota. Tomado de: “Información Técnica “por Becton, s.f. (<http://www.especificar.cl/fichas/aislante-de-celulosa>).

Estos tipos de paneles a base de celulosa reciclada, suelen emplearse en espacios que acústicamente lo requieren como los son hoteles, centros de eventos, cines, estudios, auditorios, discotecas, entre otros, debido a que absorben el ruido que proviene tanto del interior como el exterior del espacio y lo aminoran a fuentes fijas.

Así mismo, la dosificación utilizada en el panel, permite que no exista presencia de insectos, roedores, mitigando la necesidad de contaminar la celulosa con el uso de pesticidas, no emana aromas, no presenta agentes tóxicos que puedan afectar a las personas y animales Becton (s.f).

Se encontraron diferentes investigaciones como referentes para el desarrollo de paneles a base de celulosa reciclada, la primera titulada *Producción de paneles aislantes de celulosa con propiedades antifúngicas en la ciudad de Bucaramanga, Santander de Medina* (2018), esta investigación universitaria es de tipo experimental, en donde se utilizaron materiales y reactivos los cuales se esterilizaron a 121°C durante 15 minutos con una presión de 15 libras.

**Tabla 6**

*Clasificación de los materiales utilizados en la metodología para el desarrollo del panel*

CÁMARAS HÚMEDAS	PREPARACIÓN DE AGUA PEPTONADA	MONTAJE DE LA CÁMARA HÚMEDA	PREPARACIÓN DE MEDIOS	PROPIEDADES ANTIFUNGICAS
Cajas de Petri desechables estériles	Erlenmeyer de 500 ml	Agua destilada estéril	Medio papa dextrosa	Asa redonda
Aguja estéril	Peptona 7,5 gr	Agua peptonada	Balanza	Tween 80
Mechero de Bunsen	Phmetro	Palillos estériles	Papel aluminio	Erlenmeyer 1000 ml, 250 ml
Papel Parafilm	Gasa	Papel periódico estéril	Gasa	Lana de vidrio
	Algodón	Portaobjetos	Algodón	Centrifuga
	Papel parafilm		Alcohol	Tubos de centrifuga

Placa de calentamiento	2 Erlenmeyer de 1000 MI	Agua destilada
Estufa	Phmetro	Cámara de Newbawer
Bajalenguas	Placa de calentamiento	
Balanza	Hipoclorito de sodio	

*Nota.* Materiales utilizados en diferentes paneles comerciales. Tomado de diferentes fuentes.

Dentro de la metodología implementada en esta investigación, es importante resaltar el manejo de las dosificaciones de los materiales, el desarrollo del material por medio de cultivos propios para generar hongos, los cuales permitieron obtener propiedades antifúngicas y estas se implementaron en el panel acústico, teniendo en cuenta que los resultados podrían ser favorables si y solo si, las muestras no presentan crecimiento pero la muestra de control sí; en cambio si las muestras obtienen más crecimiento que la muestra de control, o si no se evidencia crecimiento de los hongos en ninguna de las muestras, se puede inferir que la prueba ha fallado

En esta segunda investigación titulada *Paneles Tipo Sandwich A Base De Celulosa Reciclada Para Fachadas, Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia*. Esta investigación consiste en desarrollar un panel para cerramientos de fachada, este fue fabricado con 2 láminas metálicas de calibre 18, una superficie lisa y la otra superficie trapezoidal, su centro está compuesto por fibra de celulosa obtenido del papel blanco recolectado, cabe resaltar que para mejorar el comportamiento ignifugo, el material fue manipulado con sales de bórax el cual permitirá prevenir la aparición de hongos e insectos (Cordoba,2020).

Como aporte para el desarrollo del proyecto, es indispensable traer a colación que el espesor de del panel depende de la aplicabilidad que se requiera en el espacio definido.

La metodología implementada en esta investigación es un aporte significativo para el desarrollo del panel, puesto que utilizaron una metodología de fácil comprensión y detallada; estipularon uno a uno los componentes de composición del panel, dimensiones y diseño estándar; en donde se realizaron pruebas previas para analizar la trabajabilidad del material en conjunto a los aditivos utilizados. Emplearon unas medidas de 500x500mm para panel con el fin de que sea una pieza adaptable para trabajar en diferentes medidas.

El objetivo de esta investigación y desarrollo del panel fue determinar la factibilidad termo acústica del prototipo tipo emparedado a base de celulosa y analizar el impacto ambiental positivo que este produce a raíz de la recolección y reutilización de estos materiales.

Por consiguiente, este proyecto de investigación enfatiza en el desarrollo de un panel acústico a base de la recolección y reutilización de las bolsas de cemento y la fibra de madera, que mitigue los fenómenos acústicos que se presentan en diferentes espacios, logrando fabricar un producto que cumpla con las propiedades físicas tales como flexibilidad, compresión, porosidad y rigidez; además de la especificaciones técnicas, con las que cuentan los aislantes acústicos tradicionalmente comercializados.

### **Hipótesis**

Mediante el diseño y exploración de las bolsas de cemento y fibra de guagua se pretende desarrollar un panel acústico el cual permitirá ser una alternativa ecológica y sustentable. Asimismo, será un producto que cumplirá con las propiedades físicas para mitigar los fenómenos de absorción dentro de los espacios, este será competitivo con los paneles de que se comercializan en el mercado.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un panel a partir de la recolección y reutilización de las bolsas de cemento y fibra de guadua, que sea aplicable a espacios internos para disminuir los fenómenos de absorción.

### *Objetivos Específicos*

Realizar la caracterización física de la bolsa de cemento, la fibra de guadua y los aglutinantes a emplear, con la finalidad de evaluar su comportamiento físico frente a las propiedades físicas como espesor, dimensión, densidad, flexibilidad, rigidez y peso que requiere un panel acústico; y otras como la capacidad de aislamiento, absorción acústica y térmicas.

Elaborar la dosificación por porcentaje de cada material a emplear, para desarrollar la celulosa que se va a utilizar en conjunto con el aglutinante natural en el prototipo.

Diseñar un prototipo de panel, el cual cumpla de manera eficiente con las propiedades acústicas para mitigar los fenómenos de absorción.

Realizar las pruebas mediante el tubo de impedancia, prueba del sonómetro, prueba ignifugas y prueba con la cámara Termográfica, que permitan desarrollar la caracterización acústica esto con el objetivo de definir la dosificación ideal, dimensión y espesor para su correcto funcionamiento.

### Marco Teórico

El actual desarrollo del proyecto investigativo, es importante tener claridad los conceptos técnicos que se van mencionar y serán objeto de estudio. Para comenzar, se debe entender que el papel del cual están fabricadas las bolsas de cemento, es catalogado como celulosa.

#### Celulosa

La celulosa proviene de un material de origen vegetal que es constituido a partir las células de las plantas y los tejidos que generan un soporte y estructura a las plantas.

La celulosa presenta una superficie porosa y esponjosa; La obtención de la pulpa de la celulosa es la primera fase para la fabricación del papel. El uso que se le da a este material en la industria del papel es su empleabilidad como materia prima para la fabricación de papeles y cartones.

#### Figura 3

*Fibra de celulosa*



Nota. Fibra de celulosa reciclada. Tomada de: “La celulosa, conozca más sobre este material” por (iglu, s.f) (<http://www.iglu.cl/la-celulosa/>)

Dentro de los usos más comunes en los cuales se ha implementado la celulosa, es el aislante termo acústico en las construcciones.

De acuerdo con VenhausHeld y María (2015), la celulosa cuenta con propiedades adecuadas como aislante termo acústico; su aplicabilidad como aislante generalmente se realiza de tres formas:

**Insuflado:** por medio de un bombeo a través de tubos de presión se van llenando vacíos.

**Placas:** en el comercio regularmente se encuentran como tipo de panel con un espesor entre 30mm y 300mm.

**Proyectado:** su aplicabilidad tiene dos maneras de ser empleada, con el material húmedo o utilizado un spray, con una alta presión de agua se lanza la celulosa y en seco, sin necesidad de agregar un aditivo.

Cabe resaltar que la celulosa se mezcla con sale de bórax, este mineral natural le permite desarrollar propiedades insecticidas, ignifugas y anti fúngicas.

En el sector constructivo la celulosa generalmente es utilizada en los diferentes sistemas de construcción en seco, sistemas de construcción no tradicionales, en vista de que presenta una facilidad en su empleabilidad dentro de dichos sistemas.

**Tabla 7**

*Información técnica de la celulosa*

	Medida	Unidades
Densidad (Envasado)	120 a 150	kg x m3
Densidad (Insuflado)	40 a 70	kg x m3
Densidad (Spray)	30 a 50	kg x m3
Seco	25 a 50	kg x m3
Conductividad térmica	0,039 - 0,045	W/mxK
Aislación acústica	49 - 54	STC
Capacidad Calorífica	2150	J / kg x K

Nota. Información técnica de las propiedades y ventajas de la celulosa como aislante termo acústico. Tomada de: “La celulosa, conozca más sobre este material” por (iglú, s.f) (<http://www.iglu.cl/la-celulosa/>)

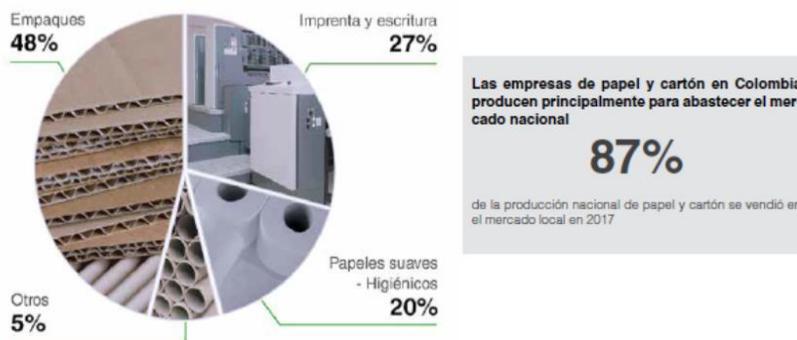
## Obtención

En la actualidad, a nivel mundial existen más de 500 tipos heterogéneos de papel implementados para el sector educativo, la comunicación escrita, sector salud, higiene humana, el comercio, industria entre otros campos (Vidal et al., 2019).

Bajo la mirada de los datos sobre sostenibilidad de la cámara de la industria de pulpa, papel y cartón de la ANDI en el año 2017, se obtuvieron las cifras correspondientes a la producción y consumo en Colombia de papel incluyendo su exportación. Por otra parte, el 85% (422.09 toneladas) de la producción Nacional de papel pertenece a empresas pertenecientes a la cámara de la ANDI. Durante el año 2015 se produjo el 87% de papel y cartón para el mercado local como se describe en la figura 4.

### Figura 4

*Producción de papel en Colombia por subsectores 2015*



Nota. Tomado de: "industria de pulpa, papel y cartón "por ANDI, 2017.  
(<http://www.andi.com.co/Home/Camara/20-industria-de-pulpa-papel-y-carton>).

En Colombia se recicla el 8.6 % de los residuos que produce:

“Según el Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SIU), en el año 2018 en Colombia se aprovecharon 690.000 toneladas de residuos orientado a un reciclaje que reincorpora los materiales al ciclo productivo” (EL TIEMPO, 2019, párr. 3)

De acuerdo a los análisis presentados en Colombia, los materiales de reciclaje con mayor reutilización son: papel y cartón (53 %), metales (25 %), vidrio (13 %), plástico (7 %) y maderables (2 %) (EL TIEMPO,2019).

La compra de la fibra de celulosa reciclada se obtiene de la recuperación de residuos de materia prima producidos en el mercado, a través de la separación del papel aplicando métodos físicos de acuerdo a las características diferenciales que tiene; posteriormente se procesa y tritura para la preparación y en consecuencia la oportunidad de un nuevo uso, como aislante, relleno de acolchonamiento entre otros.

Por otra parte, en el mercado de los paneles acústicos contamos con diversidad de materiales, elementos y componentes acústicos de origen sintéticos y natural. Dentro de la gama de los sintéticos los más conocidos son la espuma de poliuretano y la fibra de vidrio. Entre los materiales acústicos de origen natural, podemos encontrar las fibras vegetales, como el fique, cáñamo y el yute; para los aglomerantes naturales encontramos lámina de madera y corcho, los materiales mencionados anteriormente presentan aspectos favorables y desfavorables al ser comparados entre ellos mismos, pues cada uno responde a diferentes necesidades y situaciones.

Desde el campo de la acústica en las edificaciones, se debe traer a colación la existencia de diferentes fenómenos comunes como lo es el eco, la absorción, la difusión, la difracción, las reflexiones tempranas, la transmisión sonora, el sonido directo y reflejado, la conducción, resonancias, la ambiencia, la reverberación, entre otras. Cabe resaltar que, de acuerdo a los materiales utilizados en la construcción y en espacios interiores, estos generaran la presencia de los fenómenos mencionados.

Para comenzar, la reflexión temporal es un fenómeno acústico el cual presenta el siguiente comportamiento: cuando la fuente sonora se encuentra rodeada por diferentes superficies como paredes, piso y techo, el receptor recibirá el sonido directo, adicional a la onda reflejada en cada una de las superficies mencionadas. Cabe resaltar que la exposición a este tipo de sonido de manera directa y

descontrolada, afecta de manera negativa la audición de las personas, debido a que las ondas llegan con un nivel de intensidad mayor porque no han perdido mucha energía.

Como segundo fenómeno a estudiar, se encuentra la reverberación, este se puede definir como la unión de distintas reflexiones (tempranas, secundarias y así sucesivamente) las cuales “rebotan” continuamente en las superficies, lo que genera que amplifique el sonido, entre más rebotes existan mayor será el nivel de reverberación, ocasionando el ruido de fondo; Cuando los materiales de un determinado espacio tienen coeficientes de absorción bajos, el sonido emitido por la fuente se demorará en ser absorbido hasta llegar al punto de ser imperceptible, lo cual producirá mayores reflexiones y mayor tiempo del sonido en el lugar emitido; a esto se le denomina tiempo de reverberación. Además, es pertinente resaltar el área y forma del recinto influyen en el tiempo de reverberación debido a que, si la onda del sonido presenta mayores prolongaciones, esto causa múltiples reflexiones y se conoce como el fenómeno de la reverberación; este concepto es de suma importancia para el sonido presente una calidad óptima dentro de los espacios.

**Tabla 8**

*Relación de espacios de uso vs el tiempo adecuado de reverberación*

Espacios	Tiempos de Reverberación
Iglesia o templo	2.0 – 3.0
Cine	1.0 – 1.2
Cabina de radio	0.2 – 0.4
Sala de conferencias	0.7 – 1.0
Teatro	1.3 – 1.7
Sala de concierto	1.8 – 2.0

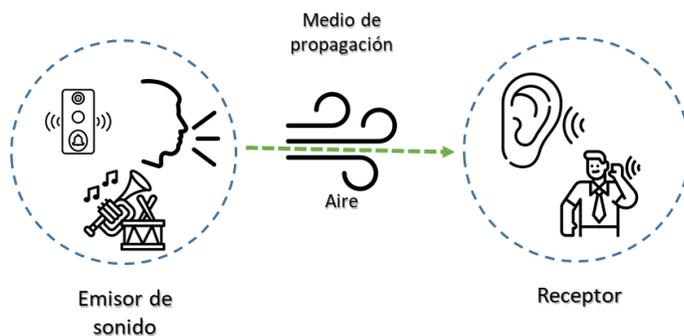
*Nota.* Relación de espacios de uso vs el tiempo adecuado de reverberación. Adaptado de: Libro “Diseño acústico de espacios arquitectónicos” (Carrión, 1998).

Es pertinente mencionar que, para Antoni Carrión, (1998) los espacios que se encuentran destinados para uso de oratorios, salón de clases o conferencias, es indispensable que los valores del tiempo reverberante sean mínimos para obtener un buen entendimiento de la información emitida.

Ahora, para hablar del sonido y todo lo que comprende este término, de debe tener en cuenta el periodo de oscilación, la propagación del sonido, la frecuencia, la longitud de la onda y su presión sonora, para posteriormente identificar cómo se comporta el sonido en un espacio.

### Figura 5

*Descripción gráfica del sonido*



*Nota.* Tomado y adaptado de: "Sonido: Generalidades" <http://www.cochlea.eu/es/sonido>

El sonido presenta diferentes conceptos dependiendo al campo que se vaya a generar su aplicación. Benjamin y Ducourneau (2016), define el sonido desde la física como una onda producida por las vibraciones mecánicas de un medio, en función de una materia en estado sólido, líquido o gaseoso. Antropomórficamente, lo define como la sensación audible producida por una vibración acústica.

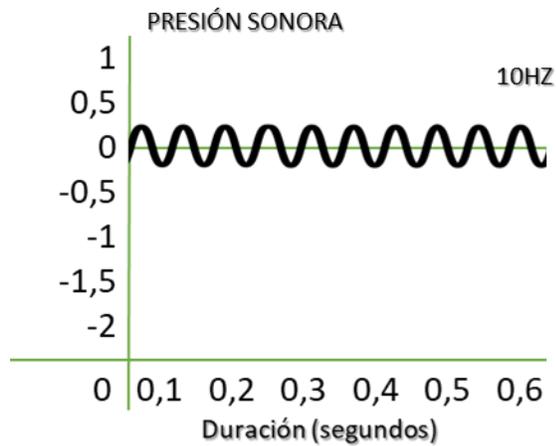
Principalmente, el sonido se encuentra ligado con tres variables que son indispensables como se puede visualizar en la figura 5, en donde se describe gráficamente que para la propagación del sonido se requiere, una fuente emisora que puede ser un instrumento o la voz de una persona, el aire como



embargo, también se puede denominar como ciclos por segundo (c/s). En la figura 7 se visualiza una onda que tiene 10 oscilaciones en 06 segundos, lo que infiere es que su frecuencia es de 10 Hertzios.

**Figura 7**

*Frecuencia de 10Hz*



*Nota.* Tomado y adaptado de: "Sonido: Generalidades" <http://www.cochlea.eu/es/sonido>

Expresar las magnitudes características que permiten medir el ruido son la presión sonora y como se expresó anteriormente la frecuencia. La unidad de medida de la presión sonora son los decibelios (dB), cuya escala va de los 0 hasta 120. En la tabla 9 muestra el nivel de presión sonora que puede estar expuesto el ser humano según el sonido emitido y el efecto en la salud que este pueda desencadenar, desde el mínimo audible, hasta llegar a la pérdida de la capacidad auditiva.

**Tabla 9**

*Niveles sonoros audibles para el ser humano*

<b>NIVELES SONOROS - RESPUESTA HUMANA</b>		
<b>SONIDOS EMITIDOS</b>	<b>NIVEL DE PRESIÓN SONORA [dB]</b>	<b>EFECTO</b>
Zona de lanzamiento de cohetes (sin protección auditiva)	180 -	Pérdida auditiva irreversible -
Operación en pista de jets	140	Dolorosamente fuerte
Sirena antiaérea	-	-
Trueno	130	-
Despegue de jets (60 m)	120	Máximo esfuerzo vocal
Bocina de auto (1 m)	-	-
Martillo neumático	110	Extremadamente fuerte
Concierto de Rock	-	-
Camión recolector	100	Muy fuerte
Petardos	-	-
Camión pesado (15 m)	90	Muy molesto
Tránsito urbano	-	Daño auditivo (8 Hrs)
Reloj Despertador (0,5 m)	80	Molesto
Secador de cabello	-	-
Restaurante ruidoso	70	Difícil uso del teléfono
Tránsito por autopista	-	-
Oficina de negocios	-	-
Aire acondicionado	60	Intrusivo
Conversación normal	-	-
Tránsito de vehículos livianos (30 m)	50 -	Silencio -
Líving	40	-
Dormitorio	-	-
Oficina tranquila	-	-
Biblioteca	30	Muy silencioso
Susurro a 5 m	-	-
Estudio de radiodifusión	20	-
	10	Apenas audible
	0	Umbral auditivo

*Nota.* Niveles sonoros audibles para el ser humano. Adaptado:

<https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

Dando continuidad a lo anterior, no se puede dejar de lado un concepto conocido como propagación del sonido. La propagación del sonido se refiere al sonido que llega de un lugar a otro, es el transporte de energía que no transporta materia; este siempre se realizara a través de un medio material, como el aire o el agua; cabe resaltar que, si no existe un material de propagación, este no se puede propagar. Existen factores que afectan la velocidad de transmisión del sonido como lo son la densidad y elasticidad del material, la temperatura, presión atmosférica, salinidad, humedad relativa. En la tabla 10 se visualiza la velocidad con la que se propagan diferentes sonidos, en función del medio de propagación.

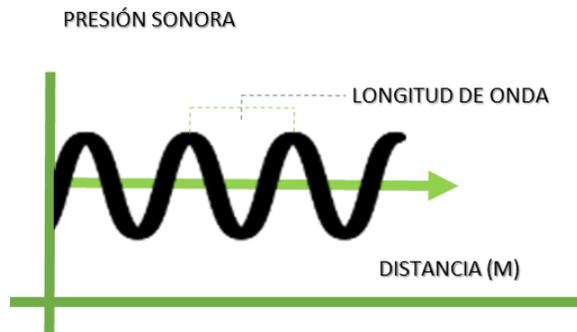
**Tabla 10**

*Velocidad de propagación del sonido*

<b>MATERIAL</b>	<b>VELOCIDAD</b>
Acero	3.400
Aire	345
Madera	2.500
Agua	1.400
Ladrillo	2.700
Hormigón	5.000

*Nota.* Velocidad de propagación del sonido en función del medio de propagación. Tomado de; Acústica aplicada a la construcción. (2013). <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/10113>.

