

PROPUESTA DE LA LUFFA CYLINDRICA COMO ABSORBENTE ACÚSTICO
APLICABLE A RECINTOS CON FENÓMENOS DE REVERBERACIÓN

DANIEL FUENTES QUINTERO

RICARDO SÁNCHEZ PARRA



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ARQUITECTURA

BOGOTÁ, COLOMBIA

NOVIEMBRE 2019

**PROPUESTA DE LA LUFFA CYLINDRICA COMO ABSORBENTE ACÚSTICO
APLICABLE A RECINTOS CON FENOMENOS DE REVERBERACIÓN**

Daniel Fuentes Quintero

Ricardo Sánchez Parra

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

Arq. Liliana Patiño León

Directora



Universidad La Gran Colombia

Facultad Arquitectura

Arquitectura

Bogotá D.C

Resumen

En la actualidad el crecimiento del sector de la construcción en Colombia es uno de los más acelerados y de mayor impacto en el crecimiento de la huella ambiental, por esta razón se deben investigar y proponer nuevos materiales amigables con el medio ambiente, que reemplacen materiales como las espumas fonoabsorbentes hechas de polietileno que es un derivado del petróleo; se conoce el creciente estudio de las fibras vegetales como alternativas para diversas aplicaciones en procesos constructivos. Por lo anterior, este documento describe el proceso de experimentación como la medición del coeficiente de absorción utilizando el tubo de impedancia, el diseño, la fabricación y la viabilidad económica de un panel de absorción acústica, con el fin de disminuir el fenómeno de reverberación, aplicado a recintos que requieran de un acondicionamiento acústico y un acabado arquitectónico; empleando como materia prima la luffa Cilindrica, elegida por sus cualidades físicas y químicas.

Palabras Clave: Absorción acústica, Reverberación, Luffa Cilindrica, Sonido, Porosidad.

Abstract

Currently the growth of the construction sector in Colombia is one of the fastest and most impact on the growth of the environmental footprint, for this reason should be researched and proposed new environmentally friendly materials to replace materials such as sound-absorbent foams made of polyethylene which is a petroleum derivative, is known the growing study of plant fibers for various applications in construction processes. Therefore, this document describes the experimentation process as the measurement of the absorption coefficient using the impedance tube, the design, manufacture and economic viability of an acoustic absorption panel, in order to reduce the reverberation phenomenon, applied to enclosures that require acoustic conditioning and an architectural finish, using as raw material the luffa Cylindrica, chosen for its physical and chemical qualities. (EN REVISION)

Keywords: Acoustic absorption, Reverberation, Luffa Cylindrica, Sound, Porosity.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	14
2. Planteamiento del problema	16
1.2. Descripción y formulación del problema	17
1.3. Pregunta problema	18
2. Justificación.....	19
3. Hipótesis.....	21
4. Objetivos	22
4.1. Objetivo General	22
□ 4.2. Objetivos Específicos	22
5. Marco referencial.....	23
5.1. Marco teórico	23
5.1.1. Luffa cylindrica:	24
5.1.2. El Ruido	32
5.1.3. Diferencia entre sonido y ruido.....	32
5.1.4. Ondas acústicas	32
5.1.5. Distribución espacial del sonido	34
5.1.6. Absorción acústica	34
5.1.7. Reflexión acústica	35

5.1.8.	Contaminación Acústica	36
5.1.9.	Fuentes de contaminación acústica.....	37
5.1.10.	Efectos sobre la salud.....	38
5.1.11.	Control de la contaminación acústica.....	41
5.1.12.	Fuente sonora	41
5.1.13.	Medio de propagación.....	42
5.1.14.	Receptor	42
5.1.15.	Criterios generales del diseño acústico.	43
5.1.16.	Procedimiento para la obtención del tiempo de reverberación RTmid deseado .	44
5.1.17.	Criterios para prevenir o eliminar ecos y focalizaciones del sonido.....	46
5.1.18.	Ecos	46
5.1.19.	Focalizaciones del sonido.....	46
5.1.20.	Eco flotante	47
5.1.21.	Criterios de ubicación de los altavoces del sistema de megafonía.....	47
5.1.22.	Simulación acústica de recintos	48
5.1.23.	Descripción del programa de simulación acústica AURA.....	49
□	5.2. Marco Normativo	49
5.2.1.	Protocolo de Montreal	49
5.2.2.	Clorofluorocarbonos: espumas refrigerantes de poliuretano	51
5.2.3.	Hidrobromofluorocarbonos en planchas y tableros	51

5.2.4.	Fibra de Vidrio	52
5.2.5.	(ISO, 1998) ASTM E1050-12 Método de prueba estándar para impedancia y absorción de materiales acústicos utilizando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital.....	53
6.	Capítulo I: Fase Investigativa.....	55
6.1	Propiedades de los materiales absorbentes más comunes en las edificaciones	56
6.2.	Tipos de materiales	59
6.2.1.	Lanas minerales: lana de roca y fibra de vidrio	60
6.2.2.	Virutas de madera aglomerada.....	62
6.2.3.	Materiales blandos a la flexión.....	64
6.2.4.	Conclusiones y recomendaciones de la fase investigativa	65
7.	Capítulo II: Fase de Planteamiento	68
7.1	Geometrización del diseño.....	68
7.1.1.	Elaboración del molde.....	70
7.2	Proceso de pigmentación.....	71
7.3	Selección de aglomerantes y ejecución de muestras.....	73
7.3.1.	Los materiales aglomerantes se clasifican en.....	74
7.4	Elaboración de muestras para ensayos	83
7.4.1.	Proceso de elaboración de muestras para las mediciones en tubo de impedancia	

7.4.2.	Preparación de muestras y elementos para ensayo de Transmisión de sonido ...	87
7.4.3.	Preparación de muestras y elementos para ensayo Ignifugo.	89
7.5	Conclusiones y recomendaciones del Capítulo II: Fase de planteamiento ..	89
8	Capitulo III: Aplicación y análisis de ensayos a probetas de Luffa Cylindrica.....	92
8.1	Aplicación ensayos en el Tubo de Impedancia Kundt	92
8.1.1.	Procedimiento de aplicación de la prueba de absorción en el tubo de impedancia	92
8.1.2.	Resultados y análisis de ensayos.	96
8.2	Aplicación ensayos de transmisión de sonido en la caja sonora.	106
8.3	Aplicación ensayos ignífugos	109
9	Capitulo IV Desarrollo de sistema y análisis de costos de producción e instalación...	113
9.1	Soporte en madera ranurada y platinas en acero	113
9.2	Soporte tipo clic individual.....	115
9.3	Análisis de costos	116
10	Conclusiones generales.	121
11	Metodología	124
12	Lista de Referencias	121
3.	Anexos	125

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Importaciones de Luffa Cylindrica.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2 Importaciones en dólares y principal proveedor</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3 Exportaciones Luffa.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Kilos exportados de Luffa Cylindrica.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5 tabla coeficientes de absorción de materiales.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 6 Comparativo espesores entre materiales absorbentes</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 7 Especificaciones de las Probetas para ser ensayadas en el tubo de Impedancia</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 8 Resultados de Muestras MC1 en el tubo de impedancia</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 9 Resultados de Muestras MC2 en el tubo de impedancia</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 10 Resultados de Muestras MR1 en el tubo de impedancia</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 11 Comparativo de materiales absorbentes en un rango de 125Hz a 1000 Hz</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 12 Comparativo de índices de absorción a los 800 Hz</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 13 Comparativo de transmisión de sonido con otros materiales</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 14 Clasificación de materiales utilizados para acabados en interiores según el índice de propagación.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 15 Área mínima establecida por la NSR-10 para permitir la instalación del material ..</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 16 Costo de Luffa para 1 M2.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 17 Costo proceso pigmentación para 1 M2.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 18 Costo de polivinilo para 1 M2.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 19 Depreciación metálico para 1 M2.....</i>	<i>117</i>

ABSORBENTE ACÚSTICO SUSTENTABLE

10

Tabla 20 Mano de obra para 1M2..... 118

Tabla 21 Valores totales 118

Tabla 22 Análisis de precios panel lufa cylindrica pigmentada con acetato de poivinilo 118

Tabla 23 Análisis de precios Unitarios del EstroPanel – Sistema 1 119

Tabla 24 Análisis de precios Unitarios del EstroPanel – Sistema 2 119

Tabla 25 Comparativo de costos 120

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Fruto de Luffa cylindrica	25
<i>Figura 2</i> Frecuencia de una Onda.....	33
<i>Figura 3</i> Onda Reflejada y transmitida	34
<i>Figura 4</i> Efectos ocasionados por el ruido	41
<i>Figura 5</i> Estructura básica de un programa de simulación electroacústica.....	48
<i>Figura 6</i> Fibra de vidrio	61
<i>Figura 7</i> Panel en madera tomado como referente	63
<i>Figura 8</i> Fibra de madera, panel acústico.....	63
<i>Figura 9</i> Panel de Low Sound, Forma.....	65
<i>Figura 10</i> Comportamiento de la onda	66
<i>Figura 11</i> Índigo, referencia formal	68
<i>Figura 12</i> Imágenes extraídas del software Ray Optic.....	69
<i>Figura 13</i> Resultado final geometrización del panel.....	70
<i>Figura 14</i> Diseños.....	71
<i>Figura 15</i> Pruebas de coloración en Luffa Cylindrica.....	72
<i>Figura 16</i> Producto final después del proceso de pigmentación	73
<i>Figura 17</i> Muestra obtenida de luffa compactada con resina poliéster	76
<i>Figura 18</i> Muestra obtenida de luffa compactada con fécula de Maíz.....	77
<i>Figura 19</i> Modulo de experimentación después de 8 meses	78
<i>Figura 20</i> Muestra obtenida de luffa compactada con Carpincol.....	79
<i>Figura 21</i> Muestra obtenida de luffa compactada con Cemento blanco	81

	12
<i>Figura 22</i> Luffa Cylindrica lavada y abierta	84
<i>Figura 23</i> Corte diámetro de 4" para tubo de impedancia.....	85
<i>Figura 24</i> Proceso de compactación de probetas	85
<i>Figura 25</i> Muestras rotuladas	87
<i>Figura 26</i> Caja adecuada para prueba de transmisión de sonido.....	88
<i>Figura 27</i> Aparatos e instrumentación del tubo de impedancia	92
<i>Figura 28</i> Ubicación de la probeta en tubo de impedancia	93
<i>Figura 29</i> Ejecución de ensayos en el tubo de Impedancia.....	95
<i>Figura 30</i> Grafica de picos obtenidos por las 10 muestras MC1 obtenidas en el tubo de impedancia	97
<i>Figura 31</i> Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MC1:	98
<i>Figura 32</i> Gráfica de picos obtenidos por las 10 muestras MC2 obtenidas en el tubo de impedancia	100
<i>Figura 33</i> Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MC2	101
<i>Figura 34</i> Gráfica de picos obtenidos por las 10 muestras MR1 obtenidas en el tubo de impedancia	102
<i>Figura 35</i> Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MR1	103
<i>Figura 36</i> Gráfica comparativa de materiales absorbentes.....	105
<i>Figura 37</i> Comparativo del índice de absorción de la Luffa Cylindrica a los 800Hz	106
<i>Figura 38</i> : Caja con la fuente sonora	107
<i>Figura 39</i> Caja con paneles de Luffa Cylindrica y la fuente sonora	108
<i>Figura 40</i> Ignición de la Luffa Cylindrica.....	111
<i>Figura 41</i> Luffa expuesta al fuego.....	111

Figura 42 Detalle del sistema de instalación, soporte en madera ranurada y platinas en acero. 114

Figura 43 Detalle del sistema de instalación de soporte tipo clic individual 115

1. Introducción

Esta investigación, busca brindar una posible solución a problemas acústicos mediante la implementación de materiales de origen natural que reduzcan el impacto ambiental, utilizando la *Luffa Cylindrica* como absorbente acústico para disminuir el fenómeno de reverberación del sonido y sustituir la espuma fonoabsorbente de poliuretano. Material derivado del petróleo, que requiere ser fabricado con procesos industriales nocivos al medio ambiente y de difícil disposición final al terminar su ciclo de vida.

Por lo tanto, se realizará un primer análisis de los materiales existentes en el mercado y se identificarán los más nocivos, tanto para el medio ambiente como para el ser humano, basados en el protocolo de Montreal el cual se implementó el 2 de octubre de 1992 en Colombia, cuyo objetivo es la reducción de gases contaminantes que afectan principalmente la capa de ozono, se identificarán cuáles son los materiales que en su composición química contienen clorofluorocarbonos e hidrobromofluorocarbonos que están catalogados como Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (SAO) (Ministerio de Medio Ambiente, 2014).

Por consiguiente, la metodología diseñada para el desarrollo del proyecto consta de cuatro fases, en primer lugar, la fase de investigación por medio de un diagnóstico inicial identificando las propiedades de la *Luffa Cylindrica* como absorbente acústico y como propuesta de acabados en recintos que requieren un confort acústico.

Apoyándose en la aplicación de pruebas técnicas y experimentos relacionados al fenómeno físico de la reverberación. En segundo lugar, la fase que consiste en el proceso de diseño, fabricación de un módulo absorbente acústico en *luffa Cylindrica* para aplicarse en un recinto y la elaboración de las muestras para ensayos. En tercer lugar, la fase consiste en el

desarrollo de pruebas y la comparación de los resultados obtenidos del absorbente acústico desarrollado con la *Luffa Cylindrica* versus la *espuma fonoabsorbente* de poliuretano. En último lugar, la fase plantea el diseño del sistema constructivo final, desarrollando elementos de instalación, evaluando costos, rendimientos y tiempos de ejecución.

Para finalizar, como resultado del proceso metodológico, se establecieron parámetros de forma, acabado, medidas a un módulo de *Luffa Cylindrica* que responde formalmente a las ondas sonoras que cumple parámetros y estándares de la Norma Sismo Resistente NSR-10, título J; en cuanto a la pruebas en el tubo de impedancia. Donde, se logró identificar los niveles de absorción de la *Luffa Cylindrica*, por último, el desarrollo de un sistema de envolvente acústico.

2. Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes.

Es importante, resaltar la evolución arquitectónica específicamente a la arquitectura acústica (Rama de la acústica aplicada a la arquitectura). La cual remonta desde la época de la civilización Griega y Romana puesto que:

Los griegos crearon sus teatros al aire libre, en los mismos se realizaban obras teatrales y presentaciones musicales, estos aprovecharon el reflejo de las gradas para duplicar el sonido y de esta manera que la sonoridad quedase protegida por las gradas (Arqhys, s.f, párr. 4)

Ahora bien, desde que descubrió el fenómeno de la reverberación, por el padre de la acústica Wallace Clement Sabine, quien dio la apertura a desarrollarse una infinidad de estudios e investigaciones sobre los fenómenos del sonido, dando como resultados patentes relacionadas con el planteamiento de nuevos materiales.

A continuación, se presentan algunos de los estudios relacionados a la temática considerada dentro de la absorción acústica y una concisa síntesis de aquellos estudios con mayor importancia; se describirán algunos libros dedicados al diseño acústico planteado desde la arquitectura y la materialidad. Es importante, mencionar el libro Acústica Arquitectónica escrito por el Ingeniero Civil, Auguste Raes del cual se toman las características técnicas, físicas que deben tener los materiales absorbentes, los métodos y ensayos que existen para ejecutar las respectivas mediciones. Ilustrando, una amplia gama de materiales existentes, planteados como soluciones al fenómeno de la reverberación.

Ahora bien, para profundizar en el concepto de reverberación cabe resaltar la obra titulada *Diseño acústico de espacios Arquitectónicos* del Ingeniero Antoni Carrión, quien presenta un completo estudio, análisis y definiciones sobre la absorción acústica. Presentando con detalle las diferentes características de absorción de los elementos que conforman un espacio, la resonancia, la importancia de las texturas y porosidades que debe tener un material de absorción; además de la resistividad al flujo como propiedad que tiene el aire para ingresar a un material poroso.

Por último, se analizaron los siguientes trabajos de grado *Luffa Cylindrica como adsorbente natural de ion cianuro en medio acuoso*, elaborado por Jorge Arana, Sebastián Gonzáles, Luisa Navarrete y Obradith Caicedo, investigación realizada en la Universidad Nacional de Colombia. Este trabajo, es un estudio que evalúa las características de absorción de la *Luffa Cylindrica* así mismo, alternativas que van desde el uso de cubetas de huevos y fibras naturales como el *Yute*, *Esparto*, *lana de oveja* y *fibra de Kapok*. Además, tienen estudios y mediciones que avalan sus características fonoabsorbentes y sirven de guía metodológica para el desarrollo de otros prototipos

1.2. Descripción y formulación del problema

Los altos coeficientes de absorción acústica, que tienen materiales derivados del petróleo como la espuma fonoabsorbente, conocida en el mercado como *Low sound* y usada principalmente para reducir los tiempos de reverberación en recintos donde se requiere ciertos niveles de confort acústico. Por ejemplo, discotecas, restaurantes, centros de convenciones, sets de televisión, estudios de grabación, call centers, oficinas abiertas, salas de juntas, bares, polideportivos, gimnasios, iglesias, etc. Además, cuenta con múltiples diseños troquelados para suplir los requerimientos arquitectónicos de cada espacio.

Ahora bien, por tratarse de un material derivado del petróleo agrupado en los polímeros y catalogado como SAO por el protocolo de Montreal, en el contexto actual y bajo la importancia que tiene el cambio climático; hace replantear el uso de materiales tales como: la espuma fonoabsorbente, la fibra de vidrio, planchas de poliuretano y enfocarse en la creación de nuevas alternativas que respondan a cabalidad con las mismas características acústicas y funciones arquitectónicas, en consecuencia que sean amigables con el medio ambiente.

Aun cuando, se han planteado soluciones alternativas de bajo costo que responden a las necesidades de absorción, como lo es la implementación de paneles con cubetas de huevo, fibra de kapok, yute, coco, guadua, lana de oveja, esparto y paneles de fibras de madera. Han sido poco aceptados en el mercado por su rusticidad y no aportar un acabado como envolvente arquitectónica, por lo tanto, se plantea el uso de la *Luffa Cylindrica* como propuesta, solucionando un sistema acústico y arquitectónico.

Con el fin de establecer materiales amigables, con el medio ambiente y que cumplan con los estándares de los existentes es importante suplir la necesidad de controlar fenómenos de ruido como la reverberación que distorsiona el sonido, problemática que afecta a un sin número de recintos anteriormente mencionados que no cuenta con un diseño adecuado de acústicidad que permita a los usuarios una mejor audición de las actividades, repercutiendo en el proceso auditivo.

1.3. Pregunta problema

¿Es posible realizar un absorbente acústico usando la *Luffa cylindrica* para disminuir el efecto de reverberación, reemplazando la espuma fonoabsorbente de poliuretano como acondicionamiento acústico y arquitectónico?

2. Justificación

Para el desarrollo de esta investigación, se tuvo en cuenta que uno de los fenómenos presentes en la actualidad de la construcción es la huella ambiental que genera la producción de materiales cada vez más especializados para diversos usos en la construcción. Un ejemplo de este fenómeno es la implementación de materiales derivados del petróleo para lograr un confort acústico en distintos recintos, la disposición final de dichos materiales al terminar su ciclo de uso o al ser reemplazados por otros más actuales; se hace cada vez más difícil y su degradación es imposible, materiales como el polietileno tardan más de un siglo en descomponerse.

Dada la importancia que tiene hoy en día, el tema de la contaminación ambiental producida por varios factores entre estos los diferentes materiales que se utilizan para la construcción, se consideraron relevante buscar una alternativa que permitiera el uso de fibras naturales, además, de esto que no superará los costos de los materiales de absorción que se comercializan actualmente.

De acuerdo con lo anterior, se puede reflexionar sobre la importancia del uso y la implementación de nuevos materiales de fácil transformación y que sean biodegradables; teniendo en cuenta los avances notables en algunos países donde ya existen acuerdos consolidados sobre el uso de los recursos no renovables. Un ejemplo de esto, son los países europeos donde firmaron el protocolo de *Montreal* el cual controla productos químicos que agotan la capa de ozono denominados como SAO; es por esta razón, que antes de iniciar una construcción es de vital importancia determinar las afectaciones negativas que pueden ocasionar los materiales a utilizar en las obras (Vélez, 2017).

Por otra parte, en el caso de Colombia a partir del siglo XX se ha generado un desequilibrio en el ecosistema dado el aumento de los materiales que se usan para diferentes fines, uno de estos es la *espuma fonoabsorbente poliuretano*, otros factores como la tala de bosques, explotación de yacimientos petroleros e intervenciones a la naturaleza, presenta una condición vulnerable para el país es por esto que, se debe fomentar la necesidad de crear conciencia e implementar estrategias con el fin de recuperar y conservar los recursos naturales para un desarrollo sostenible (Mauri, 2010).

Así mismo, El ministerio del medio ambiente colombiano dentro de sus programas tiene como objetivo la implementación del protocolo de Montreal, fomentando el desuso de materiales catalogados como SAO y la disposición final de estos mismos (Ministerio del ambiente 2019). Es así como, este proyecto propone como material principal la *Luffa Cylindrica* como absorbente acústico en la construcción. La Luffa llamada también *esponja vegetal* posee características físicas que permiten catalogarse un material de alto potencial permitiendo contribuir al uso de materiales más amigables con el medio ambiente (Navarrete, 2009).

3. Hipótesis

El absorbente acústico desarrollado con la Luffa Cylindrica podría ser una alternativa ecológica con las mismas propiedades de la espuma fonoabsorbente de poliuretano, utilizada actualmente en recintos que requieren confort acústico.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar el uso de la Luffa cylindrica como alternativa acústica, adaptado a un sistema de acondicionamiento arquitectónico interior de absorción del ruido, que iguale o supere las características técnicas de la espuma fonoabsorbente de poliuretano.

- 4.2. Objetivos Específicos
- Caracterizar la luffa cylindrica, determinando las propiedades físicas y químicas, realizando pruebas ignifugas y sonoras al material, para someter los resultados a comparación frente a otros materiales de carácter natural y sintético usados como absorbentes acústicos.
- Desarrollar un sistema de absorción acústico tipo panel con características de recubrimiento arquitectónico, usando como materia prima la luffa Cylindrica y aglomerantes de tipo natural y sintético.
- Implementar un sistema arquitectónico del panel desarrollado en luffa Cylindrica solucionando temas de producción, fijación, proceso de instalación, mantenimiento y costos.

5. Marco referencial

La presente investigación, se desarrollará solamente con base en la recolección de información secundaria existente de investigaciones previas de la *Luffa Cylindrica* y materiales desarrollados de tipo natural, datos estadísticos disponibles en páginas públicas y demás información de interés, debido a que este es un producto que aún sigue en investigación.

Ahora bien, los esfuerzos realizados en el área de medición han sido abordados con la ayuda de la Universidad San Buenaventura, por medio de docentes de la facultad de ingeniería de sonido quienes se han dado a la tarea de realizar las mediciones del coeficiente de absorción de la *Luffa Cylindrica*. En efecto la literatura encontrada, permite determinar de forma preliminar, un análisis físico y químico de la *Luffa Cylindrica*, cumpliendo con el objetivo del presente proyecto.

Del mismo modo, todas las condiciones técnicas referentes al uso de la *Luffa Cylindrica* como investigaciones de carácter técnico, caracterización estructural, física, comportamental de la fibra, no serán evaluadas ni investigadas por los autores de la investigación y por tanto, no harán parte del alcance del proyecto.

