

SISTEMA DE ABSORCIÓN ACÚSTICO PARA MUROS A PARTIR
CASCARILLA DE ARROZ, PARA DISMINUIR LA REFLEXIÓN DE SONIDO DENTRO
DE LOS ESPACIOS.

HERNÁN SANTIAGO ESPEJO VILLALBA



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

PROGRAMA DE ARQUITECTURA

BOGOTÁ D.C.

02 DE DICIEMBRE DE 2019

**SISTEMA DE ABSORCIÓN ACÚSTICO PARA MUROS A PARTIR
CASCARILLA DE ARROZ, PARA DISMINUIR LA REFLEXIÓN DE SONIDO
DENTRO DE LOS ESPACIOS.**

HERNÁN SANTIAGO ESPEJO VILLALBA

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

Arq. Liliana Rocío Patiño León

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Programa de Arquitectura

Bogotá D.C

Tabla de contenido

Abstract	11
Introducción	12
1 Objetivo	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2 Problema	14
3 Marco referencial.....	26
3.1 Marco conceptual	26
3.2 Antecedentes	41
3.3 Marco Contextual	46
3.4 Marco Normativo	47
4 Metodología	51
4.1 Obtención del material	52
4.2 Caracterización de la Cascarilla	57
4.3 Caracterización de las resinas	59
4.4 Moldes para la fabricación de muestras y paneles	61
4.5 Proceso de transformación y proporción de las mezclas	63
4.6 Pruebas al material	69

4.7	Conclusiones de las mezclas	74
5	Resultados pruebas acústicas y físicas	77
6	Implementación del panel al sistema portante	88
7	Conclusiones	98
8	Recomendaciones	99
9	Anexos	101
10	Lista de Referencia o Bibliografía	121

Lista de Tablas

Tabla 1. Coeficiente de absorción acústico de diversos materiales constructivos en función de frecuencias	18
Tabla 2. Tiempos de reverberación según el uso del espacio	27
Tabla 3. Velocidad de propagación del sonido en función del material.	31
Tabla 4. Conductividad térmica de los materiales.	43
Tabla 5. Clasificación de los materiales según sus características de propagación de la llama.....	49
Tabla 6. Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación de la llama.	50
Tabla 7. Caracterización de resinas como aglutinantes	60
Tabla 8. Nombre de las mezclas según sus componentes	65

Tabla 9. Clasificación de las muestras, según su espesor.	77
Tabla 10. Nombre de las probetas en función de su clasificación, según su espesor	78
Tabla 11. Frecuencias de medición, según la norma ASTM C384-98.	79
Tabla 12. Resultados de coeficiente de absorción acústico de cada una de las muestras en función de las frecuencias.	80
Tabla 13. Promedio de coeficiente de absorción acústico de las probetas A, B, C.	83

Lista de Figuras

Figura 1. Ejemplo del ruido de impacto	15
Figura 2. Ejemplo del ruido aéreo	15
Figura 3. Control de la contaminación acústica	16
Figura 4. Porcentaje de utilización de materiales acústicos en la construcción.	19
Figura 5. Departamentos productores y su porcentaje en área sembrada y producción ...	21
Figura 6. Producción histórica Nacional de arroz en hectáreas	22
Figura 7. Usos dados a la cascarilla de arroz.	23
Figura 8. Características de los materiales absorbentes	24
Figura 9. Concepto básico del sonido.	27
Figura 10. Concepto básico del sonido.	28
Figura 11. Concep básico del sonido	29
Figura 12. Escala de emisores de decibels	29
Figura 13. Frecuencia de 1Hz	30
Figura 14. Frecuencia de 8Hz	30
Figura 15. Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz	31

Figura 16. Longitud de onda	32
Figura 17. Sonido directo	33
Figura 18. Sonido reflejado	33
Figura 19. Absorción sonora.	33
Figura 20. Difusión de ondas acústicas.	34
Figura 21. Difracción de ondas sonoras.	34
Figura 22. Transmisión de la onda sonora a través de un material	34
Figura 23. Conducción de las ondas sonoras	35
Figura 24. Gráfica de coeficiente de absorción acústico de un material en función del espesor del mismo (Carrión, 1998).	37
Figura 25. Gráfica de coeficiente de absorción acústico de un material en función a la porosidad del mismo	37
Figura 26. Coeficiente de absorción acústico de un material en función a la densidad del mismo.....	38
Figura 27. Coeficiente de conductividad térmica de materiales acústicos.	39
Figura 28. Escala de coeficiente de absorción acústica	40
Figura 29. Coeficiente de absorción acústica promedio de materiales acústicos.....	40
Figura 30. Densidad de los materiales acústicos.....	41
Figura 31. Metodología de investigación y experimentación.	52
Figura 32. Cultivo de arroz.	53
Figura 33. Máquina cosechadora o combinada	53
Figura 34. Molino de arroz.....	54
Figura 35. Kilo de cascarilla de arroz y Macrofotografía de la cascarilla.	54

Figura 36. Almidón de maíz, presentación inicial y combinada con agua para producir el aglutinante.....	55
Figura 37. Almidón de yuca, presentación inicial y mezclada con agua para producir el aglutinante.....	55
Figura 38. Resina Colofonia en estado sólido.....	56
Figura 39. Presentación por kilo del colbón de madera	57
Figura 40. Partes del grano de arroz.....	57
Figura 41. Composición química de la cascarilla de arroz	58
Figura 42. Despiece del molde tipo A.....	61
Figura 43. Funcionamiento del molde A.....	62
Figura 44. Molde tipo B.	62
Figura 45. Detalle de aplicación de presión en el molde tipo B.....	63
Figura 46. Nomenclatura dada al tipo de mezclas según sus componentes	64
Figura 47. Porcentajes de mezcla entre el material y los aglutinantes	64
Figura 48. Proporciones de mezcla entre cascarilla y aglutinantes.	66
Figura 49. Espesores determinados para las probetas	66
Figura 50. Mezcla de la cascarilla junto con el aglutinante.	67
Figura 51. Molde para probetas para tubo de impedancia.	68
Figura 52. Proceso de mezcla de los materiales y posterior colocación en la prensa y el molde.....	68
Figura 53. Proceso de mezcla por capas, desmolde, secado en cámara de calor y resultado final de una probeta.....	69
Figura 54. Tubo de impedancia acústica o de Kudnt.	70

Figura 55. Factores que también determina el tubo de impedancia	71
Figura 56. Partes del sonómetro	71
Figura 57. Modelo de caja a partir de los paneles de cascarilla de arroz	72
Figura 58. Gráfica de cómo se toma la muestra del sonido ambiente como niveles de referencia.....	72
Figura 59. Gráfico de toma de niveles de presión sonora con los paneles de cascarilla...	73
Figura 60. Esquema del túnel de fuego	74
Figura 61. Probetas de almidón de maíz.	75
Figura 62. Probetas de almidón de yuca	75
Figura 63. Probetas de colbón de madera	76
Figura 64. Probetas de resina de PVC	76
Figura 65. Probeta A-1	78
Figura 66. Probeta B-1.	78
Figura 67. Probeta C-1.	79
Figura 68. Resultados del tubo de impedancia de las probetas A	81
Figura 69. Resultados del tubo de impedancia de las probetas B	82
Figura 70. Resultados del tubo de impedancia de las probetas C	82
Figura 71. Probeta C-2 (Izq.) y probeta C-3 (Der.).....	83
Figura 72. Resultados promedio del tubo de impedancia de las probetas A, B y C.	84
Figura 73. Probeta y medición en tubo de impedancia.	84
Figura 74. Coeficiente de absorción acústico de materiales acústicos existentes en el mercado y cascarilla de arroz.....	85

Figura 75. Decibeles registrados al interior y exterior de la caja de paneles a escala de cascarilla de arroz.....	86
Figura 76. Caja de paneles a escala de cascarilla de arroz.....	86
Figura 77. Temperatura a la que reaccionan los materiales acústicos.	88
Figura 78. Realización prueba ignífuga a la probeta A-5.	88
Figura 79. Sistema conjunto con cada una de las partes que lo componen.	89
Figura 80. Uniones en acero calibre 18 para unión entre marco y muro	89
Figura 81. Tornillo auto perforante de 1/2” de longitud	90
Figura 82. Tuerca de 3/4" de longitud.....	90
Figura 83. Marcos en madera para el sistema.	91
Figura 84. Detalle de fijación de uniones a muro	91
Figura 85. Detalle de fijación de muro a platina y de platina a marco de madera.	92
Figura 86. Detalle de fijación entre marco de madera y panel de cascarilla de arroz.....	93
Figura 87. Difusión de las ondas sonoras en el espacio sin la aplicación del sistema.	94
Figura 88. Sistema implementado dentro de un recinto.....	95
Figura 89. Render del sistema completo instalado en el recinto	95
Figura 90. Render del sistema completo instalado en el recinto	95
Figura 91. Sección isométrica de un auditorio con el sistema implementado	96
Figura 92. Corte fugado de un auditorio con el sistema implementado.....	97
Figura 93. Render del sistema implementado en un auditorio	97
Figura 94. Render del sistema implementado en un auditorio	97
Figura 95. Render del sistema implementado en un auditorio	97

Resumen

Dentro de la arquitectura existen fenómenos acústicos que imposibilitan el entendimiento de la palabra, estos se presentan por diversos factores. Existen varios materiales que disminuyen estos fenómenos, de procedencia natural y sintética. Algunos de los materiales sintéticos, tienen altos costos para su producción, tanto energéticos como económicos, además de necesitar químicos que pueden ser perjudiciales para las personas que trabajan en su fabricación, en su instalación y en su disposición final.

En consecuencia, los materiales naturales resultan ser más favorables comparativamente, puesto que son de fácil obtención ya que en su mayoría son desechos agroindustriales, son fáciles de procesar y además de bajo coste (Proaños & Sandoval, 2010).

Partiendo de lo anterior, la cascarilla de arroz es una fibra natural que puede ser usada de manera efectiva para minimizar fenómenos acústicos en las construcciones. Es un residuo que tiene diversas aplicaciones, como aligerante de concreto, también para la generación de energía. Debido a esto se investiga la posibilidad de crear un material a partir de este elemento natural que sea capaz de mejorar las condiciones acústicas en los espacios. Es así como la presente investigación parte de la siguiente pregunta: ¿Cómo disminuir los fenómenos acústicos al interior de los espacios a partir de paneles cuya base sea de cascarilla de arroz y aglutinante natural que sea capaz de igualar y/o superar los desempeños de los materiales existentes, y a su vez sea una alternativa económica y duradera?

Palabras claves: Cascarilla, aglutinante, resina, acústica, aislamiento.

Abstract

Within architecture there are acoustic phenomena that make it impossible to understand the word, these are presented by various factors. There are several materials that reduce these phenomena, of natural and synthetic origin. Some of the synthetic materials, have high costs for their production, both energetic and economic, in addition to requiring chemicals that can be harmful to the people who work in their manufacture, in its installation and final disposition. As a result, natural materials are comparatively more favourable, since they are easy to obtain since they are mostly agro-industrial waste, they are easy to process and also low cost (Proaños & Sandoval, 2010).

Starting from the above, the rice husk is a natural fibre that can be used effectively to minimize acoustic phenomena in constructions. It is a waste that has various applications, such as concrete lightener, also for power generation. Because of this, we investigate the possibility of creating a material from this natural element that is capable of improving the acoustic conditions in the spaces.

The present investigation is based on the following question: How to reduce the acoustic phenomena inside the spaces from panels whose base is rice husk and natural binder that is able to match and/or overcome the performance of existing materials, and at the same time be an economic and lasting alternative?

Keywords: Husk, binder, resin, acoustic, insulation.

Introducción

Dentro de los intentos para el aprovechamiento de las fibras naturales, siguiendo la tendencia de darle nuevos usos a estos materiales, se han llevado a cabo diversas investigaciones donde han sido empleadas para mejorar materiales existentes, mezclándolos y creando así compuestos más eficientes, o donde se emplean para nuevos usos, basándose en sus propiedades físicas y químicas.

Partiendo también de la problemática existente alrededor de la acústica dentro de la arquitectura, donde en algunos casos el diseño del espacio no es acorde con la función de este, o los materiales empleados en la construcción del recinto no son los ideales para tener el confort acústico necesario. Cuando se presentan los casos anteriormente mencionados se lleva a cabo un acondicionamiento acústico del espacio a través de materiales cuya función es la de mejorar la acústica del espacio.

En esta investigación, se busca potenciar la cascarilla de arroz a través de un aglutinante de procedencia natural o sintética. Se comienza por caracterizar según la procedencia y los componentes los aglutinantes y así determinar cuál es el aglutinante que mejor se comporta en conjunto con la cascarilla, en aspectos como la adherencia, la resistencia y el desempeño como material absorbente y/o aislante acústico. Posteriormente se lleva a cabo una caracterización de los materiales acústicos existentes, donde se compara su presentación en el mercado, si es en rollo por metros, paneles rígidos o flexibles, sus espesores, su composición, si son porosos o fibrosos. Las características anteriormente mencionadas permiten establecer las propiedades y las características con las que debe contar el material propuesto.