Por otra parte, se debe tener en cuenta otro concepto no menos importante que se encuentra ligado a los expuestos anteriormente. La longitud de la onda, es el trayecto que recorre una perturbación en el estado vibratorio manteniendo una misma presión y velocidad acústica, durante un periodo, como se visualiza en la figura 8.

**Figura 8***Longitud de onda*

*Nota.* Tomado y adaptado de: “Sonido: Generalidades” <http://www.cochlea.eu/es/sonido>

Si nos ubicamos en un espacio cerrado en donde en determinada parte se encuentre una superficie que se encuentre situada durante el recorrido de la onda, teniendo en cuenta las características de dicha superficie, como puede ser su composición y/o físicas, coeficiente de absorción y conductividad acústica; pero, si el espacio es abierto, la onda se propagará hasta no ser perceptible en el ambiente que fue emitido; se pueden presentar situaciones que van a repercutir en el confort y calidad acústica del espacio, como los materiales, las ondas sobre la superficie, la presión sonora, entre otras.

Seguido de mencionar los fenómenos y problemas acústicos que se pueden presentar al interior de un espacio realizada con anterioridad, ahora se describirá cada uno de estos, en qué influyen según las condiciones del espacio y en qué situaciones se presentan. Benjamin y Ducourneau (2016), definen conceptos acústicos.

1. **Sonido directo:** es el sonido emitido por el aire que realiza un recorrido desde la fuente sonora y este llega directamente al receptor.

**Figura 9**

*Representación gráfica del Sonido directo*



*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

2. **Sonido reflejado:** son las ondas que después de chocar contra un elemento, ésta se reflejará en un ángulo igual al que el sonido fue emitido.

**Figura 10**

*Ondas reflejadas*



*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

3. **Absorción:** cuando la onda impacta en una superficie, parte de la energía que esta lleva se refleja y otra parte es absorbida por la superficie, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del material.

**Figura 11**

*Absorción sonora*



*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

4. **Difusión:** cuando el sonido emitido llega a una superficie que presenta una textura rugosa o con aristas, al chocar, se dispersaran trabajando en función de la forma o textura de esta.

**Figura 12**

*Difusión de las ondas acústicas*

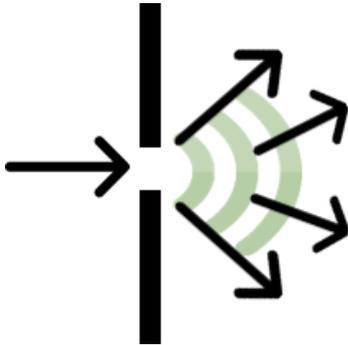


*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

5. **Difracción:** una onda puede rodear una superficie o propagarse a través de una pequeña abertura.

**Figura 13**

*Difracción ondas sonoras*



*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

6. **Transmisión:** este fenómeno acústico se da cuando las ondas tocan una superficie y esta se dirige del lado opuesto del volumen y la resistencia a la vibración de la misma, teniendo en cuenta la elasticidad y composición del medio para recuperar su forma inicial.

**Figura 14**

*Transmisión de onda a través de una superficie*

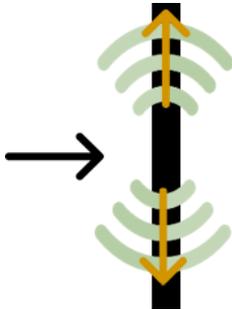


*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

7. **Conducción:** cuando el sonido choca con una superficie sólida, estas vibraciones se transportan a través de la misma con la velocidad de conducción del material o superficie alcanzado.

**Figura 15**

*Conducción de las ondas sonoras*



*Nota.* Tomado y adaptado de: “Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos” <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

Luego de comprender los fenómenos mencionados y la relación que tiene con el sonido, debemos hablar de la acústica. La acústica se define como la rama de la ciencia y parte de la física, que estudia los fenómenos sonoros que se propagan a través de un medio, ya sea en un estado, líquido, sólido o gaseoso y que son perceptibles por el oído humano (Torner 2016).

La Acústica Arquitectónica se encarga de estudiar los fenómenos que acontecen desde que las ondas sonoras son propagadas, hasta que llegan al su determinado receptor, buscando una funcionalidad del sonido en un espacio, ya sea un estudio de grabación, teatro, sala de conciertos, o determinado espacio que requiera un buen comportamiento acústico; dicho esto, se debe tener en cuenta cual es el uso que se le va a dar al recinto, debido a que esto involucra la problemática sobre el aislamiento acústico al interior. También, se debe garantizar el confort acústico de los espacios internos con el fin de disminuir los sonidos incómodos y molestos percibidos desde el exterior.

En los espacios internos de las edificaciones, esencialmente en las alcobas o espacios destinados a una ejecutar una actividad en específico, estas deben disponer de características acústicas y arquitectónicas para que el entorno cumpla con las condiciones del uso que se le vaya dar.

Las cualidades acústicas arquitectónicas de un ambiente o espacio se precisan con la cantidad de propiedades que delimitan el comportamiento acústico dentro de un espacio. Entre ellos se encuentran reflexiones tempranas, reverberación, tiempo de reverberación, absorción sonora, ecos, resonancia, ambiencia, dependiendo del uso de la estancia de dichas propiedades, estas presentarán una variación ligeramente para obtener un confort acústico (Kömmerling, 2014).

Al identificar espacios que físicamente cuenta con una configuración espacial y su materialidad no es la adecuada para el uso que se le está dando, es donde se utiliza la acústica arquitectónica, quien se encargará de valorar los factores por los cuales se generan los fenómenos acústicos dentro de un espacio que dificultan la calidad del sonido.

**Absorción de sonido:** es la capacidad que tiene un material para absorber una cantidad de energía emitida por las ondas sonoras cuando éstas inciden sobre la superficie del mismo, disminuyendo la porción que el material recibirá de la energía reflejada. La absorción acústica cuenta con una variable de medida conocida como coeficiente de absorción acústica (Isinac, 2020).

**Absorbentes acústicos:** son los materiales que cuentan con las capacidades de absorber las ondas sonoras que reciben, el porcentaje de energía reflejada es poco o mínimo, en comparación con la energía absorbida. Éstos, se clasifican como (Torner,2016):

**Resonantes:** absorben la energía sin importar la frecuencia.

**Membranas:** las frecuencias bajas (sonidos graves) son las que mejor absorben.

**Fibrosos/Porosos:** las frecuencias altas (sonidos agudos) son las que mejor absorben.

A la hora de analizar y estudiar la capacidad de absorción acústico de un material, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

**Espesor:** debe tener relación de tamaño con la longitud de la onda en función de la frecuencia que es capaz de absorber, es decir, a mayor grosor, tendrá la capacidad de absorber frecuencias más altas.

**Porosidad:** a mayor porosidad del material, mayor será la absorción de todas las frecuencias. Esto sucede porque la onda sonora incidente incrementará a medida que el grado de porosidad sea mayor.

**Densidad:** la densidad de los materiales y la superficie son de gran importancia debido a que el aumento de esta generará el aumento de fricción, por consiguiente, la absorción de la onda sonora incidente será mayor. Es pertinente resaltar que se existe un límite de aumento en la densidad de los materiales, ya que la onda sonora que incidirá no podrá penetrar en su totalidad la densidad sobre la superficie, causando una mayor reflexión de energía (Castillo et al.,2012).

De acuerdo con los conceptos que se han venido estudiando, es relevante tener en cuenta al momento de identificar y analizar el desempeño de los materiales acústicos, la conductividad térmica. La conductividad térmica es la capacidad de los materiales para transmitir la energía a través de ellos; en la tabla 11, se relacionan los valores de conductividad de los materiales comerciales, los cuales presentan una conductividad térmica baja, exceptuando la lana de roca, esto quiere decir que es un excelente aislante. En el caso de la celulosa se identificó que posee una conductividad térmica muy baja (0.040), notoriamente inferior de distintos materiales naturales y sintéticos; además, cuenta con un nivel de conductividad térmica más bajo que el corcho (0.045), la fibra de coco (0.043) y es un poco más alto que la fibra de vidrio (0.038) y la cascarilla de arroz (0.036), estos materiales son implementados en la construcción de prefabricados acústicos a excepción de la cascarilla de arroz, debido a que este es un prototipo experimental, de innovación e investigación. Dicho esto, es importante destacar que la celulosa cuenta con la capacidad de competir comercialmente con las características térmicas ante con

los materiales que ya existen, enfatizando que la celulosa empleada en esta investigación es recolectada y reciclada.

**Tabla 11**

*Conductividad Térmica de los materiales*

ESCALA MEDIBLE	MATERIALES	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
De 0 a 0,35	Fibra de coco	0.043
	Fibra de vidrio	0.038
	Cáñamo	0.039
	Poliuretano	0.033
	Algodón	0.04
	Celulosa	0.040
	Cascarilla de arroz	0.036
	Corcho	0.045
	Lana de roca	0.31

*Nota.* Tomado de diversas fuentes.

Después de lo anteriormente expuesto, otro de los factores a mencionar, es el coeficiente de absorción acústico, este se mide en una escala de cero a uno, en donde cero pertenece a materiales reflectantes como lo son el aluminio o el vidrio, y por otra parte están los materiales absorbentes como lo es el Black Theater. Para comprender mejor, el coeficiente de absorción acústica es la propiedad y cualidad que tienen ciertos materiales, cuya función es absorber las ondas que inciden sobre las superficies de los mismo.

**Figura 16**

*Coficiente de absorción acústica*



*Nota.* Coeficiente de absorción acústica. Tomado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998)

Dentro de los valores de cero y uno, se podrá evidenciar una variación de un material a otro en función de la frecuencia que incidente en los mismos. En la figura 14 se puede evidenciar la comparación de los valores del coeficiente de absorción acústico de los materiales actuales en el mercado; el Black Theater es el que presenta el mejor desempeño ya que su valor es de 0.95; por otra parte, dentro de los materiales naturales con el mejor desempeño se encuentra la fibra de coco (0.72).

**Tabla 12**

*Conductividad térmica de los materiales acústicos*

ESCALA MEDIBLE	MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN
De 0 a 1.0	Fibra de coco	0.72
	Fibra de vidrio	0.78
	Cáñamo	0.64
	Poliuretano	0.44
	Algodón	0.43
	Celulosa	0.52
	Corcho	0.64
	Lana de roca	0.54
	Black Theater	0.95
Drywall	0.25	

*Nota.* Tomado de diversas fuentes.

Considerando los resultados de la anterior tabla, es pertinente estipular un rango aceptable para que la celulosa sea competitivo, en donde el valor mínimo de absorción debe ser igual o superior a 0.72 y el valor máximo de absorción debe estar igual o superior a 0.95.

Para terminar, lo que se busca en esta investigación, es el análisis y desarrollo del material a base de la bolsa de cemento y fibra de guadua, expuestos a una presión mecánica, teniendo en cuenta como base de referencia los valores que corresponden a la conductividad térmica y la densidad de los materiales a estudiar. La finalidad es tomar las determinantes mencionadas en la tabla anterior donde se observa el valor que hace un material acústicamente funcional y este se transformaría mediante la variación de sus componentes, cambiando sus dimensiones, porosidad y espesor.

### Metodología

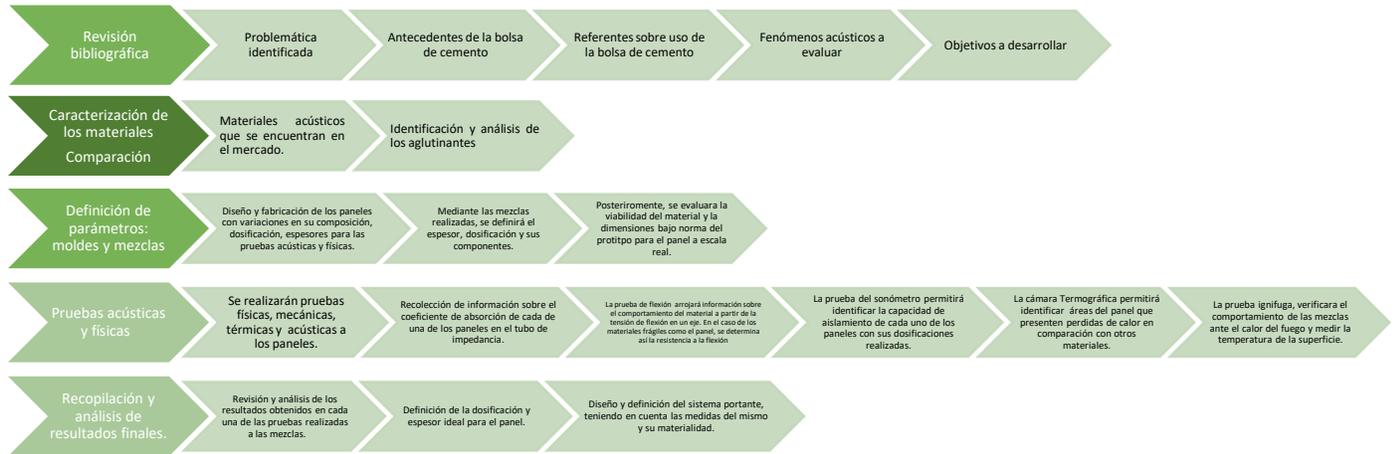
La metodología de investigación implementada tiene dos enfoques, el experimental porque el material a trabajar se debe desarrollar en condiciones de laboratorio con variables controladas, y el cuantitativo puesto que se debe realizar diferentes tipos de ensayos, recolección y análisis de los datos que permitirán comprobar la capacidad que los prototipos desarrollados tendrán para mitigar el fenómeno de la reverberación en los espacios.

En primer lugar, se comienza con la caracterización de los materiales, que en este caso es la bolsa de cemento, la fibra de guadua y los aglutinantes a emplear, en el cual se determinarán las propiedades físicas, adaptabilidad, la compatibilidad de cada uno y el valor comercial dentro del mercado actual de los paneles acústicos. Una vez recolectada dicha información, se procede a determinar la dosificación que se empleará en la mezcla para su respectivo vaciado en los diferentes moldes previamente diseñados, con el fin de que este genere una compresión, así se obtendrá la forma esperada.

En segundo lugar, se deben realizar las pruebas físicas como la rigidez, compresión, solidez y flexibilidad, acústicas como la prueba en el tubo de impedancia y sonómetro, de temperatura como la cámara Termográfica y prueba ignífuga, al material en los diferentes moldes empleados, en donde se pueda demostrar la diferencia de la dosificación y que tipo de aglutinante cumple químicamente con la compatibilidad con los demás materiales.

Figura 17

Diagrama metodológico de investigación y experimentación.



Elaboración propia.

En tercer lugar, se analizarán los resultados obtenidos en cada uno de los moldes, se identificará cual es la dosificación que se ajustó a lo esperado, en qué espesor y dosificación funciona mejor, esto con el objetivo de definir los parámetros que se utilizarán en el panel a escala real y que este se adapte al sistema portante establecido, con el fin de emplearlo en un espacio donde se requiera disminuir los fenómenos de absorción.

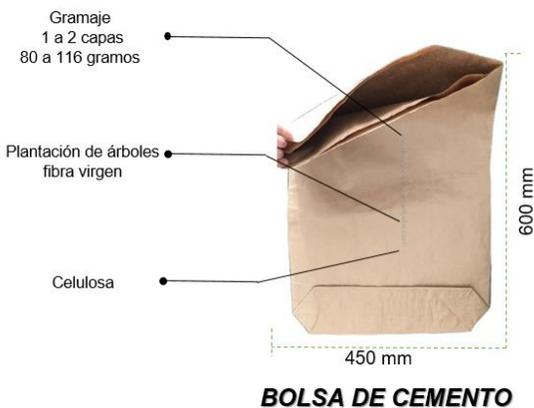
### Obtención de los materiales

#### Caracterización de los materiales

##### Bolsa de cemento

#### Figura 18

*Descripción del empaque de la bolsa de cemento.*



*Nota.* Tomado y adaptado: Colombates Bolsas de Papel. Elaboración propia.

Según Colombates (2022), la bolsa de cemento es fabricada a partir de una celulosa proveniente de una plantación de árboles de fibra virgen, la cual es procesada en molinos de papel, luego se le da un manejo en las plantas convertidores de empaques en donde se elaboran los sacos y bolsas para su respectivo uso. Los empaques para el cemento están compuestos por un gramaje de 1 a 2 capas de 80 a 116 gramos y comercialmente cuentan con unas dimensiones preestablecidas, dependiendo el producto que se vaya a empacar.

**Tabla 13**

*Dimensiones de la bolsa*

DIMENSIONES (CM) ANCHO X FUELLE
12.5X7
12.5X9
19X7
21X10
15X9
15X10
20X11
22X10

*Nota.* Tamaños de la bolsa. Tomado de: “Colombates Bolsas de papel” (2022)  
<https://colombates.com.co/>

Ahora bien, para obtener la celulosa de la bolsa de cemento, debe pasar por un proceso de descomposición que se despliegan en la Tabla 14 para comprender el comportamiento de maleabilidad que presenta el empaque en el tiempo establecido de inmersión.

**Tabla14**

*Caracterización de la bolsa de cemento*

FECHA DE INMERSIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MALEABILIDAD	DIAS EN REMOJO	OBSERVACIÓN
		Bolsa completa		<p>1. Se observa que, al sumergir la bolsa en el agua, está infla las fibras de celulosa que contiene el papel; como consecuencia se distienden, aumentando el tamaño de la hoja.</p> <p>2. Al estar la bolsa completa, el papel permanece plana.</p> <p>3. Las partículas de cemento se mezclan con el agua, con facilidad de desprendimiento de las mismas.</p>

<p>06 DE MARZO DE 2022</p>		<p>Bolsa picada</p>		<p>1. Se analiza que las partes de la bolsa presentan una facilidad para la absorción del agua, aumentando el tamaño progresivamente</p>
			<p>35 días en inmersión</p>	<p>2. La bolsa presenta una facilidad en su manejabilidad.</p>
		<p>Bolsa cortada en tiras</p>		<p>1. Se establece que la bolsa una vez sumergida en el agua, comienza a inflarse y a disminuir la torsión realizada.</p>
		<p>Bolsa doblada en 4 partes</p>		<p>2. Las partículas de cemento se mezclan con el agua, con dificultad de desprendimiento total por la torsión realizada.</p>
		<p>Bolsa Triturada</p>		<p>1. A pesar de que la bolsa se encuentra doblada, facilidad para humedecerse en su totalidad.</p>
		<p>Bolsa torzonada</p>		<p>2. La bolsa presenta dificultad para el desprendimiento de las partículas de cemento.</p>
				<p>1. Se determina que al humedecer la bolsa y posteriormente someterla al proceso de trituración, este material presenta una transformación en celulosa más fina y maleable, pero con mayor humedad.</p>
				<p>2. El tiempo de secado es mayor. 1. Se precisa que, al sumergir la bolsa en el agua, está infla las fibras de celulosa que hay en el papel, como consecuencia se distienden, aumentando el tamaño de la hoja estando sumergida en el agua, pero, al someterla al proceso de secado, vuelve a su tamaño inicial.</p>
				<p>2. Al estar la bolsa completa en inmersión, la bolsa mantiene su forma original.</p>

---

3. Las partículas de cemento se mezclan con el agua y cuentan con la facilidad de su desprendimiento.

---

Elaboración propia

Los empaques de la bolsa de cemento y la fibra de guadua, utilizados en esta investigación se obtuvieron mediante el proceso de recolección y reciclaje de una obra civil que actualmente se desarrolla en la ciudad de Bogotá.

### Figura 19

*Bolsa de cemento reciclada vacía.*



Elaboración propia

Dentro del proceso para analizar el proceso de descomposición de la bolsa de cemento, se pudo identificar que este material presenta una alta resistencia a la humedad con respecto a los resultados arrojados durante 35 días de inmersión, los cuales permitieron identificar que el empaque está compuesto por dos capas de papel kraft y una capa plástica que no logro visualizar; al parecer esta última capa no permite una degradación total del empaque de la bolsa de cemento.

## Aglutinantes

### Resinas - aglutinantes

Según Proasur (s.f.), se conoce como resina a las sustancias de consistencia viscosa, que pueden llegar a ser transparentes o traslucidas, cuya procedencia puede ser vegetal o de manera artificial por medio de la polimerización la cual hace que la resina se endurezca.

La obtención de las resinas se realiza en lugares comerciales como tiendas químicas y ferreterías.

### Resina de Pino

La resina de pino es un aglutinante que tiene una apariencia inicial viscosa y pegajosa, es de procedencia natural. Dentro de los aglutinantes implementados en esta investigación, es la más costosa (Puente et al., 2017)

De acuerdo con Resina en Castilla y León (2019), la aplicabilidad de ese aglutinante se realiza para el proceso de fabricación de Colas, adhesivos, tintas de impresión, barnices entre otros. Cabe resaltar que la resina de pino es resistente a la humedad; en la industria del papel es utilizada debido a que presenta un comportamiento favorable como adhesivo de la madera y sus derivados.