5.1. Marco teórico

Para el desarrollo del marco teórico de esta investigación, es importante tomar como punto de partida el material elegido y las teorías planteadas alrededor de la *luffa cylindrica* explorando estudios, pruebas aplicadas a este material y diversas hipótesis planteadas como posible material para uso en la construcción.

5.1.1. Luffa cylindrica:

5.1.1.1. *Definición.*

Es importante definir el concepto entendiéndose como: “El estropajo, también conocido como *Luffa cylindrica*, es una enredadera de la familia de las cucurbitáceas” Tanobe et al, (2005) citado por Navarrete (2009, p. 13). Científicamente ha sido definida con varios nombres uno de ellos *Luffa aegyptiaca*, *Momordica operculata* y *Momordica Cylindrica*, entre otros. Hace parte de la familia Cucurbitácea de más de 750 especies y 90 géneros, dentro de estos géneros los más conocidos son la *Luffa acutángula* y la *Luffa cylindrica*, comúnmente las más cultivadas.

5.1.1.2 *Descripción*

De acuerdo con la definición anterior, el estropajo es una enredadera que da frutos cada 12 meses, constituida por una raíz principal, raíces secundarias con capilaridades absorbentes, tallos sólidos y huecos al madurar. Esta *Luffa*, pueden llegar a medir hasta 15 m de longitud puesto que son plantas trepadoras y entrenudos. Su longitud varia, además, de cada nudo nace una rama y de esta una flor femenina, un racimo de flores masculinas y una yema.

Cabe resaltar, que las flores femeninas son importantes ya que de estas depende el proceso de germinación de los frutos, por lo general se componen de un pedicelo largo, ovario ínfero, cilíndrico, liso, de 2 a 10 cm de largo y un pistilo dividido en tres ramas cortas. Además, las flores abren en el día y permanecen así por dos días, son de buen tamaño, con coronas amarillas conformadas por cinco pétalos y un cáliz verde.

Además, el fruto antes de madurar es de consistencia blanda, externamente presenta unas líneas marrones, en la parte interna se presenta la red entramada de fibras, todas presentan tres cavidades, las cuales albergan las semillas. Su tamaño oscila entre 20 cm y 70 cm según la especie su diámetro esta entre 20 y 25 cm en la base y 10 a 15 cm en la corona, su peso promedio puede llegar a 3 kg sin cosechar y seco disminuye hasta 100 gramos (Ecuador, 2005).



Figura 1 Fruto de *Luffa cylindrica*
Representación de la *Luffa Cylindrica* en su estado natural.
Fuente: <http://cerev.info/addzthis-estropajo-planta-nombre.htm>

Por otra parte, como lo menciona (Navarrete, 2009) para el cultivo de la *Luffa* se requieren suelos húmedos que contengan un gran porcentaje de materia orgánica, la temperatura ideal para esta planta oscila entre los 20°C y los 25°C, climas cálidos tropicales para asegurar cosechas de alta calidad, puede producirse en cuatro meses, esto permite tres cosechas al año de unos 40 fruto por planta, y unos 200.000 frutos por hectárea

Así mismo, la *Luffa* cuenta con una estructura que permite unas propiedades absorbentes y mecánicas compuesta por cuatro capas que son flexibles y fibrosas dando gran fuerza a esta, además presenta su forma esponjosa que ayuda en la absorción de sonido, de igual forma la *luffa*

permite ser bio-adsorbente debido a su forma con sistema vascular fibroso y de membranas que se forman en serie, cada una de ellas en diferentes direcciones siendo así un filtro de alta capacidad absorbente incluso de minerales y metales (Pereira, Muñoz y Peluffo, 2017).

5.1.1.3. Cosecha

Para el proceso de recolección se deben cosechar los frutos rectos y de mejor desarrollo de acuerdo a los estándares del mercado; la recolección se realiza manualmente, el momento más indicado para cortar un fruto es cuando su color se torna amarillo, sin llegar al color café o cuando el extremo es de color naranja, esto inicia al cuarto mes.

Una vez recolectadas las Luffas se cortan sus extremos, se realiza un corte superficial a lo largo y se dejan sumergidos en agua hasta que la cáscara se biodegrade y se despegue con facilidad, este proceso tarda entre 2 y 3 días, al finalizar el desprendimiento de la cascara se lavan e inicia el proceso de secado, es importante tener en cuenta que debe ser a la sombra evitando que la Luffa se manche (Ávila y Díaz 2002).

5.1.1.4. Usos

Hay que mencionar además, la Luffa Cylindrica tiene diversos usos como lo menciona Ávila y Díaz (2002):

Suelas para zapatillas o sandalias, rellenos para las industrias automotriz (relleno de asientos), mobiliaria (relleno de muebles) y textil, base para cierta variedad de papel, filtros para piscinas, filtros para agua y aceite; en Norte América y Japón es considerada como excelente filtro en calderas de buques, locomotoras, bodegas,

destilerías y diversas maquinarias, amortiguadores de ruido y en grandes fábricas con equipos a vapor (p.10).

Además, tiene usos de tipo industrial entre los que se puede traer a colación como lo son filtros para agua y aceite, mobiliario y textil, calzado, rellenos para las industrias automotriz, filtros para piscinas, base para cierta variedad de papel y cartón, el uso más cercano como acondicionamiento acústico se presenta como amortiguadores de ruido en fábricas con equipos a vapor, también utilizado como producto de usos caseros y artesanales.

5.1.1.5. Procesado

A continuación, se hablará procesado de la Luffa, mencionado Ávila y Díaz (2002). Luego del cosechado, inicia la fase de secado, este tarda en promedio de una semana, debe realizarse bajo techo por ventilación cruzada, se recomienda no exponerlo directamente al sol, pues esto afecta directamente la fibra dejándola quebradiza, si el proceso se realiza de forma lenta pueden desarrollarse hongos, produciendo manchas y afectando la calidad del material; existen algunos tratamientos como aplicar cal para minimizar el riesgo de la aparición de hongo. Dicho lo anterior, para el blanqueo de la Luffa como lo afirman Ávila y Díaz (2002):

Se pueden utilizar varios procesos en los que se utiliza, ya sea el carbonato de calcio o el cloruro de calcio. En algunos países se utilizan los blanqueadores y desinfectantes de uso doméstico, sin embargo, esto puede reducir la aceptación del producto por parte del consumidor por el uso de sustancias químicas en fibras vegetales (p.11).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, esto puede influir en la aceptación de la Luffa por parte del comprador; se debe tener en cuenta que la Luffa de tipo exportación, debe cumplir con los siguientes requisitos, resistencia, elasticidad y compactación, las Luffas suaves se destinan para uso cosmético o textil y las más abrasivas para uso industrial.

5.1.1.6. Importaciones

Con respecto a las importaciones y acorde a la información establecida en las bases de datos de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD], los principales países importadores de Luffa y productos fabricados a partir de la fibra son, EEUU, Unión Europea, Hong Kong, Japón y Canadá, a continuación, se muestran los valores en millones de dólares de importaciones que cada país realiza al año.

Tabla 1 Importaciones de Luffa Cylindrica

País	Importaciones (US\$ ´000)
Estados Unidos	349,554
Unión Europea	274,489
Hong Kong	99,617
Japón	99,546
Canadá	17,579

Nota: Países exportadores de Luffa Cylindrica y exportaciones en millones de dólares UNCTAD Citado por Ávila y Díaz (2002). Sondeo del mercado mundial de Estropajo (Luffa cilíndrica) Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
Recuperado de <https://bit.ly/2OzZiKu>

De acuerdo a la anterior tabla, Estados Unidos es el principal importador de Luffa, esto nos da una perspectiva del nicho de mercado logrado para los productos bajo la denominación 460210 código de importación para los productos de fibra natural, le sigue la Unión Europea

como un agregado de varios países, por consiguiente, fue necesario consultar las importaciones de algunos países europeos de acuerdo a la base de datos de Proexport y filtrar cual es el mayor proveedor de Luffa.

Tabla 2 Importaciones en dólares y principal proveedor

País	Importaciones (US\$ CIF) 2000	Importaciones (US\$ CIF) 2001	Principal país proveedor (participación %)
Alemania	69´087,199	68,343,739	China (49.64%)
Francia	53´296,263	56´134,516	China (36.22%)
Reino Unido	38´039,126	44´517,291	China (62.16%)
Italia	35,300,970	35,025,403	China (62.42%)
Bélgica	28,185,463	24,553,700	China (45.90%)

Nota: La tabla muestra cuales son los principales proveedores de las importaciones en dólares de la Luffa Proexport – Colombia Citado por Ávila y Díaz (2002). Sondeo del mercado mundial de Estropajo (Luffa cilíndrica) Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
Recuperado de <https://bit.ly/2OzZiKu>

Es necesario recalcar que, en el caso específico de los países europeos mencionados por Ávila y Díaz (2002), Alemania lidera en la parte alta de la tabla puesto que es el país mayoritario en importaciones de materia prima y productos derivados de la Luffa, en segundo lugar, se encuentra Francia con un valor nada despreciable mientras tanto, los demás países que conforman la tabla importan menos. Pero, concentran su compra a un solo proveedor, se debe destacar el protagonismo que tiene China como proveedor a nivel mundial, con una participación superior al 50% en las exportaciones.

5.1.1.7. Exportaciones

En relación con las exportaciones, el panorama latinoamericano en cuanto a exportación es bastante optimista la mayor representación del mercado la tiene México, exportando variedad de productos elaborados a partir de la Luffa y una variedad de fibras vegetales. De acuerdo con la

revista Asociación Latinoamericana de Diabetes [ALAD], la siguiente tabla refleja una muestra las exportaciones en un periodo de dos años representados en miles de dólares.

Tabla 3 Exportaciones Luffa

País	Exportaciones (US\$ '000 FOB) 2000	Exportaciones (US\$ '000 FOB) 2001	Exportaciones (US\$ '000 FOB) 2002
México	694	699	111/3M*
Colombia	285	72	33/4M
Perú	51	106	65/5M
Ecuador	58	61	9/4M
Venezuela	14	15	0/5M

Nota: La anterior tabla representa el número de meses que han transcurrido del año 2002 y para los cuales corresponde el valor mostrado. Asociación Latinoamericana de Integración [ALADI] citado por Ávila y Díaz (2002). Sondeo del mercado mundial de Estropajo (Luffa cilíndrica) Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo Recuperado de <https://bit.ly/2OzZiKu>

De acuerdo con la tabla anterior, y el análisis realizado por Ávila y Díaz (2002) el principal importador de Luffa latinoamericana es EEUU, además, la Luffa colombiana además de los EEUU tiene un nicho comercial en Venezuela. Mostrando un mercado cambiante. A continuación, la siguiente tabla, se puede observar el comportamiento de las exportaciones en un periodo de dos años y mostrando unos bajones que se pueden atribuir a la entrada de China al mercado.

Tabla 4 Kilos exportados de Luffa Cylindrica

Año	Peso neto (kg)	Valor (US\$ FOB)
2000	28,462	286,032
2001	12,656	69,828
2002 (enero-agosto)	4,853	69,957

Nota: Proexport Colombia citado por Ávila y Díaz (2002). Sondeo del mercado mundial de Estropajo (Luffa cilíndrica) Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
Tomado de <https://bit.ly/2OzZiKu>

Por lo anterior, se puede concluir que la luffa Cylindrica tiene un nicho de mercado ya establecido y es un producto que se comercializa a nivel global, lo que puede representar una

gran ventaja para la comercialización del producto natural y en dado caso la comercialización de productos fabricados y o derivados de la misma.

5.2. Conceptos fundamentales y definiciones de la acústica

A continuación, se detallan las definiciones de algunos de los conceptos fundamentales que aparecen en esta investigación, teorías básicas como el sonido, el ruido, sus diferencias, los tipos de ondas y la transmisión de las mismas, como puente o fase de entendimiento teórico del comportamiento físico de este fenómeno, luego se encontraran las definiciones de los fenómenos o alteraciones del sonido en el medio de propagación y los efectos contraproducentes que estos tienen en la salud de las personas, para finalizar con las acciones y planteamientos que mejoran las condiciones acústicas de los recintos.

5.2.1. El Sonido

El sonido, es una alteración que se extiende por un medio, por ejemplo, el aire. Se puede equiparar el sonido con las ondulaciones producidas en un tanque al tirar una roca, se crea un epicentro que sería el lugar donde cae la piedra, y la onda de propagación que representa la alteración, son las ondas que aparecen en la superficie del agua.

Para ser más técnicos, se define sonido como la variación en la presión detectada por el oído humano. Es sabido que el oído humano sólo es capaz de distinguir los sonidos cuya frecuencia está entre los 20 s.f. y 16 KHz aproximadamente; por debajo de los 20 s.f. se extiende la banda de los infrasonidos y por encima de los 16 KHz. la banda de los ultrasonidos.

5.1.2. El Ruido

Se puede definir como un sonido molesto o la sensación sonora no deseada. Por lo tanto, no existe un criterio fijo para determinar si un sonido es o no ruido; es un concepto subjetivo estrechamente relacionado con la contaminación acústica debido a que ésta se da cuando el ruido es considerado como un contaminante, teniendo importantes efectos nocivos sobre los seres humanos. El ruido puede ser clasificado de forma genérica en función de la frecuencia. Así se distinguen los siguientes tipos de ruido:

Ruido blanco: Se trata de un tipo de ruido que tiene la misma energía en todas las frecuencias. Su espectro en tercios de octava es una recta de pendiente 3 Vd. /octava.

Ruido rosa: El nivel de energía de este tipo de ruido decae a razón de 3 Vd. /octava. El espectro, en tercios de octava, es un valor constante.

5.1.3. Diferencia entre sonido y ruido

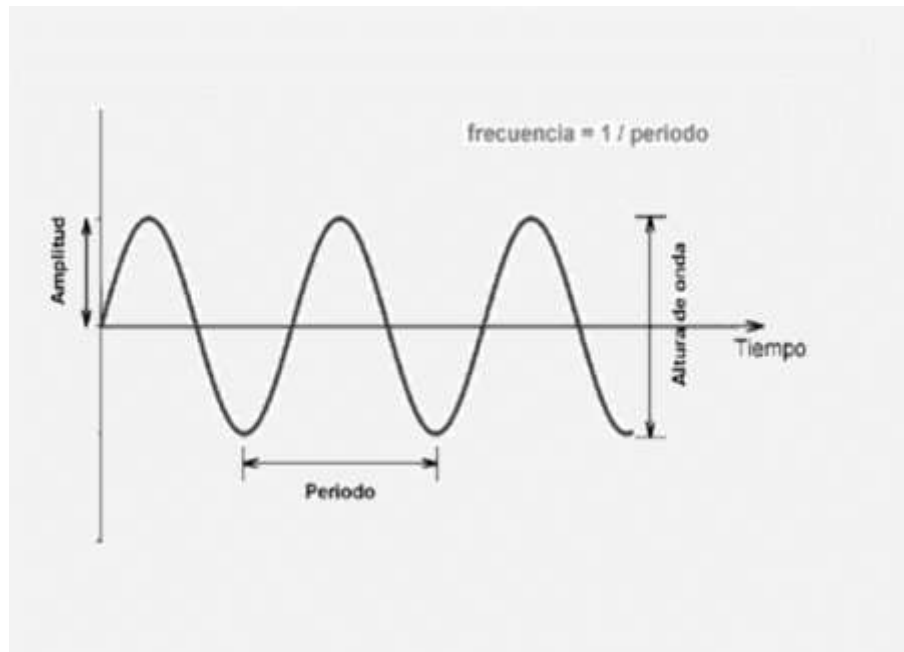
Dentro de la corrección acústica no se habla de “sonido” sino de “ruido”. Esta diferenciación, que puede parecer un juego de palabras, es de vital importancia pues en términos básicos el ruido carece de armonía en el sonido obedece a un patrón distinguible, mientras que el ruido es una irregularidad sin patrones, en otros términos, cualitativamente el sonido es agradable y el ruido por el contrario es desagradable.

5.1.4. Ondas acústicas

Corresponde al fenómeno físico de la vibración del aire caracterizada por una sucesión periódica en el tiempo y en el espacio de compresiones y expansiones. Lo anterior también se denomina ondas sonoras. Las ondas se clasifican en dos tipos:

Ondas transversales: La vibración asociada a la perturbación es perpendicular a la dirección de propagación. Estas ondas únicamente pueden propagarse en medios sólidos.

Ondas longitudinales: la vibración asociada a la perturbación presenta la misma dirección que la propagación. Las ondas longitudinales representan un cambio en el volumen y se pueden propagar en cualquier medio. Dentro de este grupo quedan englobadas las ondas sonoras.



[Figura 2](#) Frecuencia de una Onda
Tomado de Wikipedia

Para que una onda acústica quede definida, es necesario conocer sus parámetros ondulatorios mostrados en la anterior figura donde se ilustra la amplitud, el periodo, la altura total y el tiempo, que a continuación se definen.

Periodo (T): Tiempo que tarda en producirse un ciclo completo de la onda sonora. Su unidad de medida es el segundo (s).

Frecuencia (f): Es el número de pulsaciones de una onda acústica senoidal que ocurren en el tiempo de un segundo. Equivale al inverso del periodo. La unidad de medida es el hertzio (s.f.).

Velocidad del sonido (c): Es la velocidad a la que se propaga la onda acústica en un medio elástico, y sólo dependerá de las propiedades de éste. Su unidad de medida es en metros por

segundo (m/s). La velocidad del sonido en el aire, para 0°C y 1 atmósfera, es de 331,20 m/s; para las condiciones normales de un local esta velocidad es prácticamente 340 m/s.

Longitud de onda (l): Es la distancia entre puntos análogos en dos ondas sucesivas. Se mide en metros (m). La longitud de onda está relacionada con la velocidad del sonido, frecuencia y periodo

Amplitud: Es el desplazamiento máximo respecto a la posición de equilibrio. La amplitud del sonido ambiental es prácticamente despreciable, del orden de 10^{-7} hasta algunos milímetros.

5.1.5. Distribución espacial del sonido

Cuando una onda sonora choca con un material o una superficie, una fracción de ella se absorbe, parte se refleja y el resto se transmite. Existe, por tanto, un vínculo inminente entre la energía incidente y la energía captada, reflejada y transmitida, a continuación, en la siguiente grafica se observa el fenómeno de distribución.

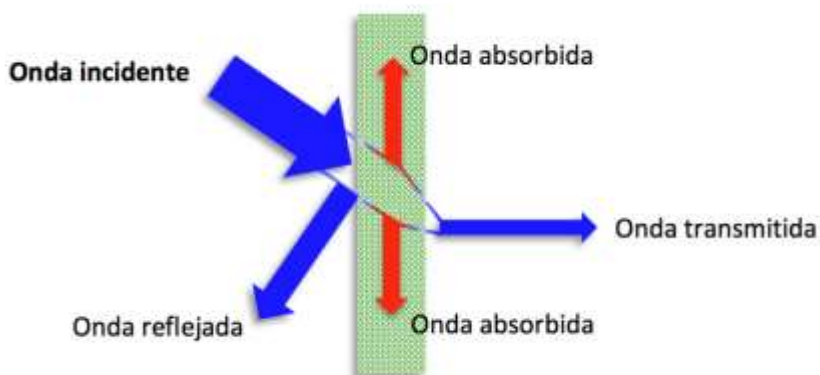


Figura 3 Onda Reflejada y transmitida
Tomado de <http://musiki.org.ar>

5.1.6. Absorción acústica

La absorción acústica se refiere a las diferentes propiedades con las que cuentan los materiales para absorber el sonido, es decir la capacidad que tiene el material para disminuir el paso de la onda incidente y minimizar la onda transmitida. Por ejemplo, cuando un sonido choca contra una pared este sonido es aislado por esta, sin embargo, otra parte del sonido es transmitida al espacio. Los fragmentos de sonido se dividen en: coeficiente de reflexión de energía, coeficiente de absorción, coeficiente de transmisión de energía.

Teniendo en cuenta lo anterior, para que un material absorba el sonido debe ser en su interior poroso cerrado con el fin de que éste golpee contra las paredes del material, cabe aclarar que el espesor del material es fundamental en la absorción del material es decir entre mayor sea su densidad, menor en la absorción de sonido. No obstante, la onda sonora penetra hasta determinada profundidad dependiendo la densidad, porosidad, geometría, rigidez, distancia y velocidad del sonido (López 2017).

5.1.7. Reflexión acústica

Cuando la onda acústica incide sobre el material, parte de la onda rebota y se refleja cambiando de dirección. Así, la reflexión del sonido representa el porcentaje de energía acústica incidente que refleja la superficie. Según esto, el coeficiente de reflexión se define como la relación existente entre la energía acústica reflejada y el incidente.

Este fenómeno tiene lugar cuando la cara del material es lisa y dura, como, por ejemplo: el ladrillo, el concreto, los pisos en tableta, etc. En acústica, estos materiales que tienen una elevada reflexión se usan como aislantes de ruido externo, es decir, fuera del recinto (López 2017).

5.1.8. Contaminación Acústica

Incluida en los problemas medioambientales, la contaminación acústica hace parte de las problemáticas que afectan y degradan el medioambiente. Aunque, hasta hace poco tiempo, este tipo de contaminación ha estado en un segundo plano sin que se le otorgase la importancia que le corresponde. En la actualidad el ruido es una de las principales causas de preocupación entre la población de las ciudades por ser considerado según la organización Mundial de la Salud [OMS] como uno de los mayores responsables del deterioro del nivel de calidad de vida y por los efectos nocivos que éste provoca en la salud, afectando el comportamiento y las actividades humanas. Las principales razones por las cuales no se había identificado el ruido como un contaminante se debía a tres factores fundamentales:

- Se trataba de una contaminación localizada, es decir no afectaba globalmente como lo son las emisiones de CO₂, por lo tanto, solo afectaba a un entorno inmediato a la cercanía de la fuente sonora.
- Los efectos perjudiciales en la salud humana, en general, no aparecían hasta cierto tiempo después, es decir, sus efectos no se presentan de inmediato.
- A diferencia de otros tipos de contaminantes es común considerar el ruido como un fenómeno inevitable, básicamente se percibe como el resultado del progreso y el desarrollo.

En un informe de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) se señala que en las décadas de los años sesenta y setenta se produjo un desarrollo muy notable de los modernos medios de transporte y de sus índices de utilización, originándose un aumento

considerable en los niveles de ruido ambiental. Además, en Bogotá D.C. las fuentes móviles como el tráfico tanto aéreo como terrestre y publicitario, aporta el 60% de la contaminación auditiva, estas fuentes de ruido superan los 85Vd superando los límites establecidos, el 40% restante corresponde a las fuentes fijas como lo son establecimientos de comercio abiertos al público, pymes, grandes industrias, construcciones, etc.

Por otra parte, para una correcta interpretación de estos datos es importante saber que por debajo de 45 Vd. no se perciben molestias; con sonidos de 55 Vd. un 10% de la población se ve afectada y con 85 Vd. todos los seres humanos se sienten alterados. Así, aunque la presencia del sonido es consustancial en nuestro entorno y forma parte de los elementos cotidianos que nos envuelven, éste se puede convertir en un agente agresor en forma de ruido, ya que es un contaminante de primer orden y puede generar patologías específicas.

5.1.9. Fuentes de contaminación acústica

Dentro de la contaminación acústica, es importante mencionar dos grupos de fuentes productoras de ruido como son:

- Fuentes naturales (viento, sonido del mar, etc.)
- Fuentes antropogénicas: son aquellos ruidos que se dan a causa de las diferentes actividades humanas por ejemplo (sector industrial).