Para determinar que mezcla de cascarilla y aglutinante se comporta mejor comparativamente, se hicieron distintas probetas, donde en cada una varía el espesor de las

muestras, la proporción entre aglutinante y cascarilla. A cada una de las probetas se les clasifica por su espesor y su composición. Posteriormente se llevan a cabo diversas pruebas, como la obtención del coeficiente de absorción, la prueba de sonómetro, y una última prueba que determina la resistencia del material al fuego, esta última se lleva a cabo, con el fin de cumplir la normativa vigente en cuanto a seguridad de elementos no estructurales que se encuentran al interior de las edificaciones.

A partir de los resultados de las pruebas ya mencionadas, se determina cual es la composición y el espesor ideal para el panel de medidas estándar. Por último, se debe implementar un sistema portante para los paneles, el cual se encarga de soportar cada uno de los paneles que se implementan según el diseño, proporcionarle fijación y por último facilitar la modulación del conjunto de paneles para buscar una estética agradable a la vista.

1 Objetivo

1.1 Objetivo General

1.1.1. Diseñar y desarrollar un panel de aislamiento acústico a partir de la cascarilla de arroz, como alternativa arquitectónica, aplicado en muros internos para disminuir la reflexión del sonido al interior de los espacios, para así mejorar la calidad acústica del espacio.

1.2 Objetivos Específicos

1.2.1 Mediante un estudio comparativo, de los materiales acústicos existentes en el mercado, evaluar sus propiedades, características, procedencia, fabricación, su aplicación y sus

resultados de desempeño acústico, para determinar qué lineamientos o qué cualidades debe tener el material planteado, en su forma, espesor y densidad.

- 1.2.2 Diseñar un prototipo de molde para el panel, el cual adopte una forma eficiente acústicamente y agradable a la vista con un acabado, listo para su utilización en los muros interiores, de recintos donde la inteligibilidad de la palabra es mínima, ya sea por los materiales empleados en los acabados, las dimensiones del mismo, y las necesidades del espacio.
- 1.2.3 Realizar pruebas que permitan hacer la caracterización acústica mediante el tubo de impedancia, la prueba del sonómetro. Y pruebas físicas, como de resistencia a la compresión y de resistencia ignífuga. Con el fin de definir los parámetros finales del panel, como el espesor, el aglutinante y la dosificación de la mezcla, para su correcto funcionamiento, en conjunto con el sistema portante.

2 Problema

Dentro de la acústica en las edificaciones y los espacios, existen diversos fenómenos, cómo lo son; el sonido directo, el sonido reflejado, la absorción, la difusión, la difracción, la transmisión sonora, la conducción, el eco, las reflexiones tempranas, la ambiencia, la reverberación, resonancias, entre otras.

Estos fenómenos suceden principalmente, debido a los materiales empleados en la construcción y en los acabados de esos espacios. También se presentan por factores externos, conocidos como; ruido de impacto y aéreo; el primero como su nombre indica, proviene del impacto, bien sea por pisadas en la placa superior, por golpes en los muros divisorios, ya que al chocarse un elemento con otro, este provoca vibraciones que perturban el espacio, haciéndolo

vibrar, o bien sea la maquinaria presente o existente en la edificación, como los fosos de los ascensores, o una motobomba en el cuarto de máquinas de la edificación (figura 1). Por otro lado, se encuentra el sonido aéreo (figura 2), que también como indica su nombre, son ondas sonoras que viajan a través del aire, sus fuentes pueden ser la voz humana, un altavoz que no se apoye en el suelo, o un instrumento musical, estas ondas viajan a través de las divisiones de las edificaciones, estos dos tipos de ruido desencadenan un problema llamado reflexión de sonido, cuando este se presenta, dificulta el tiempo de reverberación, lo que ocasiona que la audición de las palabras o de la música se dificulte y/o se distorsione. En consecuencia, el espacio no posee el confort sonoro necesario para lo que fue diseñado.

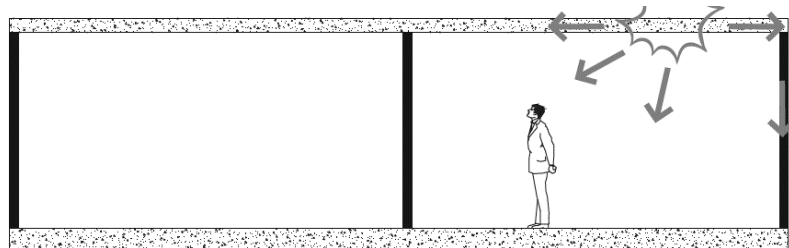


Figura 1. Ejemplo del ruido de impacto. Elaboración propia.

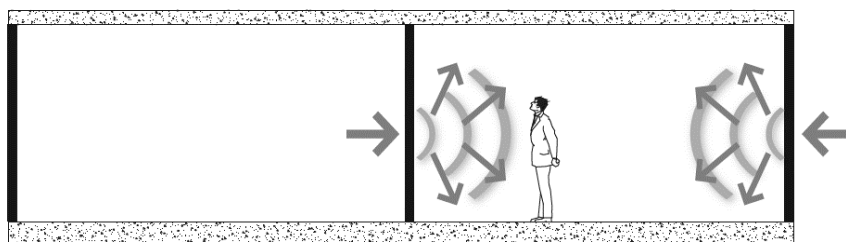


Figura 2. Ejemplo del ruido aéreo. Elaboración propia

Dentro de los recintos donde existe una acústica deficiente, se presentan diversos efectos en aquellos que están dentro de estos espacios, psicológicamente las personas pueden presentar irritabilidad, estrés y falta de concentración, tanto a nivel laboral como escolar. Socialmente los problemas acústicos están asociados a la incapacidad de comunicarse entre individuos, tiene

como consecuencia que las personas tiendan a evitar la comunicación sí mismos. Por último, los problemas físicos están más asociados a la exposición a sonidos desmedidos o altos, superiores a los 60dB (decibeles) generalmente, entre las patologías que se presentan, se encuentran más frecuentemente la aceleración del pulso y la respiración, fatiga, cansancio constante y hasta alteraciones en el sistema nervios y vascular. Para evitar los inconvenientes mencionados anteriormente es importante tener una adecuada acústica dentro de los espacios.

Debido a los problemas que desencadenan una exposición a ruidos molestos y a la difícil comunicación que se puede presentar al interior de los espacios que presentan esta condición, existen varias soluciones de diversas índoles que pueden disminuir la problemática, o en algunos casos, solucionarla por completo.

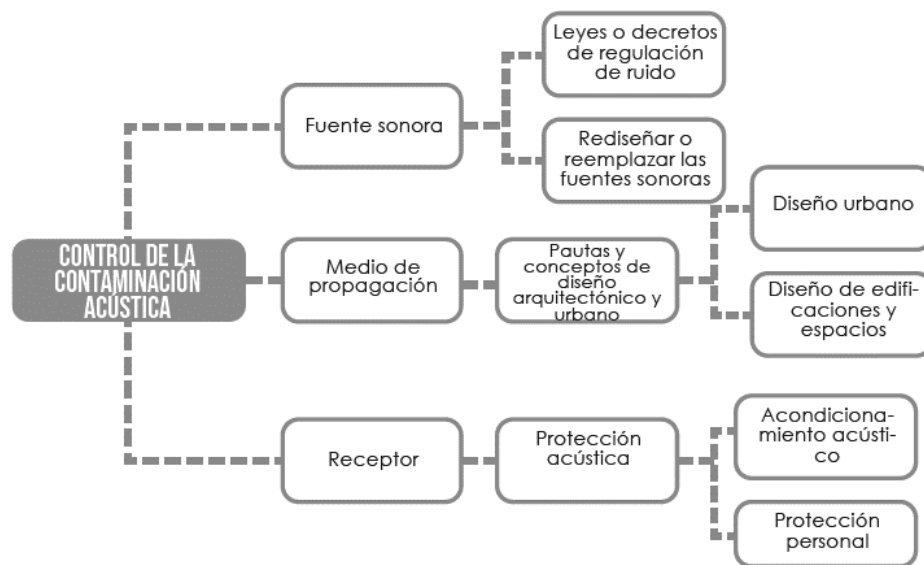


Figura 3. Control de la contaminación acústica. Adaptado de “Acústica aplicada a la edificación” por Fernández, 2013, p. 92.

En la figura 3 se puede observar las diferentes acciones que se pueden llevar a cabo para mejorar el confort acústico de los espacios, no solo de un espacio específico, también de zonas donde se concentra mucha población, como barrios y/o urbanizaciones. La propuesta de

disminución de la reflexividad acústica a base de cascarilla de arroz, que se presenta en esta investigación, le apuesta a una solución viable que protege al receptor de sonido directamente mediante el acondicionamiento acústico de los recintos.

Para mejorar la recepción de los sonidos dentro de los espacios, se opta por el acondicionamiento acústico, que a través de materiales pretenden mejorar la acústica, para así solventar el problema de las reflexiones y el tiempo de reverberación inadecuado en los espacios según su función, estos tiempos de reverberación inadecuados y reflexiones se presentan debido al uso de materiales que no tienen ninguna función acústica, y no funcionan bien según la función del recinto.

Dentro de la construcción se utilizan diversos materiales constructivos, en función de la estética del recinto, pero olvidando el comportamiento de los materiales frente a los sonidos emitidos alrededor y dentro de los espacios, en la tabla 1 se puede observar el coeficiente de absorción acústica de los materiales más utilizados dentro de la construcción.

MATERIAL	Coeficiente de absorción en función de la frecuencia					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,1	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso	0,29	0,04	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,01	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,25	0,01	0,12	0,02	0,02
Paneles de madera	0,3	0,52	0,2	0,17	0,15	0,1
Madera aglomerada	0,47	0,04	0,5	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,03	0,07	0	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,22
Parquet sobre listones	0,2	0,15	0,12	0,1	0,1	0,07
Alfombra de goma	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,1
Alfombra de lana 1,2 Kg/m ²	0,1	0,16	0,11	0,3	0,5	0,47
Alfombra de lana 2,3Kg/m ²	0,17	0,18	0,21	0,5	0,63	0,83
Cortina	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Asiento de madera	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08

Tabla 1. Coeficiente de absorción acústico de diversos materiales constructivos en función de frecuencias. Tomado y adaptado de diversas fuentes.

En la tabla anterior se puede concluir que la mayoría de materiales que son utilizados en la construcción, no son absorbentes acústicos, por el contrario, son reflectantes en gran medida de las ondas acústicas, la caracterización del coeficiente acústico de cada uno de los materiales de la tabla 1, se hizo mediante pruebas de cámara reverberante y tubo de impedancia acústica. Para mejorar las condiciones acústicas de los recintos se emplea el acondicionamiento acústico, que consiste en emplear materiales acústicos para así mejorar la acústica dentro de los espacios.

Partiendo de lo anterior, para el acondicionamiento acústico de los espacios existen diversos materiales en el mercado, principalmente se encuentran materiales de procedencia sintética y natural, como los materiales plásticos, la fibra de roca, la fibra de vidrio, etc, cada uno destinado a la disminución de uno o más fenómenos acústicos. Los materiales existentes y mencionados a continuación, poseen cada uno ciertas ventajas y desventajas. En la figura 4 se

puede observar en qué proporción son utilizados los materiales acústicos dentro de la construcción.

Materiales acústicos dentro de la construcción.

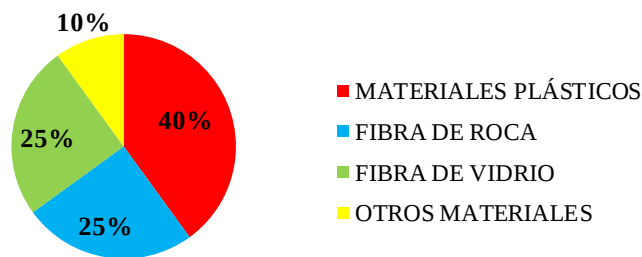


Figura 4. Porcentaje de utilización de materiales acústicos en la construcción. Adaptado de “Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de guadua” por Páez, 2016, p. 17.

Cabe resaltar que en la figura anterior (4), en el diez por ciento (10%) correspondiente a otros materiales, se refiere a las fibras naturales utilizadas dentro de la construcción. Entre las fibras naturales se encuentran; la fibra de coco, el cáñamo, la fibra de kapok, el algodón, entre otras, aunque estas ya están siendo utilizadas en cierta medida, aunque en menor porcentaje con respecto a las fibras expuestas en la figura anterior. No obstante estas fibras van teniendo cada vez más cabida dentro de los materiales acústicos utilizados dentro de la construcción, esto debido en gran parte a que estas fibras son una excelente alternativa por varios factores. Están disponibles fácilmente, a su vez son menos contaminantes, ya que generan menos emisiones de gases de efecto invernadero y dióxido de carbono. Además son de fácil obtención y transformación, son económicos por ser desechos agroindustriales, y de fácil procesamiento. Por último, son materiales biodegradables, así que su disposición final es mucho más económica, sencilla y en algunos casos, estos materiales pueden ser hasta reutilizados, como por ejemplo, el cáñamo.