### Figura 20

*Resina natural de pino en estado sólido*



Elaboración propia

**Colbon de madera**

Este aglutinante de color blanco usado para pegar todo tipo de maderas a otros materiales; se puede adquirir en ferreterías, papelerías y almacenes de cadena.

**Figura21**

*Colbon para madera por kilo*



Elaboración propia

**Resina de PVC**

La resina de PVC es un producto sintético derivado del cloruro de vinilo; en el mercado se encuentra en presentación líquida; es resistente a la humedad, a las altas temperaturas no mayores a 170°, no puede estar expuesta a una luz directa por que tiende a secarla y posteriormente cristalizarla.

**Figura 22**

*Resina Plástica de PVC*



Elaboración propia

### **Aglutinante PVA OK (interiores)**

Este sellante, de procedencia sintética, es un copolímero vinílico-acrílico con una textura densa, sus partículas se caracterizan por ser finas y cuenta una solidez al estar expuesto a un esfuerzo de corte y almacenamiento.

Su presentación comercial es líquida, es adecuado para sellar superficies como estucos y porosos ladrillos, etc. También se puede emplear como base de superficies nuevas, dando mayor rendimiento a la aplicación de vinilos, esmaltes o barnices, cuenta con una estabilidad mecánica, no es tóxico, presenta un secado rápido. Se puede adquirir en ferreterías, “su dosificación en el mercado está por 5 gl., 2.5 gl, 1 gl., ¼ gl” (Industrias Wimar LTDA (Wimar), 2022, párr. 2).

### **Figura 23**

*Aglutinante PVA*



*Nota.* Presentación por ¼ gl de Pva. Tomado de: Industrias Wimar Ltda, P.V.A. (Industrias Wimas Ltda, s.f)

### **Caracterización de los aglutinantes**

La siguiente tabla 15 se toma como referencia los aglutinantes de los cuales se obtuvieron resultados favorables; además que fueron investigados y comprobados en pruebas física (Espejo, 2019, pp. 59-60).

Tabla 15

Caracterización de aglutinantes

NOMBRE	DESCRIPCION	PROCEDENCIA	METODO DE OBTENCION	USOS	COMPOSICIÓN
<p><b>Resina de Pino (Colofonia)</b></p> 	<p>Se obtiene del interior de los árboles jóvenes de pino, a través de un proceso no invasivo.</p>	<p>Resina natural de color ámbar obtenida de la exudación de las coníferas de los árboles en crecimiento o durante la extracción de los tocones (parte del tronco que queda unida a la raíz cuando se corta un árbol por el pie), por lo tanto, la colofonia es la fracción no arrastrable por vapor de la oleroresina y está constituida de una mezcla de ácidos resínicos, mayoritariamente el ácido abiético.</p>	<p>Producto ácido termoplástico obtenido de la destilación de la oleoresina proveniente de la resinación de árboles en pie de los pinos caribe. Es traslúcida, frágil a temperaturas ordinarias y tiene olor y saber parecidos a los de la trementina.</p>	<p>Adhesivos, cola para papeles, tintas, barnices, resinas sintéticas, cauchos, plásticos, resinas desproporcionadas, y tejidos</p>	<p>Está constituida alrededor del 60-75 % de ácidos resínicos, 10-15 % de trementina y agua y de 5-10 % de sustancias neutras.</p>
<p><b>Resina de PVC</b></p> 	<p>El cloruro de polivinilo (PVC) es un polímero termoplástico muy versátil. El plástico es barato y durable, con excelente resistencia a la corrosión y el ataque de químicos. Las resinas PVC en la forma granular de polvo fino son producidas y mezcladas para producir una variedad de productos.</p>	<p>El cloruro de polivinilo (PVC) es un polímero termoplástico muy versátil. El plástico es barato y durable, con excelente resistencia a la corrosión y el ataque de químicos. Las resinas PVC en la forma granular de polvo fino son producidas y mezcladas para producir una variedad de productos.</p>	<p>Se obtiene a partir del craqueo del petróleo, que consiste en romper los enlaces químicos del compuesto para conseguir diferentes propiedades y usos. Lo que se obtiene es el etileno, que combinado con el cloro obtenido del cloruro de sodio producen etileno diclorado, que pasa a ser luego cloruro de vinilo. Mediante un proceso de polimerización llega a ser cloruro de polivinilo o PVC. Antes de someterlo a procesos para conformar un objeto el material se mezcla con pigmentos y aditivos como estabilizantes o plastificantes, entre otros.</p>	<p>Tuberías y mangueras, botellas y tapas de botellas, y el aislamiento de revestimientos para cables. El PVC también es usado en material para pisos, tapicería y ropa. En el proceso de composición, se crean muchas formulaciones de PVC</p>	<p>Petróleo bruto (43%) sal (57%) (Más aditivos estabilizantes).</p>
<p><b>Colbon de Madera</b></p> 	<p>El adhesivo es una sustancia que puede mantener unidos dos o más cuerpos por contacto superficial. Es sinónimo de cola y pegamento.</p>	<p>Se obtiene a partir de partes que sobran del proceso de sacrificio de animales, como pezuñas y partes sobrantes de piel.</p>	<p>Se cuecen las partes sobrantes de los animales que no tienen otra utilidad, después se disuelven en agua caliente, obteniendo una pasta blanca y líquida que sirve para pegar.</p>	<p>Fabricación de muebles y utensilios de madera o elementos similares.</p>	<p>Acetato de polivinilo 290 (pva). Dibutiltalato. Carboximetil celulosa de sodio</p>
<p><b>PVA OK Interiores</b></p> 	<p>Este sellante, de procedencia sintética, es un copolímero vinílico-acrílico en dispersión acuosa, sus partículas son muy finas y tiene una alta estabilidad al esfuerzo de corte y almacenamiento.</p>	<p>Este polímero se obtiene mediante la polimerización del acetato de vinilo, por lo tanto, se considera como un polímero secundario sintético.</p>	<p>El acetato de vinilo, se transforma en PVA a través de una reacción de adición, requiere una reacción para realizarse, por una polimerización de radicales libres.</p>	<p>Adhesivos para madera, pero también es útil para unir materiales como papel y textiles. Pinturas latas de pintura y en las de látex acrílico. Alimenticia protección del queso de los hongos y de la humedad. Base de plástico neutro para la fabricación de la goma de mascar.</p>	<p>Metil celulosa, o hidroxietil, celulosa como coloide protector.</p>

Nota. Tomada de la tesis, Sistema de absorción acústico para muros a partir cascarilla de arroz, para disminuir la reflexión de sonido dentro de los espacios. página 59 y 60 Caracterización de resinas como aglutinantes

Las características de usos que tienen los aglutinantes como el Colbon y el PVA, permiten identificar que serían los acompañantes ideales para la bolsa de cemento y la fibra de guadua, debido a que su composición química (Acetato de vinilo y celulosa), estos presentan una alta flexibilidad y adaptación con los materiales a emplear en las muestras.

Por otro lado, no se puede dejar a un lado la resina de pino, dado que es un aglutinante que aparentemente presentaría una compatibilidad con la fibra de guadua y la bolsa de cemento por los

usos investigados por Espejo (2019), pero se considera que puede llegar a presentar acristamiento en el momento que entre en contacto con la bolsa.

De este modo, se identificaron los posibles aglutinantes que presentarían un comportamiento favorable con la bolsa de cemento. Sin embargo, al realizar las primeras muestras en el molde de 4" con sus respectivas dosificaciones, se logra identificar que la bolsa de cemento mezclada con aserrín o fibra de guadua, no requiere ningún aglutinante sintético o natural para garantizar la adherencia en la celulosa con otros materiales.

### Elaboración de los moldes para la toma de muestras y prototipos de panel

#### Molde 1

El objetivo que se pretende con el molde 1 es identificar la escala de compactación del material, producida por la presión constante de la prensa manual; en particular este molde no definirá la forma final del panel, pero si se podrá observar la adaptabilidad que tomará la bolsa de cemento en el tubo de PVC 4". Cabe resaltar que el diámetro del Tubo de 4" es el adecuado debido a que es la medida que maneja el tubo de impedancia para analizar las muestras.

El tubo de impedancia, proporcionara el nivel de compactación que se requiere por cada muestra realizada, la dosificación que presentaría un comportamiento adecuado en conjunto al aglutinante y el espesor ideal.

#### Figura24

*Prensa manual (costado izquierdo) y moldes de mezclas empleadas (costado derecho).*

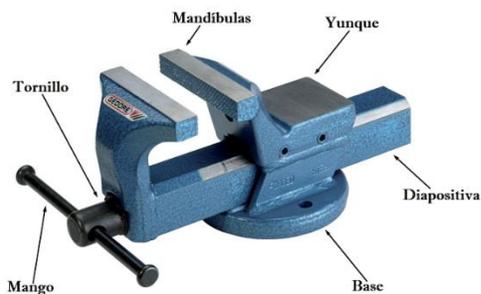


Elaboración propia

La prensa utilizada es de empleabilidad manual, a través de la estructura, en su costado izquierdo cuenta con un mango que se encuentra sujeto a un tornillo, a medida que se va girando, progresivamente la mandíbula para ejerciendo presión necesaria hacia el centro para compactar el material.

**Figura 25**

*Partes de la prensa manual*



*Nota.* Prensa manual. Utensiliospara. (s.f.) Partes del tornillo de banco. Utensiliospara.com. <https://utensiliospara.com/trabajo/tornillo-de-banco/>

## **Molde 2**

Con este molde se pretende generar una forma específica al a muestra, que al mismo tiempo se logre aplicar una presión de manera constante por medio de unas prensas manuales e individuales, para llegar a una compactación deseada del material.

Para determinar la dimensión y forma escogida para el panel, se tomó como base la norma Colombia NTC 5754: Directrices para control de ruido en oficinas y talleres mediante pantallas acústicas, la cual hace referencia a la efectividad de las pantallas acústicas, además de especificar los requisitos acústicos y su funcionalidad sobre los parámetros que deben acordar el proveedor y el comprador de las pantallas acústicas (ICONTEC, 2010).

Por otra parte, se busca que la forma del molde escogida para el panel, logre desarrollar las características requeridas para que cumpla con una buena absorción de las ondas, además de generar un aspecto visualmente agradable y arquitectónico.

**Figura 26**

*Costado izquierdo, molde de 30x30 en lámina de acero de  $\frac{1}{2}$  con su respectiva tapa; al costado derecho, prensa manual de 3”.*



Elaboración propia

El material con el cual se fabricó el molde es en lámina de acero con un calibre entre  $\frac{1}{2}$ ”; se escogió dicho material puesto que es resistente, va estar expuesto a altas temperaturas en la cámara de calor y soporta la compresión que se realizará con las prensas manuales sin que presente deformaciones ni alteraciones que puedan afectar la composición de la muestra empleada en él.

Su dimensión inicial es de 30x30, un espesor de 60mm, acompañado de una tapa que tiene dos manijas para un mejor manejo; esta tapa ayudará a que la compresión realizada genere mejores resultados y no se afecte la mezcla vertida en el molde.

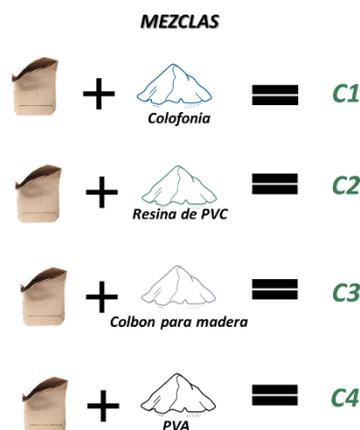
**Fabricación y transformación para la proporción de las mezclas.**

En relación con los referentes consultados y analizados, los aglutinantes escogidos para lograr el mejor desempeño y compatibilidad entre los empaques de la bolsa de cemento y la fibra de guadua, son: resina de pino, Colbon de madera, la resina de PVC y PVA, cabe resaltar que el primer aglutinante es de origen natural, con el objetivo de desarrollar un material que tenga una huella de carbono baja y que no necesite químicos durante su fabricación.

Por otra parte, como se muestra en la figura 27, se puede visualizar la codificación asignada a cada una de las dosificaciones a desarrollar; estas serán las que se llevarán al tubo de impedancia, para determinar la absorción acústica de los materiales utilizados y aislamiento térmico en cada una de las dosificaciones realizadas.

**Figura 27**

*Descripción de muestras y sus aglutinantes.*



Elaboración propia

Se determinaron diferentes dosificaciones del empaque de la bolsa de cemento y el aglutinante para las muestras, en base al proceso de experimentación que se ha venido realizando, se define en que dosificación y con qué aglomerante presenta un comportamiento químicamente adecuado con los materiales mencionados, que permita obtener el porcentaje apropiado para la elaboración del panel y el desarrollo de las características acústicas ideales.

**Figura 28**

*Porcentajes de materiales para la mezcla ideal*



Elaboración propia

Con relación a los porcentajes de cada mezcla, se debe proceder con la toma de las muestras, realizando una variación entre las dosificaciones establecidas; como cada muestra presentará una diferencia en su composición, deben estar tipificadas con una codificación para su fácil identificación como se puede observar en la tabla XX el nombre de la muestra, el aglutinante empleado y su código de identificación.

Tabla 16

*Codificación de las mezclas según su aglutinante*

CÓDIGOS DE LAS MEZCLAS Y SUS COMPONENTES		CÓDIGO DE MEZCLA
EMPAQUE BOLSA DE CEMENTO	AGLUTINANTE SIN	C-0.0.
	AGLUTINANTE	C-0.1
	RESINA DE PINO	C-1.1
		C-1.2
	RESINA DE PVC	C-2.1
		C-2.2
	COLBON PARA MADERA	C-3.1
		C-3.2
	PVA	C-4.1
		C-4.2

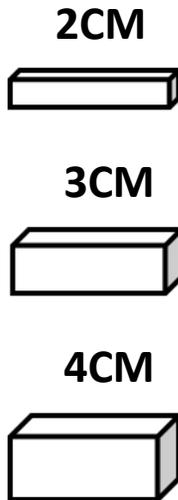
Elaboración propia

Para la elaboración de las muestras, se utilizó como molde inicial un tubo de PVC 4”, en donde se manejaron tres espesores distintos, debido a que la mayoría de los materiales actualmente comercializados, presentan una variación en su espesor como la espuma fonoabsorbente, lana de roca, black theater, entre otras.

Los espesores que comercialmente se utilizan son de 4cm, 6cm y 8cm; sin embargo, para los moldes implementados se utilizaron los espesores como se menciona en la figura 29 para las muestras a desarrollar.

Figura29

*Espesores para las muestras*



Elaboración propia

Es necesario desarrollar distintas muestras, dado que el objetivo es evidenciar su variabilidad de composición de la bolsa de cemento/fibra de guadua/aglutinante, el espesor inicial y final, puesto que cada una de las mezclas anteriores arrojará su propio resultado, los cuales serán determinantes para evidenciar el desarrollo de propiedades físicas y acústicas, el aglutinante a utilizar, la dosificación ideal y el espesor adecuado.

#### **Elaboración y transformación de las muestras y prototipos**

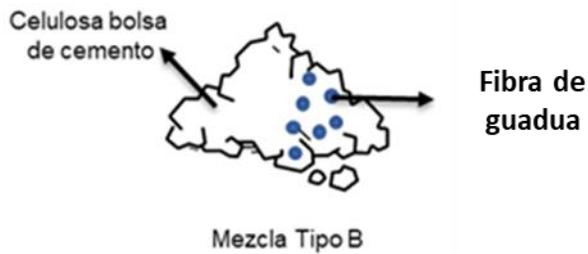
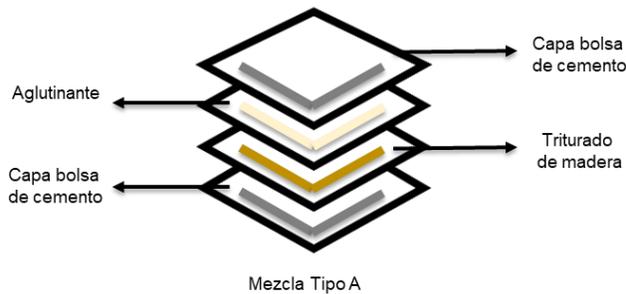
Para realizar la elaboración de las muestras que se van a utilizar en el ensayo con el tubo de impedancia con la mezcla de la bolsa de papel, la fibra de guadua y de aglutinante en las dosificaciones previamente definidas, el procedimiento a seguir se establece de dos formas:

Mezcla tipo A: se mezclan los elementos (fibra, bolsa y aglutinante) por capas como se muestra en la figura 30; dependiendo la cantidad de capas que se implemente, determinara el espesor inicial de cada una de las muestras.

Mezcal tipo B: se mezclan los componentes generando una masa homogénea, con el fin de que exista mayor adherencia entre los mismos.

**Figura30**

*Tipos de mezcla implementados en las muestras*



Elaboración propia

**Descripción para el desarrollo de las muestras.**

Día 1: inicio para la elaboración de las primeras muestras, como se muestra en la figura 31.

Como muestra inicial se debe disponer de los empaques de la bolsa de cemento, los cuales se deben sumergir en agua para realizar el retiro de los residuos de cemento, se debe retirar la bolsa de la inmersión para ser llevado al área de adecuación y preparación; antes de verter los componentes en el molde de 4" (tubo de PVC) con un espesor de 60mm, se debe aplicar una capa mínima de vaselina

convencional sin aroma para evitar que se presente una adherencia al molde; se empieza a introducir el empaque de la bolsa como primera capa, seguido de una capa de fibra de madera, un sello de aglutinante, nuevamente una capa del empaque de la bolsa y una capa adicional del aglutinante. En la figura 31 se observa el proceso y procedimiento de fabricación.

**Figura31**

*Proceso de elaboración de una muestra y su vertimiento en el molde*



Elaboración propia

Después, se debe pasar el molde por la prensa manual sin antes colocar en cada cara del molde, una tapa en madera de 20mm de espesor la cual permitirá que en el momento que se aplique la presión, esta facilite la compactación y solidez de la muestra, evitará que la presión que ejerce la prensa sobre la mezcla, genere que esa misma se dañe y se salga del molde.

Para cada muestra realizada, se estableció un tiempo de presión, debido a su espesor y para modificar su forma inicial, cabe resaltar que esto permite analizar las propiedades físicas y posteriormente se escogerán las muestras que se utilizarán en el ensayo tubo de impedancia. En la figura 32 se puede observar el proceso de compactación y secado en horno.

### Figura32

*Costado izquierdo, tapas de madera de 20mm; costado derecho se observa el molde de 60mm en proceso de compresión con la prensa manual.*



Elaboración propia

Por último, se retira la muestra de la prensa, extrayendo las tapas de madera del tubo de PVC, se desmolda la muestra, se pre calienta la cámara de calor de 0° a 90° grados, ésta se ingresa a la cámara a una temperatura interior de 90° durante 45 minutos. Para terminar, se retira la muestra de la cámara de calor y se toma la medida del espesor final, como se puede visualizar en la figura 33.

**Figura 33**

*Costado izquierdo, muestra ingresada en cámara de calor; costado derecho toma de medida final de la muestra*



Elaboración propia

El tiempo de secado de las muestras varía según su composición y espesor entre 1 hora y 3 horas.

#### **Análisis de las muestras desarrolladas**

A continuación, se relacionarán los resultados de cada una de las muestras realizadas, de acuerdo a su dosificación, espesor, tiempo de secado y propiedades físicas desarrolladas.

Seguido de sacar las muestras de la cámara de calor las cuales tienen una variación de secado entre 30 minutos a 2 horas y media, se realiza una revisión visual para examinar su rigidez, resistencia, solidez y compactación obtenida por cada una de ellas. Posteriormente se llevará a cabo las diferentes pruebas físicas.

**Muestras No. 1**

**Bolsa de cemento cortada en tiras**

**Tabla 17**

*Muestra bolsa de cemento cortada en tiras sin aglutinante, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-0.1		Bolsa cortada en tiras sin aglutinante	100 % bolsa de cemento	Inicial: 40mm Final: 30mm	120° A 150° 30 minutos	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: Si Rigidez: No

Elaboración propia

El material al ser desmoldado, mantiene su forma, pero es frágil por la humedad; en su estado húmedo presenta una compactación sólida, pero, después de ser sometido al proceso de secado en la cámara de calor pierde su solidez inicial, debido a que las fibras de la bolsa se expanden, generando que la muestra pierda su forma, el tiempo de secado es inferior a las demás muestras, 30 minutos a una temperatura promedio de 120° a 150°, puesto que la forma en que se realizó la muestra (tiras) ayuda a que la evaporización del agua que contiene sea más rápido, su tiempo en la prensa manual fue de 20 minutos.

**Bolsa de cemento doblada en cuatro partes, triturado de madera y resina de pino**

**Tabla 18**

*Muestra bolsa de cemento acompañada de triturado de madera y resina de pino, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-1.1		Bolsa completa + triturado de madera + resina de pino	80 % bolsa de cemento 05% triturado de madera 15% aglutinante	Inicial: 60mm Final: 60mm	No se ingresa a cámara de calor por el aglutinante	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: No Rigidez: No

Elaboración propia

Esta muestra se desarrolló por capas, iniciando con la bolsa de cemento completa, seguido del triturado de madera, nuevamente una capa de bolsa, y para finalizar, se aplicó la aglutinante resina de pino. Al momento de verter el aglutinante en el molde, se observó que perdió temperatura y se adhirió al molde, generando que no se lograra desmoldar la muestra para realizar las pruebas de comprensión en la prensa manual, no se logró analizar las propiedades físicas y la resina de pino presento cristalización con la mínima presión que se le generará y se desconoce el tiempo de secado que requirió los componentes de esta muestra.