Cabe resaltar, que de acuerdo con lo expuesto en Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011-2023 publicada en el (2011) los elementos que causan este tipo de contaminación se asocian con los procesos derivados principalmente del transporte por carretera,

tráfico ferroviario, tráfico aéreo, industria, obras de construcción y civiles y actividades recreativas entre otros. Los vehículos de motor suponen casi el 80% de las fuentes productoras de contaminación acústica, el 10% corresponde a las industrias, el 6% a ferrocarriles y el 4% a bares, locales públicos, talleres industriales, etc.

5.1.10. Efectos sobre la salud

Hay que mencionar, además las investigaciones realizadas por la OMS y la OCDE y el Ministerio de Medio Ambiente. Con el pasar de los años y en las últimas décadas, diferentes investigaciones han logrado demostrar que la contaminación sonora afecta la salud de las personas que producen una serie de efectos fisiológicos y psicológicos de naturaleza muy diversa. A continuación, es importante mencionar algunos de los efectos nocivos provocados por el ruido:

a. Malestar.

Es el efecto más común del ruido sobre las personas, es aquella sensación de malestar que interfiere con la actividad en curso o con el reposo y otras sensaciones menos definidas. Pero, a veces muy intensas de estar siendo perturbado como son: intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Todo ello contrasta con la definición de *salud* dada por la OMS (1946) "Un estado de completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad".

b. Interferencia con la comunicación

De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) en el año (2007):

El nivel del sonido de una conversación en tono normal oscila entre los 50 y 55 dBA. Hablando a gritos se puede llegar a 75 u 80 Vd. Por otra parte, para que la

palabra sea perfectamente inteligible es necesario que su intensidad supere en alrededor de 15 dBA al ruido de fondo.

Por lo anterior, un ruido superior a 35 o 40 Vd. provocará dificultades en la comunicación oral que sólo podrán resolverse, parcialmente, elevando el tono de voz. A partir de 65 Vd. de ruido, la conversación se torna extremadamente difícil (p.117).

c. Pérdida de atención, de concentración y de rendimiento.

Cuando la realización de una tarea necesita la utilización de señales acústicas, el ruido de fondo puede enmascarar estas señales o interferir con su percepción. Por otra parte, un ruido repentino producirá distracciones que reducirán el rendimiento en muchos tipos de trabajos, especialmente en aquellos que exijan un cierto nivel de concentración.

En ambos casos la realización de la tarea se ve afectada, apareciendo errores y disminuyendo la calidad y cantidad de esta. Además, algunos accidentes, tanto laborales como de circulación, pueden ser debidos a este efecto (Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2007, p. 117).

d. Daños al oído

Los daños ocasionados al oído, son:

Un efecto físico que depende únicamente de la intensidad del sonido, aunque sujeto a variaciones individuales. En la sordera transitoria o fatiga auditiva no existe aún lesión. La recuperación es normalmente casi completa al cabo de dos horas y

completa a las 16 horas de cesar el ruido, si se permanece en un estado de confort acústico (menos de 50 Vd. en vigilia o de 30 durante el sueño).

La sordera permanente está producida por: exposiciones prolongadas a niveles superiores a 75 dBA, sonidos de corta duración de más de 110 dBA, o bien por acumulación de fatiga auditiva sin tiempo suficiente de recuperación. Hay lesión del oído interno (Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2007, p.118).

e. Estrés

Por otra parte, otro efecto importante del ruido es el estrés como lo menciona la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (2007):

Las personas sometidas de forma prolongada a situaciones como las anteriormente descritas (ruidos que hayan perturbado y frustrado sus esfuerzos de atención, concentración o comunicación, o que hayan afectado a su tranquilidad, su descanso o su sueño) suelen desarrollar algunos de los síndromes como hipertensión o afectaciones al sistema linfático.

Para evitar estos efectos las legislaciones europeas marcan como límite aceptable 65 Vd. durante el día y 55 Vd. durante la noche, ya que la capacidad auditiva se deteriora en la banda comprendida entre 75 Vd. y 125 Vd. y pasa a un nivel doloroso cuando se superan los 125 Vd.; alcanzándose el umbral de dolor a los 140 Vd. (p. 118).

A continuación, en la figura se muestra en la primera columna los valores a partir de los cuales, se empiezan a sentir el malestar u incomodidad del ruido dependiendo de la sensibilidad

individual. Así mismo, en la segunda columna se muestran los efectos que ocasiona el ruido en la salud del ser humano.

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, discotecas)		100	4 horas	Deterioro auditivo

Figura 4 Efectos ocasionados por el ruido
Tomado de: OMS (Organización Mundial de la Salud)

5.1.11. Control de la contaminación acústica

El control del ruido ambiental está basado en una amplia diversidad de estrategias. Para que se dé el problema de contaminación acústica se necesitan al menos tres factores: una fuente sonora, un medio de propagación y un receptor. Así, la actuación debe dirigirse hacia cada uno de estos factores de una manera eficaz.

5.1.12. Fuente sonora

La acción más directa y eficiente contra los niveles de ruido excesivo es la reducción del ruido en la propia fuente. En este sentido, en muchos países desarrollados existen regulaciones sobre los niveles máximos permitidos para la emisión sonora por parte de diversas fuentes como vehículos de motor, aviones, vehículos empleados en construcción y obras públicas, etc. En términos generales, las estrategias más efectivas para reducir su impacto sobre las personas consisten en rediseñar o reemplazar los vehículos o equipos ruidosos por otros más silenciosos.

5.1.13. Medio de propagación

El medio de propagación. En este caso hay que destacar la importancia de una adecuada planificación urbanística. Así, una reducción adicional en los niveles de ruido puede obtenerse aumentando simplemente la distancia existente entre el receptor y la fuente de ruido. Además, los niveles de contaminación sonora producidos por una autopista sobre una zona residencial se pueden reducir sustancialmente planificando adecuadamente esa vía de tráfico y mediante un diseño urbanístico muy cuidadoso de dicha zona. La transmisión del sonido se puede controlar también usando pantallas o barreras acústicas.

5.1.14. Receptor

En este caso, el mejor ejemplo de control de ruido, mediante esta estrategia se encuentra en la utilización de dispositivos de protección personal. En sentido amplio se incluye también el aislamiento acústico de edificios. Por otra parte, una política efectiva destinada a controlar con éxito el ruido ambiental exige la aplicación de una larga serie de acciones específicas tomadas en orden secuencial.

La primera fase, consiste en una cuidadosa evaluación de los problemas planteados: identificación de las principales fuentes de ruido, análisis de sus características, medida de los niveles sonoros. Esta tarea, se basa en la elaboración de un mapa sonoro de la zona considerada en la segunda fase, se realiza una formulación realista de los objetivos a alcanzar. La tercera fase, se aplican los principios técnicos y administrativos más efectivos para alcanzar los objetivos señalados. Se debe agregar que, en el diseño de las iniciativas destinadas a controlar un problema de contaminación sonora debe tenerse en cuenta que todos los problemas consisten en una cadena con tres eslabones diferentes: la fuente de ruido, el camino de transmisión sonora y el receptor.

De manera que, las medidas o actuaciones para controlar el ruido pueden ser aplicadas únicamente a algunos de estos tres elementos o a todos ellos en su conjunto. Por último, la fase cuarta consiste en comprobar la efectividad de las medidas adoptadas. En caso de no alcanzar los objetivos propuestos inicialmente, habrá que repetir todas las actuaciones desde su fase inicial.

5.1.15. Criterios generales del diseño acústico.

Dentro de esta investigación, es importante mencionar los criterios generales del diseño acústico para lo cual es importante tener “definidos los objetivos acústicos relacionados con el diseño de espacios de uso comunitario, espacios de uso deportivo y salas de conferencias, aulas, en este apartado se dan unos criterios generales de diseño aplicables a dichos espacios tipo” (Carrión, 1998, p. 145).

5.1.16. Procedimiento para la obtención del tiempo de reverberación RT_{mid} deseado

Ahora bien, como lo menciona Carrión (1998), al momento de conocer o fijar el volumen del espacio en cuestión, es importante definir las superficies que deberán ser tratadas acústicamente. Así mismo, los materiales absorbentes a utilizar cuyo fin sea que el tiempo de reverberación medio RT_{mid} , en otras condiciones de ocupación elevada, se halle dentro de los márgenes establecidos en dicho apartado.

Se debe agregar que, la fórmula a tener en cuenta para emplear el cálculo de los RT es la de *Sabine completa* como lo menciona Carrión (1998):

$$RT = \frac{0,161 V}{A_{tot} + 4 mV} \quad (\text{en s})$$

$A_{tot} = \sum_i S_i \alpha_i + A_p$ (o bien A_s) = absorción total del recinto (en sabins)

S_i = superficie “i”

α_i = coeficiente de absorción de la superficie “i”

A_p = absorción total del público (en sabins), definida en el apartado 2.2.6

A_s = absorción total de las sillas (en sabins), definida en el apartado 2.2.6

$4mV$ = absorción producida por el aire (en sabins) (p.146).

Dicho de otra manera, el proceso de cálculo RT consta de una serie de pasos u procedimientos a seguir:

- a) Definir cuáles son las superficies a tratar. En principio, con independencia de la tipología considerada, las superficies óptimas son el techo (o falso techo) y las partes superiores de las paredes (...).

- b) Asignar a las superficies elegidas los materiales absorbentes que se utilizarán como revestimientos.
- c) Calcular todas las componentes $S_i \alpha_i$ de la absorción total A_{tot} , en las bandas de octava de 500 Hz y 1 kHz, teniendo en cuenta que el resto de superficies podrán ser tratadas con materiales reflectantes, tipo madera o cartón-yeso, adheridos perfectamente a las mismas, o bien simplemente con un enlucido de yeso o similar.
- d) Determinar la absorción correspondiente al público en las bandas de octava de 500 Hz y 1 kHz:
 - Si se trata de un espacio donde las personas no están agrupadas, como por ejemplo una estación o un aeropuerto, se partirá de la absorción asociada a una persona A_{pp} , (...). Los resultados obtenidos corresponderán a la absorción buscada y constituyen la componente A_p de la absorción total A_{tot} .
 - Si se trata de un espacio donde las personas se hallan agrupadas y sentadas, será necesario utilizar los coeficientes unitarios de absorción α_s proporcionados por el fabricante de la silla que se vaya a utilizar, en condiciones de silla ocupada. En el caso, poco deseable, de no disponer de los mismos, habrá que recurrir al uso de una base de datos con el riesgo de error que ello conlleva.
 - Es preciso tener presente que la superficie correspondiente no será exclusivamente la ocupada por las sillas, sino que deberá considerarse la denominada superficie acústica efectiva de audiencia S_A (apartado 2.2.6). La absorción total de las sillas será $A_s = S_A \alpha_s$ (...) (Carrión, 1998, p.146).
 -

5.1.17. Criterios para prevenir o eliminar ecos y focalizaciones del sonido.

Por otra parte, uno de los objetivos fundamentales del diseño acústico de espacios pertenecientes a una cualquiera de las tres tipologías consideradas consiste en evitar la aparición de ecos, focalizaciones del sonido y eco flotante, ya que las tres anomalías van en detrimento del confort acústico y, además, contribuyen a una pérdida de inteligibilidad de la palabra.

5.1.18. Ecos

Para, las soluciones de evitar o eliminar ecos se tendrá en cuenta lo investigado por Carrión (1998) quien establece:

- Colocar material absorbente por delante de las superficies conflictivas. En cualquier caso, conviene evitar la utilización de grandes cantidades de absorción, ya que ello podría suponer una disminución excesiva del tiempo de reverberación. Como norma práctica, el porcentaje de superficie tratada para evitar exclusivamente la aparición de estas anomalías no debe ser superior al 10% de la superficie total de la sala.
- Dar una forma convexa a las superficies conflictivas.
- Reorientar las superficies conflictivas a fin de redirigir el sonido reflejado hacia otras zonas no problemáticas (p. 147).
-

5.1.19. Focalizaciones del sonido.

Es importante hablar de las focalizaciones del sonido el cual consiste en focalizar el mismo hacia un punto concreto, con el fin de que las ondas sonoras no se expandan hacia una persona.

En cuanto a la prevención de focalizaciones, habrá que evitar las formas cóncavas en las paredes del recinto, así como la existencia de techos en forma de cúpula. Si el recinto está ya construido y las focalizaciones son producidas por alguna de sus paredes, las posibles soluciones son equivalentes a las expuestas previamente en relación con la aparición de ecos. Si el techo tiene forma de cúpula, la manera de atenuar el posible efecto de focalización consiste en cubrirlo con algún tipo de material absorbente (Carrión, 1998, pp. 147-148).

5.1.20. Eco flotante

Por otra parte, Carrión (1998) también habla del eco flotante como:

La solución evidente para prevenir la aparición de eco flotante consiste en evitar la existencia de grandes paredes paralelas reflectantes en cualquier zona del recinto, a base de dar una pequeña inclinación (del orden de 5°) a una de las dos paredes. Otra posible solución, aunque menos efectiva, consiste en aplicar un tratamiento absorbente, al menos sobre una de las dos paredes conflictivas (p.148).

5.1.21. Criterios de ubicación de los altavoces del sistema de megafonía.

Es importante mencionar algunos criterios en cuanto a las diferentes posibilidades de ubicación de los altavoces “colocación de los altavoces agrupados en forma de *piña* (*cluster*) → sistema concentrado y distribución de los altavoces en diferentes puntos del espacio → sistema distribuido” (Carrión, 1998, p.149). Sin embargo, la concentración de altavoces es recomendado cuando las condiciones del espacio acústicamente son buenas, dicho de otra manera, cuando se ha

logrado los objetivos acústicos planteados se han alcanzado. Cabe resaltar que, de acuerdo a la investigación realizada por Carrión (1998):

Los altavoces no deben colocarse enfrentados, especialmente si la distancia entre los mismos es grande, ya que ello probablemente daría lugar a la aparición de ecos en diferentes puntos del recinto. Es el caso, por ejemplo, de aquellos polideportivos con un tratamiento acústico adecuado, pero con un conjunto de altavoces distribuidos de forma perimetral por detrás de las gradas de público, como si se tratase de focos de luz. Además, si el espacio es muy reverberante, es conveniente utilizar el máximo número de altavoces posible y aplicarle una potencia eléctrica mínima a fin de que su contribución al nivel de campo reverberante sea, igualmente, mínima (pp. 149-150).

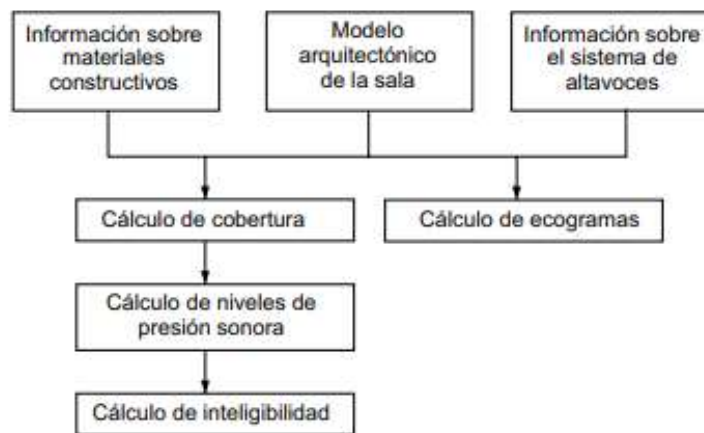


Figura 5 Estructura básica de un programa de simulación electroacústica
 Tomado de <https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/disec3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>

5.1.22. Simulación acústica de recintos

Mediante la utilización de programas computarizados se puede calcular, de una manera más eficaz de aproximación elevada y de forma mucho más rápida, todos aquellos parámetros considerados más representativos de la calidad acústica de un recinto cualquiera.

5.1.23. Descripción del programa de simulación acústica AURA.

El programa de simulación acústica AURA, específicamente diseñado pensando en su integración con el sistema de creación de sonido virtual, permite calcular todos aquellos parámetros objetivos estándar que definen el comportamiento acústico de cualquier tipo de recinto: desde espacios de uso comunitario, pasando por salas destinadas a la palabra y espacios de uso deportivo, hasta teatros y salas de conciertos.

El modelo arquitectónico del recinto a analizar puede ser importado en formato DXF, lo cual lo hace compatible con los principales programas CAD de arquitectura existente en el mercado (AutoCAD, MicroStation, ArchiCAD, etc.).

- 5.2. Marco Normativo

5.2.1. Protocolo de Montreal

El protocolo de Montreal como lo menciona Ministerio para la transición ecológica (2009) es una estrategia de más de 96 productos químicos, que se han comprometidos a disminuir los desequilibrios ambientales que se han dado por la contaminación de varios productos en la industria.

Además, el protocolo comenzó en 1987 especificando medidas que disminuyeran el consumo de sustancias que acabarán con la capa de ozono, para dar cumplimiento a estas

estrategias se dieron puntos de control frente a restricciones en la comercialización de dichas sustancias, por otro lado, se implementaron políticas públicas para la no importación y exportación de estas (Ministerio de Medio Ambiente, 2014). En Colombia el protocolo fue adoptado en 1992, por ser un país explotador de petróleo y al mismo tiempo consumidor de productos derivados del mismo:

Se ha comprobado que las emisiones continuadas de sustancias que agotan el ozono (SAO) deterioran considerablemente la capa de ozono. Existen pruebas evidentes de una disminución de la carga atmosférica de estas sustancias y se han observado señales tempranas de recuperación de la capa de ozono (...). Sin embargo, no se prevé que la recuperación de la capa de ozono hasta el nivel de concentraciones existente antes de 1980 tenga lugar antes de mediados del siglo XXI. Por ello, el aumento de las radiaciones UVB ocasionado por la destrucción del ozono sigue siendo una amenaza considerable para la salud y el medio ambiente (Reglamento, 1005, 2009, p.1).

Por otra parte, es de notar que en el Parlamento Europeo y del Consejo, reglamento 1005 (2009) menciona:

Muchas SAO son gases de efecto invernadero, pero no están reguladas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kyoto, al partirse del supuesto de que las eliminaría el Protocolo de Montreal. A pesar de los avances realizados en el Protocolo, la labor de eliminación de las SAO todavía no ha terminado en la Unión Europea y en el mundo; al mismo tiempo se ha de tener en cuenta que, en la actualidad, muchas alternativas a las SAO

tienen un elevado potencial de calentamiento global. Por lo tanto, siempre que se disponga de alternativas técnicamente viables con un potencial de calentamiento reducido, es necesario minimizar y eliminar la producción y el uso de SAO (p.1).

A continuación, se listaran los materiales derivados de petróleo que actualmente se usan en materiales para la construcción y más específicamente como elementos acústicos que entrarían a denominarse SAO, convirtiéndolos en materiales nocivos a largo plazo para el medio ambiente.

5.2.2. Clorofluorocarbonos: espumas refrigerantes de poliuretano

El poliuretano, es un material sintético y duro plástico, reticulado y no fusible, que se adquiere de la mezcla de dos componentes generados mediante procesos químicos a partir del petróleo y el azúcar: el Isocianato y el Polioli. Hay dos maneras de obtenerlo en primer lugar, proyectando al mismo tiempo los dos componentes en una superficie, o por colada (mezcla de ambos materiales). En segundo lugar, una estructura sólida, uniforme y resistente posee una fórmula celular indicada para su uso como aislante, gracias a las características ya mencionadas, así como a su rápida aplicación, capacidad aislante y a su capacidad para eliminar los puentes térmicos. La Espuma de Poliuretano también se usa habitualmente en impermeabilización (Moreno, 2000).

5.2.3. Hidrobromofluorocarbonos en planchas y tableros

El Copopren: Aislamiento acústico y térmico mediante plancha cohesionada de partículas de poliuretano de diferentes propiedades debidamente controladas, con aditivo acústico especial para su utilización en la construcción. Instalación del sistema acústico mediante adhesión en todo tipo de cerramientos y superficies (fábrica de hormigón, mampostería in situ, prefabricados,

trasdosados, forjados unidireccionales, reticular, bovedilla, losa...), formado por trasdosado de yeso laminado en sistema de pared y techo. Las planchas acústicas se presentan en dimensiones de 2000x1000mm con espesor según exigencias de la problemática a tratar (Moreno, 2009).

5.2.4. Fibra de Vidrio

En cuanto a la composición y estructura de las FMA, su base molecular es el Óxido de Silicio (SiO_2), el cual se encuentra de forma polimerizada $[(\text{SiO}_2)_n]$ formado estructuras cristalinas en su presentación natural. Cuando el SiO_2 se somete a temperaturas elevadas (1700-2000 oC) las estructuras cristalinas comienzan a romperse dejando fluir libremente sus compuestos. Si en ese momento en que ha perdido su estructural cristalina el material se somete a un enfriamiento brusco y repentino, se produce una reestructuración de sus componentes moleculares de forma desorganizada, pasando a ser una estructura cristalina a una estructura vidriosa o amorfa (Moreno, 2009).

ISO 10534 (1-2)

Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996).

Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Esta normativa internacional regula las pruebas practicadas con el tubo de impedancia, dentro de los diferentes métodos y procesos que pueden existir, dado al caso de la utilización de uno hasta 4 micrófonos para las prueba y adquisición de datos variables, que como se menciona en el titulo abarca la obtención del coeficiente de absorción acústica (NRC) o los

procesos de impedancias acústicas, ya sean los coeficientes de transmisión de sonido (STC) o pérdidas de transmisión de sonido (STL).

Esta normativa es la más general dentro del proceso regulando los procesos de impedancias y admitancias acústicas de los materiales bajo este proceso y así determinar bajo otros factores del material como lo es su resistencia al flujo de aire, porosidad, elasticidad y densidad para la realización de investigaciones básicas o desarrollo de productos.

La determinación del ensayo se basa en la emisión de ondas planas a través de un tubo, las cuales son generadas por una fuente sonora, para la cual se pueda variar su capacidad de frecuencia, manteniendo la amplitud y la cantidad de decibeles (Db) en un rango de 60-10. Este método al regularizar la técnica de entre 1 y 4 micrófonos en la pared del tubo, aplica cálculos consecuentes a la respuesta captada por los mismos, como lo es su función de transferencia compleja, absorción a incidencia normal y los cocientes de la impedancia del material.

Esta normativa es muy similar a la ISO 345, bajo método de coeficiente de absorción 19 acústico por cámara reverberante, bajo la cual tiene una variación de medición, ante la aplicación de una incidencia difusa, la cual puede ser óptima para materiales que posean resaltes laterales y perpendiculares.

5.2.5. (ISO, 1998) ASTM E1050-12 Método de prueba estándar para impedancia y absorción de materiales acústicos utilizando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital.

(Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System). Conocido como, Método de

prueba estándar para impedancia y absorción de materiales acústicos utilizando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital. ASTM

El patrón de esta prueba se basa en la implementación de un tubo con un diámetro que puede variar acorde a la condición de la onda de frecuencia o su rango específico. Esta prueba se basa principalmente en la condición de un emisor de sonido dentro de una frecuencia específica que atraviesa el tubo, dentro del cual se encuentra el material a analizar dentro de la cuestionable a medir en la escala de coeficiente de absorción.

Así mismo, la condición de la prueba posee 2 micrófonos receptores dentro del conjunto de la prueba, para definir qué tanta cantidad de ondas sonoras, traspasan dicho material, cuanto se absorbe y cuanto de este alcanza a rebotar en la condición de la escala NRC (Noise Reduction Coefficient) valorados dentro de una escala de 1- 100 porcentual, esto medidos dentro de un sistema digital de análisis de frecuencias. El rango de frecuencia en la prueba depende del diámetro del tubo y el espacio de los micrófonos que existe entre ellos. Este método se basa en la prueba ASTM C 384, pero esta se considera mucho más eficiente y rápida para determinar el coeficiente de absorción.