A su vez, dentro de los materiales sintéticos también encontramos ciertas desventajas, las más relevantes se relacionan con problemas de salud e impacto al medio ambiente, y lo difícil que es su reciclaje y su reutilización en cualquier otro entorno, el proyecto europeo *life-repolyuse*, coordinado por la Universidad de Burgos [UBU], aborda la problemática del uso del poliuretano y los inconvenientes que trae no reutilizarlo, mediante el uso de técnicas innovadoras para su reciclaje, cerca del 27% del poliuretano que es utilizado en las industrias no tiene una disposición final adecuada. Los químicos utilizados en la fabricación de varios materiales sintéticos son perjudiciales para la salud y para el medio ambiente causando enfermedades y repercutiendo significativamente en la degradación del medio ambiente, como el HCF, el cual es un Hidroclorofluorocarburo utilizado en la espuma de poliuretano que daña la capa de ozono y dificulta el reciclaje, en la fibra de vidrio el inconveniente está presente en su fabricación, ya que se utilizan químicos como el plomo y la sosa cáustica, elementos que tardan varias décadas en degradarse.

Aunque los materiales sintéticos han sido ampliamente usados en la construcción, como se puede observar en la figura 4, todo indica que su impacto en el medio ambiente, como lo han expuesto proyectos como *life-repolyuse* (UBU) y la salud de quienes trabajan en su producción e instalación, han llevado a que se dirija la atención a materiales naturales. Lo anterior sumado a las ventajas con las que cuentan las fibras naturales debido a su composición física y química. Son algunas de las razones por las que en este proyecto de investigación se pretende ambientar las propiedades de uno de estos productos que por su efectividad en la disminución de la reflexividad sonora.

Por consiguiente, se plantea una solución ecológica y eficiente frente a la problemática de la acústica dentro de la construcción. En este caso se plantea la cascarilla de arroz, cuyas

características la ubican como un excelente material para resolver los problemas acústicos existentes en la arquitectura, ya que es fácil de obtener, es resistente por sus características físicas y químicas.

Continuando con lo anterior, Colombia es uno de los mayores productores de arroz dentro de la región. Según La Federación Nacional de Arroceros (*Fedearroz*, 2016) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2016). Colombia en el año 2016, durante el primer semestre, el país produjo cerca de 770.000 toneladas de arroz y en el segundo semestre del mismo año, se produjeron más de 2'200.000 toneladas.

Entre las regiones del país que más aportan a la producción nacional, se encuentran los departamentos del Huila, Casanare, Meta y el Tolima, los cuales ocupan alrededor del 66% del área total sembrada en todo el territorio, y ocupan el 74,6% en producción mecanizada del cereal (DANE), como se puede evidenciar en la figura 5.

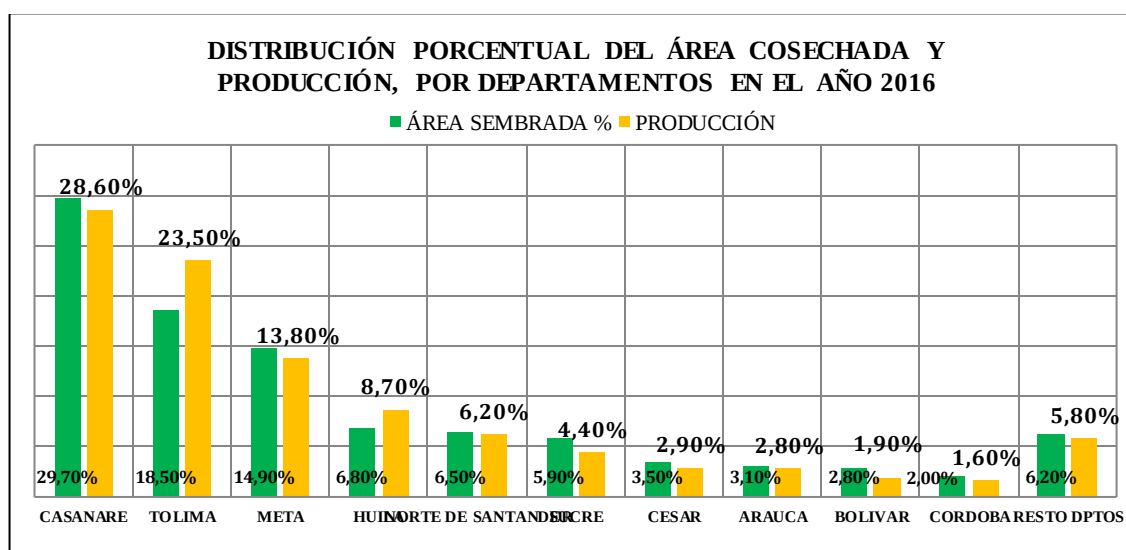


Figura 5. Departamentos productores y su porcentaje en área sembrada y producción. Tomado y adaptado de; 4° Censo Nacional Arrocero 2016 (DANE, 2016).

También la producción de arroz en el país aunque no es constante, si mantiene un margen de producción no muy cambiante, tal como se puede observar en la figura 6, donde se muestra la producción histórica nacional a través de los años, desde el año 2000, hasta el 2018.

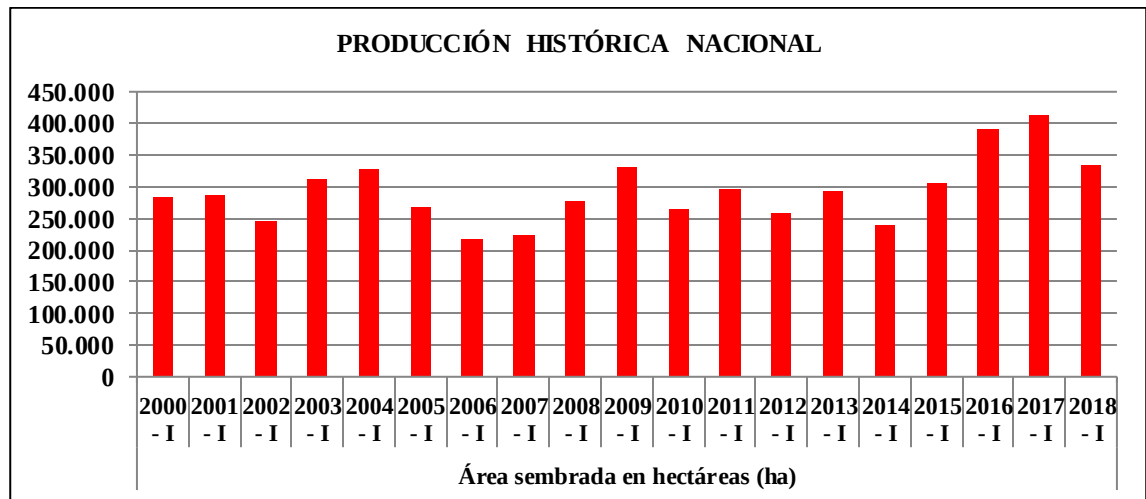


Figura 6. Producción histórica Nacional de arroz en hectáreas. Tomado y adaptado de; 4º Censo Nacional Arrocero 2018 (DANE, 2019).

Debido a la producción de arroz que tiene el país, también se identifica una gran proporción de cascarilla de arroz, este material, dadas sus características físicas y químicas es un desecho difícil de procesar, puesto que es el residuo agrícola de mayor volumen en comparación con los demás granos y cereales, su disposición final es un problema grave y latente entre los países y las regiones productoras de este cereal como lo mencionan Proaños y Sandoval (2010), lo anterior también se ve reflejado en el problema existente dentro de los rellenos sanitarios, debido al volumen que este desecho aporta, para los agricultores representa un gasto económico extra, debido a que alguien debe hacerse cargo de la tarea de trasladar el gran volumen de desecho a un lugar apto para su disposición final, al mismo tiempo, la cascarilla es un residuo difícil de procesar, debido a su resistencia a la degradación y a la capacidad de resistencia al fuego que posee según Cadena y Bula (2002).

El residuo de la cascarilla de arroz tiene diversidad de aplicaciones, las cuales van desde la generación de energía, tanto eléctrica, como combustibles, hasta usos dentro de la agricultura y la construcción. Aunque posee diversas aplicaciones en varias industrias, como lo muestra la figura 7, solamente el 15% de este residuo es utilizado para los fines anteriormente mencionados.

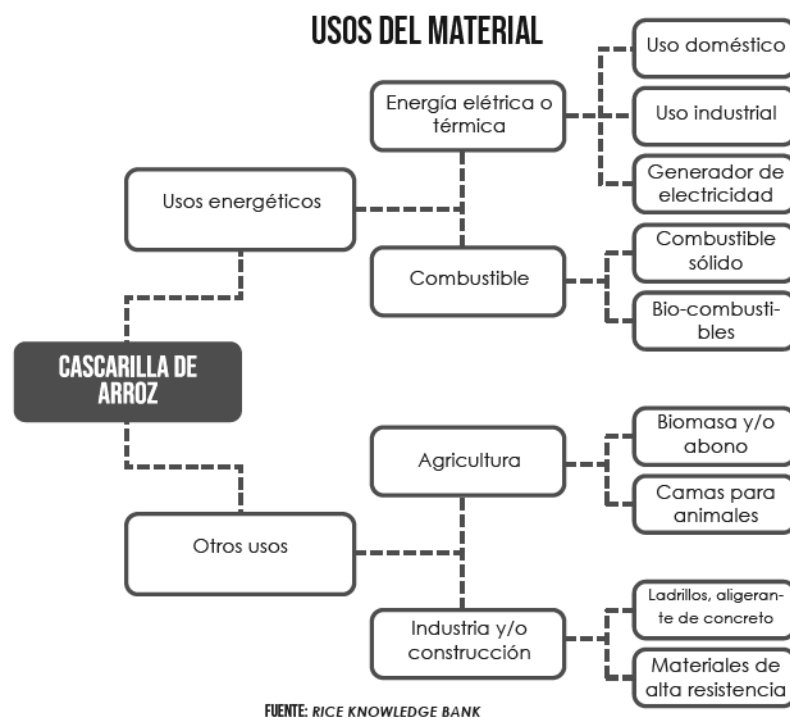


Figura 7. Usos dados a la cascarilla de arroz. Adaptado de: RICE KNOWLEDGE BANK.

Aunque la figura 7 muestra los usos dados a este material dentro de diversas industrias, no se muestra la aplicación dentro de la acústica.

Por otro lado, también es importante mencionar y profundizar sobre los materiales acústicos, los cuales deben contar con dos características fundamentales, para poder ser catalogados como absorbentes o aislantes del ruido, en primer lugar, deben ser un material poroso, este mecanismo funciona mediante fricción interna, que básicamente consiste en transformar la energía acústica recibida en energía calórica. O bien que el material sea un

resonador, el cual funciona selectivamente, es decir, absorbe determinadas frecuencias, más comúnmente las bajas, transformándola en energía dinámica. La figura 8 muestra más en detalle la clasificación de los materiales conocidos como absorbentes sonoros.

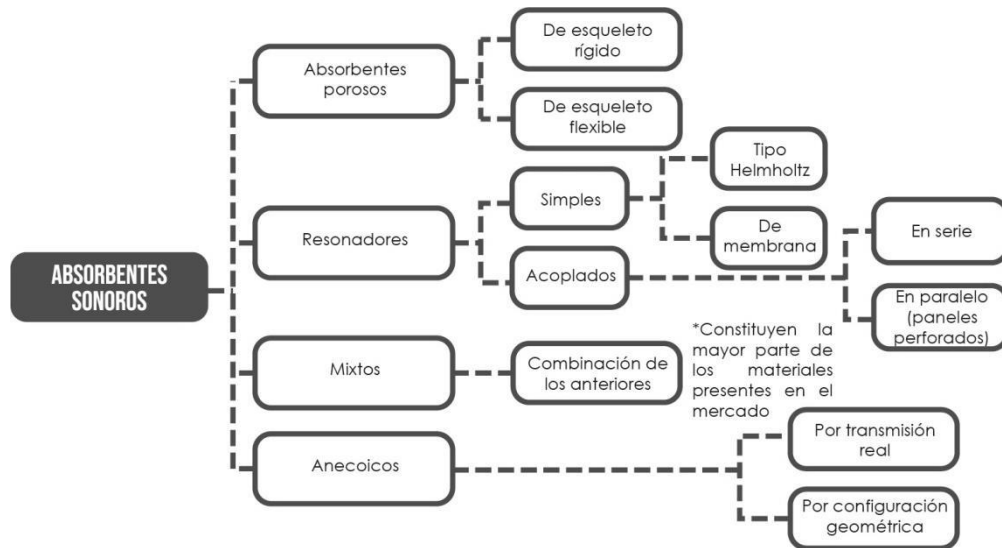


Figura 8. Características de los materiales absorbentes. Adaptado de RICE KNOWLEDGE BANK.

En la actualidad, existen dentro del mercado materiales tanto de procedencia natural como sintética, cuya función principal es contrarrestar los niveles de ruido en las diferentes edificaciones, cada uno tiene una finalidad y aplicación diferente, también están desarrollados para distintas situaciones.

Dentro de los materiales de procedencia natural se puede encontrar el corcho, el cual lo definen como un material de construcción sostenible, ya que es renovable y reciclable, ya que proviene de la corteza del árbol de alcornoque, este árbol posee la cualidad de regenerar su propia corteza, lo que significa que no afecta significativamente el árbol, además esta práctica solo es llevada a cabo una vez que el árbol ha alcanzado la edad de doce años y se compruebe que es saludable (Thorns, 2018).

También se encuentra el cáñamo, este material se encuentra en forma de fibras, las cuales poseen una gran resistencia ante los esfuerzos, este material también es utilizado dentro del área textil, dentro de las edificaciones es utilizado debido a sus propiedades térmicas y acústicas, es un material 100% renovable y reciclable, aún después de finalizar su vida útil, el cáñamo es pulverizado para crear bloques y morteros que pueden ser utilizados en otras edificaciones (Rodríguez, 2014).