**Bolsa de cemento completa, triturado de madera y PVA**

**Tabla 19**

*Muestra bolsa de cemento completa, triturado de madera y PVA, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-3.1		Bolsa molida + colbón + triturado	90 % bolsa de cemento 05% triturado de madera 15% aglutinante	Inicial: 60mm Final: 40mm	120° A 150° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: No Rigidez: Si

Elaboración propia

En un principio muestra desarrollo mayor rigidez y compactación, debido a que la bolsa de cemento se utilizó de manera completa en el molde y genero una mayor adherencia con el triturado de madera y el aglutinante; el tiempo que requirió la muestra en la prensa manual fue de 1 hora, debido a que se requería mayor adherencia entre sus componente, al ser desmoldada se evidencia que mantiene su forma, pero es frágil, sin embargo, al secarse toma mayor rigidez, requiere menor tiempo de compactación en la prensa, no presento porosidad ni flexibilidad, a comparación de la bolsa de cemento completa, este desarrollo mayor adherencia, su tiempo de secado exterior fue de 1 hora en cámara de calor, pero no se logró identificar que la muestra presentaba humedad en su interior, lo cual género que a los 20 días, tuviese presencia de hongos y se dividiera en dos partes la muestra, la temperatura utilizada aumento en el rango de 60° a 120°.

#### Figura 34

*Al costado izquierdo se observa la muestra con presencia de hongos, al costado derecho se visualiza la muestra dividida en dos partes debido a la humedad interna*



Elaboración propia

Pasados 24 días de la fabricación de la muestra, este desarrollo hongos y se presentó una fractura en la capa del triturado de madera, generado que la muestra se dividiera en dos partes, como se puede observar en la figura 34.

**Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA**

**Tabla 20**

*Muestra bolsa de cemento molida, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEADES FÍSICAS
16/04/2022	C-0.2		Bolsa molida sin exprimir	100 % bolsa de cemento	Inicial: 40mm Final: 20mm	150° A 180° 45 minutos	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

La bolsa de cemento molida sin exprimir, presenta una maleabilidad favorable al momento de verter la celulosa en el molde, al ser desmoldada se observa que mantiene su forma con facilidad, cuenta con mayor compactación, desarrolla rigidez, flexibilidad, solidez, pero no desarrollo la porosidad deseada. A comparación de las demás muestras, esta solo estuvo expuesta en la prensa manual durante 15 minutos.

**Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA**

**Tabla 21**

*Muestra bolsa de cemento molida, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-0.3		Bolsa molida exprimida	100 % bolsa de cemento	Inicial: 40mm Final: 20mm	100° A 150° 30 minutos	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: No Rigidez: No

Elaboración propia

A pesar de que esta muestra cuenta con la misma composición de la muestra C-0.2, el proceso de fabricación es distinto, por ende, su forma, textura y apariencia cambio, al ser desmoldada la muestra es frágil por su espesor final, el material desarrollo porosidad, pero es débil, su tiempo de compresión en la prensa manual fue de 10 minutos, al momento de ser retirada de la cámara de calor, la muestra tiende a perder su forma y partirse.

**Bolsa de cemento molida, triturado de madera y PVA**

**Tabla22**

*Muestra bolsa de cemento molida, triturado de madera y aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-4.1		Bolsa molida + triturado de madera + pva	95 % bolsa de cemento 04% triturado de madera 01% aglutinante	Inicial: 60mm Final: 40mm	100° A 150° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: No Rigidez: Si

Elaboración propia

Para realizar esta muestra, se mezcló bolsa molida con el triturado de madera, se vertió por capas en el molde, seguido de una capa del aglutinante PVA; al desmoldar la muestra, se evidencia que mantiene su forma, pero es frágil por su espesor; la temperatura que se manejó para el secado en cámara de calor fue de 150° a 180° durante un tiempo de 45 minutos, cabe resaltar que la temperatura es inferior a la muestra C-3.1 la cual tenía como aglutinante Colbón y sus componentes son los mismos, la muestra estuvo expuesta en la prensa manual durante 15 minutos, la cual desarrollo una compactación favorable antes de pasar por la cámara de calor. Posteriormente, la muestra en un estado seco, presenta una porosidad leve, flexibilidad, pero ya no presenta la rigidez inicial y tiende a fracturarse a la mitad.

**Bolsa de cemento molida y Resina de PVC**

**Tabla23**

*Muestra bolsa de cemento molida, molde T4, resina de PVC, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
16/04/2022	C-2.1		Bolsa molida + resina PVC	95 % bolsa de cemento 05% aglutinante	No se logra indentificar	No se pasa por camara de calor	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: No Rigidez: No

Elaboración propia

Esta muestra no se logró realizar en su totalidad, debido a que la resina de PVC emana un aroma fuerte al momento de ser manipulada; al momento de tener contacto la resina con la bolsa molida, este aglutinante se adhiere y se seca automáticamente sin lograr que se pueda generar la mezcla ideal para

ser vertida en el molde de PVC T 4". Como recomendación es preferible que personas expertas manipulen esta resina.

**Conclusiones Muestras No. 1**

A partir de los análisis realizados en los diferentes resultados obtenidos de cada una de las muestras desarrolladas, se logra determinar que las dosificaciones empleadas en las muestras C-0.2 Bolsa de cemento molida sin exprimir, C-0.3 Bolsa de cemento molida exprimida y C-4.1 Bolsa de cemento molida acompañada de triturado de madera y PVA, presentaron un comportamiento favorable con observaciones que permiten ser la base de las siguientes muestras a desarrollar.

**Figura35**

*Dosificaciones escogías de las primeras muestras desarrolladas*



Elaboración propia

**Muestras No. 2**

Para el desarrollo de las segundas muestras se implementó el uso de un nuevo material con objetivo de que se logre una mayor compactación de la celulosa pero que permita desarrollar una porosidad deseada.

El aserrín “es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados.” (Serret et al.,2016, párr.8).

**Figura 36**

*Aserrín utilizado para las muestras.*



Elaboración propia

**Bolsa de cemento y aserrín**

**Tabla 24**

*Muestra bolsa de cemento molida acompañada de aserrín, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-0.4		Bolsa molida + aserrín	95% bolsa de cemento 0.5% aserrín	Inicial: 40mm Final: 20mm	180° A 200° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: No

Elaboración propia

La muestra realizada esta compuesta por la bolsa de cemento molida y aserrín, estos dos componentes se mezclaron y se vertieron en el molde, se sometieron al proceso de compresión en la prensa manual durante 15 minutos para lograr una compactación y solidez ideal, a pesar de su espesor final, al ser desmoldada no presento fragilidad, su tiempo de secado total fue de 1 hora y 15 minutos a una temperatura entre 180° y 200° debido a su contenido de humedad. A pesar de que la muestra presento flexibilidad y solidez, perdió rigidez y tiende a presentar deflexión en el eje de la misma.

### Bolsa de cemento exprimida y aserrín

Tabla 25

*Muestra bolsa de cemento molida acompañada de aserrín, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-0.5		Bolsa molida exprimida + aserrín	90% bolsa de cemento 10% aserrín	Inicial: 40mm Final: 20mm	180° A 200° 2 hora	Porosidad: Si Solidez: No Flexibilidad: Si Rigidez: No

Elaboración propia

Esta muestra tiene el mismo proceso de elaboración y sus componentes, pero a diferencia de la muestra C-0.3, a la bolsa molida se le retiro el exceso de humedad con el fin de experimentar si esto generaría menos tiempo de secado y mayor rigidez, además de que varía en su espesor. En los resultados analizados, se observó que la muestra desarrollo flexibilidad, pero no es sólida ni rígida y su porosidad es mínima; su tiempo de secado fue de 1 hora a una temperatura de 180°. Cabe resaltar que, a los 10 días de la fabricación de la muestra, esta comenzó a presentar pequeños desprendimientos de sus componentes, generando que pierda su forma inicial.

**Bolsa de cemento, triturado de madera y aglutinante PVA**

**Tabla 26**

Muestra bolsa de cemento molida, triturado de madera y aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada.

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-4.2		Bolsa molida + pva + triturado de madera	90 % bolsa de cemento semi humeda 01% aglutinante 09% triturado de madera	Inicial: 60mm Final: 30mm	150° A 180° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

**Elaboración propia**

Se logra identificar que esta muestra desarrollo una rigidez y solidez favorable, durante el proceso de elaboración, a la bolsa de cemento molida se le retiro el exceso de humedad para evitar que la misma con el tiempo le generará hongos en la muestra; su tiempo de comprensión en la prensa manual fue de 15 minutos, su tiempo de secado en cámara de calor fue de 2 horas a una temperatura de 180° a 200° por su espesor y estuvo expuesta dos horas al aire libre; presenta una flexibilidad mínima.

**Bolsa de cemento molida y triturado de madera**

**Tabla 27**

*Muestra bolsa de cemento molida y triturado de madera, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPESORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-0.6		Bolsa molida + triturado de madera	98% bolsa de cemento 02% triturado de madera	Inicial: 40mm Final: 20mm	150° A 180° 30 minutos	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: No Rigidez: No

Elaboración propia

El comportamiento de esta muestra no fue favorable, debido a que se empleó la bolsa de cemento molida y se convino con el triturado de madera, sin aglutinante, se vertió en el molde, luego se pasó por la prensa manual y estuvo expuesta a 20 minutos de compresión, pero al ser desmoldada en dos oportunidades, presento desprendimiento y se evidencio que el triturado de madera no tiene adherencia sin un aglutinante, perdió su forma inicial, su tiempo de secado en cámara de calor fue de 30 minutos debido a que la muestra se fraccio en varias partes; no desarrollo ninguna propiedad física.

**Bolsa de cemento molida y aserrín**

**Tabla 28**

*Muestra bolsa de cemento molida y aserrín, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPESORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-0.7		Bolsa molida exprimida + aserrín	98 % bolsa de cemento 02% aserrín	Inicial: 40mm Final: 20mm	150° A 180° 2 horas	Porosidad: Si Solidez: No Flexibilidad: Si Rigidez: No

Elaboración propia

Esta muestra está elaborada con el mismo procedimiento de la pieza C-0.5, pero presenta una variación en la cantidad de aserrín utilizado, estuvo expuesta en la prensa manual para su compactación durante 15 minutos, al desmoldarse no se evidencio perdida en su forma tomada por el molde, en cuanto a las propiedades físicas, esta genero una porosidad y flexibilidad visualmente favorable, pero no tiene rigidez ni solidez debido a que puede partirse con facilidad.

**Bolsa de cemento molida**

**Tabla 29**

*Muestra bolsa de cemento molida acompañada del aglutinante PVA, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPESORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
25/04/2022	C-4.3		Bolsa molida exprimida + aglutinante	99% bolsa de cemento 01% de aglutinante PVA	Inicial: 40mm	80° 1 Hora	Porosidad: No Solidez: No Flexibilidad: No Rigidez: No Deflexión: Si

Elaboración propia

A través de las muestras desarrolladas con la bolsa de cemento molida y exprimida, se optó por elaborar esta muestra con mayor espesor para lograr una mejor solidez, el 50% de la bolsa molida se sometió a un proceso de secado durante 10 minutos a una temperatura de 80° y el otro 50% de la bolsa molida se dejó húmedo, esto con el fin de lograr una mejor adherencia entre la misma celulosa, acompañado de un sello en cada cara de la muestra con el aglutinante PVA. La muestra estuvo expuesta a 20 minutos de compresión, al momento de ser desmoldada presento una complejidad para ser retirada del molde, lo que género que se presentara una deflexión en la misma; posteriormente se vuelve a conformar la muestra y pasar por la prensa manual, pero con un tiempo mayor, desarrollando así una mejor compactación y maleabilidad al momento de ser retirada del molde, para luego pasar por

la cámara de calor en donde se evidencia un desprendimiento las fibras de la celulosa y la pérdida total en su forma, no se logra tomar su espesor final en su totalidad.

**Bolsa de cemento molida**

**Tabla 30**

*Muestra bolsa de cemento molida exprimida, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
11/05/2022	C-0.8		Bolsa molida exprimida	100 % bolsa de cemento	Inicial: 40mm Final: 30mm	80° A 120° 1 hora	Porosidad: Si Solidez: No Flexibilidad: Si Rigidez: No

*Elaboración propia*

Esta muestra está elaborada con el mismo procedimiento de la pieza C-0.7, pero a diferencia de dicha dosificación, esta solo contiene 100% de bolsa de cemento.

La muestra se sometió al proceso de compresión en la prensa manual durante 15 minutos para lograr una compactación y solidez ideal. Su tiempo de secado total fue de 1 hora a una temperatura entre 80° y 120°. La muestra en estado húmedo es frágil pero compacta, después de estar en un estado seco, presenta porosidad y es completamente rígida.

**Conclusiones Muestras No. 2**

En este segundo juego de muestras se logró evidenciar una evolución en las dosificaciones realizadas y el comportamiento de las mismas debido a que se implementó el uso del aserrín con el fin de generar una mayor porosidad, sin embargo, no se logra obtener una mezcla ideal la cual visualmente presente un comportamiento completo en las propiedades físicas tales como porosidad, flexibilidad, rigidez y solidez en una sola muestra. Cabe resaltar que, dentro de las dosificaciones realizadas, se

eligieron dos de ellas que se destacaron en sus resultados analizados y serán la base para ser la base las siguientes muestras a desarrollar.

**Figura 37**

*Dosificaciones escogidas de las segundas muestras desarrolladas.*



**Muestra C-4.3**  
 Dosificación  
 90% bolsa de cemento  
 09% triturado de madera  
 01% Aglutinante  
 Espesor: 60mm  
 30mm

**Muestra C-3.4**  
 Dosificación  
 95% bolsa de cemento  
 05% aserrín  
 Espesor: 40mm  
 20mm

**Muestra C-0.08**  
 Dosificación  
 100% Bolsa de cemento  
 Espesor: 40mm  
 20mm

Elaboración propia

**Muestras No. 3**

**Bolsa de cemento molida**

**Tabla 31**

*Muestra bolsa de cemento molida con porosidad manual, descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
11/05/2022	C-0.9		Bolsa molida sin exprimir	100 % bolsa de cemento	Inicial: 60mm Final: 30mm	100° A 150° 1 hora 2 horas al aire libre	Porosidad: Si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: No

Elaboración propia

La muestra se desarrolló basándose en el procedimiento de la pieza C-0.2, se varió en su espesor y en la forma como se empleó el vertimiento de la bolsa en el molde para lograr un resultado distinto. Durante el proceso del vertimiento de la bolsa molida en el molde, se generaron manualmente unas aberturas con el fin de generar porosidad en la muestra.

Como la muestra presenta un espesor mayor, esto generó que el tiempo de secado incrementará a 3 horas acompañado de una temperatura que oscilaba entre 100° y 150°; dentro de las propiedades físicas desarrolladas, se evidenció que presenta solidez al momento de manipular la muestra y flexibilidad, pero se genera una deflexión debido a que, a mayor espesor, la muestra tiende a fraccionar si se le realiza una fuerza considerable.

**Bolsa de cemento molida + fibra de guadua + aglutinantes**

**Figura 38**

*Muestra bolsa de cemento molida acompañada con fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
19/04/2022	C-4.4		Bolsa molida exprimida + fibra de guadua + aglutinante	95% bolsa de cemento + 04% Fibra de guadua 01% de aglutinante PVA	Inicial: 40mm Final: 20mm	80° A 150° 2 Horas	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: No Rigidez: Si

Elaboración propia

La muestra C.4.4 presentó una adaptabilidad favorable con la fibra de guadua. Durante el proceso de secado se pudo observar que la fibra generó una porosidad en un costado de la muestra, además que es rígida y compacta.

El tiempo de secado en cámara de calor fue más prolongado a las demás debido a no se extrajo de la celulosa el restante de humedad, estuvo expuesta durante dos horas al calor con una temperatura

que oscilaba entre 80° y 150°. Cabe resaltar que el espesor de la muestra no fue inherente al tiempo de secado.

**Bolsa de cemento molida + aserrín**

**Tabla 32**

*Muestra bolsa de cemento molida y aserrín, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
21/05/2022	C-0.14		Bolsa de cemento molida + aserrín	95% bolsa de cemento 05% aserrín	Inicial: 60mm Final: 40mm	80° A 150° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

Para el desarrollo de esta muestra se tuvo como referencia la dosificación de la mezcla C-0.04 en la cuales se emplearon los mismos porcentajes de la celulosa y el aserrín, pero se elaboró con un espesor diferente para identificar el comportamiento en las propiedades físicas a evaluar.

El espesor final de 4mm género que la muestra desarrollara una rigidez elevada, no es flexible, es compacta y no cuenta con la porosidad suficiente para ser una dosificación ideal.

**Bolsa de cemento molida + aserrín + fibra de guadua**

**Tabla 33**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
21/05/2022	C-0.15		Bolsa molida + aserrín + guadua	95 % bolsa de cemento 02% aserrín 03% fibra de guadua	Inicial: 60mm Final: 30mm	80° A 150° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: No Rigidez: Si

Elaboración propia

Para el desarrollo de esta muestra, se incluyó en la dosificación la fibra de guadua, debido a que en las anteriores mezclas realizadas se identificó que la celulosa presentaba una separación en diferentes zonas de las muestras, con factores influyentes tales como el espesor, el tiempo que estuvo expuesta la muestra en la prensa manual y la forma en que se empleó la dosificación en el molde.

La muestra desarrollo solidez, pero no es flexible, no cuenta con porosidad y presento pequeños desprendimientos de material.

**Bolsa de cemento molida + aserrín**

**Tabla 34**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
21/05/2022	C-0.16		Bolsa molida + aserrín	95% bolsa de cemento 05% aserrín	Inicial: 40mm Final: 30mm	80° A 150° 1 hora	Porosidad: No Solidez: Si Flexibilidad: No Rigidez: Si

Elaboración propia

Para el desarrollo de esta muestra, se incluyó en la dosificación la fibra de guadua, debido a que en las anteriores mezclas realizadas se identificó que la celulosa presentaba una separación en diferentes zonas de las muestras, con factores influyentes tales como el espesor, el tiempo que estuvo expuesta la muestra en la presa manual y la forma en que se empleó la dosificación en el molde.

La muestra desarrollo solidez, pero no es flexible, no cuenta con porosidad y presento pequeños desprendimientos de material.

**Conclusiones Muestras No. 3**

Durante el proceso del vertimiento de la bolsa molida en el molde, se generaron manualmente unas aberturas con el fin de generar porosidad en la muestra. Se evidencia que la muestra presenta una

solidez y flexibilidad al momento de ser manipulada. Sin embargo, se genera una fragilidad en su rigidez debido a que, a mayor espesor, la muestra tiende a fraccionarse si se le genera una carga puntual.

La bolsa de cemento presento una adaptabilidad favorable con la fibra de guadua.

La fibra de guadua genero una porosidad en un costado de la muestra, las muestras son rígidas y compactas. El tiempo de secado en cámara de calor fue de dos horas por la cantidad de agua que contenía la celulosa. Cabe resaltar que, dentro de las dosificaciones realizadas, se eligieron dos de ellas que se destacaron en sus resultados analizados y serán la base para las siguientes muestras a desarrollar.

**Figura 39**

*Dosificaciones escogidas de las terceras muestras desarrolladas*



**Muestra C-0.8**  
 Dosificación  
 100% bolsa de  
 cemento

**Muestra C-0.9**  
 Dosificación  
 95% Bolsa de cemento  
 04% fibra delgada de guadua  
 01% aglutinante PVA

Elaboración propia

**Paneles 30x30**

De acuerdo a las muestras realizadas, se escogieron las dosificaciones de mezcla ideales para ser implementadas en los paneles de 30x30, en donde se identificará el comportamiento que presente en el material en esta dimensión.

**Bolsa molida + aserrín + fibra de guadua**

**Tabla 35**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
21/05/2022	C-0.13		Bolsa molida + aserrín + fibra de guadua rasgada	93 % bolsa de cemento 05% fibra de guadua 02% de aserrín	Inicial: 30mm Final: 20mm	210° 3 horas	Porosidad: Si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

**Elaboración propia**

Dentro del desarrollo de este panel, se identificó que la celulosa presento un comportamiento favorable al momento de ser depositada en el molde, sin embargo, para poder cumplir con el espesor deseado se aumentó la cantidad de celulosa y fibra de guadua.

Durante el tiempo que estuvo la celulosa en la prensa manual, se evidencio que la bolsa de cemento presento una adaptabilidad favorable con la fibra de guadua y el aserrín; al ser desmoldada y estar en un estado húmedo, la muestra se mantuvo compacta y rígida.

La muestra desarrollo una leve porosidad en las partes donde se encuentra la fibra de guadua, es rígida y su flexibilidad es mínima.