6. Capítulo I: Fase Investigativa

La demanda por la generación de nuevos materiales que cumplan con estándares naturales y tengan una eficiencia energética en su producción y que replacen los materiales de tipo industrial, muestra una nueva perspectiva que abarca no solo la condición de la aplicación funcional de materiales, sino que por el contrario aportan al desarrollo sostenible de la construcción, generando metodologías tecnológicas que abarcan desde el inicio de las investigaciones y la aplicabilidad en el campo constructivo de edificaciones.

De acuerdo con él, reglamento colombiano de construcción sismo resistente [NSR- 10] en su título A, regulariza el uso responsable de materiales y procesos constructivos en condición de la no afectación al medio ambiente y sus recursos, lo que abre camino al desarrollo de investigación de materiales naturales en función propicia a las necesidades constructivas de la industria, siguiendo el acompañamiento de las entidades autoritarias locales respectivas. Dado al caso se denota las distintas investigaciones que se han desarrollado, como lo es la fibra de coco, la fibra de la guadua, la fibra del carrizo, la fibra del kenaf, entre otras fibras naturales.

Por lo anterior, es importante determinar de forma física y química los componentes de los diferentes materiales usados para los diseños de confort acústico en la actualidad, este análisis permitirá emitir una serie de conclusiones que serán determinantes para el desarrollo del proyecto reflejándose en la elaboración del prototipo, por lo anterior se han fijado cinco condiciones mínimas (funcionalidad, diseño, instalación, costo y durabilidad), que debe tener el producto en desarrollo.

6.1 Propiedades de los materiales absorbentes más comunes en las edificaciones

Los materiales denominados absorbentes acústicos, son todos aquellos que poseen altos coeficientes de absorción sonora, responden a una buena parte de la escala de frecuencias audibles estos materiales, se clasifican en tres, los porosos, fibrosos y los resonadores, en este caso omitiremos los resonadores debido a su programación especializada a responder a ciertas frecuencias del sonido.

Además, los materiales clasificados como porosos están formados por micro cavidades o poros que se cruzan entre sí, por otro lado, los denominados fibrosos están conformados por una gran cantidad de fibras que se entrecruzan además de estar comprimidas. El funcionamiento de estas dos es muy parecido puesto que, la incidencia de la energía acústica pasa a transformarse en calorífica como consecuencia de la fricción que lleva a cabo en el interior el aire pasando a través de los poros y/o fibras existentes.

Respecto a la absorción que presentan este tipo de materiales se debe aclarar que, para altas frecuencias funciona de manera muy elevada mientras que en las bajas es limitada. Así mismo, los materiales absorbentes tienen como objetivo principalmente:

- En frecuencias altas aumento de unidades de absorción.
- Anomalías acústicas como ecos u algunas otras que se presentan se previenen o eliminan (Reducción del Tr.)
- En espacios ruidosos (Salas de máquinas, fábricas, entre otros tantos), la presión sonora se reduce a nivel de presión.

En ocasiones, el uso de revestimientos absorbentes de paramentos busca conseguir una disminución de los niveles de presión sonora internos, más allá de querer obtener parámetros de confort interno necesarios respecto a tiempos de reverberación e inteligibilidad. Para el caso puntualmente de salas de maquinaria ruidosa, es ideal. Además, de ello complementarlo con soluciones de *aislamiento, acústico y de atenuación* de vibraciones.

Tabla 5 coeficientes de absorción de materiales

Material	Espesor mm	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Ladrillo visto		0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05
Hormigón		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Mármol		0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Enlucido yeso		0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.05	0.06	0.06
Vidrio		0.08	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Cortinas típicas		0.05	0.07	0.15	0.40	0.45	0.50	0.55	0.40
Lana de roca	25 0.05	0.10	0.40	0.65	0.70	0.75	0.80	0.75	
	50 0.10	0.15	0.45	0.65	0.75	0.80	0.80	0.80	
	100	0.25	0.40	0.65	0.80	0.85	0.85	0.90	0.85
Espuma poliuretano	25 0.10	0.15	0.25	0.55	0.75	0.80	0.90	0.90	
	50 0.15	0.20	0.50	0.75	0.95	0.90	0.90	0.90	
Techos escayola		0.20	0.20	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
Moqueta		0.10	0.10	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30	0.30
Suelos plásticos		0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.50	0.05

Nota: en la tabla se observa los coeficientes de absorción que tienen algunos de los materiales más usados en la construcción a diferentes frecuencias. Recuperada de <http://acusticaysonido.com/?p=148>

Dicho lo anterior, a pesar de ser aun absorbente la onda sonora que incide en dichos materiales se refleja de manera parcial y aquella que no lo logra penetrar. Se atenúa por

rozamiento continuado en los poros internos, por lo que logra alcanzar de nuevo la superficie posteriormente de reflejarse en el paramento de base rígida posterior. Ahora bien, la teoría planteada aduce que continua indefinidamente dicho proceso. Puede imaginarse que la onda sonora reflejada al interior del material está compuesta por un número extenso de componentes sucesivos, cada una más frágil que la anterior a causa de la mitigación que experimenta dentro del material.

Sin embargo, todos los materiales ya sea poroso, fibroso y/o textil poseen este mecanismo de absorción bajo la premisa que debe estar conformado por una estructura sólida y en la que en su interior hay un tipo de laberinto generado por los poros los cuales están conectados entre sí y a su vez con el exterior. Excepto aquellos cuya estructura celular es cerrada, en donde sus cavidades no están comunicadas e impiden el paso de ondas sonoras (por ejemplo, hormigón celular, corchos, poliestirenos).

Si bien la estructura interna de estos materiales es muy irregular, suelen considerarse homogéneos e isotropos. Dentro de los homogéneos tienen la característica de que en cualquier parte de la muestra las tipologías son las mismas, sin embargo, en la isotropía se considera que en cualquiera de las tres direcciones espaciales son iguales dichas características. Los materiales presentan diferentes constituciones, ya sean materiales de esqueleto rígidos o flexibles, llegando hacer tipo mantas; los materiales tipo borra son aquellos que están ligeramente impregnados de algún tipo de resina, clasificándose como fibras minerales o naturales, espumas de poliuretano, textiles, morteros, etc.

En realidad, su presentación al mercado, la mayoría de los materiales vienen en láminas o paneles estandarizados, aquellos que son flexibles vienen en rollos y las borras y los proyectados

en presentaciones por kilogramo para ser preparados y mezclados en situ para su aplicación directa del material al elemento a tratar.

6.2. Tipos de materiales

Es importante resaltar, las variedades dentro de los materiales absorbentes porosos, fibrosos y textiles Valero (2011):

- a. Materiales fibrosos, que son las lanas minerales (lana de roca, fibra de vidrio, espuma de poliéster) y vegetales, con capacidad de absorción en función de su resistividad al flujo del aire, espesor, grado de porosidad y textura.
- b. Fibras de madera, aglomeradas con ligante hidráulico (cemento o magnesita), telas con foam o muletón, moquetas, alfombras, cortinas)
- c. Textiles (tapizado de mobiliario)
- d. Espumas de poliuretano, presentados con superficie lisa o irregular (crestas repetidas).
- e. Morteros proyectados, con un ligante (por ejemplo, yeso) y un absorbente ligero (por ejemplo vermiculita) aplicados a chorro en pequeños espesores, con la ventaja de su aplicación continúa en elementos de difícil acceso, pero con el inconveniente de que los coeficientes de absorción no son muy altos (...)
- f. Aglomerados de piedras naturales, naturales, compuesto piedras naturales trituradas, de granulometría pequeña, aglomeradas con resinas sintéticas, sintéticas, sintéticas, conformando paneles conformando paneles conformando paneles delgados.

- g. Elementos independientes (baffles y cilindros suspendidos, mamparas, objetos). Las cortinas también influyen en la acústica de un recinto cerrado, dependiendo de su densidad su coeficiente de absorción será mayor o menor (...) Citado por (Parejo, 2013, p.46).

6.2.1. Lanas minerales: lana de roca y fibra de vidrio

En efecto, los materiales absorbentes porosos que son más utilizados en construcción son:

Tradicionalmente, han sido la lana de roca y la fibra de vidrio, que industrial: la materia pasa por unos diminutos orificios de un sistema rotatorio que gira a gran velocidad y que genera unos hilos finos flexibles que, al enfriarse, se entrelazan entre sí por medio de una resina termo-endurecible, formando una malla que mantiene el aire en estado inmóvil (Parejo, 2013, p.47).

La diferencia entre la lana de roca y la lana de vidrio es que la materia de la primera es roca de basalto fundida y molida, y en la segunda, arena silícea. Esta estructura permite conseguir productos muy ligeros con alto nivel de aislamiento acústico, aislamiento térmico y resistencia al fuego.



Figura 6 Fibra de vidrio
Tomado de Ecogreenhome.es

La estructura de los filamentos que componen las lanas minerales es elástica y con poros abiertos, lo que presume que alta capacidad de amortiguación y absorción de la energía acústica causante del ruido. Por su estructura flexible, se presentan en manta, o también pueden aparecer en borras. En cuanto al basalto posee una densidad más alta que la de la sílice es por esto que, las lanas de vidrio son de mayor ligereza en cuanto a igualdad de espesor. Cabe resaltar que, Parejo (2013) manifiesta:

Ninguna de las dos es cancerígena de acuerdo con la nota Q de la Directiva 97/69 CE, evidenciándose mediante la certificación EUCB que disponen los fabricantes.

El color de la lana de roca es más verdoso o marrón, mientras que el de la fibra de vidrio es más amarillo, aunque últimamente están saliendo al mercado fibras de vidrio con un color más oscuro. En la construcción se utiliza mucho este material, debido a sus características, su comportamiento es muy bueno. En realidad, ambos materiales son muy parecidos, y es tal la presión del mercado que

no se encuentran estudios comparativos en cuanto al comportamiento térmico y acústico (p.48).

Así mismo, está claro que el comportamiento contra el fuego es prácticamente el mismo sin embargo, ha surgido la aparición de otras fibras de origen vegetal, que actúan también como absorbentes acústicos en cámaras de tabiques o trasdosados de entramado autoportante o techos de aislamiento, que son ignífugas, inatacables por insectos y roedores, transpirables e insensibles a la humedad (evitando así la aparición de condensaciones y la degradación), comercializadas en los mismos formatos que las minerales, cumpliendo con los más exigentes requisitos ecológicos.

6.2.2. Virutas de madera aglomerada

Por otra parte, es importante, definir las virutas de madera aglomerada:

Las fibras que las forman son sometidas a un proceso mineralizante que mantiene inalterables las propiedades de la madera, anulándoles el proceso de deterioro biológico y volviéndolas inertes y muy resistentes al fuego.

Estas se aglomeran con magnesita, cemento blanco o gris, y se prensan para formar una estructura alveolar, estable, resistente y compacta. El resultado final son unas placas rígidas o semirrígidas de fibras de madera aglomerada, que dispone de buenas propiedades como aislante térmico y absorbente sonoro. Es un material fácil de manipular e instalar y no precisa mantenimiento (Parejo, 2013, p.49).

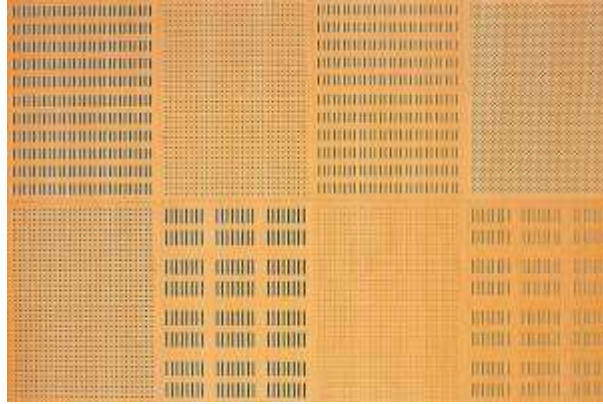


Figura 7 Panel en madera tomado como referente
Fuente: Homecenter.com

La mayor parte de los modelos dispone también, de buena resistencia a golpes de impacto. Tienen mayor eficacia acústica a medias y altas frecuencias, mientras que a graves la absorción depende del espesor de la pieza y, sobre todo, de su cámara trasera. Para incrementar la eficacia en este rango de frecuencias, a veces se acompañan en el plenum paneles de lana de roca o de vidrio.



Figura 8 Fibra de madera, panel acústico
Tomada de ecogreenhome.es

Existe gran variedad de acabados, colores, texturas y dimensiones. Los espesores comerciales comunes son de 15 (desaconsejable), 25, 35 y 50 mm. Las placas que están constituidas por virutas más finas con diversas pigmentaciones presentan un aspecto más

moderno y vanguardista. También podrían utilizarse como revestimiento de paredes, con (trasdosado) o sin cámara trasera.

6.2.3. Materiales blandos a la flexión

Estos materiales blandos, espuma de poliéster, resina de melanina, resina de poliuretano. Estos paneles absorben sobre todo altas frecuencias y se comercializan en distintos grosores, con cara vista plana o irregular. Estas pueden tener forma prismática, repetidas de manera homogénea o aleatoria (normalmente, triángulos, crestas, ondas o cuadrados), cuya aplicación tradicional ha sido en recintos de acústica exigente (estudios de grabación, locales de ensayo, conservatorios). Los modelos de superficie plana, en placas de forma cuadrada, romboide o rectangular, empiezan a utilizarse en todo tipo de espacios, además:

Es un material de fácil corte, manipulación y adaptación a cualquier superficie. Normalmente, van pegados al elemento base rígido (con lo que ocupan muy poco espesor), pero existen modelos para incorporar a perfilería tradicional de falsos techos. La marca española EZ Acoustics comercializa paneles absorbentes en espuma de poliuretano y fibra mineral, en superficie vista de forma piramidal (modelos "Piramidal" y "Wedges") y plana con cantos perimetrales biselados (modelo "Foam Flat") (Parejo, 2013 p. 50).



Figura 9 Panel de Low Sound, Forma
Tomado de Homecenter.com

6.2.4. Conclusiones y recomendaciones de la fase investigativa

Como conclusión, se pudo obtener similitudes en la afectación de la trayectoria de la onda, pues la forma hace disipar el efecto, naturalizando el sonido del espacio, esto se ve claramente con la cubeta de huevos, a pesar de que no se encuentra en una porosidad o espesor elevado, su forma determina la ruptura de la onda, evitando así la reverberación. Por otro lado, el poliuretano se ve en dos tipos, como tabique, que hace funciona como absorbente, evitando la transición del sonido en el espacio y su forma, encontrada, disminuye la frecuencia y amplitud de la onda sonora.

Del mismo modo, el Low Sound, tiene formas y espesores variados según su función de absorción, este material cuenta con formas piramidales que hacen que la onda se disipe y al mismo tiempo se absorba por su porosidad, otros materiales como las planchas de poliuretano no solamente absorben y disipan también pueden naturalizar el sonido; las planchas de polietileno cumplen con la función de aislante acústico y se pueden usar como un disipador.

Seguidamente la madera, que principalmente se utiliza como resonador acústico, absorbiendo las notas más largas como lo son las graves es uno de los materiales más usados en

los acondicionamientos acústicos debido a su versatilidad en cuanto acabados estéticos y su funcionalidad.

Ahora bien, aspectos como la porosidad, el espesor, la densidad y la forma son cualidades relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de elegir o diseñar un producto acústico que responda a la absorción, luego y no menos relevante el acabado que finalmente puede incidir en la elección de un material, estas cinco características se deben tener en cuenta para el desarrollo de un material acústico se dé tipo, absorbentes, disipador o resonadores, tomando como referentes los comercializados en la actualidad, que gracias a su desarrollo cuentan con los estudios y las mediciones para su funcionalidad.

Seguidamente del análisis físico, se procede a realizar un análisis técnico, comparando los resultados de la absorción de cada material, encontrado en las fichas técnicas, esto nos da una idea clara respecto a que resultados se deben tener con la Luffa Cylindrica, el cual debe cumplir como estructura de absorción y disipador. Teniendo en cuenta, los coeficientes de absorción de diversos materiales, se establece que un material óptimo debe estar en un rango entre los 60 y 90 decibelios a una frecuencia entre los 500 y 2000 Hertz, lo que conduce a realizar pruebas técnicas y mediciones en herramientas como el tubo de impedancia.

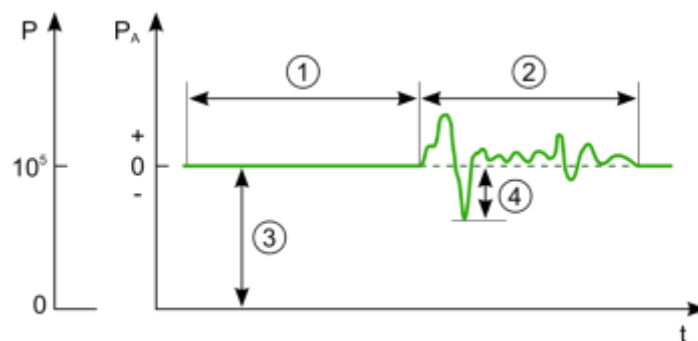


Figura 10 Comportamiento de la onda
Tomado de aqstica.com

Estos resultados se realizarán por medio del Tubo de Impedancia, que concluye la absorción del material, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC, 2005), que nos determina las mediciones del lugar y las mediciones del material. Estas concluirían la absorción del material.

7. Capítulo II: Fase de Planteamiento

Para el desarrollo de este capítulo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la comparación física de los materiales de poliuretano, se comienza a hacer el planteamiento de diseño del Estro-Panel, como principal idea y punto de partida, se inicia el diseño geométrico de un módulo buscando un coeficiente óptimo de reflexión de las ondas y la fabricación de un molde, que debe cumplir con varias de las características físicas mencionadas con anterioridad.

7.1 Geometrización del diseño

Para esta fase del diseño se inicia con la recopilación de una serie de referentes que puedan servir como guía de desarrollo, teniendo en cuenta teorías y artistas que han desarrollado trabajos relacionados con la Luffa Cylindrica, su trabajo artesanal con el material y sus diversas publicaciones dan un lineamiento para el tratamiento de la Luffa como materia prima, múltiples usos, formas e insinuaciones inspiran la imaginación con el material, por esta razón se tiene en cuenta este referente.



Figura 11 Índigo, referencia formal
Fuente: Indigo.com

El desarrollo de los paneles de Fernando Laposse (2011), quien toma diversos materiales y los transforma en elementos arquitectónicos de manera artística, en su desarrollo se exalta las cualidades acústicas, pero no se especifica un estudio técnico, o si es un tratamiento acústico de tipo aislante o absorbente, disyuntiva que este proyecto plantea resolver.

Como punto de partida y teniendo en cuenta que este tipo de paneles quedan a la vista, se determina tomar como base un hexágono, que permita el acople con otras unidades y dar diversidad de posibilidades en cuanto a agrupación además de ser visualmente llamativo, a esto se le agregara un diseño geométrico, que tengan las similitudes de los materiales estudiados. La yuxtaposición en la geometría base harán que la onda disipe su trayectoria, para el proceso de diseño de dicha forma se utiliza la herramienta digital Ray Optic que permite visualizar las reflexiones generadas al deformar una superficie plana, de esta manera se plantea el diseño para el molde que servirá para realizar la elaboración de algunos prototipos con el fin de someterlos a una evaluación física.

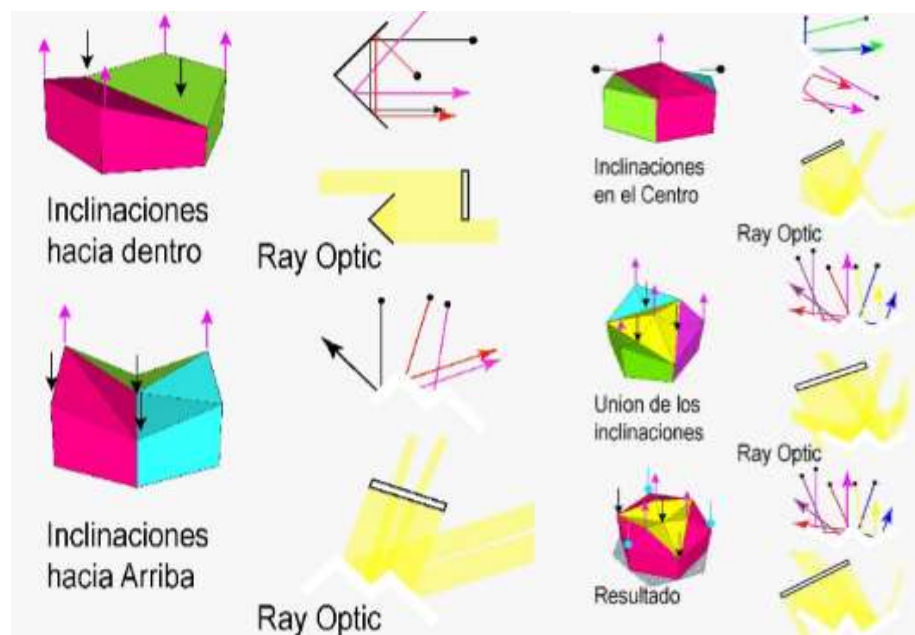


Figura 12 Imágenes extraídas del software Ray Optic
Elaboración propia

Como resultado de este proceso se identificó que las formas compuestas de triangulaciones son más eficaces a la hora de fraccionar las ondas reflejadas sobre estas geometrías, adicional a esto los quiebres en el material aportan una rigidez estructural que hace del módulo un panel auto portante, y como resultado un llamativo acabado arquitectónico.



Figura 13 Resultado final geometrización del panel
Elaboración propia

El resultado final muestra una serie de pliegues que como resultado forman caras en distintas direcciones, también se puede identificar nodos en positivo y negativo, estos nodos son importantes ya que son los que entran en una primera fase a fraccionar la onda para luego conducirla por las caras de la figura.

7.1.1. Elaboración del molde

Luego de definirse la forma más adecuada en el programa Ray Optic para el prototipo, se realiza la modelación 3D digital en el programa AutoCad, para el despiece de los componentes del molde, apoyados en tecnología de corte CNC, se realiza el prototipo en lámina de acero HR de 3/8" y el armado con soldadura de punto, obteniendo una reproducción del molde planteado

en 3D a una escala real, que permitirá realizar los primeros ensayos físicos de la Luffa Cylíndrica.