Por último, entre los más destacados se encuentra la fibra de coco, Martínez de Adrianza (2015) concluyó que las fibras vegetales aportan aislamiento solo si su espesor y su densidad son incrementados significativamente, este aumento significa una mejoría notable en la insonorización del espacio donde se emplee, también se demostró que en condiciones secas funciona mejor que en condiciones de humedad.

La principal característica de estos tres materiales de procedencia natural radica en que son biodegradables, se encuentran en diversidad de presentaciones y pueden ser aplicados en diferentes elementos constructivos de las edificaciones. Estas características son importantes a tener en cuenta en la propuesta del nuevo material, ya que deben igualar y superar en sus cualidades como aislantes acústicos a estos materiales anteriormente mencionados y los existentes dentro del mercado.

Para concluir, los materiales anteriormente mencionados tienen diversas aplicaciones dentro de la construcción, demostrando la viabilidad de las fibras naturales en este campo, debido a sus características naturales, como su resistencia ante los esfuerzos y la degradación, su fácil obtención y la facilidad que tienen para ser transformadas, lo cual brinda una gran relevancia para la utilización de la cascarilla de arroz dentro de la acústica, dadas las características físicas y químicas con las que cuenta, y el auge existente en la utilización de

materiales de procedencia natural para la resolución de problemas existentes dentro de las edificaciones y la construcción de las mismas.

3 Marco referencial

Dentro de la rama de la acústica, existen diversos materiales destinados para mejorar o subsanar este aspecto dentro de los espacios, existen materiales tanto sintéticos como naturales, cada uno de estos tiene un desempeño diferente y una aplicación distinta también, uno de los limitantes a la hora de mejorar acústicamente los espacios está en lo costoso que pueden ser algunos de estos materiales dentro del mercado, el objetivo del empleo de la cascarilla de arroz como un material acústico es darle un nuevo uso a este material, que dadas sus características físicas y químicas es resistente a la degradación y tiene condiciones para perfilarse como un nuevo material acústico, económico, de fácil obtención y transformación.

3.1 Marco conceptual

En el actual proyecto de investigación que se está desarrollando, resulta fundamental la conceptualización de algunos términos, técnicos y relevantes dentro del objeto de estudio.

Para comenzar, el fenómeno acústico denominado reflexión temprana, el cual consiste en que cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo, y además el sonido reflejado en cada pared y/o superficie. Una exposición directa a este tipo de sonido desmedido y no controlado impacta negativamente la audición de las personas alterando su salud y por ende disminuyendo su calidad de vida.

La reverberación se puede definir como la combinación de las reflexiones múltiples (donde se encuentran las reflexiones tempranas y las de segundo, tercer, cuarto orden y así sucesivamente), el tiempo de reverberaciones es lo que le toma a un sonido emitido, ser

absorbido por los materiales existentes en el recinto hasta llegar al punto de ser inaudible.

Además de los materiales que constituyen los espacios, la forma y las dimensiones del espacio influyen también en el tiempo de reverberación. La prolongación de sonido en la sala, causada por las múltiples reflexiones se conoce como reverberación.

Este concepto es fundamental para que la calidad del sonido dentro de los espacios sea óptima, según el uso y las necesidades del espacio. En la tabla 2 se puede apreciar el tiempo de reverberación óptima según la utilidad o necesidad del espacio.

Recinto	Tiempo de reverberación
Sala de conferencias	0.7 - 1.0
Cine	1.0 – 1.2
Teatro	1.3 - 1.7
Sala de conciertos	1.8 – 2.0
Iglesia o templo	2.0 – 3.0
Cabina de radio	0.2 – 0.4

Tabla 2. Tiempos de reverberación según el uso del espacio. Tomado y adaptado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998).

De acuerdo con el autor Antoni Carrión, (1998) “cuando se trata de salas destinadas a la palabra, es conveniente que los valores del tiempo de reverberación sean bajos, para conseguir una buena inteligibilidad” (p.63). Un espacio destinado a la palabra, como un salón de clases, con un tiempo de reverberación elevado, dificulta el entendimiento de la palabra.

El sonido, y todo lo que abarca con respecto a él, como lo es la presión sonora, la frecuencia, la banda de frecuencia, la propagación del sonido, la longitud de onda y después definir sus respectivos conceptos, como se comporta el sonido en el medio y en los materiales utilizados en la construcción.

El sonido tiene diversas definiciones, atribuidas a distintos campos del conocimiento, (Fernández, 2013) lo define desde los puntos de vista de la física y la fisiología. Desde el campo

de la física, lo define como una vibración mecánica que se propaga a través de un medio elástico, como el aire. Fisiológicamente lo define como la sensación auditiva producida por una vibración. Básicamente el sonido se compone de tres elementos fundamentales, una fuente sonora, un medio de propagación, que puede ser el aire, o algún material que pueda transmitir la energía y la vibración, y, por último, un receptor, como se puede observar en la figura 10.



Figura 10. Concepto básico del sonido. Elaboración propia.

Ya que el sonido es producto de una perturbación del medio, como se mencionó anteriormente, esto significa que las partículas alrededor de la fuente sonora comienzan a vibrar y van transmitiendo esta vibración a las partículas adyacentes a la fuente sonora. Un ejemplo de lo anterior es expuesto de la siguiente manera;

Si se considera como fuente sonora, por ejemplo, un tambor, un golpe sobre su membrana provoca una oscilación. Cuando la membrana se desplaza hacia fuera, las partículas de aire próximas a su superficie se acumulan creándose una zona de compresión, mientras que en el caso contrario, dichas partículas se separan, lo cual da lugar a una zona de enrarecimiento o dilatación. (Carrión, 1998, p. 28).

Lo anterior se puede observar en la figura 11.

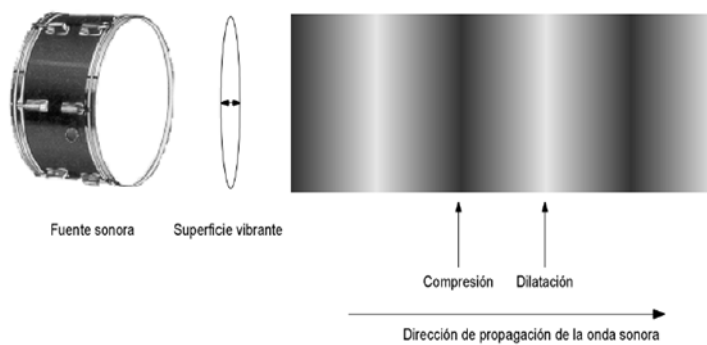


Figura 11. Tomado de: Diseño de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998, P. 29).

Expresar la magnitud del campo sonoro que generan las partículas de aire en el ambiente, se conoce como presión sonora. La presión sonora se expresa en decibelios (dB), la escala de los decibelios va desde 0 hasta 120, a partir de este nivel de presión, se pueden presentar problemas auditivos irreversibles, como lo expresa Fernández, (2013). Este nivel de presión sonora puede ser emitido por el motor de un avión despegando. La figura 12 muestra la escala de decibeles, desde el mínimo audible, hasta llegar al umbral de dolor y hasta pérdida de la capacidad auditiva.

Nivel de intensidad del sonido.	
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50/60 dB	Aglomeración de Gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Respiración tranquila
0 dB	Umbral de audición

Figura 12. Escala de emisores de decibeles. Tomado de: 100CIA.site.

Las ondas de presión sonora oscilan en el espacio, donde el número de oscilaciones por segundo se denominan frecuencia, la frecuencia del sonido se mide en Hertzios (Hz), y en otros casos se puede encontrar como Ciclos por segundo (c/s). En la figura 13 se puede observar que una onda tiene una sola oscilación por segundo, lo que quiere decir que su frecuencia es de un Hertzio, y en la figura 14 se puede notar que la onda tiene ocho oscilaciones por segundo, lo que quiere decir, que tiene una frecuencia de ocho Hertzios.

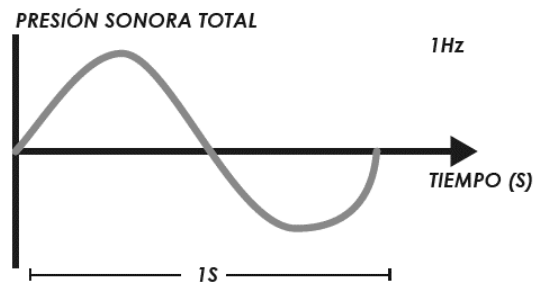


Figura 13. Frecuencia de 1Hz. Adaptado de: Diseño de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998. P. 29).

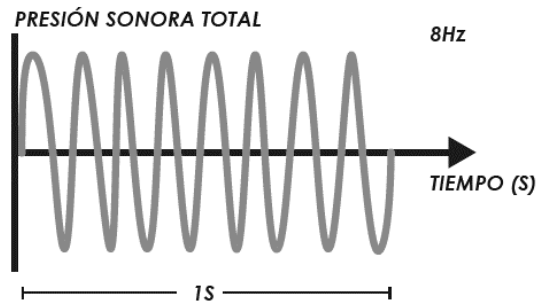


Figura 14. Frecuencia de 8Hz. Adaptado de: Diseño de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998. P. 29).

Para continuar con la frecuencia, existe un concepto ligado a la acústica, conocido como banda de frecuencia, donde se encuentran las frecuencias más agudas, hasta las más graves (audibles). Los sonidos graves se pueden clasificar por ser frecuencias bajas, y al contrario, los

sonidos agudos se clasifican por estar en frecuencias altas, el conjunto de estas frecuencias es conocido como banda de frecuencia.

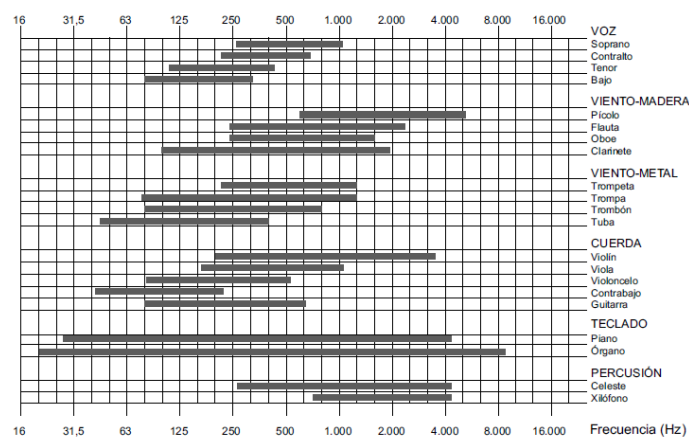


Figura 15. Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz. Tomado de; Diseño de espacios arquitectónicos.(Carrión, 1998, P. 32).

Además de lo anterior, existe otro concepto fundamental que debe ser definido, conocido como la propagación del sonido, se entiende por propagación del sonido a qué tan rápido llega el sonido o la perturbación del medio al receptor. Además del material, la humedad relativa, la presión atmosférica, la densidad y la elasticidad del medio son factores que influyen en la velocidad de propagación del sonido, en la tabla 3 se muestra a qué velocidad se propaga el sonido, en función al material o el medio de propagación.

MATERIAL	VELOCIDAD (M/S)
Aire	345
Agua	1.400
Madera	2.500
Ladrillo cerámico	2.700
Hormigón	3.400
Acero	5.000

Tabla 3. Velocidad de propagación del sonido en función del material. Adaptado de; Acústica aplicada a la construcción.(Fernández, 2013).

Ahora bien, es pertinente también conocer la longitud de onda, que está ligado con los conceptos que se han definido anteriormente. La longitud de onda es la distancia entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado de oscilación en cualquier instante, como puede ser el punto donde la presión está en el máximo nivel de la onda, esa distancia entre estos dos puntos máximos de presión de la onda, es la longitud de onda, como se puede evidenciar en la figura 16 a continuación.

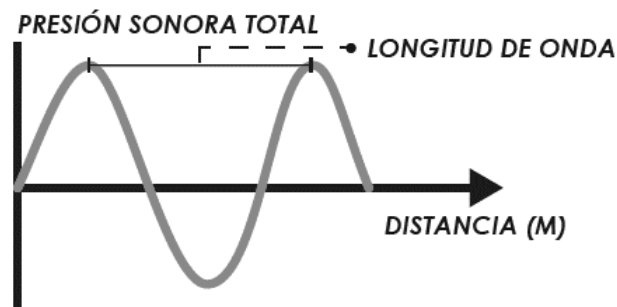


Figura 16. Longitud de onda. Adaptado de Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998, P. 33).

El sonido en espacios abiertos, se propaga hasta el punto de “perderse” en el ambiente, en cambio, en los recintos cerrados, o cuando existe una superficie que se encuentre en el trayecto de la onda, teniendo en cuenta las variables de esta superficie, como lo pueden ser su conductividad acústica, su coeficiente de absorción, sus características físicas y/o su composición, se presentan varias situaciones que inciden en la calidad y el confort acústico del espacio, como los niveles de presión sonora presentes en el recinto, las ondas que inciden sobre esta superficie, los materiales, etc.

Anteriormente se mencionaron los fenómenos y problemas acústicos presentes al interior de las edificaciones, ahora se profundizará más en cada uno de estos, en qué situaciones se

presentan y en qué influyen en las condiciones de los espacios. Rodríguez (2013) define conceptos acústicos.