**Bolsa molida + aserrín + fibra de guadua rasgada**

**Tabla 36**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada*

CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
C-0.14		Bolsa de cemento + aserrín + fibra de guadua rasgada	93% bolsa de cemento 02% aserrín 05% fibra de guadua	Inicial: 40mm Final:20mm	80° 2 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

A diferencia del panel anterior, en la elaboración de esta dosificación se utilizó la fibra de guadua más delgada y su tamaño oscila entre 20mm a 3mm, lo que generó que visualmente la fibra no sea tan visible en el panel. A pesar de que el espesor final fue de 20mm, el panel no presentó deflexión, su porosidad fue visualmente favorable y es compacto.

**Bolsa molida + fibra de guadua rasgada + Sal de Bórax**

**Tabla 37**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada y sal de bórax, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
10/08/2022	C-0.15		Bolsa de cemento molida + Fibra de Guadua + Sal de Borax	90% bolsa de cemento 05% fibra de guadua 05% sal de bórax	Inicial: 40mm Final:20mm	80° 2 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

Para el desarrollo de este panel, se implementó la sal de bórax, como se puede constatar en la tesis "Paneles para absorción acústica con desechos textiles" Delgado (2017), en donde fue utilizado este mineral natural, el cual consiste en diminutos cristales de color blanco que se diluyen con facilidad en el agua; este tiene diferentes usos, en este caso fue utilizado por sus propiedades como retardante de fuego y como fungicida. Este compuesto permitirá que el panel desarrolle una protección a las llamas.

Dentro del desarrollo de este panel, se identificó que la celulosa presento un comportamiento favorable al momento de ser depositada en el molde. La Sal de Bórax no se mezcló con la celulosa y la fibra de guada, se aplicó directamente al panel ya conformado, lo que género que el mineral no presentara una fusión química con la dosificación.

Después de que el panel paso por la cámara de calor, su aspecto visual no fue el deseado, debido a que el Bórax se cristalizó en zonas puntuales, creando una apariencia poco agradable.

Por otra parte, el panel desarrollo una porosidad favorable, es compacto y no presenta deflexión.

### **Paneles 60x60**

De acuerdo a las muestras realizadas, se escogieron las dosificaciones de mezcla ideales para ser implementadas en los paneles de 60x60, en donde se identificará el comportamiento que presente en el material en esta dimensión.

**Bolsa molida + aserrín + fibra de guadua**

**Tabla 38**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua descripción de la pieza desarrollada.*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
10/08/2022	C-0.15		Bolsa de cemento + aserrín + fibra de guadua	93% bolsa de cemento 02% aserrín 05% fibra de guadua	Inicial: 60mm Final: 30mm	60° 3 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

**Elaboración propia**

Dentro del desarrollo de este panel, se identificó que la celulosa presento un comportamiento favorable al momento de ser depositada en el molde, el panel estuvo expuesto a una compresión en la prensa manual durante 30 minutos, en donde se retiró un exceso de agua correspondiente a 825 gramos.

Se evidencia que, debido a sus dimensiones, el tiempo de secado fue de 3 horas, a una temperatura de 210°.

Presento una adherencia mínima al molde lo cual es favorable para el retiro de la muestra.

Presenta una porosidad buena, es rígida, pero presenta deflexión de manera diagonal

**Bolsa molida + aserrín + fibra de guadua rasgada**

**Tabla 39**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida acompañada de aserrín y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada*

CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
C-0.14		Bolsa de cemento + aserrín + fibra de guadua rasgada	93% bolsa de cemento 02% aserrín 05% fibra de guadua	Inicial: 40mm Final: 20mm	80° 2 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

A diferencia del panel anterior, en la elaboración de esta dosificación se utilizó la fibra de guadua más delgada y su tamaño oscila entre 10mm a 20mm, lo que generó que visualmente la fibra no sea tan visible mezclada con la celulosa. Una vez sacado el panel de la cámara de calor, se evidencia que presentó una deflexión en una de las esquinas debido a que no se generó una presión puntual homogénea con las prensas manual y las pesas que se utilizaron.

**Bolsa molida + fibra de guadua rasgada**

**Tabla 40**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida y fibra de guadua rasgada, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPEORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
10/08/2022	C-0.17		Bolsa de cemento molida + fibras de guadua	95% bolsa de cemento 05% fibra de guadua	Inicial: 40mm Final: 20mm	80° 2 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

El panel estuvo expuesto a una compresión en la prensa manual durante 25 minutos.

Durante el proceso de elaboración se evidenció que por su dimensión es importante que se vierta la mezcla de manera uniforme y cubriendo todos los espacios para que el panel desarrolle una rigidez. Se retiró un exceso de agua correspondiente a 795 gramos. Además, se evidencia que, debido a sus dimensiones, el tiempo de secado fue mayor a las muestras anteriormente realizadas., luego de ser retiradas las prensas manuales y de que el panel se encontrara seco se realiza una inspección visual y se

observa que presenta una compactación favorable, su maleabilidad es buena, no presenta fisuras por el tamaño a escala real.

**Bolsa molida + fibra de guadua y aserrín**

**Tabla 41**

*Muestra desarrollada con bolsa de cemento molida, aserrín y fibra de guadua, descripción de la pieza desarrollada*

FECHA TOMA DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	REGISTRO FOTOGRÁFICO	MATERIAL EMPLEADO	DOSIFICACIÓN MATERIAL	ESPORES INICIAL - FINAL	TEMPERATURA/ TIEMPO DE SECADO EN CÁMARA DE CALOR	PROPIEDADES FÍSICAS
10/08/2022	C-0.18		bolsa de cemento aserrín fibra de guadua	85% bolsa de cemento 10% aserrín 05% fibra de guadua	Inicial: 60mm Final: 30mm	80° 2 horas	Porosidad: si Solidez: Si Flexibilidad: Si Rigidez: Si

Elaboración propia

El prototipo de panel estuvo expuesto a una compresión en la prensa manual durante 30 minutos, durante este tiempo se recogió el exceso de agua correspondiente a 825 gramos. Al ser desmoldada se evidencia que el panel desarrollo una compactación favorable y no pierde rigidez.

El panel en su estado seco es compacto, adquiere maleabilidad, pero presenta pequeñas fisuras que hacen que pierda su resistencia.

**Conclusiones paneles 60x60**

Durante el proceso del vertimiento de la bolsa molida en el molde con una dimensión mayor se identificó que el consumo de bolsa es el doble, durante su elaboración se debe estar revisando que, si se esté cumpliendo con el espesor deseado ya que, por su tamaño, no se logra visualizar los espesores reales. Se evidencia que la muestra presenta una solidez y flexibilidad al momento de ser manipulada. Los paneles desarrollados con un espesor de 3cm, cuenta con un peso mayor.

La bolsa de cemento presento una adaptabilidad favorable con la fibra de guadua.

El panel estuvo durante dos días en proceso de secado con una temperatura de 60° constantes.



**Ensayos**

**Metodología de ensayos**

Dentro de los ensayos a los cuales se van a someter los paneles, se establecieron cuatro tipos de pruebas (ignifuga, sonómetro, tubo de impedancia y cámara de calor) que determinarán de manera significativa la funcionalidad del panel absorbente acústico y aislante propuesto.

**Prueba Tubo de Impedancia**

Para el desarrollo de esta, se elaboraron doce muestras con tres espesores diferentes (2cm, 3cm,4cm) los cuales se clasificaron con una codificación determinada (X:2cm, Y:3cm, Z:4cm), con el propósito de tener facilidad en la identificación de cada resultado obtenido. En la tabla 41, se puede visualizar la cantidad de muestras analizadas, su espesor y composición.

**Tabla 42**

*Clasificación de las muestras según su espesor*

VARIABLE	ESPESOR	CODIFICACIÓN	COMPONENTE
X	2cm	X1	Bolsa de cemento sin exprimir 100%
		X2	Bolsa de cemento molida 90% Aserrín 10%
		X3	Bolsa de cemento molida exprimida 99% Aserrín 1%
		X4	Bolsa de cemento molida 95% Aserrín 5%
		X5	Bolsa de cemento molida 95% Fibra guadua 5%
		X6	Bolsa de cemento molida 100%
		X7	Bolsa de cemento molida 100% Aserrín 2% Fibra de guadua 3%
Y	3cm	Y1	Bolsa de cemento molida exprimida 100%
		Y2	Bolsa de cemento molida 95% Fibra de guadua 4% Aglutinante PVA 1%
Z	4cm	Z1	Bolsa de cemento 95%

Elaboración propia

Es pertinente resaltar que para el espesor de 4cm, solo se realizó una muestra, debido a que se evidencio durante la fabricación de estas que, a mayor espesor, menor porosidad y mayor deflexión.

Luego de clasificar las muestras, se procede a realizar las mediciones de cada una de ella bajo la norma empleada ASTM E1050-12, la cual brinda el método de prueba en donde se utiliza un tubo de impedancia, en él se ubican dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital para determinar los coeficientes de absorción del sonido normal. Las frecuencias en Hertz que establece esta norma van desde 125Hz a 1600Hz.

Una vez determinados los rangos de frecuencia según la norma, se procede a realizar las pruebas en donde se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla42), estas mediciones se realizaron en colaboración con la Facultad de Ingeniería de sonido con el apoyo y guía de Herrera, L. (2022). Ensayo tubo de impedancia para panel acústico [Material del aula]. Universidad San Buenaventura, Colombia, Bogotá.

**Tabla 43**

*Resultados de coeficiente de absorción acústico.*

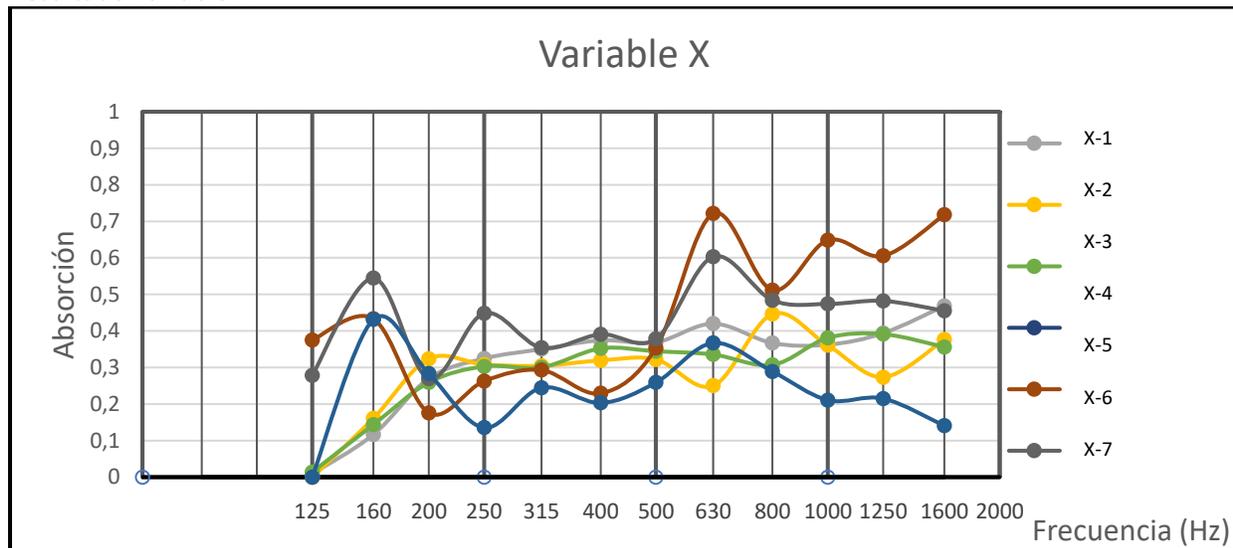
f(Hz)	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-6	X-7	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Z-1
125	0.01	0.00	0.00	0.01	0.38	0.00	0.23	0.38	0.48	0.00	0.00	0.28
160	0.12	0.16	0.11	0.14	0.43	0.43	0.46	0.43	0.43	0.76	0.18	0.54
200	0.27	0.32	0.28	0.26	0.26	0.28	0.24	0.18	0.27	0.31	0.09	0.27
250	0.32	0.31	0.31	0.30	0.28	0.14	0.30	0.26	0.23	0.39	0.27	0.45
315	0.35	0.30	0.33	0.30	0.29	0.24	0.40	0.29	0.28	0.36	0.28	0.35
400	0.37	0.32	0.35	0.35	0.25	0.20	0.28	0.23	0.23	0.39	0.32	0.39
500	0.37	0.32	0.37	0.34	0.35	0.26	0.32	0.35	0.33	0.42	0.37	0.38
630	0.42	0.25	0.44	0.34	0.72	0.37	0.49	0.72	0.58	0.78	0.41	0.60
800	0.37	0.45	0.60	0.31	0.51	0.29	0.30	0.51	0.30	0.56	0.29	0.48
1000	0.36	0.36	0.66	0.38	0.65	0.21	0.38	0.65	0.14	0.63	0.33	0.47
1250	0.39	0.27	0.58	0.39	0.61	0.22	0.35	0.61	0.41	0.61	0.28	0.48
1600	0.47	0.38	0.57	0.36	0.72	0.14	0.41	0.72	0.34	0.72	0.31	0.46

Nota. Resultados de coeficiente de absorción acústico de cada una de las muestras según las frecuencias. Análisis realizado en el laboratorio de Ingeniería de la Universidad San Buenaventura por el Físico y Magister Luis Jorge Herrera, docente de Facultad de Ingeniería de sonido.

De la anterior tabla, podemos visualizar que son los resultados compilados de cada una de las muestras que resultaron en función de las frecuencias establecidas según la norma ASTM E1050-12, para tener mayor claridad en su comprensión, se realizaron las gráficas de cada uno de los resultados de cada codificación; para las muestras correspondientes a la variable X (ver figura 40), se puede concluir que presenta un comportamiento bueno a frecuencias altas entre 630 Hz y 1600Hz en promedio de cada una de las muestras de dicha variable, debido a que el resultado arrojado de las muestras estuvo entre 0.51 y 0.72 en las frecuencias mencionadas anteriormente.

**Figura 40**

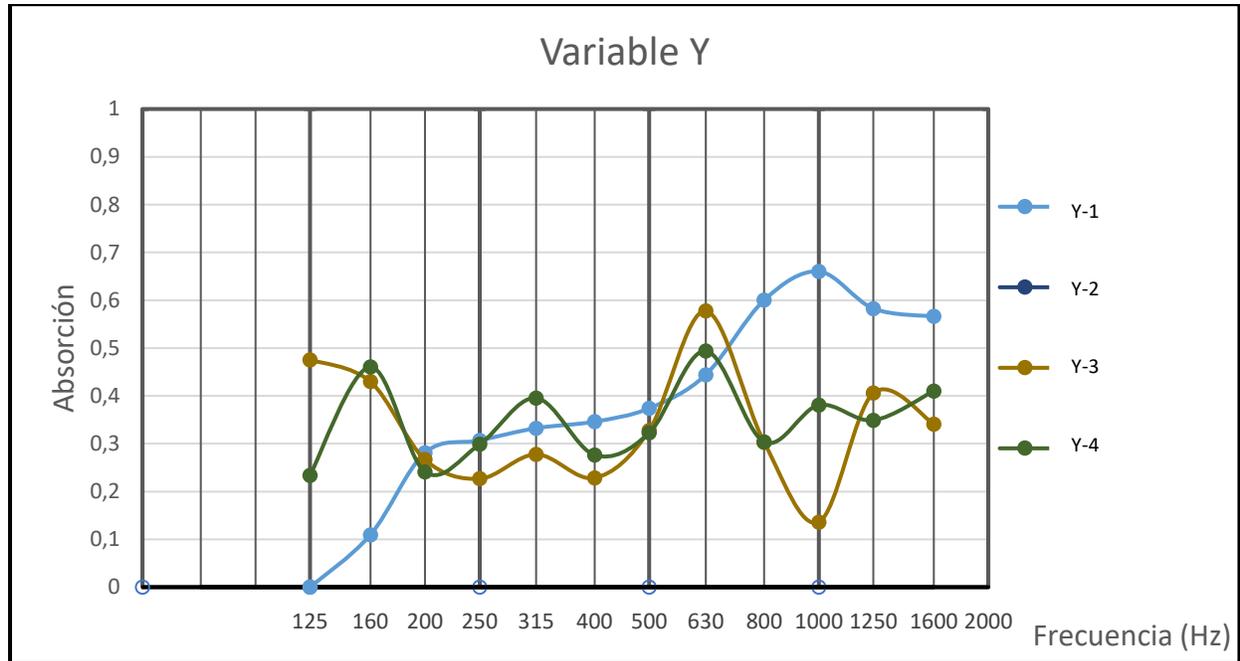
*Resultado variable X*



Nota. Resultados del tubo de impedancia de las muestras variable X. Análisis realizado en el laboratorio de Ingeniería de la Universidad San Buenaventura por el Físico y Magister Luis Jorge Herrera, docente de Facultad de Ingeniería de sonido.

Figura 41

Resultados Variable Y

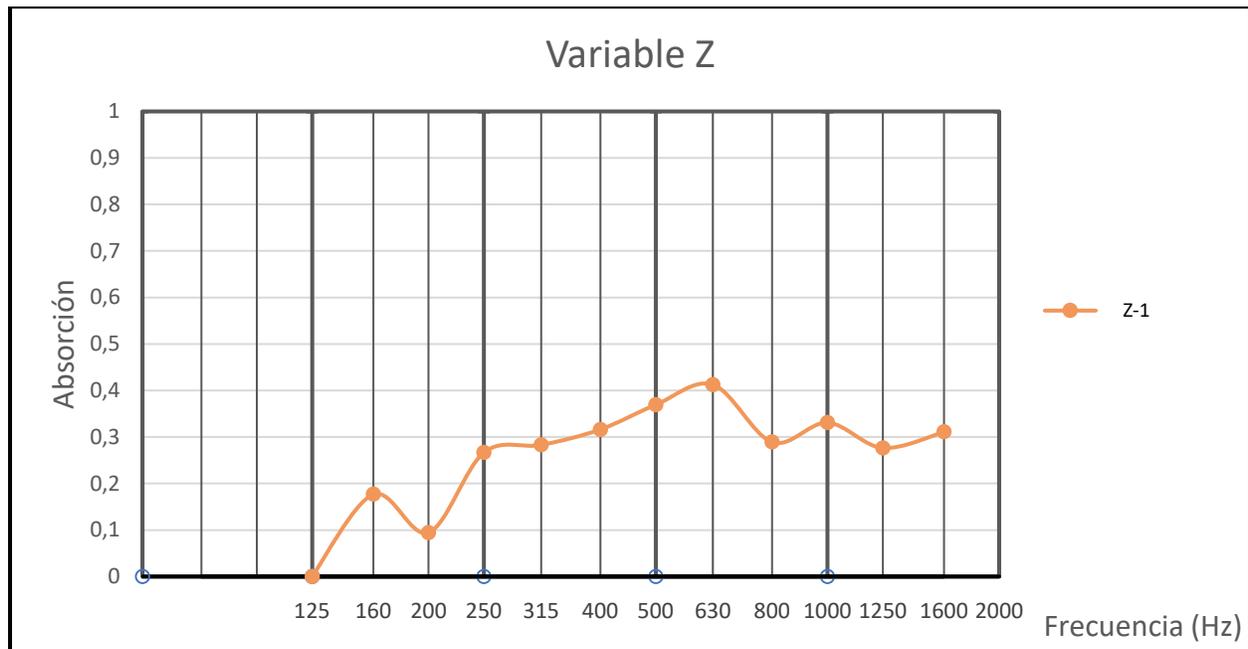


Nota. Resultados del tubo de impedancia de las muestras variable Y. Análisis realizado en el laboratorio de Ingeniería de la Universidad San Buenaventura por el Físico y Magister Luis Jorge Herrera, docente de Facultad de Ingeniería de sonido.

Para la variable Y (ver figura 41), correspondiente al espesor de 3cm, se puede visualizar que en las frecuencias de 630Hz y 1600HZ los resultados presentan una variación mínima en las variables Y-1, Y-2 manteniéndose constante entre 0.61 y 0.72, mientras que la Y-3 en ese mismo rango de frecuencia muestra que obtuvo una caída de 0.58 a 0.34 en el coeficiente de absorción, lo cual es un resultado poco favorable.

**Figura42**

Resultados Variable Z



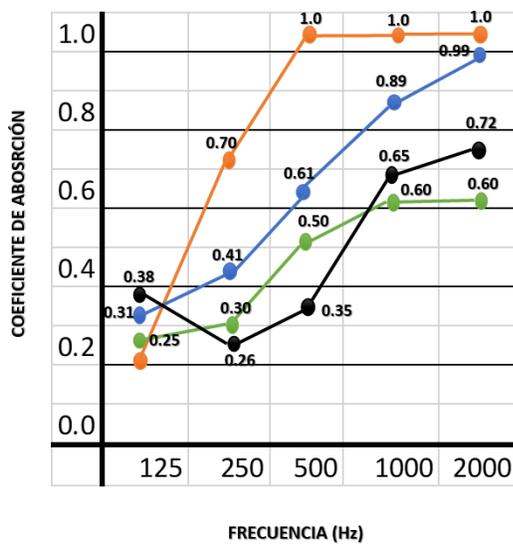
*Nota.* Resultados del tubo de impedancia de las muestras variable Z. Análisis realizado en el laboratorio de Ingeniería de la Universidad San Buenaventura por el Físico y Magister Luis Jorge Herrera, docente de Facultad de Ingeniería de sonido.