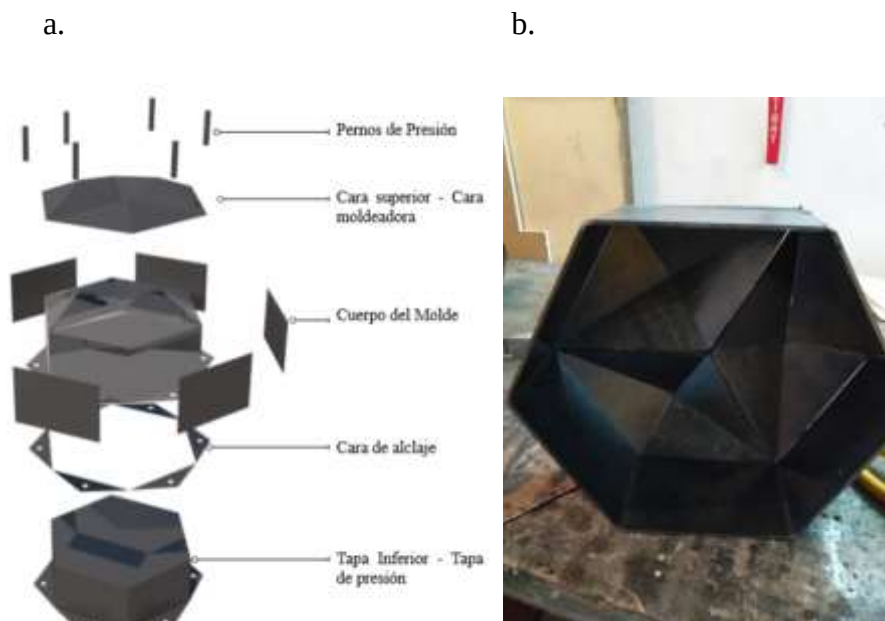


Figura 14 Diseños

La figura a). Representa el ensamble de molde metálico y la figura b) representa el diseño 3d. Elaboración propia

7.2 Proceso de pigmentación

Para este proceso se recurre a fuentes de información como lo planteado por Mayanquer (2011), tomando como guía para la experimentación de pigmentado a la luffa Cylíndrica, utilizando colorantes de tipo natural, recomendados en esta tesis, con procesos y metodologías descritas en el documento, atendiendo las recomendaciones finales para un proceso de pigmentado eficiente. Durante, el proceso de pigmentación se usaron tintes de origen natural, se aplicaron colores primarios ya que la gama de tintes naturales es algo reducida y solo se consiguen colores primarios, a continuación, se describe el paso a paso realizado para la pigmentación de la Luffa Cylíndrica.

1. Se disuelve el colorante en el recipiente a usar con el agua al clima, inmediatamente hacer hervir la mezcla.
2. Cuando esté hirviendo el agua, agregar una cucharada de sal común por cada litro de agua que se use, se debe mezclar bien la solución.
3. Después se introduce la Luffa Cylindrica para teñir, ésta debe estar previamente mojada, se debe dejar hervir durante 45 minutos y se debe revolver continuamente.
4. Al finalizar los 45 minutos se debe apagar el fuego, dejar reposar la Luffa Cylindrica, posteriormente retirarla y enjuagarla con agua clima hasta que deje de botar excedentes de colorante.
5. Secar la Luffa Cylindrica a la sombra horizontalmente o colgarla sin plegar.



[Figura 15](#) Pruebas de coloración en Luffa Cylindrica
Elaboración Propia

Para concluir el proceso de pigmentación, se puede evidenciar la recepción del pigmento por parte de la *Luffa Cylindrica*, tomando una coloración uniforme, sin parches o zonas no teñidas, por el contrario, se evidenció que gracias a la propiedad de absorción que posee la *Luffa Cylindrica* el color fue absorbido y retenido por las fibras de material.

Además, se evidenció que el rendimiento propuesto por el tinte puede ser duplicado ya que este rendimiento está basado en prendas de uso común y la *Luffa Cylindrica* es de menor densidad que las telas industriales, por lo tanto, el tinte se puede disolver en una mayor cantidad de agua, y de esta forma pigmentar una mayor cantidad de material.



Figura 16 Producto final después del proceso de pigmentación
Elaboración Propia

Ahora bien, teniendo el diseño definido en cuanto a forma y una vez realizadas las pruebas de pigmentación se procede a plantearse el análisis de los aglomerantes para unir el material y darle la forma diseñada en el software Ray Optic, usando el molde elaborado.

7.3 Selección de aglomerantes y ejecución de muestras

Continuando con lo anterior, se llaman materiales aglomerantes aquellos materiales que, en estado pastoso y con consistencia variable, tienen la propiedad de poderse moldear, de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar

altas resistencias mecánicas, básicamente un gran porcentaje de materiales en la construcción están compuestos por partículas y aglutinantes (EcuRed, 2014).

7.3.1. Los materiales aglomerantes se clasifican en

- Aglomerantes aéreos: los que solo endurecen en el aire, dando morteros no resistentes al agua. Comprenden el yeso, la cal y la magnesia (EcuRed, 2014).
- Aglomerantes hidráulicos: aquellos que se endurecen en forma pétreo tanto en el agua como en el aire, pertenecen a este grupo las cales hidráulicas y los cementos. Se incluyen las puzolanas, que por sí solas no endurecen o fraguan, si se mezclan con cal, dan productos hidráulicos. (EcuRed, 2014).
- Materiales hidrocarbonados: Lo forman hidrocarburos más o menos líquidos o viscosos, que endurecen por enfriamiento o evaporación de sus disolventes, como el alquitrán y el betún. (EcuRed, 2014).

Se debe tener en cuenta que, para la selección de los aglomerantes se realiza un análisis de los más asequibles en el mercado y de fácil aplicación, dividiéndolos en dos grupos, de tipo natural para conservar la justificación de este proyecto, y los sintéticos de tipo industrial pero que sus compuestos no sean derivados del petróleo.

A continuación, se describen las resinas más comerciales y económicas que se encuentran en el mercado, para hacer el proceso más sencillo se eligió una por cada tipo, es decir, aérea e hidráulica; hidrocarbonada no se eligió ya que por su descripción se concluye que es un derivado del petróleo por ende se reemplazó por una de tipo natural.

7.2.2.1. Resina de poliéster

Estas resinas sintéticas son producidas por policondensación de ácidos dicarboxílicos con alcoholes dihidroxilados. Productos termoestables que una vez moldeados no pueden reblandecerse con el calor, debido a que experimentan una transformación química llamada fraguado (reticulación o curado).

Durante este proceso las moléculas se enlazan permanentemente mediante polimerización (unión de las cadenas lineales obtenidas por condensación del diácido con el dialcohol a través de las moléculas de monómero insaturado, quedando rígido el polímero). Están formados por cadenas hidrocarbonadas que contienen uniones éster.

Las resinas de poliéster son una variedad de líquidos de diferentes viscosidades que están formados por la mezcla de los dos compuestos siguientes:

- a. Poliéster insaturado: Producto de la condensación lineal de un diácido (maleíco, ftálico, adípico) con un dialcohol (propilenglicol, etilenglicol, neopentilglicol).
- b. Monómero insaturado: Generalmente estireno.

Así mismo, las resinas de poliéster endurecidas por polimerización son sólidas, generalmente transparentes, de propiedades mecánicas y químicas muy diversas, dependiendo de las materias primas utilizadas, pero con una baja resistencia a la tracción y al impacto, la cual se mejora con su refuerzo con fibra de vidrio, reemplazando esta mezcla a muchos productos por sus cualidades y su larga vida útil.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta el comportamiento de las resinas, de tipo poliéster, se inicia la realización y elaboración de la primera muestra para dictaminar el comportamiento de las fibras de la *Luffa Cylindrica* y aspectos físicos en general que se puedan detectar visualmente.



Figura 17 Muestra obtenida de luffa compactada con resina poliéster
Elaboración Propia

A continuación, como resultado de la primera muestra con la resina poliéster podemos concluir que es importante determinar la dosificación y la aplicación de la resina, teniendo en cuenta que es líquido y viscoso lo que facilita permear las fibras del material, creándose núcleos donde se acumula por gravedad y que afectan la presentación física del producto.

No obstante, debe tenerse en cuenta la adherencia del material y el secado, pues al tratarse de una resina compuesta por un componente y un catalizador el secado fue de 2 horas, y la cristalización del material ayuda de manera satisfactoria a la deformación de la *Luffa Cylindrica* manteniendo la forma propuesta por el molde.

Como ultima conclusión es importante utilizar un desmoldante de tipo aceitoso que permita retirar el molde sin alterar los bordes del prototipo ya que el aglomerante puede adherirse a las caras del molde dificultando la extracción del producto.

7.2.2.2. Almidón de Maíz

El almidón está compuesto de propiedades especiales, que pueden ser usadas para diferentes propósitos. Algunas de estas propiedades no son apropiadas para ciertas aplicaciones específicas, pero existen métodos disponibles para modificarlas, esto es, almidones modificados, los cuales son utilizados con fines específicos. Por ejemplo, las dextrinas que también son almidones modificados son usadas en la elaboración de pegamentos.

Sin embargo, Las propiedades del almidón de maíz de formar películas delgadas y resistentes una vez secas, se aprovechan para la elaboración de diferentes tipos de adhesivos por esta razón se elige el almidón como el segundo aglomerante para ser utilizado en una de las muestras, y posteriormente evaluar su comportamiento físico con la *Luffa Cylíndrica*.

Hay que mencionar, además otra de las razones por las cuales se eligió el almidón es por su origen natural por lo que no requiere de modificaciones químicas a su estructura original, y por sus cualidades plásticas puede ayudar a dar forma, llenando los vacíos en el proceso de compactación dando como resultado un prototipo más compacto.



Figura 18 Muestra obtenida de luffa compactada con fécula de Maíz
Elaboración propia

Luego de desarrollar la muestra se evidencia que la fécula de maíz tiene un secado mucho más lento que la resina ya que su secado puede tardar hasta 24 horas, el desmolde es más

delicado puesto que aún se conserva humedad, el proceso tardó más de 6:00 horas desde la preparación del almidón hasta el montaje y la acomodación de la *Luffa Cylíndrica* en el molde.

Sin duda alguna, la plasticidad del almidón cómo lo mencionamos anteriormente ayuda a la formación de ángulos y caras más definidas, lo que es una gran ventaja para el módulo y su forma, debe evaluarse la conservación de la porosidad ya que al ser un material plástico cubre las porosidades de la *Luffa Cylíndrica* lo que no beneficiaría el proceso de absorción.



Figura 19 Modulo de experimentación después de 8 meses
Elaboración propia

Como se observa en la gráfica anterior, el módulo sufrió deformaciones debido a la pérdida de humedad en la composición de la fécula, además de esto, el material inició un proceso descomposición iniciando con un proceso de agrietamiento y posteriormente la aparición de hongos, que produce la caída del material por sí solo.

Por lo tanto, lo anterior no significa que el material no funcione como aglomerante, se deben experimentar con otras dosificaciones o establecer un método de aplicación más efectivo que permita al aglomerante secarse de una forma correcta a una temperatura continua, sin acumulación de humedad, podría aplicarse en capas más delgadas en pegues localizados para

aprovechar su plasticidad. Este alcance no está dentro de la propuesta metodológica del proyecto en desarrollo, por tanto, este aglomerante se descarta.

7.2.2.3. *Aglomerante Polivinílico*

El aglomerante polivinílico es un pegante sintético a base de poliacetato de vinilo en una alta concentración, cuya original y única composición química le proporcionan su característico olor y color ofreciendo pegues de alta exigencia. Se realiza una muestra, con este adhesivo teniendo en cuenta la facilidad de aplicación y por ser un producto especializado en maderas, teniendo en cuenta las características físicas fibrosas de la Luffa Cilíndrica por su composición química similar a la madera.



Figura 20 Muestra obtenida de luffa compactada con Carpinol
Elaboración propia.

Cabe resaltar que, esta muestra tiene aspectos positivos ya que el polivinilo en bajas cantidades pudo adherir las capas de *luffa Cilíndrica* sin ninguna variación en cuanto a forma o contenido de humedad, lo que permitió que el material adquiriera rigidez y mantener bajo peso

en el módulo, caso contrario en la fécula de maíz donde el módulo registraba un peso superior a 1 Kg, convirtiéndose en una desventaja a la hora de su instalación en caso de plantearse como método adhesivos directos a la superficie del recinto.

Para este módulo, entre el armado y el secado, tomó alrededor 6 horas, teniendo un comportamiento superior a la fécula de maíz. De igual manera se deben tener en cuenta aspectos importantes como la dosificación de los materiales ya que esto influye en el aspecto físico de la muestra, por lo tanto, se debe estandarizar un proceso industrial que logre unidades iguales en una producción en serie.

No obstante, en cuanto a la forma ésta se mantuvo sin perder aristas, por lo contrario, el polivinilo tiene una alta adherencia que logra definir las aristas de los bordes, el desmoldado del módulo se torna más sencillo por la alta resistencia que logra el material, en cuanto a la humedad el polivinilo no afecta a la *Luffa Cylíndrica*, por el contrario, logra adherirse a las porosidades del material sin afectar las cavidades entre fibras de la *Luffa Cylíndrica*.

7.2.2.4. Cemento blanco.

El cemento blanco debe su color a la ausencia de óxidos férricos (Fe_2O_3), que son los que le dan el característico color gris al cemento. También presenta cantidades reducidas de Mn en su composición. Debido a la ausencia de óxidos fundentes, el calcinado del material ha de producirse a temperaturas más altas, por lo que el consumo energético en la fabricación del cemento blanco es mayor que en el cemento gris.² Para suplir la carencia de óxidos de hierro, se suele añadir óxido de calcio (CaO), fluorita (CaF_2) o criolita (Na_3AlF_6) (Navarrete, 2006).

Por otra parte, como lo menciona Navarrete (2006) la composición química de los cementos blancos varía según el tipo de resistencia y el fabricante, pero la cantidad de óxido férrico no supera el 1%, siendo este porcentaje menor cuanto más blanco sea el cemento. Por ejemplo, un cemento con una blancura del 92% tiene tan sólo un 0,2% de (Fe_2O_3).

Referentes como Legnomuro que es un panel acústico fonoabsorbente natural, sirvieron de ejemplo para realizar la cuarta y última prueba, el cemento blanco es de fácil acceso en el mercado y por su fraguado podría ser una buena opción.



Figura 21 Muestra obtenida de luffa compactada con Cemento blanco
Elaboración propia

Luego de realizar la muestra con cemento blanco, se puede evidenciar la importancia del fraguado ya que juega un papel importante en el acabado del módulo, como segundo aspecto importante al igual que en las anteriores muestras se debe estandarizar las dosificaciones del material.

Para el desmolde es importante determinar, una mayor resistencia en los bordes y un módulo que permita su desmonte iniciando por las caras laterales para conservar la integridad

de los bordes y filos, se debe resaltar el comportamiento del cemento blanco junto a la *Luffa Cylindrica* como *reforzamiento* o *agregado* ya que no se usó arena.

En cuanto a forma, es el mejor resultado de todas las pruebas realizadas, pero una de las desventajas y que se debe estudiar a fondo es el peso de la muestra ya que puede superar los 3 Kg de peso por modulo, lo cual indica que es necesario profundizar en cuanto a las dosificaciones del material y la estandarización para un modelo productivo en línea.

Para finalizar el fraguado y secado de la muestra tomó 24 horas, desde el proceso de armado hasta el proceso de fraguado, la muestra se mantiene intacta al igual que la de resina de poliéster y la de polivinilo, no hubo deformaciones ni afectaciones o cambios físicos por el ambiente como los tuvo el módulo realizado con fécula de maíz.

Conclusiones y recomendaciones generales para la selección de aglomerantes.

Un acondicionamiento acústico, tiene su previo análisis, identificación del uso del recinto, métodos de medición que favorecerán a la hora de justificar el material, además se pueden hacer estudios de forma empírica, lo anterior se debe tener en cuenta para determinar la absorción del panel con *Luffa Cylindrica*, su forma debe afectar la onda sonora y su transición y su estructura auto portante.

El comportamiento físico dependerá de la resina aplicada, además el proceso de aplicación varia y el desmolde en algunos casos como la fécula de Maíz se torna difícil, a tal gravedad que se puede dañar el módulo, igualmente la durabilidad del material y el peso son aspectos relevantes a la hora de la instalación del producto final.

Por todo lo anterior, se concluye que el aglomerante más conveniente para el sistema planteado en este proyecto es el polivinilo siendo un material no proveniente de los derivados del

petróleo, su adherencia y capacidad de penetración en la fibra da como resultado una forma definida que disipara las ondas sonoras en su geometría.

7.4 Elaboración de muestras para ensayos

Para la fundamentación del material acústico propuesto se decide someter el material a pruebas en el tubo de impedancia, de acuerdo con las muestras desarrolladas con diferentes aglomerantes, polivinilo, resina poliéster y fécula de maíz, se plantea experimentar en el tubo de impedancia probetas fabricadas con polivinilo y resina poliéster siendo las que mejor se comportaron físicamente, también se determinaron dos variables más espesor y nivel de compresión.

Se establecen tres tipos de pruebas que determinan en gran medida la funcionalidad del absorbente acústico planteado; la transmisión de sonido, que busca establecer las propiedades de reducción de transmitancia de las ondas sonoras en el material; el tubo de impedancia, que calcula el índice de absorción del material; y por último pruebas ignifugas. La aplicación de las pruebas se basa en las normativas a continuación descritas, para obtener resultados sin mayores desviaciones.

- Transmisión de sonido – Norma Nch 2785 of 2003
- Tubo de Impedancia – Norma ISO 13472-2
- Ignifugo – Norma EN – 45545-2

7.4.1. Proceso de elaboración de muestras para las mediciones en tubo de impedancia

A continuación, se describe la metodología utilizada para la elaboración de las muestras o probetas que servirán para la aplicación de los ensayos de transmitancia, coeficiente de absorción e ignífugos.

1. Teniendo en cuenta que la Luffa Cylindrica se adquirió descascarado, se procede a realizar un lavado con agua para eliminar partículas de polvo u otras suciedades adquiridas en el proceso de cosecha y transporte, este proceso de lavado no solo pretende limpiar la Luffa Cylindrica, también permite eliminar lignina y abrir los poros de las fibras.
2. Luego del lavado y secado a ambiente se procede a abrir el fruto y sacar las semillas, esto se hace realizando un corte longitudinal que deja al descubierto el interior de la Luffa Cilíndrica, se retiran algunas semillas existentes y se retiran las “crestas” de la estructura central conservando la lámina externa del material.



Figura 22 Luffa Cylindrica lavada y abierta
Elaboración propia

3. Una vez abierta la Luffa, se procederá a marcar el diámetro que corresponde al tubo de impedancia, este proceso debe ser riguroso ya que no pueden existir

márgenes entre la probeta y las paredes del tubo de impedancia o las pruebas arrojadas serán erróneas, por este motivo debe hacerse lo más exacto posible.



Figura 23. Corte diámetro de 4" para tubo de impedancia
Elaboración propia

4. Teniendo la guía del diámetro del tubo, se procede a seccionar el material para llenar el sistema de compactación diseñado previamente para asegurar el diámetro solicitado de 4", con este sistema se garantiza que el aglutinante usado permee los bordes y selle el perímetro de la probeta, además de compactar el material para lograr una mayor densidad.



Figura 24. Proceso de compactación de probetas
Elaboración propia

Para determinar los espesores de las probetas, se realizó un comparativo entre los materiales que actualmente se comercializan y que esta investigación propone reemplazar, a continuación, en la tabla, se observa el espesor mínimo y el espesor mayor que permite establecer un rango y unos promedios para analizar y plantear un espesor óptimo para las probetas y el prototipo a desarrollar; este análisis también se hace con el propósito de establecer un espesor mínimo y uno máximo por temas de ocupación, es decir que la envolvente no reduzca en área los recintos donde se va a realizar su aplicación.

Tabla 6 Comparativo espesores entre materiales absorbentes

Referencia	Espesor <		Espesor >		Promedio
	Pulgadas	Centimetros	Pulgadas	Centimetros	
Espuma fonoabsorbente	1"	2,54	2 1/2"	6,35	4,45
BlackTheater	1"	2,54	2"	5,08	3,81
Planchas de polietileno	1/2"	1,27	1 1/2"	3,81	2,54

Nota: Datos comparativos de los espesores entre cada uno de los materiales absorbentes.
Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, se estableció un rango entre 1" es decir 2,54 cm y 1 1/2" equivalente a 3,81 cm de espesor para desarrollar las probetas y establecer el espesor para el prototipo final, se realizaron tres tipos de muestras denominadas MC1, MC2 y MR3, se realiza de esta manera teniendo en cuenta los resultados de la experimentación realizada con los s aglomerantes en polivinilo y resina poliéster.

Tabla 7 Especificaciones de las Probetas para ser ensayadas en el tubo de Impedancia

Referencia	Diametro		Espesor		Aglomerante	No. De probetas
	Pulgadas	Centimetros	Pulgadas	Centimetros		
MC1	4"	10.16	1"	2.54	Polivinilo	10
MC2	4"	10.16	1 1/2"	3.81	Polivinilo	10
MR3	4"	10.16	1 1/2"	3.81	Poliester	10

Elaboración propia

En total se realizaron 30 muestras para ser evaluadas y puestas a prueba en el tubo de impedancia con el fin de comparar los datos arrojados de cada muestra y establecer patrones de comportamiento, generando rangos mínimos y máximos y evidenciar desviaciones estándares de acuerdo con la muestra analizada.



Figura 25 Muestras rotuladas
Elaboración propia

7.4.2. Preparación de muestras y elementos para ensayo de Transmisión de sonido

Para realizar el ensayo de transmisión de sonido se tomará como referente las pruebas realizadas a la lana de roca, fibra de vidrio y poliuretano, donde se establece una caja de 12cm x 12cm x 11cm., una alarma (Fuente) y un sonómetro, este ensayo constará de 2 mediciones de sonido, la caja sin cubrimiento y la caja con recubrimiento en Luffa Cylindrica, bajo condiciones controladas de ruido externo, es decir en un espacio cerrado. A continuación, se describe la metodología usada para este ensayo.

1. Se procederá a cortar la Luffa Cylindrica de las medidas de las paredes de la caja, es decir paneles de 12cm x 12cm x 11cm.
2. Una vez teniendo los paneles en Luffa Cylindrica, se procederá a compactar con polivinilo de madera.
3. Se procederá a realizar las mediciones a la caja sin instalar los paneles de Luffa Cylindrica con el fin de obtener el nivel de transmitancia que tiene la caja por si sola.
4. Teniendo los paneles compactados se procederá a ubicarlos en la caja para realizar la respectiva medición de transmitancia con la fuente de sonido en la caja, para identificar los decibeles que se transmite con la Luffa Cylindrica instalada.



Figura 26 Caja adecuada para prueba de transmisión de sonido
Elaboración propia

Esta medición permitirá generar un índice en porcentaje de la transmisión del sonido, de acuerdo con la diferencia entre los resultados obtenidos, se debe aclarar que el objetivo del material es absorber en mayor medida y no aislar, la medición se hace con el fin de determinar si existe una cualidad de transmitancia por la compactación del material y el aglutinante usado.

7.4.3. Preparación de muestras y elementos para ensayo Ignifugo.

Para esta prueba se establecerá el tiempo de incinerado de la luffa cylindrica además de evaluar la emisión de humo, el comportamiento de la llama, la extinción del fuego, la propagación y el nivel de seguridad de este material, este ensayo se compone de dos fases:

1. Material natural, sin ningún tipo de tratamiento.
2. Material tratado con ácido bórico.
3. Con un encendedor se someten las probetas directamente al fuego, mientras se toman los siguientes datos, tiempo de encendido, tiempo de calcinado total de la Luffa Cylindrica

Por otra parte, se plantea el ácido bórico por su comportamiento físico en función de retardar el encendido de la llama, prolongando el tiempo de inicio de conato sobre el material, obteniendo un margen de tiempo para realizar maniobras de extinción sobre el fuego, para complementar el sistema se aplicaran las recomendaciones dadas en el titulo J numeral J.2.5.3 de la Norma Sismo Resistente (NSR-10) que hace referencia a las especificaciones que debe cumplir las envolventes arquitectónicas en cuanto a su instalación y disposición con otras redes de extinción y detección (NSR-10).

7.5 Conclusiones y recomendaciones del Capítulo II: Fase de planteamiento

El diseño de un absorbente acústico tiene diversas variantes, ya sean propias del material o externas, no solamente se debe al desarrollo del material, también a una planificación y estudio del espacio o recinto que se va a intervenir, clasificar el uso del recinto, establecer métodos de medición para justificar el material a instalarse y ubicación de este para afectar la onda sonora y minimizar su transición.