- a. Sonido directo: El sonido que emana de la fuente sonora llega directamente al receptor.



Figura 17. Sonido directo. Elaboración propia.

- b. Sonido reflejado: El sonido alcanza una superficie o elemento y se refleja en un ángulo igual al ángulo del sonido incidente.



Figura 18. Sonido reflejado. Elaboración propia.

- c. Absorción: El sonido alcanza elemento, este no se refleja, sino que es transferido a través de él, en medida de la capacidad de absorción del material.



Figura 19. Absorción sonora. Elaboración propia.

- d. Difusión: El sonido alcanza una superficie o elemento con forma o textura diferente a una lisa y se dispersa en función de la textura o forma de esta.



Figura 20. Difusión de ondas acústicas. Elaboración propia.

- e. Difracción: El sonido alcanza un borde y tiende a convertir la onda hacia el interior cambiando su dirección debido a su propagación.

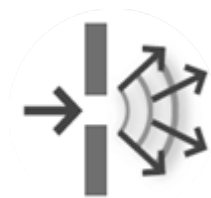


Figura 21. Difracción de ondas sonoras. Elaboración propia.

- f. Transmisión: El sonido alcanza una superficie y se remite del lado opuesto en función de la masa y la resistencia a la vibración de la composición misma.



Figura 22. Transmisión de la onda sonora a través de un material. Elaboración propia.

- g. Conducción: El sonido alcanza una superficie sólida y estructural y se transporta a través de esta con la velocidad de conducción del medio o el material.



Figura 23. Conducción de las ondas sonoras. Elaboración propia.

Para el estudio de los fenómenos anteriormente definidos y todo lo relacionado con el comportamiento del sonido, surge la acústica. Se define como la rama de la física que estudia el sonido, que es una onda mecánica que se propaga a través de un medio, ya sea en estado gaseoso, líquido o sólido. De este modo, la acústica se ocupa del estudio de la generación, propagación, absorción y reflexión de las ondas de presión sonoras en un medio. (Torner, 2016)

La Acústica Arquitectónica estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de concierto o un estudio de grabación, o cualquier otro recinto donde sea necesaria una buena acústica. Esto involucra también el problema del aislamiento acústico al interior de los recintos, para asegurar el confort acústico de los espacios disminuyendo los sonidos molestos del exterior, o mejorar la intangibilidad de la palabra, según sea el caso u objetivo.

Dentro de las edificaciones, principalmente en las habitaciones o salas dedicadas a una actividad determinada (por ejemplo para la grabación de música, para conferencias o para conciertos) deben tener cualidades acústicas adecuadas para desarrollar dicha actividad. Por cualidades acústicas de un recinto entendemos una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las reflexiones tempranas, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, etc. (Fernández, 2013). En esas situaciones es donde se aplica la acústica arquitectónica,

para evaluar las razones por las cuales se presentan los fenómenos acústicos que dificultan la calidad del sonido, como espacios mal diseñados para el uso que tienen, los materiales empleados en la construcción del recinto, y sus respectivas soluciones.

Absorción de sonido, es la capacidad de un material de absorber la energía incidente sobre el mismo, el parámetro que mide esta capacidad de absorción se conoce como coeficiente de absorción acústica (Torner, 2016).

Absorbentes acústicos, son los materiales con gran capacidad de absorber las ondas sonoras que inciden sobre los mismos, el porcentaje de energía que reflejan es mínimo, o muy poco en comparación con la energía que absorben. Se pueden clasificar como resonantes, los cuales son los que absorben energía sin importar la frecuencia. Los porosos o fibrosos; los cuales absorben mejor las frecuencias más altas, como las agudas. Y por último, las membranas, estas funcionan mejor a frecuencias bajas, es decir, las graves (Torner, 2016).

Existen varios criterios para evaluar la capacidad de absorción de un material acústico, estos son: el espesor, la porosidad y la densidad. Al variar estas tres condiciones, varía también de manera significativa la capacidad de absorción y aislamiento de los materiales. A continuación se definirá y se ahondará cada uno de los conceptos mencionados, y cómo la variación de éstos afecta el rendimiento de los materiales en cuestión.

Espesor: El espesor del material es proporcional a la longitud de onda de la frecuencia que es capaz de absorber, es decir, a más espesor, frecuencias más altas podrá absorber.

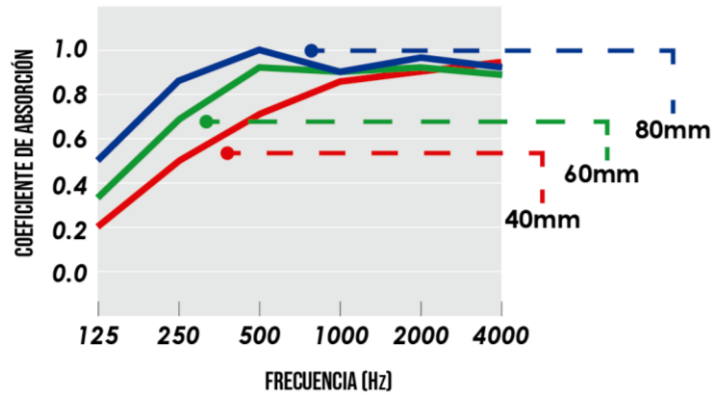


Figura 24. Gráfica de coeficiente de absorción acústico de un material en función del espesor del mismo. Adaptado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998).

Porosidad: “Al aumentar su porosidad también aumenta la absorción a todas las frecuencias. Este efecto se debe a que, ya que la penetración de la onda sonora incidente es mayor a medida que se incrementa el grado de porosidad” (Carrión, 1998 p.79).

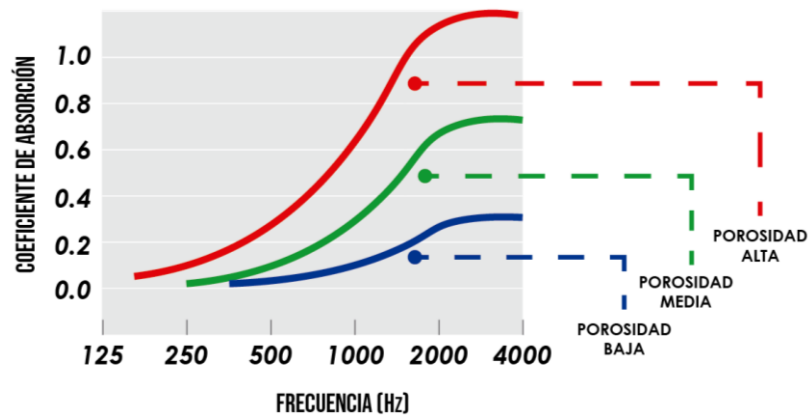


Figura 25. Gráfica de coeficiente de absorción acústico de un material en función a la porosidad del mismo. Adaptado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998).

Densidad: “Si la densidad del material es baja, existen pocas pérdidas por fricción y, en consecuencia, la absorción es pequeña. A medida que la densidad va aumentando, se produce un incremento progresivo de absorción hasta llegar a un valor

límite, a partir del cual la absorción disminuye, debido a que existe una menor penetración de la onda sonora en el material, es decir, una mayor reflexión de energía” (Carrión, 1998 p.80).

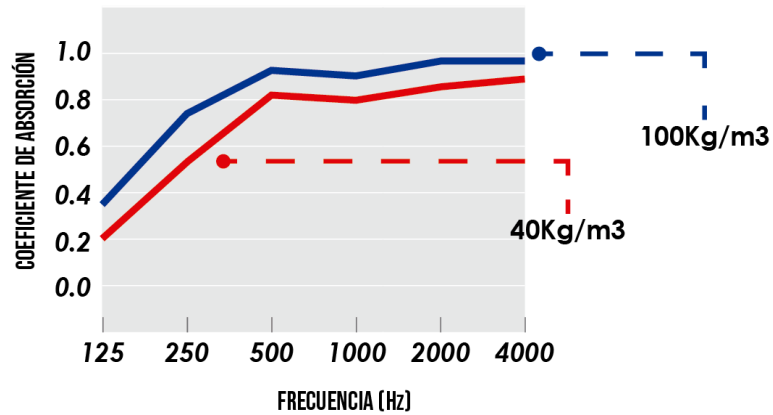


Figura 26. Coeficiente de absorción acústico de un material en función a la densidad del mismo. Adaptado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998).

Existe también un factor relevante a la hora de catalogar y evaluar el desempeño de los materiales acústicos, este es el valor de conductividad térmica, En la figura 27 se puede observar el valor de conducción térmica de los materiales, esto definido rápidamente es la capacidad del material de transferir energía a través de sí mismo, se puede observar que la mayoría de los materiales tienen una conductividad térmica baja, a excepción de la lana de roca, lo que se traduce en que son excelentes aislantes. Se evidencia que la cascarilla de arroz posee una conductividad térmica muy baja (0.036), mucho menor que varios de los materiales de procedencia natural, también tiene un nivel de conductividad menor que la fibra de vidrio (0.038) y es un poco más alto que del poliuretano (0.033), materiales que son los más utilizados en la construcción como materiales acústicos. Esto quiere decir que la cascarilla tiene la capacidad de competir en este caso con los materiales existentes, evidenciando el potencial de esta fibra natural.

Conducción térmica de los materiales tomados como referentes

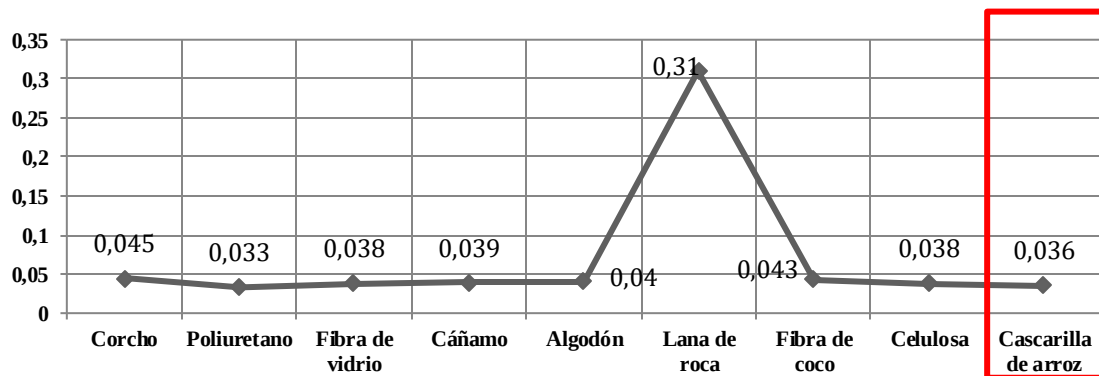


Figura 27. Coeficiente de conductividad térmica de materiales acústicos. Tomado y adaptado de diversas fuentes.

En la figura 29 se puede observar los valores del coeficiente de absorción acústica de los materiales existentes dentro del mercado, se define como coeficiente de absorción acústica a la propiedad de los materiales, la cual es la capacidad de un material acústico, o constructivo de absorber las ondas que inciden sobre estos, este coeficiente se mide entre valores de cero (0) a uno (1), donde cero (0) corresponde a materiales completamente reflectantes, como el vidrio, o el aluminio, y uno (1) a materiales totalmente absorbentes, como el *black theater*, como se observa en la figura 28, estos valores varían de un material a otro y también en función de la frecuencia que incide sobre ellos. Entre los materiales comparados se evidencia que el de mejor desempeño es el *black theater* cuyo valor es de 0.95. También se puede observar que entre los materiales de procedencia natural el de mejor desempeño es el de la fibra de coco (0.72). Teniendo en cuenta estos dos valores se puede trazar un rango aceptable para que el material sea realmente competitivo, su valor de coeficiente de absorción debe ser de 0.95, que corresponde al *black theater* o superior, y el valor mínimo debe ser cercano a 0.72 que es el valor de coeficiente de absorción de la fibra de coco.

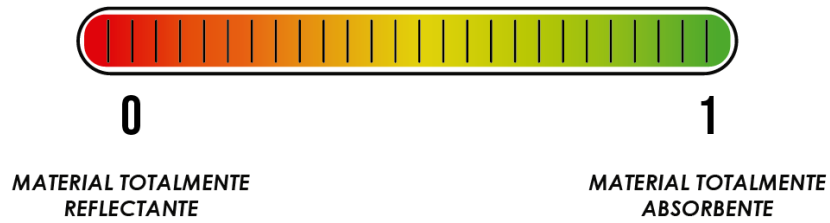


Figura 28. Escala de coeficiente de absorción acústica. Adaptado de: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. (Carrión, 1998).