Ahora, si revisamos en las variables Y se evidencian resultados más cercanos entre sí, mientras que en la variable X, solo una muestra (X-5) de siete que se analizaron, obtuvo un resultado favorable, es posible que sea a causar del espesor de las muestras, evidenciando que, a mayor espesor, los resultados esperados presentaran un mejor comportamiento. Sin embargo, esta afirmación no aplica para la variable Z (ver figura 42), debido a que, para esta muestra, el espesor manejado fue de 4cm, pero su coeficiente de absorción muy variable; en la frecuencia 630Hz obtuvo 0.60 pero al llegar a los 1600Hz tuvo un descenso notorio y presentó un coeficiente de 0.46, por ende, para esta variable que el espesor no fue relevante y la dosificación con sus respectivos componentes serán descartados.

Resumiendo lo planteado en las tres variables, se puede concluir que, de acuerdo a los objetivos de esta investigación, en la muestra X-5 se visualiza que se destaca dentro de las doce muestras analizadas y clasificadas según su espesor; cabe resaltar que esta muestra dentro de su proceso de elaboración estuvo expuesta a mayor tiempo de compactación. Asimismo, basándose en los resultados adquiridos, se puede concluir que el espesor con el mejor comportamiento e ideal para el panel final debe ser de 2cm, en vista de que absorbe mejor las ondas sonoras que repercuten en él, así mismo la dosificación de la mezcla ideal de sus componentes debe ser fibra de guadua (5%) y bolsa de cemento molida (95%), esto debido a que fue la dosificación que mejor coeficiente de absorción obtuvo.

**Figura 43**

*Coefficiente de absorción acústico de la bolsa de cemento con fibra de guadua y los materiales existentes en el mercado.*



*Nota.* Tomado de diversas fuentes

Para finalizar, se realiza una comparación (ver figura 43) entre los materiales acústicos existentes en el mercado y desarrollados en tesis universitarias, en donde se puede evidenciar que la bolsa de cemento acompañada de la fibra de guadua presenta unos resultados destacables entre la fibra de coco de origen natural y el black theater en frecuencias altas superiores a 1000Hz. Dentro de este orden de conclusiones se puede afirmar que la bolsa y la fibra de guadua se perfilan como un material acústico favorable, teniendo en cuenta la facilidad de obtención (recolección - reciclaje), su costo de elaboración y la reutilización de las materias primas (agua) empleadas en su desarrollo.

### Prueba con cámara Termográfica

Después de haber finalizado el prototipo de panel con la mezcla ideal en dimensiones de 30x30 y 60x60, éste fue sometido a una fuente de calor, en donde se utilizó la cámara Termográfica con el fin de evaluar la capacidad de los paneles para transmitir calor entre las superficies. Para el desarrollo de esta prueba se implementó una bombilla Halógena Floodlamp Sylvania de referencia XD516 - 130 W - 150W - E27 como se puede observar en la figura 45 como simulador de fuente de calor y la cámara Termográfica de referencia FLIR E40 evidenciada en la figura 44.

### Figura44

*Cámara Termográfica FLIR E40.*



Elaboración propia.

**Figura 45**

*Bombilla Halógena Floodlamp Sylvania XD516 - 130 W - 150W - E27*



Elaboración propia.

Procedimiento: para realizar este ensayo, la fuente de calor es ubicada a una distancia de 8cm del material a evaluar, estableciendo un tiempo de 15 minutos de la bombilla expuesta directamente sobre la superficie; una vez pasado el tiempo, se procede a medir la temperatura con la cámara Termográfica por medio de la toma de fotografías tanto en la cara externa como en la cara interna del material, esto con el fin de evaluar la temperatura inicial/final del calor transferido de un lado a otro, la velocidad con la que se propaga y calienta la superficie.

#### **Prueba con cámara Termográfica panel 60x60**

En la primera prueba se evaluó el comportamiento del panel C-0.16 compuesto por bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax de 60x60 con un espesor de 2cm, obteniendo los siguientes resultados como se muestra en las figuras 47 y 48:

**Figura 46**

*Panel 60X60 expuesto a la bombilla halógena*

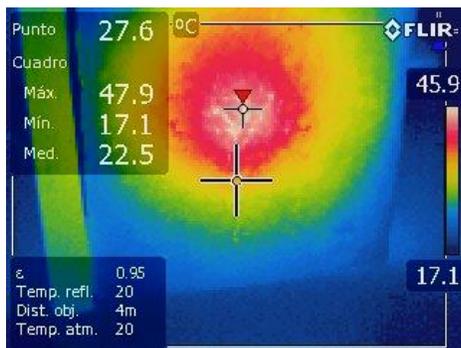


Elaboración propia

El panel fue expuesto a la bombilla halógena durante un tiempo de 15 minutos, se toma la temperatura inicial de la superficie sometida a la fuente de calor durante 1 minuto, pasado el tiempo total de exposición del panel con la bombilla, nuevamente se mide la temperatura de la superficie que fue expuesta y la que no se expuso directamente al calor, esto con el fin determinar si el panel transfiere calor de la superficie externa a la interna con facilidad.

**Figura 47**

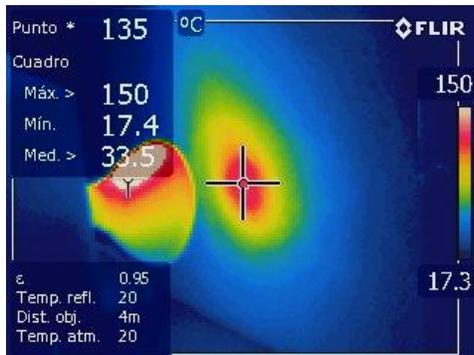
*Temperatura de la superficie opuesta (interna)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

#### Figura48

*Temperatura de la superficie expuesta al calor (externa)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Una vez realizada la prueba con la cámara Termográfica se puede afirmar que el panel de 60x60 C-0.16 es un material efectivo como aislante térmico, pues la diferencia de temperatura entre ambas superficies del panel demuestra que no permite el paso de calor con facilidad, la superficie externa presento una captación de calor de 135°, mientras que la superficie opuesta registro un paso de calor de 27.6°.

Prueba con cámara Termográfica panel 30x30 – 2cm

Figura 49

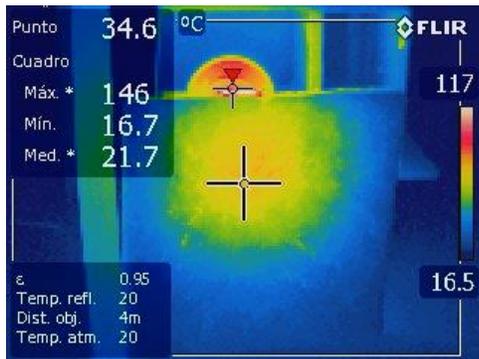
Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa)



Nota. Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Figura50

Temperatura de la superficie opuesta (interna)



Nota. Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

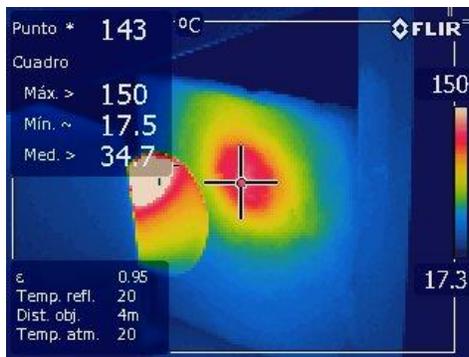
Después de realizar la prueba con la cámara Termográfica se puede afirmar que el panel de 30x30 C-0.12 con un espeso de 2cm, es un material efectivo como aislante térmico, ya que se logra identificar la diferencia de temperatura entre ambas superficies del panel, debido que no permite el

paso de calor con facilidad, la superficie externa presento una captación de calor de 123°, mientras que la superficie opuesta registro un paso de calor de 27.6° lo que indica que no llegó a calentarse igual a la cara externa de la fuente de calor.

**Prueba con cámara Termográfica panel 30x30 – 3cm**

**Figura 51**

*Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

**Figura52**

Temperatura de la superficie opuesta (interna)



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

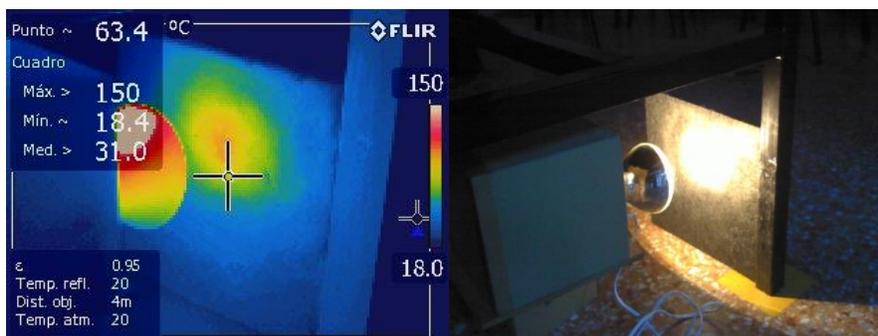
Luego de realizar la prueba con la cámara Termográfica para el panel de 30x30 C-C.C con un espeso de 3cm compuesto por fibra de guadua, sal de bórax y bolsa de cemento, se logra identificar la diferencia de temperatura entre ambas superficies del panel, debido que no permite el paso de calor con facilidad, la superficie externa presento una captación de calor de 143°, sin embargo se observa que dicha superficie produjo humo sin aroma y en una mínima cantidad visual; mientras que la superficie opuesta registro un paso de calor de 35.5° lo que indica que no llegó a calentarse igual a la cara externa a la fuente de calor. Lo cual permite concluir que el panel expuesto a una fuente de calor cercana, emanaría humo de manera leve y afectaría la salud de las personas que se encuentren en un espacio cerrado.

Después de analizar los paneles a base de bolsa de cemento y fibra de guadua, se realiza la misma prueba con otros materiales aislantes y no aislantes como lo es el Black Theater, muro en mampostería, muro en concreto, drywall con un lleno en la mitad de frescas, esto con el fin de realizar una comparación en los resultados de la transferencia térmica de una superficie a otra.

#### Prueba con cámara Termográfica panel 30x30 – 2cm – Black Theater

**Figura 53**

*Temperatura de la superficie expuesta al calor (externa)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

**Figura 54**

*Temperatura de la superficie opuesta (interna)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Luego de realizar la prueba para el panel de 30x30 con un espesor de 2cm de Black Theater, se logra identificar la diferencia de temperatura entre ambas superficies del panel, debido que no permite el paso de calor con facilidad, la superficie externa presento una captación de calor de 63.40°, sin embargo se observa que dicha superficie produjo aroma a quemado bastante fuerte, más no se visualiza humo; mientras que la superficie opuesta registro un paso de calor de 34.6° lo que indica que no llegó a calentarse igual a la cara externa a la fuente de calor.

**Prueba con cámara Termográfica panel 30x30 – 2cm – Drywall y Frescasa**

**Figura 55**

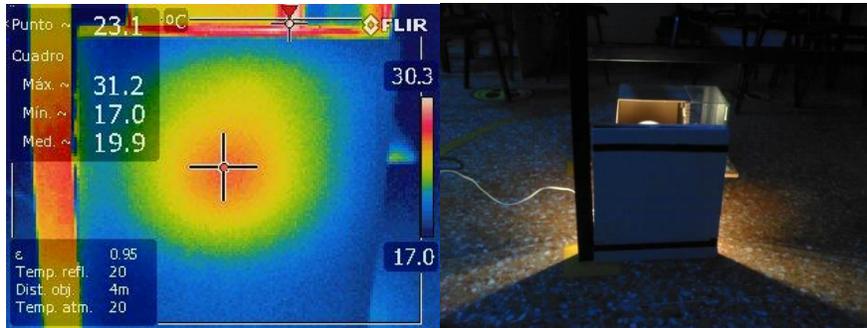
*Panel 30x30 expuesto a la bombilla halógena (externa)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

**Figura56**

*Temperatura de la superficie opuesta (interna)*



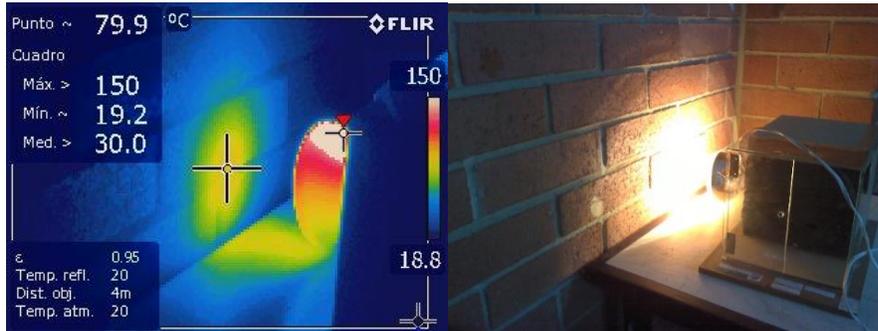
*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Luego de realizar la prueba al panel de 30x30 con un espesor de 4cm, el cual se encuentra compuesto por dos láminas de drywall en cada superficie de 1cm y en el medio frescasa de 2cm, se identifica que estos dos materiales que presentan un comportamiento altamente favorable, debido como aislante térmico; la superficie externa presento una captación de calor de 111°, mientras que la superficie opuesta registro un paso de calor de 23.1°

Prueba con cámara Termográfica – Muro Mampostería

Figura 57

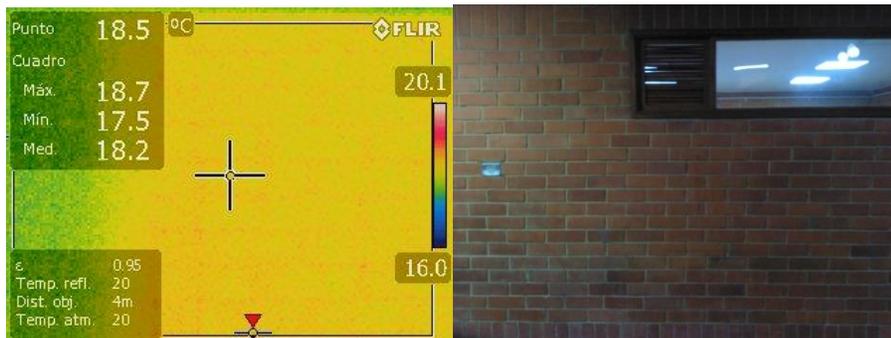
Muro en mampostería expuesto a la bombilla halógena (externa)



Nota. Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Figura58

Temperatura de la superficie opuesta (interna)



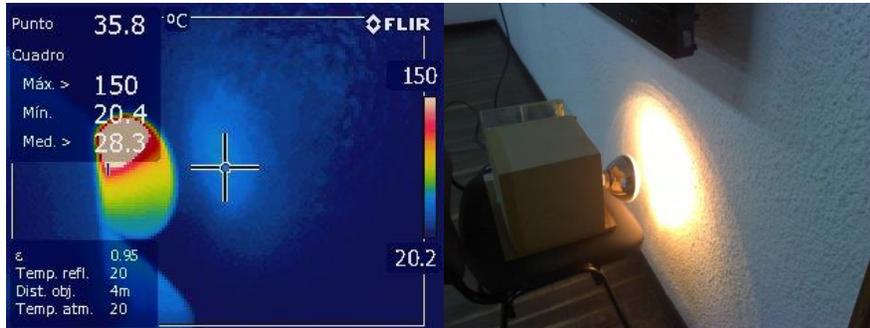
Nota. Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

El muro de mampostería presentaba un espesor de 12cm; pasados los 15 minutos de exposición a la fuente de calor, se identificó que la superficie presento una captación de calor de 32.6° en su cara externa, mientras que en la cara interna (opuesta) tuvo un paso de calor de 18.5°.

**Prueba con cámara Termográfica - Muro en concreto**

**Figura 59**

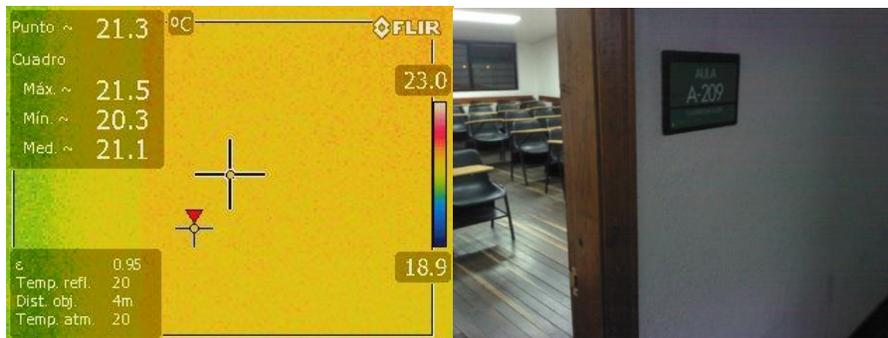
*Muro en concreto expuesto a la bombilla halógena (externa)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

**Figura60**

*Temperatura de la superficie opuesta (interna)*



*Nota.* Elaboración propia. Estas fotografías fueron tomadas por el docente Arq. Jonathan Ruiz, laboratorista de Bioclimática, teniéndome como asistente.

Luego de realizar la prueba con la cámara Termográfica en el muro de concreto el cual estuvo expuesto durante 15 minutos a la fuente de calor, se identificó que la superficie presento una captación

de calor de 35.8° en su cara externa, mientras que en la cara interna (opuesta) tuvo un paso de calor de 21.3°.

De acuerdo a la tabla 43 se puede observar la comparación entre los materiales que tienen la capacidad de transmitir calor de una superficie a otra.

**Tabla44**

*Temperatura registrada en superficies internas y externas de los paneles.*

PANEL	ESPESOR	HORA	TEMPERATURA SUPERFICIAL INICIAL 1M		TEMPERATURA SUPERFICIAL 15M		DISTANCIA ENTRE FUENTE Y PANEL
			INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	
Panel 60X60	2cm	6:31PM	24.6°	134°	27.6°	135°	
Panel 30X30	2cm	6:55PM	32.1°	123°	34.6°	123°	
Panel 30X30	3cm	7:12PM	20.3°	63.4°	35.5°	143°	
Black Theater 30X30	2cm	7:34PM	22.3°	60.4°	46.1°	63.4°	8CM
Drywall/Frescasa	4cm	7:55PM	18.7	63.7°	23.1°	111°	
Muro mampostería	12cm	7:55PM	18.3°	32.6°	18.5°	79.9°	
Muro Concreto	15cm	6:59pm	21.4°	20.6°	21.3°	35.8°	

*Nota.* La tabla representa los resultados obtenidos en cada uno de los panees que estuvieron expuesto a la fuente de calor durante 1 y 15 minutos. Elaboración propia

En consecuencia, con la tabla anterior y los ensayos realizados a los distintos materiales expuestos a la fuente de calor se tuvo en cuenta el principio técnico de que a menor espesor la transmitancia térmica aumenta y a mayor espesor la transmitancia térmica disminuye, usando como base lo anteriormente mencionado se llega a las siguientes conclusiones:

Muro en mampostería: se calienta con facilidad a los 15 minutos de estar expuesto a la fuente de calor (79.9°) a pesar del espesor manejado (12cm), pero no supera el paso de calor en comparación con el muro de concreto obteniendo una transmitancia de calor de 18.5°; aun así, no es un material recomendado como aislante térmico.

Muro de concreto: este muro de 15 cm de espesor presenta un comportamiento similar al muro de mampostería, debido a que se calienta con facilidad, pero su paso de calor de una superficie a otra no supera los 22°, lo cual hace que sean materiales desfavorables como aislantes térmicos.

Panel Drywall y Frescasa: al combinar estos dos materiales se logra identificar que su compuesto presenta un comportamiento favorable como aislante térmico; la transmitancia térmica presentada de una superficie a otra fue inferior en comparación con el Black Theater. Este tipo de panel es recomendable para usos residencial teniendo en cuenta que se debe aumentar su espesor a mínimo 10cm y es funcional en clima frío y cálido.

Panel Black Theater: este tipo de panel es ideal para espacios interiores, sin embargo, durante la prueba con la fuente de calor, se logra identificar que el material emana aroma a quemado, pero no se visualiza el humo, lo cual puede ser altamente perjudicial para la salud del ser humano. Adicionalmente este tipo de material no es recomendable que este expuesto a cambios de clima (exteriores).

Panel 60x60 – 2cm Bolsa de cemento: este panel se encuentra compuesto por bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax. Durante el ensayo se logra evidenciar que la superficie externa presento una captación de calor de superior al black theater y transmitancia de calor de inferior al mismo material comparado. Al momento de tocar la superficie expuesta al calor se identifica que el panel mantiene el calor en la superficie externa durante 5 minutos adicionales y disminuye progresivamente, mientras que la cara interna, presenta al tacto un enfriamiento con rapidez.

Panel 30x30 – 3cm Bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax: durante el ensayo con la fuente de calor se identificó que presento una captación de calor superior al panel que contiene la misma composición, pero un espesor inferior (2cm). Adicionalmente, tal parece ser que, por contenido del bórax, el panel emana humo desde el minuto 8' de los 15' que estuvo expuesto a la fuente de calor, pero, este no genero aroma.

Panel 30x30 – 2cm Bolsa de cemento, fibra de guadua: se logra identificar durante el ensayo con la fuente de calor que el panel al ser de un espesor inferior (2cm) la transmitancia térmica no aumento en comparación con el panel a base de bolsa de cemento de 30x30, pero con espesor de 3cm, no presentó ninguna anomalía durante el proceso de la prueba.