El comportamiento físico dependerá del aglomerante aplicado, teniendo en cuenta que el proceso de aplicación varía de acuerdo al material que se esté usando; la porosidad del material se puede ver afectada lo que es contraproducente si se quiere llegar a obtener los mejores resultados en cuanto a niveles de absorción del material es decir de 60 a 90 decibelios de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10534; del aglomerante aplicado también depende el proceso de desmolde, en algunos casos como la fécula de maíz se torna difícil y delicado ya que requiere de un proceso de secado que toma entre 2 y 3 días y su consistencia no es tan rígida lo que afecta la estabilidad de los bordes.

Se considera importante diseñar un método de producción lineal que estandarice todos los procesos y optimice los materiales para lograr un producto con altos estándares de calidad que permita competir en el mercado frente a otros materiales, puntuando en todos los aspectos, eficacia y funcionalidad, estético, económico, fácil de instalar, durabilidad, fácil mantenimiento, entre otros.

Es importante además de la parte técnica tener en cuenta la parte estética, es relevante que el producto llame visualmente la atención, además de servir como un elemento acústico debe servir como un elemento arquitectónico ya que la mayoría de los materiales tienen acabados muy planos que pueden volverse un problema estético a la hora de diseñar arquitectónicamente un recinto.

Para finalizar, el diseño del sistema de instalación debe ser congruente con el espacio, debe ser un elemento liviano y de fácil instalación sin necesidad de intervenir drásticamente los elementos existentes como paredes, cielos rasos y demás, teniendo en cuenta que la evolución de la construcción ha migrado a los sistemas industrializados livianos teniendo en cuenta que la Luffa Cylindrica se clasifica como un material clase 3; este material no puede ser instalado en recintos de un área menor a 170 m² sin superar en área cubierta por el material el 20%, y, por último, todos los elementos de fijación del material deben ser no ignífugos, en este caso se optaría por herrajes metálicos.

8 Capítulo III: Aplicación y análisis de ensayos a probetas de Luffa Cylindrica

8.1 Aplicación ensayos en el Tubo de Impedancia Kundt

A continuación, encontraremos la metodología basada en la norma: ISO (1998) ASTM E1050-12 Método de prueba estándar para impedancia y absorción de materiales acústicos utilizando un tubo, dos micrófonos y un sistema de análisis de frecuencia digital”. Donde se seguirá el paso a paso de la aplicación de la prueba en los laboratorios de la Universidad San Buenaventura y ejecutados por el Físico Luis Herrera y el Ingeniero de Sonido Darío Páez.

8.1.1. Procedimiento de aplicación de la prueba de absorción en el tubo de impedancia

Los aparatos e instrumentación a continuación se ilustran en la Fig. 32, se muestra la disposición sugerida de acuerdo con la norma ISO ASTM E1050-12. (ASTM International, 2019)

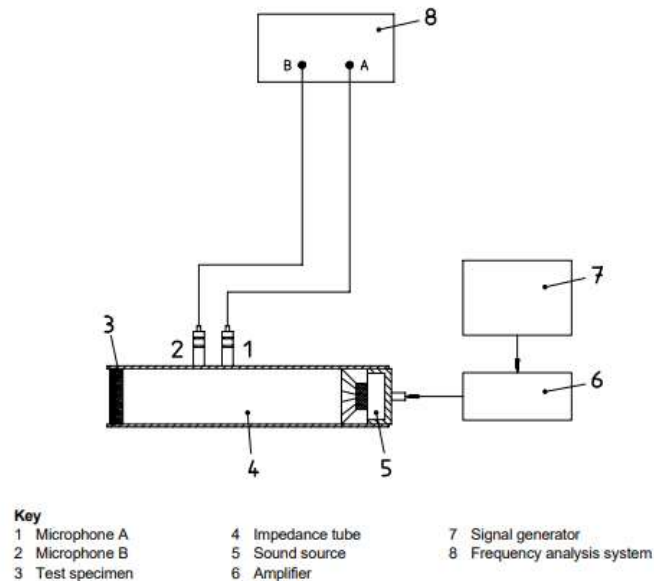


Figura 27 Aparatos e instrumentación del tubo de impedancia
Tomado de (ISO 1998)

Una vez que la muestra de la prueba ha sido montada en el tubo de impedancia de acuerdo con la disposición recomendada a la norma se debe establecer el plano de referencia de manera que la distancia donde se encuentra la probeta hasta el punto más cercano micrófono puede ser determinada. (ASTM International, 2019)

Se debe establecer el plano de referencia, en este caso es la superficie frontal de la probeta de la luffa Cylindrica, si la probeta de prueba posee una superficie no homogénea o asimétrica el plano de referencia puede ser difícil de establecer. En caso de que la cara no sea simétrica se debe elegir uno o varios planos adaptados a la aplicación prevista, incluyendo un plano correspondiente al borde frontal extremo del material, la ubicación afecta el cálculo de las relaciones de impedancia y admitancia.



[Figura 28](#) Ubicación de la probeta en tubo de impedancia
Elaboración propia

Para los cálculos y la medición de la función de transferencia entre las dos señales de micrófono junto con la separación del micrófono, se debe calibrar la distancia desde el

plano de referencia hasta el micrófono más cercano, y conocer la temperatura del aire es necesario para la evaluación de las propiedades acústicas de incidencia normal de él espécimen en este caso la Luffa Cylindrica.

La velocidad del sonido en los cambios de aire con la temperatura deberá ser calculado a partir de la temperatura medida de acuerdo con la velocidad del sonido, m/s, y la temperatura ambiente, ° C, esta medición se puede realizar por termostatos manuales en sitio o información actualizada en la red. (ASTM International, 2019)

La calibración entre la relación señal/ruido consiste en medir la presión acústica espectro de nivel en cada micrófono, con la fuente de sonido encendida *on* y apagada *off* para asegurar que se cumplen las condiciones de presión, es decir no hallan fugas entre la pared y la probeta, debe haber una terminación altamente absorbente para este procedimiento.

Considerando que son varias muestras se recomienda usar el método de la promediación que es la técnica de conjuntos que tiene el efecto de reducir las incertidumbres debidas a la variación del ruido aleatorio, sin embargo, la relación entre la señal y el ruido es que el ruido no se altera. La cantidad de promedios necesarios depende de la precisión requerida de la función de transferencia. (ASTM International, 2019).

En cuanto al software usado, específicamente el programa de análisis de Windowing-FFT que realiza en bloques de datos un registro de tiempo de duración finita. Este proceso es un truncamiento de un historial de tiempo continuo que requiere la utilización de una ponderación de tiempos, para restarle importancia a las partes truncadas de la ventana récord de tiempo. Una variedad de ventanas está disponible y cada una tiene ventajas específicas en función del tipo de señal de prueba utilizado. A efectos de este método de ensayo, el método Hanning La ventana se recomienda para la medición de la función de transferencia espectros. Una muestra debe ser

altamente absorbente para garantizar que el procedimiento de calibración de 8.4 es efectivo.

Desafortunadamente, la mayoría los materiales presentan una baja absorción a bajas frecuencias, por lo tanto, limitando la precisión de los resultados finales.

Se pone una muestra de alta absorción en el tubo para prevenir fuertes reflexiones acústicas y para obtener el factor de corrección más preciso posible. Mide las dos funciones de transferencia siguientes utilizando los mismos algoritmos computacionales para ambas, es decir, muestra de alta absorción y muestra de la Luffa Cylindrica. (ASTM International, 2019).



Figura 29 Ejecución de ensayos en el tubo de Impedancia
Fuente: Propia

Se deben colocar los micrófonos en la configuración estándar luego intercambiar las posiciones de los micrófonos para asumir la función configuración del interruptor y medir, se debe tener cuidado al intercambiar los micrófonos, para asegurar que el micrófono uno en la configuración conmutada ocupa la ubicación exacta que el micrófono dos ocupaba en la configuración estándar y viceversa.

El equipo podrá realizar pruebas que determinaran otros aspectos, para identificar estos aspectos se debe colocar los micrófonos en la configuración estándar se debe insertar el espécimen de prueba, y medir la función de transferencia, ratio de resistencia, la relación normal

de reactividad acústica específica, ratio de admitancia y conductancia normal específica, todo lo anterior usando logaritmos computacionales ya programados.

8.1.2. Resultados y análisis de ensayos.

Luego de la ejecución de los ensayos a continuación se ilustrarán tablas con los resultados obtenidos. En la siguiente tabla se organizaron los resultados obtenidos por el tubo de impedancia de los coeficientes de absorción de las muestras tipo MC1, (de un espesor de 1” y aglomerada con polivinilo), para resumir y entender los resultados se procede a utilizar el método de promedios y desviaciones con el fin de unificar los resultados, esto permitirá un mejor entendimiento de lo sucedido con estas probetas.

Tabla 8 Resultados de Muestras MC1 en el tubo de impedancia

Frec (Hz)	MC1-1	MC1-2	MC1-3	MC1-4	MC1-5	MC1-6	MC1-7	MC1-8	MC1-9	MC1-10	MC1 PROM	MC1 DESV EST
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,23	0,04	0,09
125	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,26	0,29	0,06	0,11
160	0,04	0,00	0,06	0,18	0,15	0,00	0,00	0,00	0,28	0,37	0,11	0,13
200	0,20	0,13	0,24	0,28	0,28	0,13	0,12	0,07	0,35	0,39	0,22	0,11
250	0,26	0,23	0,27	0,32	0,31	0,22	0,21	0,17	0,34	0,36	0,27	0,06
315	0,29	0,29	0,32	0,35	0,34	0,27	0,26	0,19	0,40	0,42	0,32	0,07
400	0,32	0,35	0,33	0,29	0,34	0,26	0,32	0,24	0,40	0,41	0,33	0,05
500	0,36	0,43	0,43	0,32	0,37	0,45	0,49	0,30	0,46	0,46	0,41	0,07
630	0,52	0,65	0,51	0,37	0,49	0,68	0,74	0,38	0,63	0,64	0,56	0,13
800	0,63	0,75	0,71	0,35	0,70	0,73	0,63	0,32	0,49	0,73	0,60	0,16
1000	0,71	0,83	0,56	0,45	0,75	0,75	0,48	0,44	0,37	0,70	0,60	0,16
1250	0,51	0,66	0,26	0,55	0,00	0,55	0,22	0,23	0,22	0,53	0,37	0,21
1600	0,92	0,56	0,22	0,87	0,39	0,61	0,00	0,90	0,31	0,41	0,52	0,31

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la anterior tabla, las probetas denominadas MC1 en bajas frecuencias obtuvieron bajos resultados, cabe destacar el comportamiento de las muestras MC1-9 y MC1-10 tienen un buen comportamiento, al individualizarlas se evidencio que estas muestras tenían una mayor compactación, es decir, más capas de *Luffa Cylindrica* en un espesor de 1”; no quiere decir que las demás muestras a frecuencias bajas no sirvan, pues la norma ISO 10534 establece que todos los absorbentes acústicos a bajas frecuencias no tienen los mejores resultados.

Además, las muestras fueron sometidas a un rango de frecuencias desde los 100 Hz hasta los 1600 Hz, para entender estos rangos se tiene como ejemplo que la voz humana está en un rango de 50 Hz, un grito roza los 100 Hz, y 120 Hz es el ruido de un avión a 60 metros de altura, como se había explicado en el anterior párrafo los materiales tienen un bajo coeficiente de absorción en las frecuencias más bajas, y esto se ve reflejado en las frecuencias de 100 Hz a 125 Hz donde los resultados son nulos en cuanto a niveles de absorción.

En la figura 30 a continuación, se muestra la tendencia de los resultados obtenidos para esta primera serie de probetas denominadas MC1.

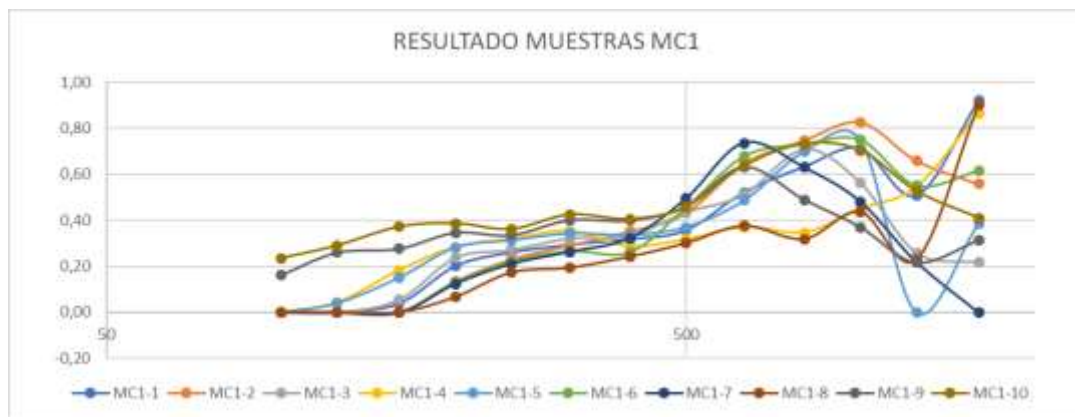


Figura 30 Grafica de picos obtenidos por las 10 muestras MC1 obtenidas en el tubo de impedancia
Elaboración Propia

El resultado como primera medida se mantiene en unos rangos y marcan una tendencia, es decir las curvas mantienen una elevación de su coeficiente de absorción a medida que aumenta su exposición a las ondas emitidas, si se individualiza MC1-2 (línea naranja) muestra que en el rango de los 500 a 1000 Hz los picos superan el coeficiente de los 80 decibelios; recordemos que la norma ISO 10534 cataloga como absorbentes materiales que superen el rango de 60 decibelios.

Aunque las muestras variaban un poco en su dosificación los resultados demuestran las cualidades absorbentes del material, por lo tanto, se debe establecer estándares de fabricación para que los resultados se mantengan estables a un solo rango de absorción acústica sin tener ningún tipo de desviación.



Figura 31 Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MC1:
Elaboración Propia

En la anterior figura, se puede determinar que el promedio de las 10 muestras mantiene picos por encima de los 60 decibelios entre los 800 y 1000 Hz, catalogando el material como absorbente acústico de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10534 que establece que un material se cataloga como absorbente acústico si mantiene su coeficiente de absorción por encima de los 60 decibelios en un rango de frecuencia entre los 500 y 1000 Hz; la línea azul muestra una desviación estándar que no sufre variaciones inusuales manteniéndose en un rango de 10 decibelios cada 400 Hz, un comportamiento lineal logrando un resultado positivo para las probetas MC1.

En la tabla siguiente, se organizaron los resultados obtenidos por el tubo de impedancia de los coeficientes de absorción de las muestras tipo MC2, (de un espesor de 1 1/2" y aglomerada con polivinilo), para resumir y entender los resultados, se procede a utilizar el método de

promedios y desviaciones con el fin de unificar los resultados, esto permitirá una mejor abstracción de lo sucedido con estas probetas.

Tabla 9 Resultados de Muestras MC2 en el tubo de impedancia

Frec (Hz)	MC2-1	MC2-2	MC2-3	MC2-4	MC2-5	MC2-6	MC2-7	MC2-8	MC2-9	MC2-10	MC2 PROM	MC2 DESV EST
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,20	0,03	0,07
125	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	0,00	0,24	0,00	0,26	0,07	0,10
160	0,08	0,05	0,00	0,22	0,19	0,00	0,03	0,30	0,08	0,30	0,12	0,12
200	0,26	0,15	0,18	0,30	0,28	0,19	0,18	0,34	0,23	0,36	0,25	0,07
250	0,30	0,28	0,25	0,31	0,31	0,26	0,26	0,35	0,26	0,36	0,30	0,04
315	0,38	0,36	0,32	0,39	0,42	0,35	0,32	0,41	0,32	0,39	0,37	0,04
400	0,45	0,50	0,44	0,40	0,52	0,41	0,40	0,40	0,35	0,37	0,42	0,05
500	0,53	0,65	0,56	0,47	0,54	0,57	0,56	0,54	0,43	0,39	0,52	0,08
630	0,58	0,73	0,59	0,70	0,51	0,84	0,81	0,73	0,66	0,54	0,67	0,11
800	0,54	0,60	0,47	0,84	0,42	0,86	0,96	0,90	0,77	0,64	0,70	0,19
1000	0,48	0,48	0,38	0,80	0,45	0,68	0,85	0,81	0,71	0,87	0,65	0,19
1250	0,34	0,40	0,30	0,60	0,50	0,25	0,54	0,56	0,47	0,88	0,48	0,18
1600	0,61	0,60	0,27	0,33	0,45	0,07	0,51	0,48	0,32	0,06	0,37	0,20

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con la información condensada en la tabla, concluimos que el grupo de muestras MC2 obtuvo mejores resultados en comparación a las probetas MC1, con rangos menos distantes; en bajas frecuencias de 100 a 125 Hz su nivel de absorción es bajo ya que no supera los 10 decibelios, lo que nos reafirma la teoría que a bajas frecuencias los materiales absorbentes no tienen altos coeficientes de absorción, individualizando los resultados, las muestras MC2-4, MC2-5, MC2-8 y MC2-10 muestran un coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que la muestras MC2-6 y MC2-10 en la frecuencia más alta de 1600 Hz tienen una amplia caída en el coeficiente de absorción.

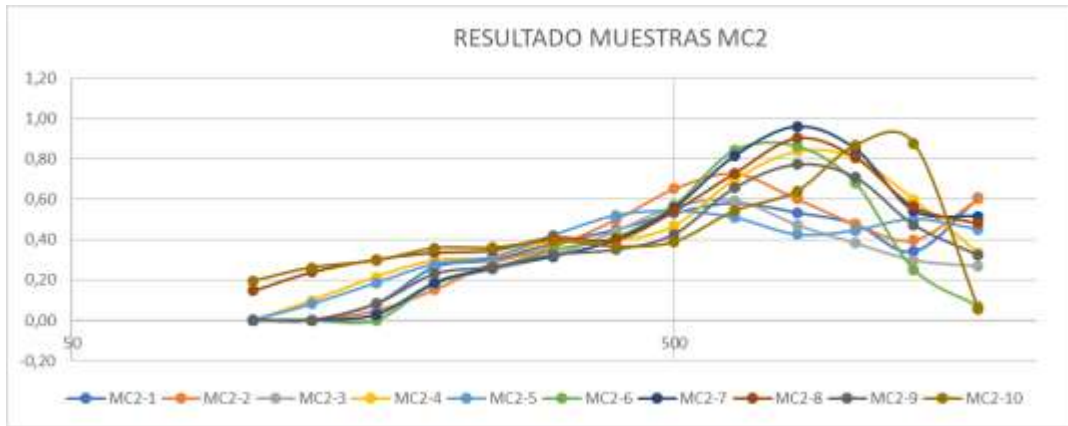


Figura 32 Gráfica de picos obtenidos por las 10 muestras MC2 obtenidas en el tubo de impedancia
Elaboración Propia

Ahora bien, si el resultado si se individualiza la muestra MC2-7 (línea azul) muestra que en el rango de los 800 a 1000 Hz hay picos que superan el coeficiente de los 90 decibelios; recordemos que la norma ISO 10534 cataloga como absorbentes materiales que superen el rango de 60 decibelios.

El resultado como primera medida se mantiene en unos rangos y marcan una tendencia, observando el comportamiento de estos resultados podemos identificar que la variación entre los dos probetas hasta el momento ha sido el espesor (MC1=1", MC2=1 ½"), lo que nos indica que ha mayor espesor y densidad notablemente mejora el rendimiento del material, por lo tanto este resultado se acopla a las teorías citadas en los anteriores capítulos donde se expone que los materiales a bajas frecuencias no tienen altos índices de absorción, y el espesor influye en su rendimiento.

Para finalizar la gráfica de las probetas MC2 se muestra más compacta y los resultados se asimilaron en mayor medida, acercando los resultados obtenidos por cada una; algunos picos muestran comportamientos un tanto variables como son el caso de la caída del coeficiente de absorción de las muestras MC2-6 y MC2-10 a los 1600 Hz.

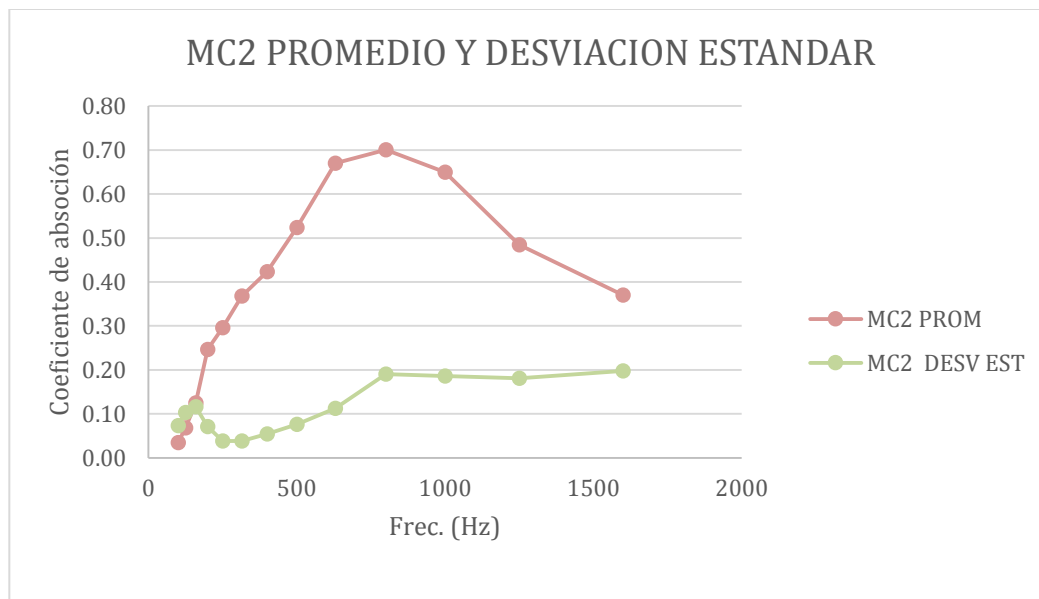


Figura 33 Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MC2
Elaboración Propia

De acuerdo con la figura 33 de promedios y desviación estándar se puede observar los picos alcanzados entre los 500 Hz y 1000Hz que llegan a los 70 decibelios, igualando a algunos materiales sintéticos fabricados para este propósito, que más adelante se compararan en detalle, por otro lado, la línea de desviación se mantiene en un rango mucho menor al resultado obtenido por las muestras MC1 de acuerdo a la gráfica 35, lo que indica que las muestras fueron más regulares y su comportamiento se asemeja.

Para finalizar las muestras puestas a prueba fueron las MR1, recordemos que esta probeta estaba aglomerada de resina de poliéster, un potente aglomerante de origen industrial y un espesor de 1". Para los ensayos realizados bastó con tres muestras para observar un comportamiento poco usual en este material, por esta razón no se llevó a cabo la experimentación con las 10 muestras realizadas.