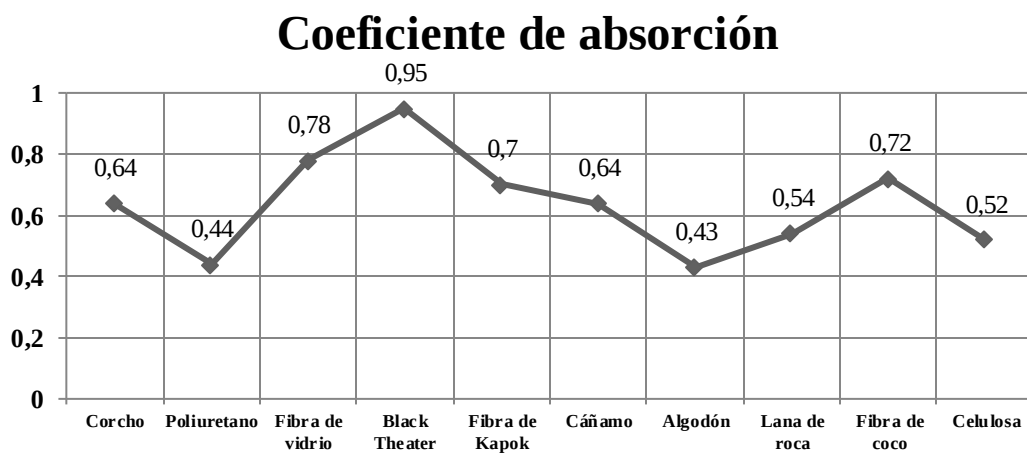


Figura 29. Coeficiente de absorción acústica promedio de materiales acústicos. Tomado y adaptado de diversas fuentes.

Ahora bien, teniendo en cuenta que la densidad es un factor importante a la hora de evaluar el desempeño y la capacidad de ser un absorbente acústico de un material, en la figura 30 se puede evidenciar las densidades de los materiales más utilizados para el acondicionamiento acústico. Comparando el valor de la densidad de la cascarilla de arroz determinados por su caracterización (650Kg/m³), con los valores del *black theater* (96Kg/m³). Se puede encontrar una diferencia considerable. Sin embargo, la densidad de la cascarilla que se observa en la figura 30, es del material sin transformar, el valor de la densidad de la cascarilla junto con el aglutinante al ser sometidos a compactación variará.

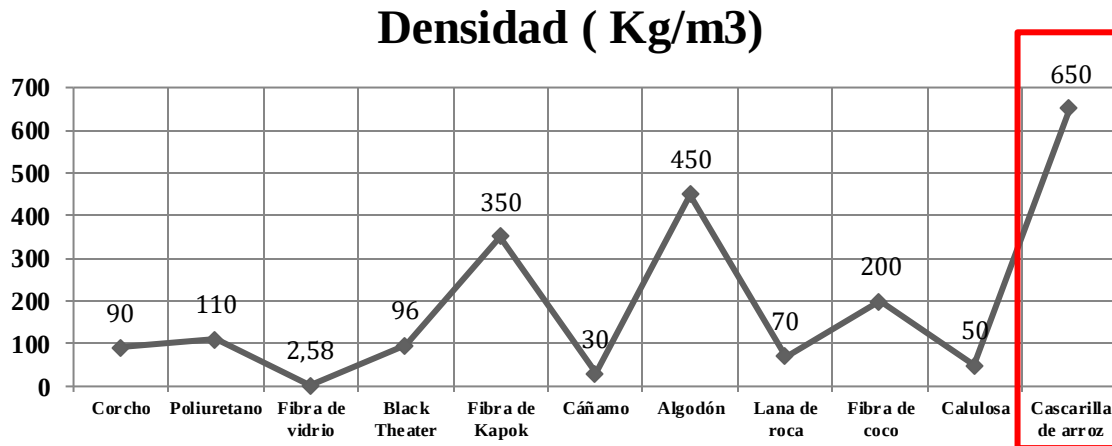


Figura 30. Densidad de los materiales acústicos. Tomado y adaptado de diversas fuentes.

Para concluir, lo que se busca en esta investigación, es la conformación del material a base de cascarilla de arroz y aglutinante, sometidos a presión mecánica, tomando como referencia los valores correspondientes a la densidad y la conductividad térmica con la que ya cuenta la cascarilla, el objetivo es tomar los factores anteriormente mencionados que hacen que un material acústicamente funcional y variarlo mediante la transformación del material, aumentando el espesor y también la porosidad del mismo.

3.2 Antecedentes

Se consultaron diversas investigaciones, éstas se toman como punto de partida para demostrar la viabilidad del proyecto en desarrollo, en cada una de éstas se estudi   la viabilidad de la cascarilla de arroz en diversas aplicaciones, entre éstas; como conductor térmico, como aligerante de concreto y como aislante acústico.

Cómo base se toman dos investigaciones; la primera, de Cadena, C. y Bula, A. (2002), titulada *Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales*. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Esta

investigación consiste en juntar la cascarilla de arroz, con distintas fibras y aglutinantes naturales y sintéticos y determinar su nivel de conductividad térmica, comparando el método de compresión y las fibras y aglutinantes con las que fue mezclada la cascarilla, donde cada muestra demostró tener un desempeño diferente, intentando demostrar una alternativa ecológica y económica para el aislamiento térmico dentro de las edificaciones. Y la segunda de Proaños L, y Sandoval, M. (2010) llamada; *Fabricación de paneles acústicos resistentes a la compresión, conformado por cascarilla de arroz, cemento y arena (Tesis de pregrado). Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.*). Donde se empleó la cascarilla para aligerar el concreto utilizado en la construcción, se hicieron adiciones al concreto en distintos porcentajes, a estas muestras se les evaluó la resistencia a la compresión. El objetivo de esta, era demostrar la viabilidad de esta fibra como un aligerante eficiente, económico y ecológico para la construcción.

De esta primera investigación, cabe destacar el proceso que se llevó a cabo para aglutinar la cascarilla, así como las conclusiones las que se llegaron.

Entre los resultados que más se destacan de la primera investigación citada, están los siguientes:

La cascarilla de arroz, junto con el almidón de yuca, con fibra de banano y fique fue la que obtuvo el mejor resultado de las muestras analizadas, debido a que tenía el menor valor de conductividad térmica de todas las mezclas (ver tabla 9), esto debido a la suposición de que al aplicar presión a la muestra del aglomerado, presenta menos porosidades, lo que se traduce en mayor densidad del material, lo anterior influye en la capacidad de aislamiento de la mezcla.

La mezcla uno, compuesta por de cascarilla de arroz junto con fibra de banano y aglutinante con polímero artificial presentó el mayor valor de conductividad térmica de todas las

muestras (ver tabla 9), este resultado fue contrario a lo que se esperaba, debido al aglutinante utilizado y el método de compresión empleado en la fabricación de la misma.

La mezcla tres, compuesta por cascarilla de arroz, fibra de yuca y fibra de fique, aglutinado con almidón de yuca, al tener entre sus componentes fibra de yuca se evidenció que esto ayudó a la disminución de las porosidades y la densidad de la mezcla, estos factores pueden haber influido en el resultado obtenido en la mezcla.

Al analizar los resultados obtenidos de las muestras, comparados con los valores del poliestireno expandido, se puede concluir que estas fibras, aún en etapas investigativas tienen un evidente potencial como materiales aislantes tanto térmicos como acústicos dentro del mercado. Esta conclusión es determinante en demostrar la verdadera viabilidad de la cascarilla de arroz como un material acústico eficiente como una alternativa real ante la problemática de la acústica dentro de la arquitectura.

Por otro lado, aunque la cascarilla está combinada junto con otros materiales y aglutinada con diferentes compuestos de distintas propiedades y procedencias, se determinó y comprobó que el material aún conserva sus características ignífugas, esto se traduce en que puede competir contra polímeros sintéticos, los cuales fallan a temperaturas inferiores a los 100° grados centígrados, esto quiere decir que es un aislante seguro, sustentable y ecológico.

MUESTRA / MATERIAL	K (W/m*K)
1: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de banano y fique.	0.0965
2: Cascarilla de arroz, PVA, fibra de banano.	0.2117
3: Cascarilla de arroz, almidón y fibra de yuca.	0.0901
4: Cascarilla de arroz, almidón de yuca, fibra de banano y fique.	0.0653

Tabla 4. Conductividad térmica de los materiales. Tomada de: Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. (Cadena & Bula, 2002).

Entre las conclusiones más relevantes de esta investigación, se pueden tomar como puntos de partida importantes los siguientes.

El almidón de yuca es un aglutinante capaz de adherir eficazmente las fibras naturales, a su favor tiene su fácil fabricación y obtención, debido a que es económico y dentro de las regiones es fácil conseguirlo.

Características que hacen a estas mezclas competitivas frente a los materiales existentes; bajo costo, de fácil fabricación y obtención, además de tener un bajo índice de densidad, éstas, además de que son mezclas ecológicas y amigables con el medio ambiente. Existe la gran posibilidad de que los aglomerados con cascarilla de arroz tengan la capacidad de aislar acústicamente los recintos, debido a la aplicación y análisis hechos a este material en los últimos años.

Constructivamente se ha utilizado como un aligerante del concreto, pero esta debe ser convertida en cenizas, debido a la densidad que ocupa dentro de la mezcla junto con el cemento y los materiales.

En la investigación *Fabricación de paneles acústicos resistentes a la compresión, conformado por cascarilla de arroz, cemento y arena*

Se realizaron adiciones de Cascarilla de Arroz en diferentes porcentajes (5%, 10% y 15%) en un diseño patrón de mortero elaborado con cemento Portland tipo 1, arena y agua. Para observar el comportamiento mecánico con adición de cascarilla de arroz, se evaluó la propiedad de resistencia a la compresión simple. Este mortero presenta características físicas que nos permite obtener mayores beneficios que con las del mortero convencional.

Al quemar la cascarilla, aumenta considerablemente el porcentaje de sílice, compuesto presente en la estructura química de la cascarilla (llega al 0-95%), lo que aumenta aún más la resistencia del material. Se optó por utilizar la ceniza de la cascarilla debido a que en su estado normal, ésta desfavorece considerablemente el fraguado y el curado del cemento utilizado, debido a esto se recurrió a la quema de la cascarilla, para así aumentar la capacidad de resistencia del material.

A las muestras se les hacen adiciones del 5, el 10 y el 15 por ciento de ceniza de cascarilla de arroz, para determinar en qué dosificación se comporta mejor la mezcla.

“La cascarilla de arroz se adicionó al cemento, manteniendo las dosificaciones por peso de la arena y el agua constantes, estas adiciones de cascarilla de arroz se realizaron por variaciones cada cinco (5) unidades porcentuales, reemplazando 5%, 10% y 15% de cascarilla de arroz” (Proaños y Sandoval, 2010, p. 69)

A dichas muestras se les practicaron pruebas de resistencia y, como a una muestra de concreto normal, de siete, catorce y veintiocho días, también se les practicaron muestras acústicas, las cuales fueron las siguientes:

Para demostrar la capacidad acústica del material se llevó a cabo la prueba de sonómetro, donde se fabrican paneles del material de 40x40 centímetros, un juego de paneles por cada adición de cascarilla, es decir, un juego de paneles con adición del 5%, del 10% y del 15%. A estos juegos de paneles se les evalúa con el sonómetro la capacidad de aislar los sonidos del exterior, en base a una comparativa previa donde se miden los niveles de presión sonora del ambiente, y posteriormente los niveles de presión sonora al interior de los juegos de paneles. Estas pruebas arrojaron las siguientes conclusiones:

El panel con adición de cascarilla de arroz, logró una disminución de la transmisión del sonido de un 8.08%. Además, la ceniza de cascarilla mejora notoriamente la resistencia a la compresión del mortero, su maleabilidad y durabilidad, debido al incremento en el porcentaje de sílice presente en la ceniza.

De las investigaciones consultadas se puede demostrar que el panel acústico a base de cascarilla de arroz es funcional acústicamente, la intención de ésta, es mejorarlo en su desempeño acústico y que tenga una aplicación estética y arquitectónica a través de un sistema portante, ligero y de fácil instalación.

3.3 Marco Contextual

En el mercado existen muchos materiales acústicos de procedencia natural y sintética, entre los sintéticos los más conocidos son la fibra de vidrio, la espuma de poliuretano o fono absorbente. Entre los materiales acústicos de procedencia natural, se encuentran las fibras de origen vegetal, como lo son el fique, el yute, el cáñamo, y los aglomerados naturales, como el corcho o la misma lámina de madera, todos estos materiales tienen ventajas y desventajas comparándose entre ellos, cada uno responde a diversas situaciones y necesidades. Dentro de las aplicaciones que tiene la cascarilla de arroz como material constructivo y partiendo de las cualidades térmicas, acústicas y la resistencia con las que cuenta naturalmente, se ha experimentado dentro de los intentos por mejorar acústicamente los espacios, a través de un material cuya base principal sea la cascarilla de arroz, partiendo de la tendencia de recurrir a materiales de procedencia natural, y que sean capaces de responder a las necesidades que requiere cada espacio dependiendo de la función que este tenga., reduciendo los sonidos no deseados dentro de los espacios, a su vez mejore la intangibilidad de la palabra dentro de los recintos y tenga una aplicación agradable visualmente.

3.4 Marco Normativo

En el país, se han llevado a cabo diversos procedimientos para estudiar y subsanar el ruido, este campo en Colombia es nuevo todavía y aún no se han estudiado procedimientos en países donde el tema de la acústica es minucioso (Casas, Betancur & Montaña, 2015).

En Colombia, la normatividad en el campo de la acústica y sus fenómenos, como el ruido, carece de rigurosidad en cuanto a la aplicación y penalización de las faltas con respecto a los niveles peligrosos o alarmantes de ruido.

Para esta investigación, se consultaron diversas normas, como las internacionales, sus equivalencias americanas, europeas y más específicamente las colombianas según su aplicabilidad y relevancia con respecto a lo que se pretende demostrar y como aplicar lo dicho por cada una de las normas para así obtener resultados comparables con los existentes, esto con respecto a la normatividad aplicable a los ensayos acústicos que deben ser realizados, como la prueba del tubo de impedancia y a las demás pruebas a las que debe ser sometido el material, como prueba de resistencia al fuego o ignífuga.