Para finalizar se logra identificar que el panel de 30x30/2cm compuesto por bolsa de cemento y fibra de guadua el cual presento un desempeño y resultados favorables, es ideal para espacio internos que no estén expuestos a humedad.

### **Prueba con sonómetro**

Para evaluar la capacidad de atenuación de ondas se implementó el método creado con el apoyo de Ruiz, J. (2022). Metodología de ensayos panel acústico [Material del aula]. Universidad La Gran Colombia, Colombia, Bogotá., donde se planteó una caja como se puede visualizar en la figura 61 utilizando el material black theater compuesta por cinco (5) dos de 34x34, dos de 34x40 y una (1) de 30x30 (base) con un espesor de 2cm, estas superficies fueron unidas utilizando palillos de madera para que no alterarán los ensayos. Cabe resaltar que el un espacio interno efectivo fue de 0.12m<sup>3</sup>, con la parte superior descubierta destinada para colocar los prototipos de paneles de 0.18m<sup>2</sup> y 0.27m<sup>2</sup> con el fin de realizar las pruebas de medición acústica.

**Figura 61**

*Caja para ensayo de sonómetro*



Elaboración propia

Se platearon lo siguientes paramentos para poder realizar las pruebas de manera eficiente:

Se ubicó la fuente de sonido por fuera de la caja para mayor facilidad de lectura y cálculo de los resultados a obtener.

La fuente de sonido debe sobrepasar los 50 a 60dB como mínimo sobre el ruido ambiente y debe emitir el sonido constante durante 5 minutos. Se utilizó un sonido (pitido) emitiendo 80dB constantes con una frecuencia de 500Hz.

Para emitir la fuente sonora en las mediciones del sonómetro, se utilizó un parlante LG NP1540, como se visualiza en la figura 62; para medir la presión sonora instantánea se utilizó el sonómetro como se observa en la figura 63.

**Figura 62**

*Sistema de audio altavoz portátil, 1 ch batería compatible e integrado bluetooth.*



Elaboración propia

**Figura 63**

*Sonómetro Extech HD600 clase 2.*



Elaboración propia

Luego de armar la caja y dejarla lo mejor sellada posible, se procede a insertar el sonómetro dentro de la caja como se muestra en la Figura 64.

**Figura 64**

Caja de black Theater armada (costado derecho), sonómetro dentro de la caja (costado izquierdo).

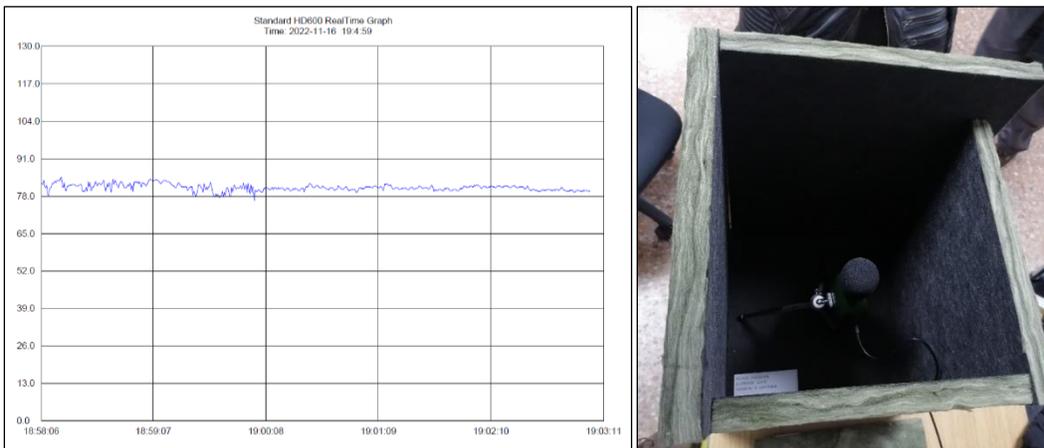


Elaboración propia

**Prueba con sonómetro – Registro sonido ambiente**

**Figura 65**

Caja con sonómetro adentro sin tapa superior (izq), resultados gráfica de absorción con sonómetro (der)



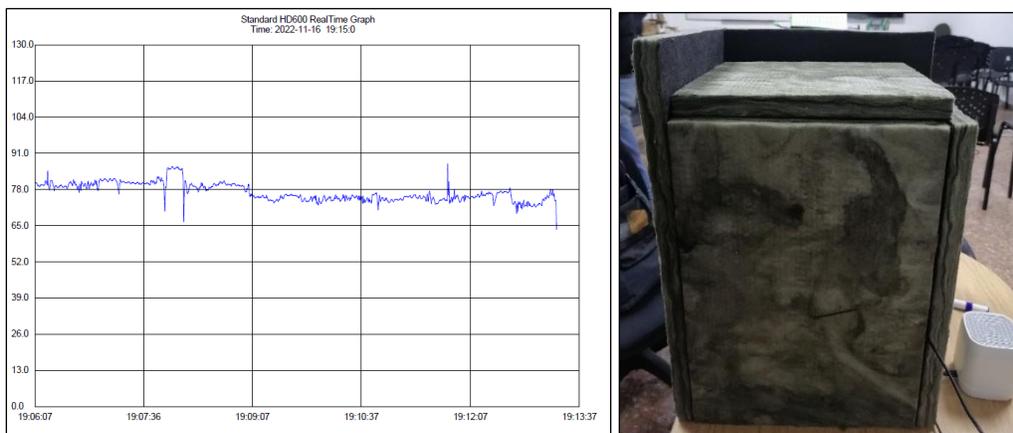
Elaboración propia

Para la toma 1, se realizó la medición del sonido ambiente sin tapa (panel) en el lugar donde se ubicó la caja. Se identificó que la presión sonora se encontraba en 80 decibeles, este valor es un promedio que se registra normalmente en el ambiente, como se puede observar en la figura 65.

### Prueba con sonómetro – Registro sonido panel Black Theater

#### Figura 66

Panel de 30x30 – 2cm Black Theater (izquierda), resultados gráfica de absorción con sonómetro (izquierda).



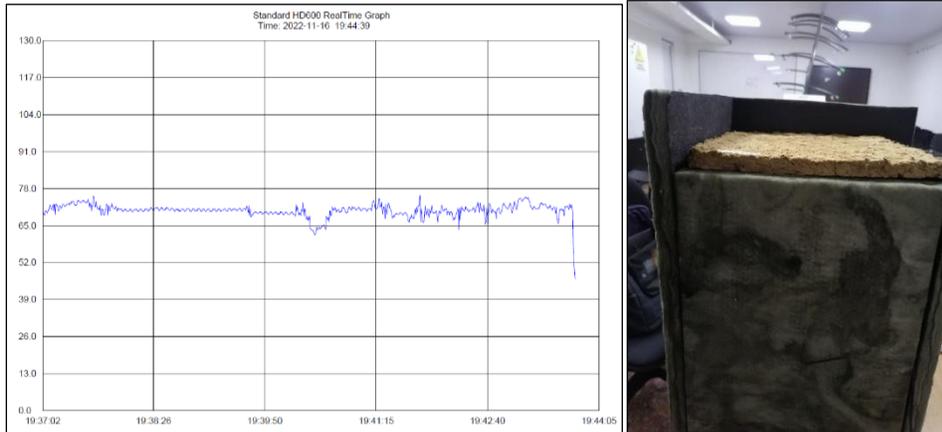
Elaboración propia

Seguido, en la toma 2, se procedió a colocar el panel de black theater (2cm) con unas dimensiones de 30x30 en la parte superior de la caja, como se puede observar en la figura 66, en donde se pudo evidenciar que el nivel de absorción fue de 80dB promedio constante, siendo este un material que comercialmente cuenta con buenas propiedades aislantes.

Prueba con sonómetro – Registro sonido panel bolsa de cemento y fibra de guadua

Figura 67

Panel de 30x30 – 2cm bolsa de cemento y fibra de guadua



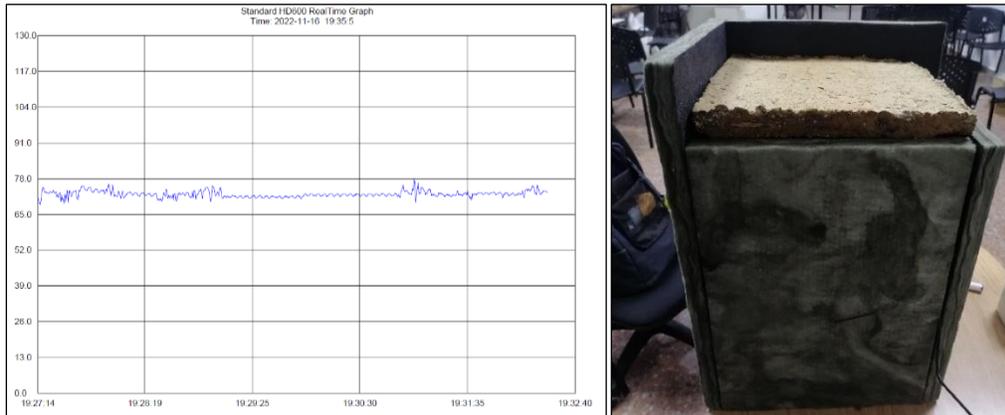
Elaboración propia

Luego, en la toma 3, se implemente el panel compuesto por bolsa de cemento y fibra de guadua de 30x30 con un espesor de 2cm, el cual obtuvo un resultado inferior a las tomas restantes, pero a pesar de ser una prueba a escala, fue el panel que mejor aislamiento constante presento durante los 5min que estuvo expuesto al ruido.

Prueba con sonómetro – Registro sonido panel bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax

Figura 68

Panel de 30x30 – 3cm bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax

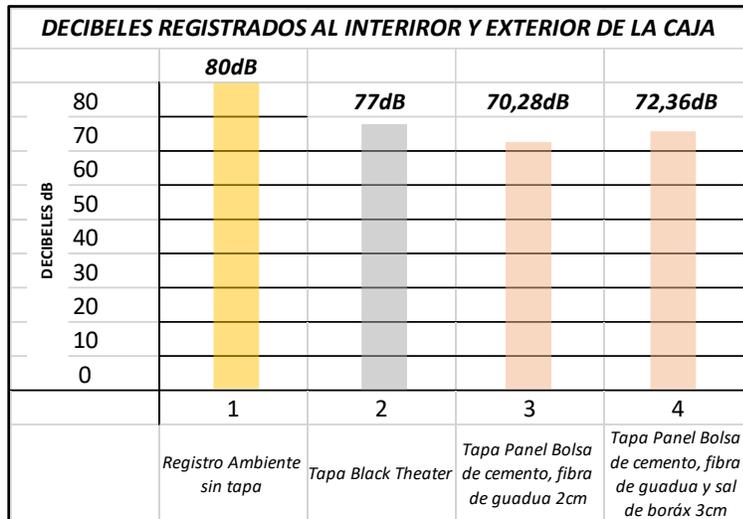


Elaboración propia

Por último, para la toma 4, se utiliza el panel de 30x30 compuesto por bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax con un espesor de 3cm. Este panel estuvo por encima del panel de 2cm a base de bolsa, pero a pesar de tener un espeso mayor, su capacidad de aislamiento no fue constante.

Tabla 45

Decibeles registrados al interior y exterior de la caja de paneles de 30x30 con diferente materialidad.



Elaboración propia

Durante el ensayo con el sonómetro se realizaron cuatro tomas con diferentes tipos de materiales a evaluar cómo se puede evidenciar en la tabla 44, los cuales estuvieron expuestos durante 5 minutos a un sonido continuo emitido por la fuente sonora el cual se encontraba situado de manera externa a la caja, el sonómetro se ubicó dentro de la caja para realizar las mediciones sobre el aislamiento de sonido de cada uno de los paneles, llegando a las siguientes conclusiones:

Se tomó como base el ruido ambiente el cual fue registrado con 80dB en la toma 1 en donde no se utilizó en la caja una tapa superior.

Entre la toma 3 y 4, el panel que presento por datos el mejor resultado de aislamiento fue el panel de 3cm compuesto por bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax con una absorción de 72.36 dB. Sin embargo, dicha absorción no fue constante como se evidencia en la figura 68, lo que puede generar que no cumpla con una capacidad persistente de absorción en su totalidad.

El panel utilizado en la toma 3 (bolsa de cemento y fibra de guadua) obtuvo un resultado de aislamiento de 70.28 dB mínimamente inferior a los demás, sin embargo, este panel marco un resultado de aislamiento constante como se observa en la figura 67; dentro de las posibles variables que se pudo analizar se encuentra que debido a su textura “acolchada” desarrollada, genera que produzca un tratamiento de acondicionamiento para mitigar los efectos de reverberación; mientras que en una superficie más dura y densa como lo es el panel de 3cm el cual contiene sal de bórax, al recibir la onda de sonido, este tendrá mayores rebotes y producirá aumento en los tiempos de reverberación.

A pesar, de que el black theater es un material que comercialmente presenta unas características favorables y su registro de absorción sonora fue de 77dB. Sin embargo, se puede afirmar que el panel desarrollado a base de bolsa de cemento y fibra de guadua se perfila como un material acústico con una gran capacidad, debido a los resultados obtenidos durante la prueba arrojaron que su aislamiento sonoro es constante apesar de que estuvo 2.08 decibeles por debajo del panel a base de bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax el cual presento la producción de humo sin aroma y 4.64 decibeles por debajo del black Theater, este último presento anomalías, produciendo aroma a humo el cual no9 fue visible.

### **Prueba Ignifuga**

Para el desarrollo de esta prueba, se realizó bajo la norma ASTM E84 (Método estándar de ensayo de las características de combustión de superficie de los materiales de construcción).

Se sitúa el panel de 60x60 sostenido por una malla electrosoldada, la cual se ubicó en dos distancias diferentes sobre la fuente de calor (soplete), éste estuvo expuesto durante 10 minutos, en

donde se midió las dimensiones que presentaron afectación, la propagación en la superficie del panel y el humo que este emana.

**Figura 69**

Soplete con manguera para gas



*Nota.* Soplete. Adaptado de “Megaferr” Soplete Con Manguera Para Gas.  
<https://megaferr.com/producto/soplete-con-manguera-para-gas/>

Durante el desarrollo de la prueba, se expuso el panel de 60x60 a la llamada directa durante 10 minutos y presento los siguientes comportamientos (ver tabla 45), (ver figura 70).

**Figura 70** Panel de 60x60 expuesto al calor



Elaboración propia

**Tabla 46**

*Comportamiento y resultados del panel – distancia 40 centímetros*

PANEL	TIEMPO DE EXPOSICIÓN A FUENTE DE CALOR Y DISTANCIA	OBSERVACIONES
60X60 – 2cm 93% Bolsa de cemento 02% Sal de bórax 05% Fibra de guadua	10 minutos – 40cm de distancia	El panel presento zonas en donde se quema la superficie, pero no en su totalidad, la llama que se generó, se extingue pasado un minuto de haber retirado la muestra de la llama directa.

Elaboración propia

**Figura 71**

*Panel de 60x60 expuesto al calor superficie externa (cost. izquierdo), superficie interna (cost. derecho)*



Elaboración propia

En la figura 71, se puede evidenciar que durante los 15 minutos que estuvo expuesto el panel a la llama directa, con una distancia de 20 centímetros, la llama se propago en dos áreas del panel a tal punto de que perforó de la superficie externa a la interna.

**Figura 72**

*Área del panel afectada por calor con presencia de llama superficial.*



Elaboración propia

En la figura 72 se observa como el calor se concentró en una de las zonas del panel a los 8 minutos de exposición, pero no genero llama ni humo.

**Figura 73**

*Área del panel afectada por exposición a llama directa con desprendimiento de material*



Elaboración propia

**Tabla 47**

*Comportamiento y resultados del panel – distancia 20 centímetros*

PANEL	TIEMPO DE EXPOSICIÓN A FUENTE DE CALOR Y DISTANCIA	OBSERVACIONES
60X60 – 2cm 93% Bolsa de cemento 02% Sal de bórax 05% Fibra de guadua	10 minutos – 20cm de distancia	El panel presento zonas en donde inicialmente se quema la superficie expuesta, pero no en su totalidad; pasados los 8 minutos, se evidencia que el panel emana humo, pero no se genera una llama visible. Apenas se cumplen los 10 minutos de exposición al calor, se retira el panel de la llama directa y se somete a riego de agua con aspersor para mitigar el material que se encuentra quemándose. Sin embargo, después de 30 minutos, el panel empieza a general altas cantidades de humo teniendo en cuenta que ya se le había aplicado agua para extinguir el material que aun cuenta con presencia de calor.

Elaboración propia

Finalmente, se puede expresar que el material estando expuesto una llama directa con la distancia mínima (20cm), se quema de manera continua pero lenta, generando humo denso en medianas proporciones. Este humo es similar al que emana el papel al ser quemado.

Mientras que el panel al estar expuesto a la llama directa, pero con una distancia de 40 centímetro, presenta quemaduras superficiales, no se quema en su totalidad y la llama se extingue al minuto de ser retirado de la fuente de calor.

La prueba ignifuga arroja como resultado que el panel estando a una distancia igual o mayor a 40cm, la propagación del fuego en el material es mínima.

Sin embargo, se recomienda realizar un estudio más a fondo, cumpliendo con el procedimiento que exige la norma y poder clasificar el panel según los criterios de aceptación ASTM E84 en donde se

deberá medir la clase que oscila entre 1, 2 y 3; el índice de propagación de la llama y la clasificación de humo.

**Análisis Ciclo de vida (ACV)**

Para poder entender el análisis realizado al panel desarrollado, primero debemos comprender que es un análisis del ciclo de vida, este se caracteriza por la recopilación y posterior evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales negativos de un producto desarrollado a través de su ciclo de vida (Conservación y Carbono S.A.S.,2021, párr. 5). El ACV está regido y certificado bajo las ISO 14040 y la ISO 14044.

Luego, se debe evaluar el impacto ambiental del panel acústico, identificando cada etapa a la que estuvo expuesto desde el suministro de materiales, pasando por su elaboración hasta el alcance que es la entrega a la persona destinataria.

**Tabla 48**

*Etapa I de la elaboración del panel para Análisis ciclo de vida*

Análisis Ciclo de Vida: Resultados		
Descripción de los límites del sistema		
( Incluidos en el ACV - MND: Módulo no declarado )		
ETAPA I - PRODUCTO		
A1	A2	A3
Suministro de materias primas	Transporte	Fabricación
Bolsas de cemento Guadua Cajas de cartón Prensas manuales Molde de acero 30x30 Molde de acero 60x60 Molde de PVC 4" Vaselina Sal de Bórax	Recolección en obra ( manual ) Transporte a casa ( combustible ) Transporte de casa a laboratorio ( combustible ) Transporte de laboratorio a casa ( combustible )	Limpieza de las bolsas y guadua ( agua) Inmersión de las bolsas en agua Retiro de las bolsas del agua Transformación de la bolsa a celulosa ( energía ) Extracción fibras de guadua ( energía) Preparación de mezcla para panel ( energía - agua ) Empaque y sellado ( energía )

Elaboración propia

Dentro del análisis del ciclo de vida elaborado se identifica que, para la producción del panel acústico, este cuenta con unas emisiones directas como la recolección de la materia prima, el Co2 generado por el transporte utilizado y los residuos que la elaboración del mismo pueda generar; en las emisiones indirectas podemos encontrar el uso y gasto de los recursos naturales que requiere la producción de panel y, nuevamente los residuos que este pueda emitir. Para un mayor entendimiento, en la figura 74 se puede visualizar la descripción de cada una de las emisiones mencionadas anteriormente.

**Figura 74**  
Emisiones directas e indirectas generadas por la producción del panel



Elaboración propia

Es pertinente aclarar que, dentro de todo proceso de creación de un producto, existen pasos y actividades que son altamente contaminantes para el medio ambiente; para este caso, los residuos son

materiales que deben cumplir un tratamiento de recolección disposición final el cual no genere un alto impacto ambiental. Dentro de la recolección, elaboración y transformación final de las bolsas acompañadas de la fibra de guadua, encontramos los residuos provenientes del lavado e inmersión de las bolsas en agua, el polvo de cemento que se convierte en sedimentación, es enviado a una cantera en donde se reutiliza para crear materiales granulares como la sub base granular tipo A (SBG-A) la cual está compuesta por el reciclaje de materiales derivados de los RCD y ese se emplea en la construcción de vías.