Tabla 10 Resultados de Muestras MR1 en el tubo de impedancia

Frec (Hz)	MR1-1	MR1-2	MR1-3	MR1 PROM	MR1 DESV EST
100	0,12	0,11	0,00	0,08	0,07
125	0,23	0,19	0,37	0,26	0,10
160	0,27	0,26	0,00	0,18	0,15
200	0,34	0,33	0,55	0,41	0,12
250	0,34	0,32	0,35	0,34	0,02
315	0,36	0,33	0,38	0,36	0,02
400	0,33	0,29	0,36	0,32	0,03
500	0,32	0,26	0,35	0,31	0,05
630	0,37	0,27	0,37	0,34	0,06
800	0,34	0,24	0,35	0,31	0,06
1000	0,45	0,22	0,40	0,36	0,12
1250	0,62	0,00	0,40	0,34	0,32
1600	0,76	0,33	0,55	0,54	0,21

Nota: Elaboración propia

Los resultados fueron precarios y su explicación es sencilla, al usarse una resina poliéster por ser de textura viscosa, tapa y obstruye los poros de la Luffa Cylindrica, lo que es contraproducente para el resultado que se quiere lograr, influye también en el resultado, que la resina se cristaliza, lo que significa que las ondas acústicas rebotan y tienen una mayor transmitancia, esto se aprecia en la tabla donde los coeficientes de absorción no superan los 40 decibelios; sin embargo hay un dato para rescatar de estas pruebas y es el coeficiente que logra a los 1600 Hz, que no logran las muestras MC1 y MC2.



Figura 34 Gráfica de picos obtenidos por las 10 muestras MR1 obtenidas en el tubo de impedancia
Elaboración Propia

Los resultados son muy horizontales debido a las condicionantes mencionadas anteriormente, en los primeros rangos de frecuencia el resultado se mantiene, pero al sobrepasar de los 600 Hz el material tiene comportamientos variables, de igual manera los picos alcanzados entre los 500 y 800 Hz no alcanzan a lograr el rango establecido para catalogarse como un absorbente acústico. De acuerdo con la figura 38, se observa en las tres muestras picos de 70, 50 y 30 decibelios a frecuencias de 1600 Hz, en un cambio de comportamiento radical, quedando abierta la posibilidad de estudiar el material a mayores frecuencias.



Figura 35 Gráfica de promedios y desviaciones estándar de las muestras MR1
Elaboración: Propia

Las desviaciones en este caso ocurren en mayor medida al final de la línea (línea color azul) esto sucede cuando las frecuencias suben de los 1400 Hz y los 1600 Hz; el promedio (línea color naranja) se muestra en un rango de 30 a 40 decibelios como coeficiente de absorción desde los 200Hz hasta los 1200 Hz afectando la clasificación como material absorbente; lo anterior se debe al uso de la resina poliéster que por ser de textura viscosa tapa los poros de la Luffa Cylindrica, esto influyo en el resultado final.

Para concluir, se tomaron los picos más altos logrados por la Luffa Cylindrica de la muestra que mejor se comportó, en este caso la MC2 para compararla con materiales blandos como el

blacktheater, lana de roca, espuma de poliuretano; también se comparó con materiales de tipo mineral como el ladrillo, vidrio y techo acústico; actualmente comercializados y expuestos en el objetivo general de esta investigación para ser comparados en un rango de 125 Hz a 1000 Hz que son los estándares más usados para realizar acondicionamientos acústicos.

***Tabla 11** Comparativo de materiales absorbentes en un rango de 125Hz a 1000 Hz*

Frec (Hz)	ESTROPAJO	BLACKTHEATHER	ESPUMA POLIURETANO	LANA DE ROCA	LADRILLO	VIDRIO	TECHO ACUSTICO
125	0,29	0,06	0,25	0,20	0,04	0,17	0,35
250	0,35	0,25	0,40	0,34	0,05	0,07	0,50
500	0,56	0,62	0,60	0,52	0,03	0,04	0,70
800	0,77	0,73	0,76	0,76	0,04	0,03	0,70
1000	0,87	0,91	0,80	0,80	0,04	0,03	0,70

Nota: Elaboración propia

En la anterior tabla se puede deducir que el coeficiente más alto lo tiene el blacktheater registrando 0.91 decibelios, seguido por la Luffa Cylindrica con 0.87 decibelios, apenas 3 unidades por debajo a una frecuencia de 1000 Hz; la espuma fonoabsorbente y la lana roca igualan con un coeficiente de 0.80; a continuación, se muestran de manera gráfica para demostrar los resultados obtenidos.

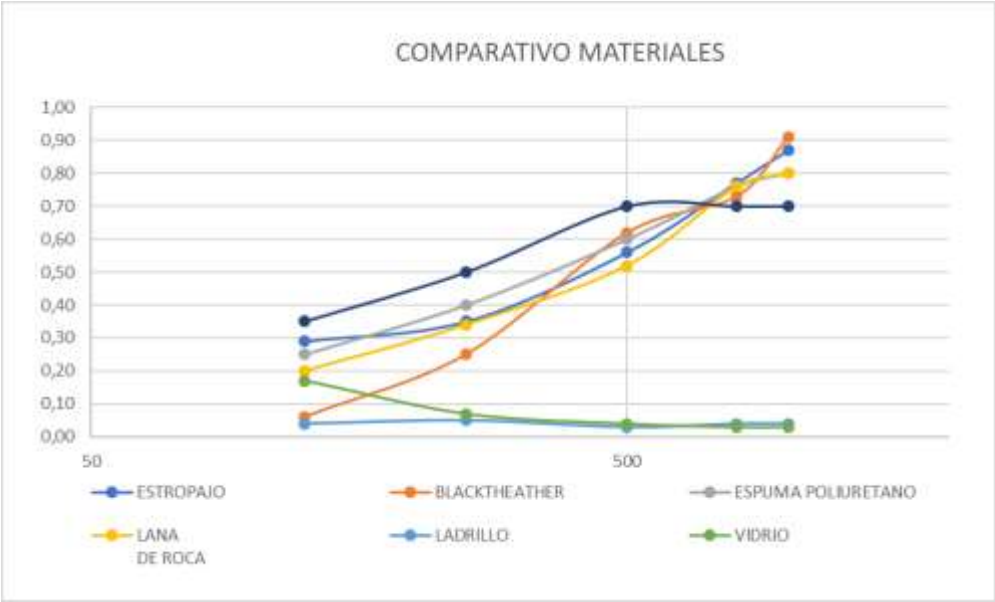


Figura 36 Gráfica comparativa de materiales absorbentes
 Fuente: Propia

Como se puede observar en la gráfica anterior la Luffa Cylindrica se mantiene por encima de materiales como la espuma fonoabsorbente y blacktheater hasta el rango de los 800 Hz, luego de este rango su nivel se muestra horizontal manteniéndose por encima de los 70 decibelios, esto nos refleja el alto potencial del material para ser usado como absorbente acústico de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10534 que establece que un material se cataloga como absorbente acústico si mantiene su coeficiente de absorción por encima de los 60 decibelios en un rango de frecuencia entre los 500 y 1000 Hz.

Tabla 12 Comparativo de índices de absorción a los 800 Hz

INDICE DE ABSORCION A 800 Hz						
ESTROPAJO	BLACKTHEATHER	ESPUMA POLIURETANO	LANA DE ROCA	LADRILLO	VIDRIO	TECHO ACUSTICO
0,77	0,73	0,76	0,76	0,04	0,03	0,7

Nota: Elaboración propia

Para ver más al detalle el por qué la Luffa se cataloga como un absorbentes, se fundamenta el resultado arrojado en la teoría de la norma ISO 10534 y la ASTM E1050-12 que establecen rangos entre 60 y 90 decibelios entre los 500 Hz y los 1000 Hz, se filtra los datos obtenidos a los 800 Hz donde la Luffa Cylindrica se caracterizó y obtuvo los picos más altos.

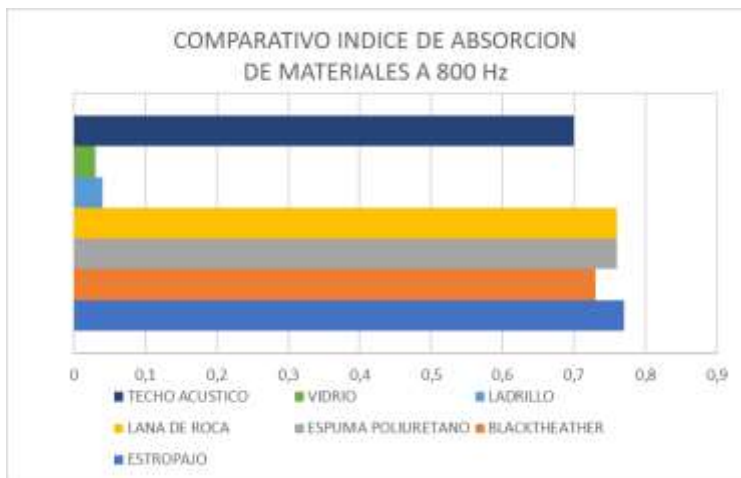


Figura 37 Comparativo del índice de absorción de la Luffa Cylindrica a los 800Hz
Elaboración Propia

La anterior figura, permite ver de una manera más clara la capacidad de absorción del Luffa Cylindrica logrado coeficientes que rondan los 77 decibelios a una alta frecuencia como lo son los 800 Hz, en comparación con la espuma fonoabsorbente o de poliuretano que ronda los 75 decibelios y el blacktheater con 73 decibelios, recordando que el tratamiento y el proceso realizado a la Luffa Cylindrica no son de tipo industrial, manteniendo su naturalidad, por lo tanto, se comprueba la hipótesis planteada en este proyecto y queda resuelta la pregunta de esta investigación.

8.2 Aplicación ensayos de transmisión de sonido en la caja sonora.

Para iniciar los ensayos se realiza una primera medición programando un sonido a una frecuencia de 80 db, esta medida se determina por la escala de la caja ya que a esta frecuencia el

sonido es molesto para el oído humano; para iniciar se calibra el volumen de la fuente y realizando la medición con el sonómetro, luego de realizar este paso se procede a instalar la fuente dentro de la caja para realizar la segunda medición teniendo la fuente programada y calibrada con el sonómetro.

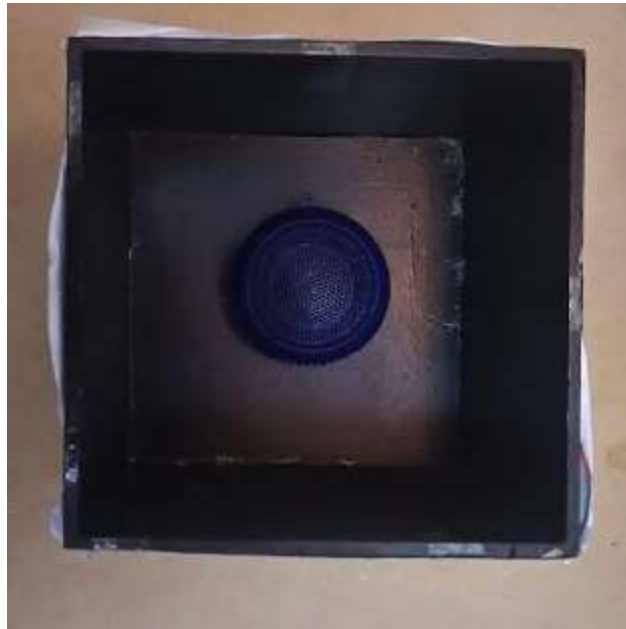


Figura 38 : Caja con la fuente sonora
Elaboración Propia

La Figura 38 ilustra la segunda medición que se realizó para determinar el nivel de transmisión de sonido de la caja, teniendo en cuenta que la caja se fabricó en mdf de 9 mm, este ensayo arrojó que el sonido de 80 db pasaba a ser de 50 db, una reducción notable de 30 db, teniendo en cuenta este dato arrojado por el sonómetro se procede a instalar los paneles anteriormente fabricados en la caja.



Figura 39 Caja con paneles de Luffa Cylindrica y la fuente sonora
Elaboración Propia

La figura 39 ilustra la disposición de la luffa cylindrica instalada en la caja y la ubicación de la fuente sonora, teniendo listos los elementos se procede a realizar la tercera medición con el sonómetro, los datos arrojados para este ensayo fueron 40 db una reducción significativa de 10 db, considerando que el material de la caja aportaba una reducción de 30 db, es decir la Luffa Cylindrica aportó el 12% del total de la reducción en la transmisión de sonido.

Tabla 13 Comparativo de transmisión de sonido con otros materiales

Item	MATERIAL	Db INICIAL	Db FINAL
1	Fibra de vidrio	80	10
2	Lana de Roca	80	15
3	Poliestireno	80	12
4	Poliuretano	80	9
5	Luffa Cylindrica	80	30

Nota: Elaboración propia

En comparación con otros materiales La Luffa cylindrica no posee un alto coeficiente de aislamiento, ya que su porosidad permite el paso y difracción de las ondas sonoras, se deja abierta la posibilidad de indagar si con otro tratamiento o aglutinante el material mejore el coeficiente, ya que en ensayos anteriores se evidencio que la resina poliéster aglomero el material, pero anulo su capacidad como absorbente, pero debió incidir en otros coeficientes.

8.3 Aplicación ensayos ignífugos

Para lo concerniente a este capítulo se establece que el material usado como materia prima en este caso la Luffa Cylindrica se clasifica de acuerdo con la tabla J2.5-3 de la NSR 10 como un acabado tipo 3, encontrándose en esta clasificación las maderas, antiacústicos, cartón y algunos plásticos, cabe resaltar que esta clasificación se hace de manera comparativa, con los materiales allí clasificados, para poder dar este estándar se debe someter el material a la prueba de túnel siguiendo la metodología planteada en la NTC 1691 (Min. Ambiente, 2010).

Tabla 14 Clasificación de materiales utilizados para acabados en interiores según el índice de propagación.

Clase	Materiales
1	• Paredes de cemento • Cartón de Fibra - cemento • Fibra - asfalto • Placas planas de fibrocemento • Placas planas de fibrosilicato • Ladrillo • Baldosas de cerámica • Lana de vidrio sin aglutinantes ni aditivos • Vidrio • Algunos azulejos antiacústicos
2	• Hoja de aluminio sobre respaldo apropiado • Cartón de fibra o yeso con revestimiento de papel • Madera tratada mediante impregnación • Algunos paneles antisonoros • Algunos azulejos antiacústicos
3	• Madera de espesor nominal de 2,5 cm o más • Planchas de fibra con revestimiento a prueba de fuego • Azulejo antiacústicos, combustible, con revestimiento a prueba de fuego • Cartón endurecido • Algunos plásticos
4	• Papel alástico • Tela • Viruta • Superficies cubiertas con aceite o parafina • Papel • Plásticos, sin grado que permita asignarlos a otras clases • Algodón

Nota: Tomado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>.

Teniendo en cuenta lo estipulado por la norma NSR, 10 en el numeral J2.5.2.5. Recomienda cubrir solo el 20% del área de los espacios con materiales de clase 3, esto nos indica que el material debe utilizarse de manera óptima en el recinto a adecuar y en los focos o puntos de mayor reverberación. (Min. Ambiente, 2010).

Este tipo de materiales de clasificación tipo 3 está prohibida para el uso en pasillos o corredores, básicamente se restringe el uso a espacios mayores a 170m², y dar cumplimiento a la recomendación que exige solo cubrir el 20% con relación a esta área, es decir que el material solo debe ocupar 34 m² de un recinto con el área establecida para dar total cumplimiento a la norma NSR 10. (Min. Ambiente, 2010)

Tabla 15 Área mínima establecida por la NSR-10 para permitir la instalación del material

Grupo de Ocupación		Ubicación del acabado interior			
		Medios de Salida Normales	Corredores	Espacios con áreas < 170 m ²	Espacios con áreas > 170 m ²
ALMACENAMIENTO	(A-1)	1	1	2	3
	(A-2)	1	1	2	3
COMERCIAL	(C-1)	1	1	3	3
	(C-2)	1	1	2	3
ESPECIAL	(E)	1	1	2	2
FABRIL E INDUSTRIAL	(F-1)	1	2	2	2
	(F-2)	1	2	2	3
INSTITUCIONAL	(I-1)	1	1	2	2
	(I-2)	1	1	2	2
	(I-3)	1	1	2	3
	(I-4)	1	2	2	3
	(I-5)	1	2	3	3
LUGARES DE REUNIÓN	(L)	1	2	2	2
MIXTO Y OTROS	(M)	1	1	2	3
ALTA PELIGROSIDAD	(P)	1	1	2	2
RESIDENCIAL	(R-1)	2	2	4	4
	(R-2)	1	1	2	2
	(R-3)	1	1	2	2
TEMPORAL	(T)	1	2	3	3

Nota: Tomado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/10titulo-j-nsr-100.pdf>.

Se determinan tres aspectos importantes para el material, por comparación y similitud a otros materiales la Luffa Cylindrica se clasifica como un material clase 3; este material no puede ser instalado en recintos de un área menor a 170 m² sin superar en área cubierta por el material el 20%, y, por último, todos los elementos de fijación del material deben ser no ignífugos, en este

caso se optaría por herrajes metálicos. Se debe tener en cuenta que el ensayo realizado se hace de forma empírica con el fin de obtener tiempos de referencia.



Figura 40 Ignición de la Luffa Cylindrica
Elaboración Propia.

De acuerdo con la figura anterior, se observa que la Luffa Cylindrica por su naturaleza maderosa y su porosidad hace ignición fácilmente, pero su incineración es rápida, la muestra puesta a prueba no tardo más de 10 segundos en consumirse en su totalidad, esto plantea dos escenarios, el primero es que el material se incinere en su totalidad de manera rápida o aplicarle aditivos como el ácido bórico que retardan la ignición.



Figura 41 Luffa expuesta al fuego
Elaboración Propia.

El material natural, sin ningún tipo de tratamiento tiene un periodo de quemado 5.3 segundos y a 10.2 segundos comienza el punto de ignición en una llama constante. Mientras que el material tratado con ácido bórico tiene un periodo de quemado a los 9.2 segundos y comienza su punto de ignición a los 13.3 segundos, esto nos indica que el material sometido a un tratamiento puede retardar su ignición.

9 Capítulo IV Desarrollo de sistema y análisis de costos de producción e instalación

En este capítulo se explicarán los sistemas propuestos de instalación del panel, con detalles desarrollados a un nivel de Lod 350, con el propósito de asegurar una viabilidad económica y el funcionamiento total del sistema, finalizando con la presentación de un producto sostenible y con altas posibilidades de ser comercializado.

9.1 Soporte en madera ranurada y platinas en acero

Este sistema está compuesto por una serie de elementos que facilitan el montaje y desmontaje del panel de Luffa Cylindrica, para este caso se llamara Estropanel, respondiendo a un nombre de carácter comercial y de marca; el sistema estructural o de soporte se basa en un panel ranurado de madera que permite una sola fijación a la estructura principal, es decir al muro; se plantea de esta forma facilitando la instalación al muro sin necesidad de intervenir o afectar la estructura original, bastara una o dos fijaciones con chazo no mayor a 3/8 y un tornillo de acero de 1 3/4" para sostener el panel ranurado.

Luego del panel ranurado se instala Estropanel, modulo en Luffa Cylindrica que incorpora una lámina metálica fijada al respaldo que encaja en las ranuras del panel acanalado, esto asegura una rápida instalación y acomodación, este sistema permite un movimiento lateral asegurando una alineación vertical entre los módulos de Estropanel. A continuación, se presentarán los elementos que conforman el sistema.

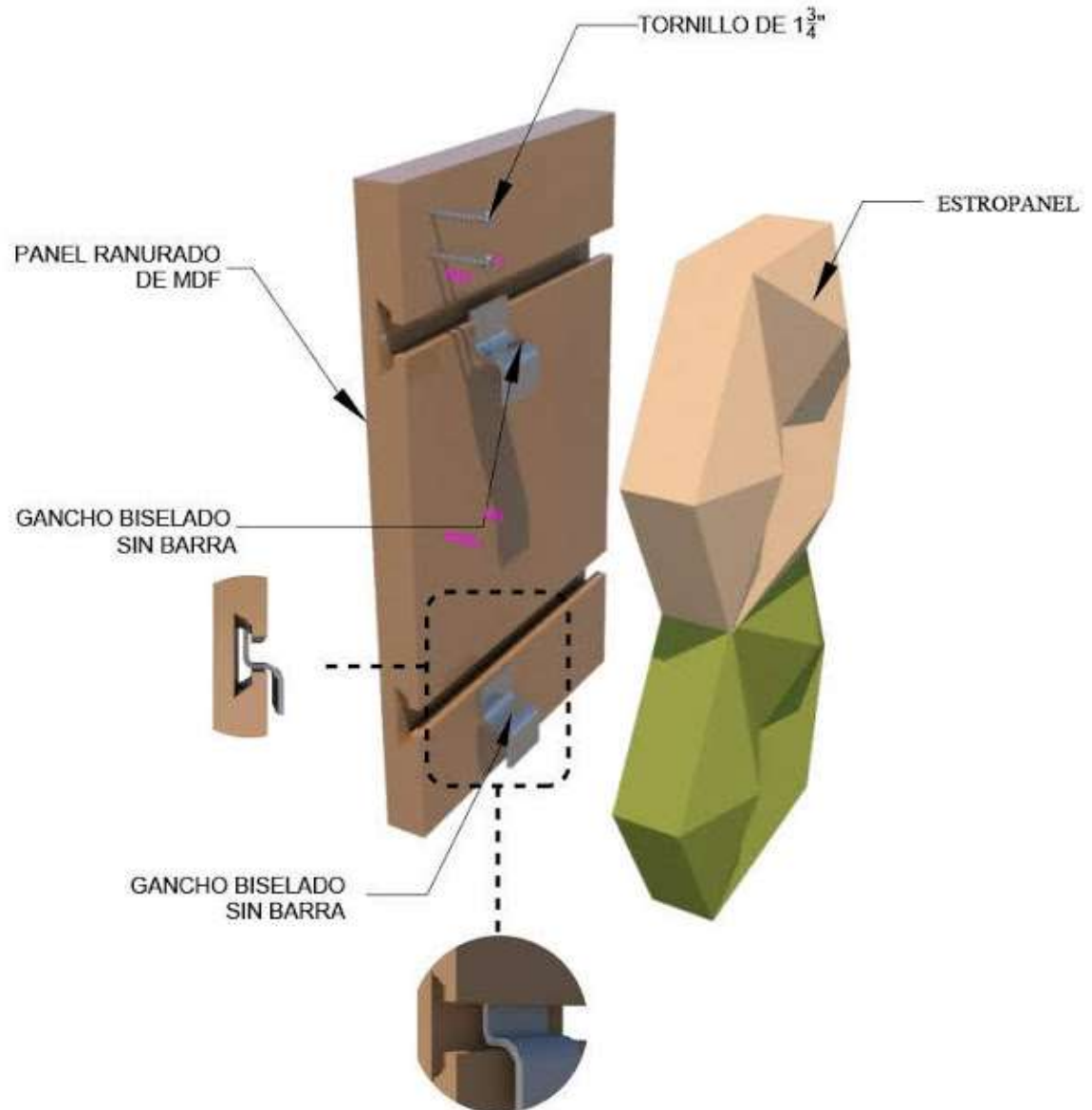


Figura 42 Detalle del sistema de instalación, soporte en madera ranurada y platinas en acero
Elaboración Propia.

De acuerdo con la figura 46 en la parte superior se detallan los tornillos de fijación directa del panel ranurado al muro, el chazo permite un anclaje a cualquier superficie como ladrillo o concreto, en caso de ser un sistema liviano se puede reemplazar el chazo y utilizar solo un tornillo de lámina; el panel ranurado de mdf de 9mm servirá como base para anclar Estropanel

con el gancho biselado; 4 componentes que simplifican la instalación de Estropanel a cualquier superficie.