Para evaluar los casos y directrices para el control de ruido dentro de oficinas y talleres mediante pantallas acústicas, se toma la norma colombiana NTC 5754; Directrices para control de ruido en oficinas y talleres mediante pantallas acústicas. Esta norma habla sobre la efectividad de las pantallas acústicas, también hace referencia a los requisitos acústicos y funcionales sobre los cuales deben regirse los fabricantes y usuarios de pantallas acústicas, se debe comenzar por definir qué es una pantalla acústica, según el documento de esta norma, la define como un objeto que está específicamente designado para proteger una o varias posiciones específicas contra el ruido emitido por una o varias fuentes. Esta normativa es aplicable a los

aislamientos entre oficinas, áreas de concentración de personal, como de servicio, de exposición y similares, estas pantallas pueden ser fijas, portátiles o móviles, según el requerimiento del espacio. Aunque cabe resaltar que esta norma no aplica a los absorbentes acústicos que se encuentren suspendidos, como los paneles acústicos que se encuentren dilatados de la superficie a la que están anclados.

Para la medición del coeficiente acústico del material se regirá por la norma ASTM C384-98; Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, (Método estándar de ensayo de impedancia y absorción de materiales acústicos mediante el método del tubo de impedancia). Dicha norma indica el procedimiento para hacer la medición de este parámetro a través del tubo de impedancia.

El tubo de impedancia permite medir las propiedades de los materiales de construcción mediante la utilización de muestras, y utilizando un que permite reproducir perfectamente el coeficiente de absorción. Este tubo está provisto de un parlante, el cual produce ondas acústicas, las cuales viajan dentro del tubo y son reflejadas por la muestra de prueba. (1998)

Esta norma también menciona qué dispositivos son necesarios para la correcta obtención de resultados y como se lleva a cabo la comparativa.

También se remitirá a las normas ISO 10534-1 y ISO 10534-2; Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia, partes 1 y 2, equivalentes a la norma internacional ASTM C384-98; Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, (Método estándar de ensayo de impedancia y absorción de materiales acústicos mediante el método del tubo de impedancia), estas hacen referencia a la determinación del coeficiente de absorción acústica y de

la impedancia acústica en tubos de impedancia. Dividido en dos partes, la parte 1; método del rango de onda estacionaria y la parte 2; Método de la función de transferencia.

Otra norma a tener en cuenta es la ISO 11654; Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. La cual menciona los aspectos a tener en cuenta a la hora de evaluar los materiales acústicos que pueden ser utilizados dentro de las edificaciones, según el uso del espacio, y según el valor de coeficiente acústico que tiene cada material.

En cuanto a la parte correspondiente a la resistencia del fuego del material, se debe remitir al título J de la norma sísmica Colombiana, NSR-10, el cual hace referencia a los requisitos de protección contra incendios en edificaciones. El punto que se requiere es el de acabados interiores, es decir, el capítulo 2, y la sección J.2.5.2 que expone los requerimientos de los acabados interiores y no estructurales; “Para los acabados interiores no deben emplearse materiales que al ser expuestos al fuego produzcan, por descomposición o combustión, sustancias tóxicas en concentraciones superiores a las provenientes por madera o papel, bajo las mismas condiciones” (2010, p. J-6).

Los materiales que se empleen como acabados interiores, deben ser clasificados en función de la propagación de la llama, cómo se observa en la tabla 5.

CLASE	ÍNDICE DE PROPAGACIÓN DE LA LLAMA
1	0 a 25
2	26 a 75
3	76 a 225
4	Más de 225

Tabla 5. Clasificación de los materiales según sus características de propagación de la llama. Tomada de NSR-10.

El índice de propagación de la llama es la expresión visual de cuánto tiempo le toma a la llama propagarse a través del material en cuestión, la clasificación de los materiales se hace a través de la metodología exigida por la norma ASTM E 84.

CLASE	MATERIALES
1	• Pañetes de cemento • Cartón de fibro-cemento • Fibro-asfalto • Placas planas de fibro-cemento • Ladrillo • Baldosas cerámicas • Lana de vidrio sin 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 pañetes antisonoros • Algunos azulejos antiacústicos
3	• Madera de espesor 2,5 centímetros o más • Planchas de fibra de revestimiento a prueba de fuego • Cartón endurecido • Algunos Plásticos
4	• Papel asfáltico • Tela • Viruta • Superficies cubiertas con aciete o parafina • Papel • Plásticos, sin grado que permita asignarlos a otras clases • Algodón

Tabla 6. Clasificación de algunos materiales utilizados para acabados interiores según índice de propagación de la llama. Tomado de NSR-10.

Para clasificar los materiales de la tabla 6, según la norma ASTM E 84, se empleó el ensayo de túnel de fuego, este ensayo mide con qué velocidad y hasta dónde se propagan las llamas a través del material que se está probando, estos valores se comparan con los valores correspondientes al roble rojo, la madera de este árbol es muy resistente, tanto a la degradación

como a la exposición directa a altas temperaturas, tiene un valor de 100 en la escala y con los valores correspondientes a plancha de cemento reforzado, que tiene un valor de 0. Con estas cifras, se calcula un índice de propagación de llamas. La clase 1 es la mejor.

La equivalencia de la norma anteriormente mencionada es la NTC 1961, esta norma determina el comportamiento del material ante las quemaduras, observando la propagación de la llama a lo largo de la probeta, se debe reportar el índice de propagación de la llama y de humo generado, aunque no existe necesariamente una relación directa entre ambas mediciones.

Esta norma se debe utilizar para medir y describir la respuesta de materiales, productos o elementos empleados para acabados dentro de los espacios al calor y las llamas bajo condiciones controladas.

4 Metodología

Se debe comenzar por la caracterización del material, en este caso la cascarilla de arroz, y los aglutinantes, dónde se establecen las características físicas de cada uno, sus usos, sus métodos de obtención y su valor dentro del mercado. Posteriormente se determinan los espesores y la dosificación que se utilizarán en las diferentes mezclas a través de un molde que sea capaz de aplicar presión al material en conjunto con el aglutinante para así darle la forma determinada y esperada.

Para llevar a cabo las pruebas físicas y acústicas es necesario obtener muestras donde se varíe cada una de las características de cada mezcla, como el espesor, la dosificación y el tipo de aglutinante a utilizar, para así poder probar cada una de ellas bajo las mismas condiciones.

Al obtener los resultados de cada una de las probetas, se determinará cuál mezcla, en qué espesor y dosificación funciona mejor, para así definir los parámetros del panel real, y poder

adaptarlo al sistema portante, para así poder instalarlo en un recinto donde se requiera un acondicionamiento acústico.

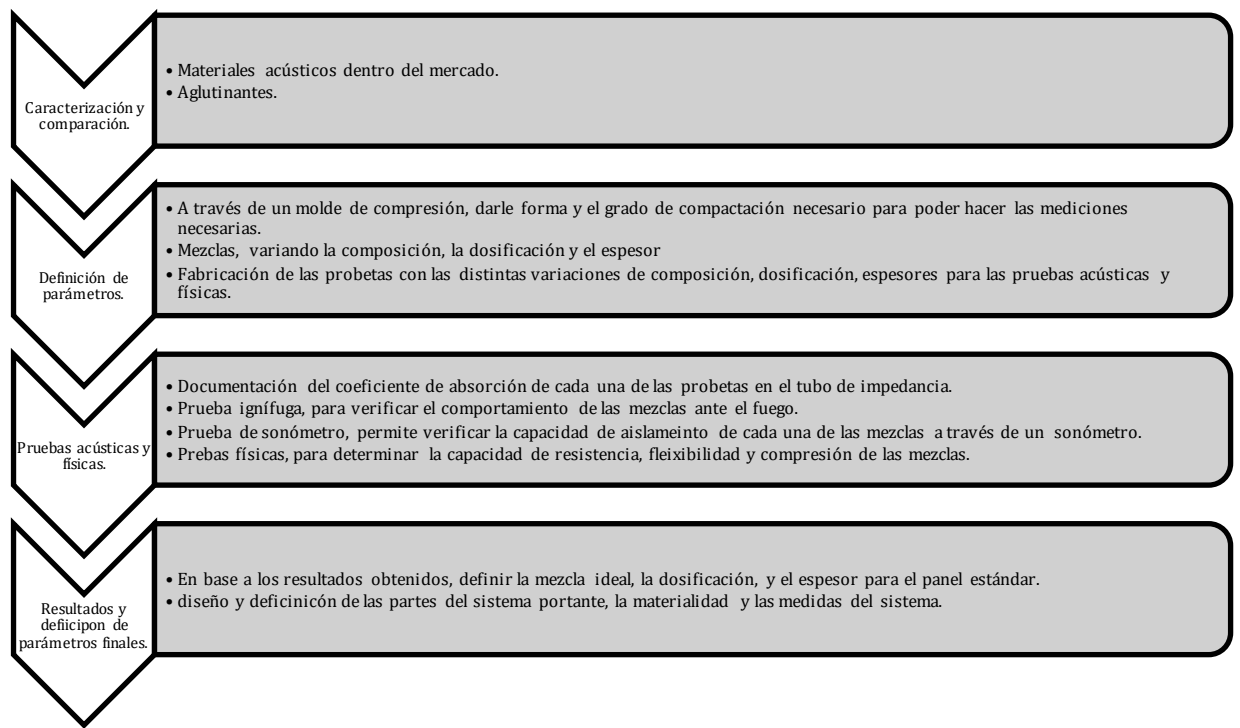


Figura 31. Metodología de investigación y experimentación. Elaboración propia.

4.1 Obtención del material

4.1.1 Cascarilla

La cascarilla de arroz se obtiene de separar el grano de la espiga después de haberlo cosechado con una máquina, conocida como combinada, la cual corta la espiga y almacena el grano junto con la cascarilla en su interior, cuando el interior de la máquina se llena, un tractor transporta el cereal, hasta un camión y éste lo lleva al molino, el cual separa o descascara el cereal, separando el grano de la cascarilla.



Figura 32. Cultivo de arroz. Tomado de Agrotendencia.tv.



Figura 33. Máquina cosechadora o combinada. Tomada de: www.maquinariaagricola-org.

Cuando el arroz cosechado llega al molino, éste se deja secar para obtener la temperatura óptima para poder introducirlo en las máquinas. Posteriormente se introduce el arroz en una tolva, la cual filtra la el cereal y la cascarilla, liberándola de todas las impurezas que puedan tener. Posteriormente pasa a una *descascaradora* o molino, cuya función es separar el cereal de la cascarilla. Después de haber separado la cascarilla, ésta es empacada y en pequeñas proporciones es vendida en mercados en las ciudades y municipios aledaños a los molinos.



Figura 34. Molino de arroz. Tomado de: EcuRed.cu.

La cascarilla, para esta investigación se obtuvo en la plaza de mercado de las Ferias, en Bogotá, el valor del kilo oscila entre los dos mil (\$2.000) y dos mil quinientos pesos (\$2.500), el precio disminuye en función de la cantidad que se requiera.



Figura 35. Kilo de cascarilla de arroz y Macrofotografía de la cascarilla. Elaboración propia.

4.1.2 Resinas o aglutinantes

Se define a las resinas como sustancias pegajosas, traslúcidas o transparentes de consistencia viscosa de procedencia natural, más específicamente de procedencia vegetal, o artificialmente se obtiene de la polimerización.

Las resinas se consiguen en distintos tipos de comercio, desde plazas de mercado, y en expendios especializados en cada uno de los componentes.

4.1.2.1 Almidón de maíz

Este producto, principalmente compuesto por glucosa, la cual es materia prima de aditivos y adhesivos dentro de las industrias, proveniente del maíz, más específicamente de moler los granos de maíz hasta convertirlos en un polvo muy fino. Se adquiere en comercios de materias primas para alimentos, el precio por kilo de este producto oscila entre los dos mil (\$2.000) y los dos mil quinientos pesos (\$2.500).



Figura 36. Almidón de maíz, presentación inicial y combinada con agua para producir el aglutinante. Elaboración propia.

4.1.2.2 Almidón de Yuca

El almidón se obtiene de moler las raíces del tubérculo, éste almidón se comercializa en expendios de materias primas para alimentos, ya que es mayormente utilizado en esta industria, aunque también es utilizado para crear adhesivos de papel. El precio por kilo de este producto oscila entre los dos mil (\$2.000) y los dos mil quinientos pesos (\$2.500). El precio del producto puede disminuir en función a la cantidad que se adquiera.



Figura 37. Almidón de yuca, presentación inicial y mezclada con agua para producir el aglutinante. Elaboración propia.

4.1.2.3 Colofonia o Resina de Pino

Este aglutinante de procedencia natural, el segundo más costoso del mercado en comparación con los aglutinantes que se eligieron para esta investigación. Esta resina es empleada en la fabricación de barnices y aditivos para la creación de instrumentos, también es utilizada en la industria del papel, ya que funciona muy bien como adhesivo de la madera y de materiales similares y derivados. A su vez es muy resistente a la humedad. Su precio oscila entre los veinticinco mil pesos (\$25.000) y los cincuenta mil pesos (\$50.000) por kilo.



Figura 38. Resina Colofonia en estado sólido. Tomada de internet.