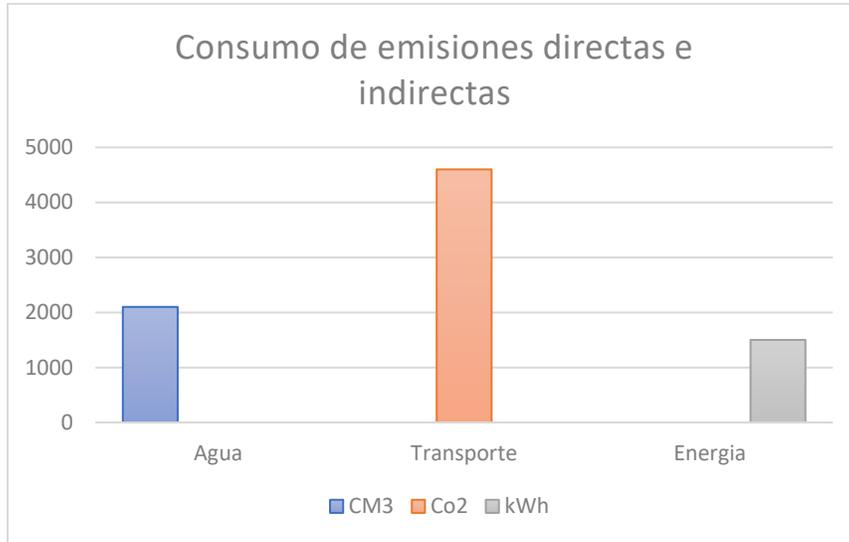
Por otra parte, tenemos el agua que queda después de haber realizado el lavado e inmersión de las bolsas y la resultante de los moldes cuando pasan por la prensa manual. Una vez este líquido es utilizado, se recolecta y posteriormente se pasa por un filtro industrial el cual cumplirá la función de destilar y separar las partículas, el agua se reutilizará para la descarga de sanitarios.

Por último, tenemos el consumo energético, ya que se requiere para la molienda de la bolsa, la iluminación del lugar en donde se desarrolla el producto y para el horno de secado. Este consumo es sumamente importante y será mitigado durante la fabricación al por mayor de los paneles.

En la tabla 48 se podrá evidenciar el consumo de cada fase (suministro de materias, transporte y fabricación), en donde se calculó el consumo de cada etapa, para identificar cada resultado se utilizó unidades de medida específicas, para el consumo de transporte se identificará con la unidad Co<sub>2</sub>, el consumo de energía se medida por Kilovatios por hora (kWh) y para el cálculo del agua la unidad será cm<sup>3</sup>. A final, los resultados obtenidos se convertirán en un valor de Co<sub>2</sub>.

**Tabla 49**

Resultados Emisiones directas e indirectas



Elaboración propia

En la anterior tabla se puede evidenciar el consumo energético, de agua y combustible para la fabricación de un panel de 30x30 con un espesor de 2cm. Es importante destacar que, si se llegara a realizar una producción de paneles en grandes cantidades, el manejo de las emisiones tendría un mayor control, puesto que se implementaría maquinaria industrial con tecnología amigable con el medio ambiente.

Por último, el valor total de consumo de CO2 para la producción de un panel será calculado con la unidad de medida kilogramos de dióxido de carbono (Kg CO2).

**Figura 75**

Porcentaje de Co2 generado durante la producción de un panel



Elaboración propia

**Análisis de costos**

A continuación, se realiza un análisis paso a paso de los costos que conllevan la fabricación de un M<sup>2</sup> del panel a base de bolsas de cemento y fibra de guadua, teniendo en cuenta la metodología utilizados, con el objetivo de demostrar el bajo costo que genera la elaboración y montaje del mismo.

**Tabla 50**

*Costo de panel acústico por de 60x60*

PRESUPUESTO ELABORACIÓN PANEL 60X60				
MATERIAL	UNIDAD	ESPEJOR	DIMENSION	COSTO (UND)
Bolsa de cemento	UND	-	60X45	0
Fibra de guadua	UND	-	-	0
Sal de borax por kilo	Kg	-	-	7.500
Molde en acero	M3	8mm	60x60x0.06	300.000
Agua	Lt	-	-	40000
Energía	Kwh	-	-	30000
	TOTAL			377.500

Elaboración propia

**Tabla 51**

*Costo de panel acústico por de 30x30*

PRESUPUESTO ELABORACIÓN PANEL 30X30				
MATERIAL	UNIDAD	ESPEJOR	DIMENSION	COSTO (UND)
Bolsa de cemento	UND	-	60X45	0
Fibra de guadua	UND	-	-	0
Sal de borax por kilo	Kg	-	-	7.500
Molde en acero	M3	8mm	30x30x0.06	100.000
Agua	Lt	-	-	30.000
Energía	Kwh	-	-	25.000
	TOTAL			162.500

Elaboración propia

**Tabla 52**

*Costo de panel acústico por M<sup>2</sup>*

PRESUPUESTO ELABORACIÓN PANEL M2				
MATERIAL	UNIDAD	ESPESOR	DIMENSION	COSTO (UND)
Bolsa de cemento	UND	-	60X45	0
Fibra de guadua	UND	-	-	0
Sal de borax por kilo	Kg	-	-	22.500
Molde en acero	M3	8mm	1X1X0,06	350.000
Agua	Lt	-	-	45000
Energía	Kwh	-	-	38000
TOTAL				455.500

Elaboración propia

**Tabla 53**

*Costo de sistema portante*

PRESUPUESTO SISTEMA PORTANTE				
MATERIAL	UNIDAD	ESPESOR	DIMENSION	COSTO (UND)
Lámina MDF	UND	5,5mm	3UND - 2,44X1,22	234.000
Rodachina con freno	UND	-	4"	20.500
Pegante para Madera Aplicador X 1 Kilo	Kg	-	-	25.900
Corte Laser por minuto	MIN	-	-	600
Ensamble de sistema	-	-	-	120.000
Perfiles para soporte en pared	UND	-	-	116.000
TOTAL				517.000

Elaboración propia

**Tabla 54**

Valores totales

VALORES TOTALES	
PANEL POR M2	612500
PANEL DE 60X60	457.500
PANEL DE 30X30	212500
SISTEMA PORTANTE	517000

Elaboración propia

Luego de realizar un presupuesto para cada de panel y el sistema portante es pertinente mencionar que en comparación con otros materiales que existen en el mercado, los cuales son fabricados al por mayor lo que genera que los costos para los empresarios sean inferiores a los que el panel a base de celulosa cuesta por ser un desarrollo y fabricación empírico.

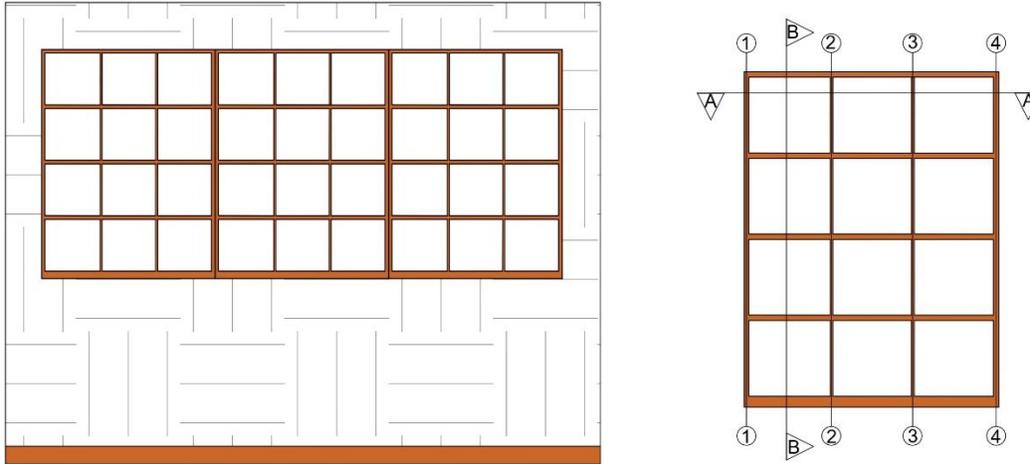
Un m2 de Black Theater oscila entre 150.000 a 200.000 pesos de dependiendo su espesor; la espuma fonoabsorbente por m2 tiene un costo de 80.000 pesos; es importante mencionar que ninguno de estos dos materiales los costos y materiales de instalación.

**Sistema Portante**

El sistema portante para el panel acústico se desarrolló en tableros de fibra de densidad (MDF) con un espesor 5.5m. Para el proceso de armado se requiere pegante para madera, perfiles de acero galvanizado para su sujeción en la superficie donde se vaya a instalar, marcos de 2cmm y 3cmm de ancho con una dimensión de 30x30 para la protección perimetral de los paneles y la madera figurada. Cabe resaltar que en este sistema no se implementó el uso de bisagras ni tornillos, debido a que el sonido se transporta por vibraciones las cuales entrarían en contacto con el acero y este las transmitiría a la otra superficie. El sistema y sus partes se puede visualizar en la figura 76.

**Figura 76**

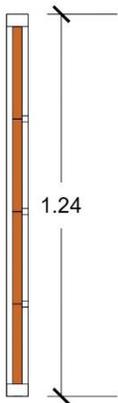
*Sistema portante anclado en muro (costado izquierdo), sistema portante con marcación e ejes y cortes (costado derecho).*



Elaboración propia

**Figura 77**

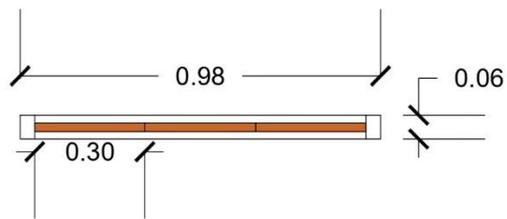
*Corte A'A transversal*



Elaboración propia

**Figura 78**

*Corte B'B longitudinal*

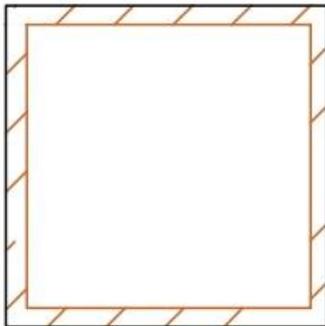


Elaboración propia

**Marco:** Los marcos son en madera MDF, de tres milímetros (3mm) de espesor (Figura xx), éstos se ubicarán de madera perimetral al panel, pero no estará adosado a él. no van unidos al panel. (figura xx).

**Figura 79**

*Marco en madera MDF perimetral para paneles*

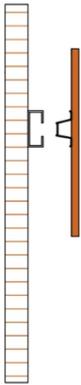


Elaboración propia

Proceso de montaje: Se comienza por el montaje de los perfiles en el muro donde se va a instalar los paneles y en la cara posterior del sistema (ver figura 80)

**Figura 80**

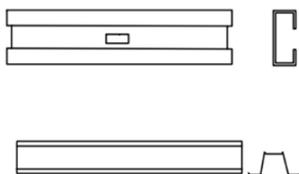
*Perfiles anclados a muro y a cara posterior del sistema portante*



Elaboración propia

**Figura 81**

*Perfiles en acero galvanizado*



Elaboración propia

Luego, se procede a instalar cada uno de los paneles con su respectivo marco de protección perimetral fijados por fricción dentro del sistema.

Por último, se sella todo el sistema en sus cuatro superficies laterales utilizando el Colbon de madera, se deja secar y posteriormente se instala en el perfil que se había instalado con anterioridad

### **Conclusiones y Recomendaciones**

Al realizar la caracterización del empaque de la bolsa de cemento, se logra identificar que está compuesta por dos capas de papel kraft, las cuales tienen una capa plástica adicional que, visualmente no se logra evidenciar, lo que permite que la bolsa tenga una alta resistencia al estar por un tiempo

prologando en inmersión de agua, sin presentar alteraciones en su forma; las partículas de cemento que quedan en el empaque se puede retirar con facilidad del mismo.

La bolsa de cemento acompañada de las fibras de guadua se perfila como un material que puede llegar a tener resultados favorables en las pruebas como tuvo de impedancia, prueba de sonómetro y prueba ignifuga; debido a que presento un comportamiento desatcado en las pruebas físicas; la muestra realizada en el molde 1 (Tubo PVC 4”), no presento deformaciones y es flexible; esta misma dosificación se utilizó como base para elaborar el panel A de 30x30, donde se evidencio que efectivamente cumple con las propiedades físicas deseadas.

Durante el proceso de elaboración y análisis de las muestras se logra identificar que la dosificación compuesta por 95% bolsa de cemento y 05% fibra de guadua presento un comportamiento favorable, presento una porosidad adecuada, es compacta y mantuvo su forma inicial en el molde 30x30 y 60x60.

En cuanto al espesor, se logra identificar que la bolsa de cemento presenta una mejor adherencia, compactación y mantiene su forma, con dos espesores:

Inicial de 40mm - Final de 20mm

Inicial de 30mm - Final de 20mm

Debido a que, a mayor espesor, las muestras presentaban desprendimiento, separación del material, deflexión y su tiempo de secado es mayor.

La bolsa de cemento acompañada de la fibra de guadua se perfila como un material que cumple como aislante acústico y absorbente, debido a los resultados obtenidos en la prueba del sonómetro y el tubo de impedancia, en sus propiedades físicas y la alta estabilidad térmica.

Ahora, con respecto a los resultados obtenidos de coeficiente de absorción de las muestras en la prueba del tubo de impedancia, se demostró que el panel compuesto por bolsa de cemento y fibra de guadua con un espesor de 2cm presento los mejores resultados de absorción sin tener que aumentar el espesor. El panel cuenta con las propiedades de absorción para frecuencias altas de 600Hz en adelante.

A pesar, de que el black theater es un material que comercialmente presenta unas características favorables y su registro de aislamiento sonora fue de 77dB. Sin embargo, se puede afirmar que el panel desarrollado a base de bolsa de cemento y fibra de guadua se perfila como un material acústico con una gran capacidad, debido a los resultados obtenidos durante la prueba arrojaron que su aislamiento sonoro es constante apesar de que estuvo 2.08 decibeles por debajo del panel a base de bolsa de cemento, fibra de guadua y sal de bórax el cual presento la producción de humo sin aroma y 4.64 decibeles por debajo del black Theater, este último presento anomalías, produciendo aroma a humo el cual no fue visible.

Por otra parte, el panel obtuvo un comportamiento favorable durante el tiempo que estuvo expuesto a la llama directa generada por el soplete a una distancia de 40 centímetros, ya que quemaduras superficiales, pero no se consumió en su totalidad y la llama se extingue al minuto de ser retirado de la fuente de calor.

Se recomienda realizar un estudio más a fondo, cumpliendo con el procedimiento que exige la norma y poder clasificar el panel según los criterios de aceptación ASTM E84 en donde se deberá medir la clase que oscila entre 1, 2 y 3; el índice de propagación de la llama y la clasificación de humo.

Dentro del análisis sobre el ciclo de vida del panel, se concluye que la fabricación de un panel de 30x30 con un espesor genera unas 8.600 emisiones de KGCO<sub>2</sub>. Sin embargo, se debe tener en cuenta

que este proceso es experimental con una producción pequeña, si se llegase a implementar la fabricación del panel en grandes cantidades, el uso de maquinaria industrial tecnológica, permitiría disminuir el porcentaje sobre la huella de carbono.

### Referencias

- Álava Ingenieros. (2022, mayo). Tubos de impedancia-kundt. <https://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/acustica-y-vibraciones/tubos-de-impedancia-kundt/>
- Andrés Cuba Córdoba, L. D. (2020). *Repositorio Universidad La Gran Colombia*. Paneles tipo sándwich a base de celulosa reciclada para fachadas. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5883?show=full>
- Aritz. (10 de 10 de 2019). *Madera Sostenible*. Principales aplicaciones de la fibra de madera. <https://madera-sostenible.com/madera/principales-aplicaciones-de-la-fibra-de-madera-como-aislamiento-en-el-hogar/#:~:text=La%20fibra%20de%20madera%20es,propiedades%20ign%C3%ADfugas%2C%20insecticidas%20y%20antif%C3%BAngicas.>
- Becton. (s,f de s,f de s.f). *Becton*. Aislante de celulosa. <http://www.especificar.cl/fichas/aislante-de-celulosa>
- Cairo, U. d. (03 de 2020). *ResearchGate*. Recycling Waste Plastic Bags as a Replacement for Cement in Production of Building Bricks and Concrete Blocks. <https://www.researchgate.net/publication/339613441>
- Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos*, Barcelona, España: Edicions UPC.
- Castillo, J. & Costa, A. (2012). Características físicas de materiales absorbentes sonoros porosos. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0412E1-Castillo-](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0412E1-Castillo-)

Cemex Innovation Holding LTD. (2021). *Cemex Colombia*. Disposición sostenible de sacos.

<https://www.cemexcolombia.com/soluciones/industriales/oferta-de-valor/disposicion-sostenible-de-sacos-cemex>

Colombates. (09 de 03 de 2022). Colombates Bolsas de Papel. Santiago de Cali, Colombia.

Construcción, C. C. (15 de 02 de 2022). *Camacol*. Valor agregado de la construcción de edificaciones.

<https://camacol.co/actualidad/noticias/valor-agregado-en-la-construccion-de-edificaciones-crecio-116-durante-2021>

Delgado, P. (2017). Paneles para absorción acústica con desechos Textiles [Tesis Trabajo de grado].

Escuela Universitaria Centro de Diseño.

EcoHabitar. (s.f de s.f de s.f). *EcoHabitar*. Placas de celulosa. <https://ecohabitar.org/articulos/placas-de-celulosa-flexcl-de-homatherm/>

Entreplanos. (16 de 11 de 2015). *Entreplanos*. La madera de eucalipto. <https://entreplanos.com.ar/la-madera-de-eucalipto-gran-diseno-excelente-calidad-sustentable-y-de-preciosa-estetica/>

ESPEJO VILLALBA, H. S. (02 de 12 de 2019). *Sistema de absorción acústico para muros a partir cascarilla de arroz, para disminuir la reflexión de sonido dentro de los espacios*.

<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5632>

Fernandez, P. (2017, diciembre). Acústica (II): propagación del sonido en espacios cerrados y ante obstáculos. <https://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367>

Herrera, L. (2022). Ensayo tubo de impedancia para panel acústico [Material del aula]. Universidad San Buenaventura, Colombia, Bogotá

Ibrahim , M., & Emam Hassanien, R. (03 de 2020). *Researchgate*. Recycling Waste Plastic Bags as a Replacement for Cement in Production of Building Bricks and Concrete Blocks.

<https://www.researchgate.net/publication/339613441>

iglú. (s.f de s.f de s.f). *iglú*. Obtenido de iglú: <http://www.iglu.cl/la-celulosa/>

Industrias Wimas Ltda. (s.f). *wimarLtda*. Pva. <https://wimarLtda.com/p-v-a-wimar/>

Integral, A. (s.f.). *Acustica Integral*. Obtenido de Acustica Integral:

<https://www.acusticaintegral.com/14225/que-es-la-reverberacion/>

Medina, A. L. (12 de 12 de 2018). *Repositorio Universidad de Santander*. Producción de paneles aislantes de celulosa con propiedades antifúngicas en la ciudad de Bucaramanga, Santander.

<https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1061>

Méndez, M. H. (17 de 02 de 2020). *CIC ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD*.

<https://www.cicconstruccion.com/texto-diario/mostrar/2743026/opinion-principales-problemas-acusticos-soluciones>

POGOTECH. (2017). *pogotech.eu*. Premio Innovación. <https://pogotech.eu/es/rcd/>

Premio Innovación. (04 de 11 de 2015). *Youtube*. Obtenido de Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=4EZF1JJKcaI>

Proaños L, & Sandoval, M. (2010). Fabricación de paneles acústicos resistentes a la compresión, conformado por cascarilla de arroz, cemento y arena (Tesis de pregrado). Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Proasur. (2022, mayo). La resina: variedades, factores a tener en cuenta y recomendaciones para su uso.

<https://proasur.com/es/blog/resina-en-los-procesos-productivos-de-proasur/>

Resina en Castillo y Leon. (2019). La resina natural en Castilla y León.

[https://www.resinacyl.es/contenido/la-resina-natural-en-castilla-](https://www.resinacyl.es/contenido/la-resina-natural-en-castilla-leon#:~:text=La%20resina%20natural%20es%20un,propio%20patrimonio%20forestal%20y%20n)

[leon#:~:text=La%20resina%20natural%20es%20un,propio%20patrimonio%20forestal%20y%20n](https://www.resinacyl.es/contenido/la-resina-natural-en-castilla-leon#:~:text=La%20resina%20natural%20es%20un,propio%20patrimonio%20forestal%20y%20n)  
atural.

Restrepo, C. R. (03 de 12 de 2014). Novedosa forma de reutilizar los sacos de cemento. (C. Marin, Entrevistador)

Ruiz, J. (2022). Metodología de ensayos panel acústico [Material del aula]. Universidad La Gran Colombia, Colombia, Bogotá

Secretaria de Ambiente, S. D. (s.f). *Secretaría Distrital de Ambiente*. Residuos de construcción y demolición. <https://www.ambientebogota.gov.co/es/residuos-de-construccion-y-demolicion>

Semana. (23 de 01 de 2022). *Semana*. Carestía de los materiales para la construcción amenaza a la vivienda. <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/carestia-de-los-materiales-para-la-construccion-amenaza-a-la-vivienda/202254/>

Tejedor, A. S. (s.f). *Química Orgánica Industrial*. Tecnología de la celulosa. La industria papelera. [https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php#:~:text=La%20celulosa%20es%20el%20componente,\)%2C%20pectinas%20y%20%C3%A1cidos%20grasos.](https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php#:~:text=La%20celulosa%20es%20el%20componente,)%2C%20pectinas%20y%20%C3%A1cidos%20grasos.)

Torner, M. (2016). Viabilidad de un tubo de impedancia en medio acuático (Tesis de Pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Zapata, C. (03 de 12 de 2014). Novedosa forma de reutilizar los sacos de cemento. (C. Marin, Entrevistador)

## Anexos

A-001 Detalle de sistema portante (Archivo adjunto)