9.2 Soporte tipo clic individual

De acuerdo con el análisis realizado al título J de la NSR-10, el numeral J.2.5.3.1 que recomienda el uso de materiales de fijación incombustible se desarrolla el segundo sistema que consiste en un completo kit de instalación que permite el montaje y desmontaje de los módulos permitiendo así un fácil mantenimiento de los elementos del sistema.

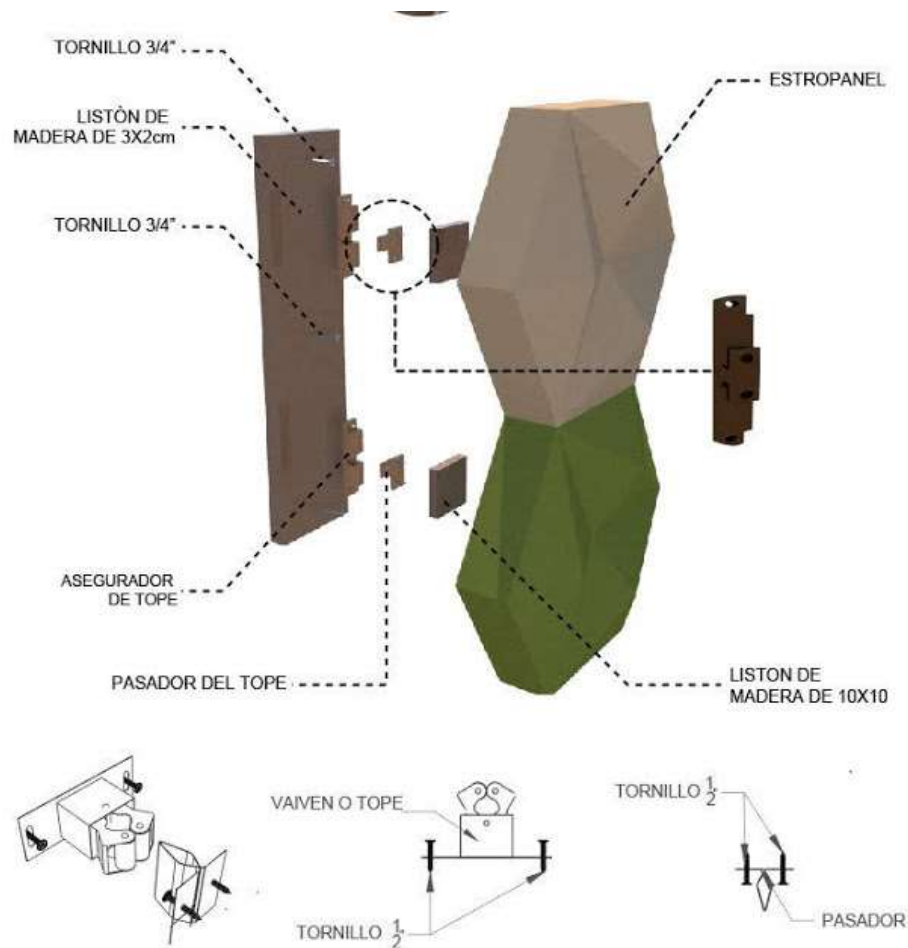


Figura 43 Detalle del sistema de instalación de soporte tipo clic individual
Elaboración Propia.

De acuerdo con la figura 47 en la parte superior se detallan los tornillos de fijación directa del listón de madera al muro, el chazo permite un anclaje a cualquier superficie como ladrillo o concreto de igual manera al primer sistema, se hace claridad que en caso de ser un sistema liviano se puede reemplazar el chazo y utilizar solo un tornillo de lámina; el elemento principal es el pasador de tope, este pasador se encarga de unir el Estropanel a la superficie.

Los listones de madera están previamente fijados a Estropanel facilitando la instalación del vaivén, el asegurador de tope se puede instalar directamente al muro o superficie a la cual se requiera instalar.

9.3 Análisis de costos

A continuación, se hace un análisis minucioso de los costos de fabricación de un M2 de EstroPanel, de acuerdo con los métodos usados, esto con el fin de comparar los costos con los materiales comúnmente usados.

Tabla 16 Costo de Luffa para 1 M2

COSTO DE LUFFA PARA 1 M2			
ITEM	ITEM	UND	CAN/VALOR
	Área del modulo propuesto	M2	0,06
	Módulos necesarios para cubrir 1m2	UND	16,67
	Luffa para 1 modulo	UND	2,00
	Luffa para 1 m2	UND	33,33
	M.O. Alistado Luffa	UND	\$ 1.472
	Costo luffa a proveedor directo	UND	\$ 500,00
	Costo de 2 luffas para 1 modulo	UND	\$ 1.000,00
	Costo de 33 luffas para 1 m2	PESOS	\$ 18.138,61

Nota: Elaboración propia

Tabla 17 Costo proceso pigmentación para 1 M2

COSTO PROCESO PIGMENTACION PARA 1 M2			
ITEM	ITEM	UND	CAN/VALOR
	Agua (14 litros)	LT	\$ 188,34
	Sal (20 gramos x litro)	kg	\$ 220,00
	Costo tinte	UND	\$ 1.230,00
	500 g de luffa en unidades	UND	5,72
	Gas (2 horas)	GB	\$ 250,00
	M.O. Proceso de pigmentacion de 1m2	PESOS	\$ 1.471,94
	Costo proceso para 1 modulo	PESOS	\$ 1.174,76
	Costo proceso para 1 m2	PESOS	\$ 19.579,25

Nota: Elaboración propia

Tabla 18 Costo de polivinilo para 1 M2

COSTO DE POLIVINILO PARA 1 M2			
ITEM	ITEM	UND	CAN/VALOR
	Área modulo propuesto	M2	0,0600
	Módulos necesarios para cubrir 1m2	UND	16,6667
	Polivinilo para 1 modulo de 5 capas de 0.5 mm cada capa	UND	0,0003
	Polivinilo para 1 m2	UND	0,0050
	Costo polivinilo 5 galones. "Presentación cuñete"	PESOS	\$ 178.400,00
	Costo polivinilo para 1 modulo	PESOS	\$ 54
	Costo polivinilo para 1 m2	PESOS	\$ 892

Nota: Elaboración propia

Tabla 19 Depreciación metálico para 1 M2

DEPRECIACION MOLDE METALICO PARA 1 M2			
ITEM	ITEM	UND	CAN/VALOR
	Costo material y corte molde	UND	\$ 142.800,00
	Costo armado, soldado de molde	UND	\$ 80.000,00
	Pernos	UND	\$ 13.410,00
	Transporte	GB	\$ 16.000,00
	Valor Total del Molde	PESOS	\$ 252.210,00
	Durabilidad estimada (2500 Usos)	UND	2500,00
	Tiempo de uso para fabricar 1 modulo	DIAS	0,38
	Costo molde para 1 modulo	PESOS	\$ 37,83
	Costo molde para 1 m2	PESOS	\$ 630,53

Nota: Elaboración propia

Tabla 20 Mano de obra para 1M2

MANO DE OBRA PARA 1 M2			
ITEM	ITEM	UND	CAN/VALOR
	Salario mínimo	HORA	\$ 5.887,77
	Tiempo de armado 1 modulo	HORA	0,25
	Tiempo de armado 1 m2	HORA	4,17
	Costo armado para 1 modulo	PESOS	\$ 1.471,94
	Costo armado para 1 m2	PESOS	\$ 24.532,36

Nota: Elaboración propia

Tabla 21 Valores totales

VALOR TOTAL MODULO PICMENTADO	\$ 3.738,05
VALOR TOTAL M2 PICMENTADO	\$ 63.772,75
VALOR TOTAL MODULO AL NATURAL	\$ 2.563,29
VALOR TOTAL M2 AL NATURAL	\$ 44.193,49

Nota: Elaboración propia

En el siguiente APU se resumen todos los costos anteriormente analizados para determinar un costo final por M2, se debe tener en cuenta que el M2 está conformado por módulos hexagonales de un área de 0.006 M2, y se requieren de 16 módulos para lograr dicha cobertura, esto lo hace modulable y adaptable a cualquier diseño.

Tabla 22 Análisis de precios panel luffa cylindrica pigmentada con acetato de polivinilo

ANALISIS DE PRECIOS PANEL LUFFA CYLINDRICA PIGMENTADA CON ACETATO DE POLIVINILO						
Código	Descripción	UM	Cantidad	Valor Unitario	Rendimiento	Valor Parcial
1	Absorbente acústico en Luffa Cylindrica de 1"		M2			
<i>Materiales</i>						
	Luffa Cylindrica	M2	1,00	18.138,61	1	18.138,61
	Tinte Iris de 250 gr.	UN	1,00	19.579,25	1	19.579,25
	Polivinilo	UN	1,00	892,00	1	892,00
Subtotal						38.609,86
<i>Mano de Obra</i>						
	M.O. Fabricación sistema	M2	1	24.532,36	1	24.532,36
Subtotal						24.532,36
<i>Herramienta</i>						
	Herramienta menor (Molde Metálico)	GB	1	630,53	1	630,53
Subtotal						630,53
Total Costo Directo						63.772,75

Nota: Elaboración propia

A continuación, se desarrollan los análisis de precios unitarios del EstroPanel con las dos propuestas de instalación.

Tabla 23 Análisis de precios Unitarios del EstroPanel – Sistema 1

ANALISIS DE PRECIOS PANEL LUFFA CYLINDRICA PIGMENTADA CON ACETATO DE POLIVINILO - SISTEMA 1						
Código	Descripción	UM	Cantidad	Valor Unitario	Rendimiento	Valor Parcial
1	Absorvente acustico en Luffa Cylindrica de 1"			M2		
<i>Materiales</i>						
	Estropanel	M2	1,00	63.772,75	1	63.772,75
	Lamina ranurada de OSB de 12 mm de 1.84*2.44	GB	0,22	73.900,00	1	16.460,26
	Gancho metalico	UD	16,00	500,00	1	8.000,00
	Pegante TESA metal ceramica	GB	0,01	32.500,00	1	162,50
	Chazo y tornillo de 3/8	UD	4,00	10,00	1	40,00
Subtotal						88.435,51
<i>Mano de Obra</i>						
	M.O. Instalacion sistema	M2	1	3.072,75	1	3.072,75
Subtotal						3.072,75
<i>Herramienta</i>						
	Herramienta menor	GB	1	43,20	1	43,20
Subtotal						43,20
Total Costo Directo						91.551,46

Nota: Elaboración propia

Tabla 24 Análisis de precios Unitarios del EstroPanel – Sistema 2

ANALISIS DE PRECIOS PANEL LUFFA CYLINDRICA PIGMENTADA CON ACETATO DE POLIVINILO - SISTEMA 2						
Código	Descripción	UM	Cantidad	Valor Unitario	Rendimiento	Valor Parcial
1	Absorvente acustico en Luffa Cylindrica de 1"			M2		
<i>Materiales</i>						
	Estropanel	M2	1,00	63.772,75	1	63.772,75
	Liston en madera	ML	4,00	5.799,11	1	23.196,43
	Tacos en madera para panel	UD	16,00	445,98	1	7.135,71
	Tope tipo clik	GB	16,00	700,00	1	11.200,00
	pegante TESA metal ceramica	GB	0,01	32.500,00	1	162,50
	Chazo y tornillo de 3/8	UD	16,00	10,00	1	160,00
Subtotal						105.627,39
<i>Mano de Obra</i>						
	M.O. Instalacion sistema	M2	1	3.072,75	1	3.072,75
Subtotal						3.072,75
<i>Herramienta</i>						
	Herramienta menor	GB	1	43,197	1	43,20
Subtotal						43,20
Total Costo Directo						108.743,34

Nota: Elaboración propia

Para finalizar en el siguiente cuadro podemos ver un comparativo de precio por m2 de materiales del mercado versus la Luffa Cylindrica donde claramente se observa una gran diferencia de precio por m2 donde la Luffa Cylindrica es más económica.

Tabla 25 Comparativo de costos

COMPARATIVO DE COSTOS								
ESPUMA FONOABSORVENTE		M2	BLACK THEATER		M2	ESTROPANEL		M2
<i>*NO INCLUYE COSTOS DE INSTALACIÓN</i>		\$ 75.300,00	<i>*NO INCLUYE COSTOS DE INSTALACIÓN</i>		\$ 121.527,78	<i>*NO INCLUYE COSTOS DE INSTALACIÓN</i>		\$ 63.772,75
								
DIFERENCIA EN COSTO ESTROPANEL VS ESPUMA	%	18%						
	\$	\$ 11.527,25						
DIFERENCIA EN COSTO ESTROPANEL VS B. THEATER	%	91%						
	\$	\$ 57.755,03						

Nota: Elaboración propia

10 Conclusiones generales.

La forma del prototipo debe afectar la trayectoria de la onda, pues la forma hace disipar el efecto, naturalizando el sonido del espacio, esto se ve claramente en las formas propuestas por otros materiales absorbentes, la forma determina la ruptura de la onda, evitando así la reverberación. Como resultado de este proceso se identificó que las formas compuestas de triangulaciones son más eficaces a la hora de fraccionar las ondas reflejadas sobre estas geometrías, adicional a esto los quiebres en el material aportan una rigidez estructural que hace del módulo un panel auto portante, y como resultado un llamativo acabado arquitectónico.

También se identificó que aspectos como la porosidad, el espesor, la densidad y la forma son cualidades relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de elegir o diseñar un producto acústico que responda a la absorción, luego y no menos relevante el acabado que finalmente puede incidir en la elección de un material, estas cinco características se deben tener en cuenta para el desarrollo de un material acústico.

En cuanto a los aglomerantes se concluye que el polivinilo tiene una alta adherencia que logra definir las aristas de los bordes, el desmoldado del módulo se torna más sencillo por la alta resistencia que logra el material. En cuanto a la humedad el polivinilo no afecta a la *Luffa Cylíndrica*, por el contrario, logra adherirse a las porosidades del material sin afectar las cavidades entre fibras de la *Luffa Cylíndrica*, por esta razón fue el aglomerante que mejor se comportó.

Para finalizar, el diseño del sistema de instalación debe ser congruente con el espacio, debe ser un elemento liviano y de fácil instalación sin necesidad de intervenir drásticamente los elementos existentes como paredes, cielos rasos y demás, teniendo en cuenta que la evolución de la construcción ha migrado a los sistemas industrializados livianos teniendo en cuenta que la

Luffa Cylindrica se clasifica como un material clase 3; este material no puede ser instalado en recintos de un área menor a 170 m² sin superar en área cubierta por el material el 20%, y, por último, todos los elementos de fijación del material deben ser no ignífugos, en este caso se optaría por herrajes metálicos.

La capacidad de absorción de la Luffa Cylindrica logro coeficientes que rondan los 77 decibelios a una alta frecuencia como lo son los 800 Hz, en comparación con la espuma fonoabsorbente o de poliuretano que ronda los 75 decibelios y el blacktheater con 73 decibelios, de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10534 que establece que un material se cataloga como absorbente acústico si mantiene su coeficiente de absorción por encima de los 60 decibelios en un rango de frecuencia entre los 500 y 1000 Hz. Se debe tener en cuenta que el tratamiento y el proceso realizado a la Luffa Cylindrica no son de tipo industrial, manteniendo su naturalidad, por lo tanto, se comprueba la hipótesis planteada en este proyecto y queda resuelta la pregunta de esta investigación.

En comparación con otros materiales La Luffa cylindrica no posee un alto coeficiente de aislamiento, ya que su porosidad permite el paso y difracción de las ondas sonoras, se deja abierta la posibilidad de indagar si con otro tratamiento o aglutinante el material mejore el coeficiente, ya que en ensayos anteriores se evidencio que la resina poliéster aglomero el material, pero anulo su capacidad como absorbente, pero debió incidir en otros coeficientes.

El análisis y ensayos ignífugos por comparación y similitud a otros materiales la Luffa Cylindrica se clasifica como una material clase 3 de acuerdo al título J de la NSR10; este material no puede ser instalado en recintos de un área menor a 170 m² sin superar en área cubierta por el material el 20%, y, por último, todos los elementos de fijación del material deben ser no ignífugos, en este caso se optaría por herrajes metálicos. Se debe tener en cuenta que el

ensayo realizado se hace de forma empírica con el fin de obtener tiempos de referencia, se determinó que si se realiza un tratamiento natural se puede retardar la ignición del material por 10 segundos.

El costo del M2 de Estropanel ronda los \$63.000 COP, siendo un sistema económico comparado con otros absorbentes acústicos, en cuanto al desarrollo del sistema de instalación se diseñaron dos tipos con elementos existentes en el mercado, se deja abierta la posibilidad de desarrollar sistemas de fijación nuevos que permitan la instalación de absorbentes acústicos ya que no hay un proceso de instalación definido.

11 Metodología

Dado a que la experimentación compone el principal fundamento para poder desarrollar el panel correctamente, se plantea un enfoque empírico-analítico, con el objetivo de poder establecer un esquema de procedimientos que permita el análisis basado en la obtención de datos en pruebas de simulación y de funcionamiento. Establecido esto, se registra a continuación el proceso seguido para lograr los resultados posteriormente expuestos.

De acuerdo a lo anterior, y en primer lugar, en la línea con el objetivo número uno la metodología que se va a utilizar es mixta ya que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos como cualitativos para responder al primer objetivo específico: Recolección de fichas técnicas de los materiales agrupados en las siguientes categorías:

- a. Paneles rígidos y Porosos: Madera
- b. Paneles Flexibles compactos: Espuma Fonoabsorbente, Luffa Cylindrica
- c. Colchones y Fieltrós: Fibra de vidrio
- d. Revestimiento poroso: Colgadura y tapices, Cubetas de huevo

En segundo lugar, Con la información recopilada se procede a diseñar un cuadro comparativo que permita la tabulación de datos de tipo cuantitativo y cualitativo.

- a. Datos cuantitativos: Dimensiones y modulación, pesos, porosidad, índices acústicos, precios de mercado, rendimientos, fabricación
- b. Datos Cualitativos: Acabados, color, flexibilidad, densidad, forma, materialidad

En tercer lugar, se encuentra las conclusiones realizadas de acuerdo con los hallazgos pertinentes al proceso de diseño del panel con el fin de realizar los primeros esbozos y acercamiento al prototipo.

- a. Compra de Luffa Cylindrica para el desarrollo de un módulo de 50 x 50 cm
- b. Análisis de sistemas o métodos de aglomeración.
- c. Maleabilidad para un resultado de diseño.

Cuarto lugar. Se realizará las pruebas de sonido ubicando la fuente, un micrófono y en medio el prototipo, analizando las frecuencias sonoras que permitirá el material pasar, estas se mediar con el software Room EQ.

- a. Sonómetro o un altavoz Omnidireccional
- b. Micrófono para captación de las ondas.

Quinto lugar, se realizará un sistema auto portante que sostenga el prototipo para realizar en uno de los lados el inicio del fuego con un soplete de flama, con un cronometro se tomará el tiempo que tarda el material en su propagación del fuego. Sexto lugar, con la información recopilada se procede a diseñar un cuadro comparativo que permita la tabulación de datos de tipo cuantitativo que permita la abstracción de datos concernientes al diseño del panel en Luffa.

Séptimo lugar, para el diseño y desarrollo del prototipo se tendrá como guía el siguiente esquema de actividades para solucionar cada una de las características que debe cumplir el sistema propuesto de paneles absorbentes en Luffa Cilyndrica:

- a. Modulación: cumpliendo con estándares de fabricación y dimensiones
- b. Fijaciones: Proceso de instalación evaluando diferentes estructuras
- c. Tratamientos a la Luffa como materia prima para extender su durabilidad y resistencia
- d. Proceso de fabricación y ensamble de los módulos

e. Proceso de Instalación

f. Costos finales

Por último, se pasará a la experimentación y evaluación del prototipo desarrollado y comparativo con la espuma fonoabsorbente de poliuretano.

a. Instalación del panel en el lugar de estudio de caso

b. Mediciones acústicas con el panel implementado

c. Tabulación de datos y comparación con las anteriores mediciones

d. Elaboración de ficha técnica del prototipo desarrollado

e. Conclusiones.

12 Lista de Referencias

Alcaldia Mayor de Bogotá. (2011). Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. 2011-2023: Documento Técnico Línea de Intervención Aire, Ruido y Radiación

Electromagnética. Recuperado de

http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=969c5996-6f71-4c1d-a3b9-504dcc2f706a&groupId=55886

American Society for Testing and Materials (ASTM0). (2019). Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method.

Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/C384.htm>

Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Recuperado de

<https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/disec3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>

Ecuador. (01 de 08 de 2005). Ecuador Rural. Recuperado de

<http://www.ecuarural.gov.ec/ecuagro/paginas/culprom/paste/Paste>

EcuRed. (5 de Agosto de 2014). EcuRed. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Aglomerantes>

International Organization for Standardization. (08 de agosto 2016). ISO 10534-2:1998:

Acoustics determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance

tubes Part 2: Transfer-function method. Recuperado de
<https://www.iso.org/standard/22851.html>

Lapporte, F. (4 de Enero de 2011). Lufa Series. Recuperado de
<http://www.fernandolapporte.com/projects/lufa-series/>

Mayanquer, A.. (2011). Tintura de la fibra luffa con colorantes para elaborar productos artesanales (Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte). Recuperado de
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1054>

Ministerio del Medio Ambiente. (Marzo de 2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NSR-10. Recuperado de
https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf

Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (16 enero de 2014). 197 países acordaron enmienda al protocolo de Montreal. Recuperado de
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2508-197-paises-acordaran-enmienda-al-protocolo-de-montreal>

Ministerio Para la Transición Ecológica.(Gobierno de España). (16 de septiembre de 2009). Sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Recuperado de
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/SAO.aspx>

Moreno, J. (2000). Analisis de óxidos de silicio y estructuras multicapa pára aplicaciones

multielectrónicas. Recuerado de

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1511/04.JAMP_CAPIT_IV.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Navarrete, G. (2006). Caracterización del Cemento Blanco. (Trabajo de grado, Universidad

Austral de Chile). Recuperado de

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcin321c/doc/bmfcin321c.pdf>

Navarrete, L., Martínez, D., y Duarte, E. (2009). Caracterización preliminar del

estropajo. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 1(11), 12-17. Recuperado a partir de

<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/2659>

Parejo, M. (2013). Desarrollo de materia absorbente acústicos a partir de residuos agrícolas.

(Tesis de grado, Universidad de sevilla). Recuperado de

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70473/fichero/Desarrollo+de+materiales+absorben+tes+ac%C3%BAsticos+a+partir+de+r.pdf>

Parlamento Europeo y del Consejo. (16 de 09 de 2009). Recomendación del Parlamento Europeo

y del Consejo. Recuperado de [https://eur-lex.europa.eu/legal-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32006H0962)

[content/ES/TXT/?uri=celex%3A32006H0962](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32006H0962)

Pereira, R., Muñoz, J. y Peluffo, D. (2017). Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la

remoción de contaminantes. *RIAA Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.

Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1850/0>

Rosero, Y., Tenjo, D., y Baracaldo, J. (2017). Absorvente Acústico a base de fibras de kapok.

(Tesis de grado, Universidad La Gran Colombia).Recuperado de

https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3273/Absorbente_acustico_fibras.pdf?sequence=1&isAllowed=y

The American Physical Society. (2001). This Month in Physics History. *APS News 20 (1)*.

Recuperado de <https://www.aps.org/publications/apsnews/201101/upload/January-2011.pdf>

3. [Anexos](#)

- a. Detalle instalación sistema panel ranurado
- b. Detalle instalación sistema adhesivo
- c. Disposición de Estropanel en base ranurada
- d. Detalle lateral de instalación para el sistema de panel ranurado
- e. Detalle de disposición de adhesivos