4.1.2.4 Resina de PVC

Esta resina, de procedencia sintética, se encuentra en presentación en polvo, líquida y a granel, resiste a la humedad, a agentes químicos abrasivos, y a temperaturas hasta de 170°C. Se puede adquirir en establecimientos especializados en químicos, su precio por kilo está en el rango de los ochenta mil pesos (\$80.000) y los cien mil pesos (\$100.000). Esto la hace el aglutinante más costoso de los elegidos para mezclar junto con la cascarilla.

4.1.2.5 Colbón de madera

Este aglutinante, se puede adquirir en papelerías, en almacenes de artículos varios del hogar, su precio varía entre los diez mil pesos (\$10.000) y los treinta y cinco mil pesos (\$35.000) el kilo.



Figura 39. Presentación por kilo del colbón de madera. Elaboración propia.

4.2 Caracterización de la Cascarilla

La cascarilla es una fibra que recubre el grano de forma natural, esta fibra oscila entre los cinco (5) y los once (11) milímetros, su estructura es porosa, irregular y ondulada, tiene propiedades de alta resistencia, 6 en la escala de Mohs, esta escala clasifica la dureza y resistencia de los materiales. (Cadena & Bula, 2010).

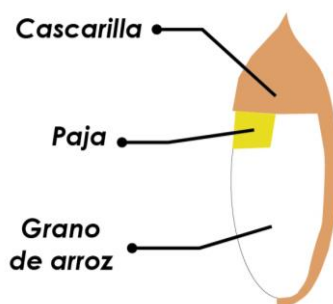


Figura 40. Partes del grano de arroz. Adaptado de: RICE KNOWLEDGE BANK.

La cáscara o pajilla, que constituye aproximadamente 20% en peso del grano y que es separado en el proceso de pilado formándose verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho. (Sierra, 2009 p. 28).

Esta fibra reacciona a temperaturas superiores a 600°C, al quemarse no produce llama, esto quiere decir que presenta un comportamiento ignífugo y cuenta con una gran estabilidad térmica. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio, que en estado normal, después de haber sido separado del cereal, oscila entre 10-15% su porcentaje de sílice, este porcentaje aumenta del 90 al 97% SiO₂, al convertir la cascarilla en ceniza, lo cual aumenta aún más su resistencia. (Cadena & Bula, 2002). En la figura 41 puede observarse la composición química de la cascarilla de arroz en detalle.



Figura 41. Composición química de la cascarilla de arroz. Elaboración propia.

4.3 Caracterización de las resinas

IMAGEN	NOMBRE		PROCEDENCIA	MÉTODO DE OBTENCIÓN	USOS	PRECIO	COMPOSICIÓN
	Almidón de Maíz	La fécula de maíz es un polvo muy fino extraído del maíz, su apariencia es la de una harina, lo que esta es especialmente fina.	El almidón o fécula de maíz es un polisacárido que se obtiene de moler las diferentes variedades del maíz.	Cernir, remojar, triturar, eliminar gérmenes, volver a triturar, macerar, extracción del almidón, limpiar y secar	Alcohol: Se utiliza en la preparación de bebidas no alcohólicas, perfumes, aerosoles fijadores de cabello y para la pureza del alcohol etílico. Farmacéutica. Alimentación de mascotas. Fabricación de papel. Adhesivos. Productos textiles. Diversos productos de la industria del cuidado personal. Solventes.	\$ 2.000 - \$2.500 (Kilo)	Humedad (13%), Proteína (9.9%), Lípidos (4.4%), Fibra (2.2%), Cenizas (1.3%), Amilosa (25%) y la amilopectina (75%)
	Almidón de Yuca	Existen dos variaciones, el almidón dulce y el agrio.	Se obtiene a partir de las raíces y el tubérculo	Una vez lavadas y peladas las raíces, se rallan para que liberen los gránulos de almidón. A continuación se separa de la pulpa el líquido que contiene los gránulos en suspensión, después de lo cual éstos se extraen del agua por sedimentación o con una centrífuga. A continuación, el almidón se seca al sol o mecánicamente para eliminar la humedad, antes de molerlo, colarlo y envasarlo.	Cómo biocombustible, como base de diversos alimentos y productos alimenticios. Las características funcionales de los almidones son: solubilidad, capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación	\$ 2.000 - \$2.500 (Kilo)	Amilosa (17%) y amilopectina.

	Resina de Pino (Colofonia)	Se obtiene del interior de los árboles jóvenes de pino, a través de un proceso no invasivo.	resina natural de color ámbar obtenida de la exudación de las coníferas de los árboles en crecimiento o durante la extracción de los tocones (parte del tronco que queda unida a la raíz cuando se corta un árbol por el pie), por lo tanto, la colofonia es la fracción no arrastrable por vapor de la oleroresina y está constituida de una mezcla de ácidos resínicos, mayoritariamente el ácido abiético.	Producto ácido termoplástico obtenido de la destilación de la oleoresina proveniente de la resinación de árboles en pie de los pinos caribe. Es traslúcida, frágil a temperaturas ordinarias y tiene olor y saber parecidos a los de la trementina.	Adhesivos, cola para papeles, tintas, barnices, resinas sintéticas, cauchos, plásticos, resinas desproporcionadas, y tejidos	\$25.000 - \$50.000 (Kilo)	Está constituida alrededor del 60-75 % de ácidos resínicos, 10-15 % de trementina y agua y de 5-10 % de sustancias neutras.
	Resina de PVC	El cloruro de polivinilo (PVC) es un polímero termoplástico muy versátil. El plástico es barato y durable, con excelente resistencia a la corrosión y el ataque de químicos. Las resinas PVC en la forma granular de polvo fino son producidas y mezcladas para producir una variedad de productos.	Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir de cloro y etileno. Es un material ligero y químicamente inerte e inocuo. Es un material termoplásticos, es decir, bajo la acción del calor (140 a 205°C) se reblandece pudiendo moldearse fácilmente; cuando se enfría recupera la consistencia inicial conservando la nueva forma.	Se obtiene a partir del craqueo del petróleo, que consiste en romper los enlaces químicos del compuesto para conseguir diferentes propiedades y usos. Lo que se obtiene es el etileno, que combinado con el cloro obtenido del cloruro de sodio producen etileno diclorado, que pasa a ser luego cloruro de vinilo. Mediante un proceso de polimerización llega a ser cloruro de polivinilo o PVC. Antes de someterlo a procesos para conformar un objeto el material se mezcla con pigmentos y aditivos como estabilizantes o plastificantes, entre otros.	Tuberías y mangueras, botellas y tapas de botellas, y el aislamiento de revestimientos para cables. El PVC también es usado en material para pisos, tapicería y ropa. En el proceso de composición, se crean muchas formulaciones de PVC	\$80.000 - \$100.000 (Kilo)	Petróleo bruto (43%) sal (57%) (Más aditivos estabilizantes).
	Colbón de Madera	El adhesivo es una sustancia que puede mantener unidos dos o más cuerpos por contacto superficial. Es sinónimo de cola y pegamento.	Se obtiene a partir de partes que sobran del proceso de sacrificio de animales, como pezuñas y partes sobrantes de piel.	Se cuecen las partes sobrantes de los animales que no tienen otra utilidad, después se disuelven en agua caliente, obteniendo un pasta blanca y líquida que sirve para pegar.	Fabricación de muebles y utensilios de madera o elementos similares.	\$10.000 - \$25.000 (Kilo)	Acetato de polivinilo 290 (ova). Dibutyltalato. Carboximetil – celulosa de sodio

Tabla 7. Caracterización de resinas como aglutinantes. Elaboración propia.

4.4 Moldes para la fabricación de muestras y paneles

4.4.1 Molde A

El objetivo es definir el grado de compactación del material, a través de la aplicación de presión de manera constante, este molde no le da la forma específica y definida al material, pero si permite determinar la compactación requerida, la dosificación de material y aglutinante y el espesor específico. Además de producir las muestras que serán utilizadas en las pruebas de tubo de impedancia.

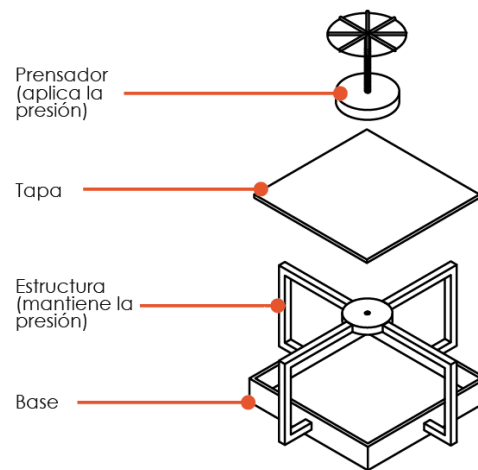


Figura 42. Despiece del molde tipo A. Elaboración propia.

El concepto básico de este prototipo es una prensa mecánica. La cual a través de la estructura que tiene una rosca, va bajando progresivamente moviendo la tapa hacia abajo y ejerciendo la presión necesaria para compactar el material.

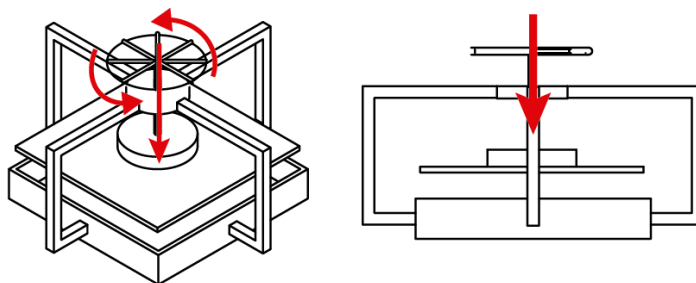


Figura 43. Funcionamiento del molde A. Elaboración propia.

4.4.2 Molde B

El objetivo es dar una forma específica al material a través de un molde, que este a su vez sea capaz de aplicar presión constante de una forma sencilla y eficiente, para lograr así una compactación óptima del material, la forma del molde tiene dos objetivos, el primero, lograr que tenga la capacidad de absorber mejor las ondas de sonido con la forma dada, la segunda es que así el material logre contar con una forma agradable a la vista, como lo logra la espuma fonoabsorbente o los paneles de celulosa.

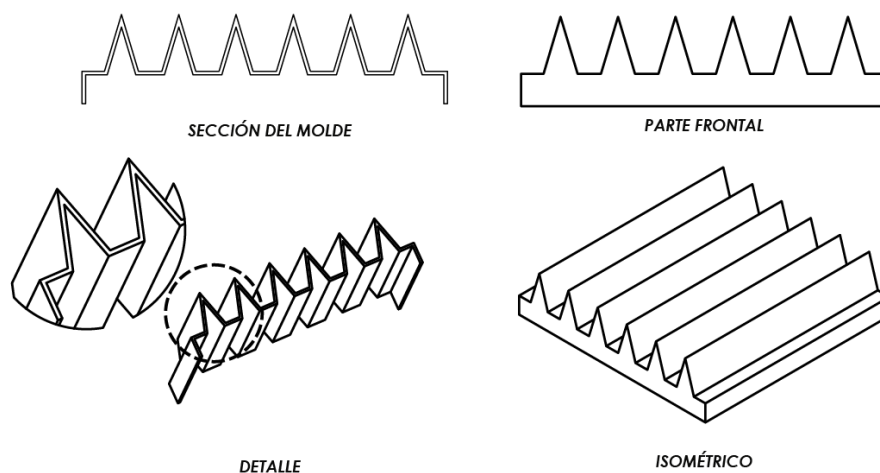


Figura 44. Molde tipo B. Elaboración propia.

El molde debe ser hecho con un material que pueda soportar la fuerza de compresión constante, que no se deforme, quiebre y no contamine, ni tampoco altere la composición de la mezcla vertida en él. Además debe ser un solo elemento, no debe tener soldaduras ni puntos donde exista la posibilidad de presentar fallas mecánicas. El material ideal es una lámina de aluminio calibre 14 o 16 doblada con prensa hidráulica.

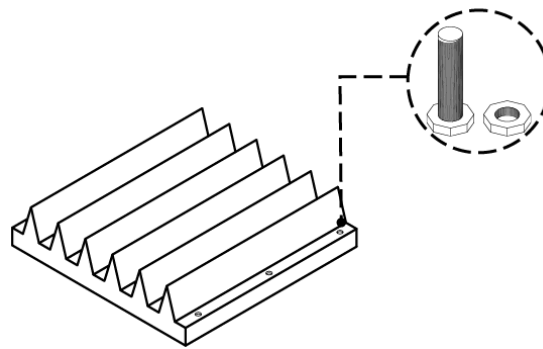


Figura 45. Detalle de aplicación de presión en el molde tipo B. Elaboración propia.

4.5 Proceso de transformación y proporción de las mezclas

Se determinó a través de los referentes investigativos consultados, los aglutinantes a utilizar para obtener el mejor desempeño en conjunto con la cascarilla de arroz, se definieron como aglutinantes; el almidón de maíz, el almidón de yuca, la resina de pino, conocida como colofonia, la resina de PVC y el colbón de madera, todas, exceptuando las últimas, son resinas de origen natural, esto en búsqueda de crear un material amigable con el medio ambiente, que requiera la menor cantidad de químicos posible. Estas muestras son las que se probarán en el tubo de impedancia, para así determinar el coeficiente de absorción acústico de cada una de las mezclas.

A las mezclas se les dio un nombre, para así poder clasificarlas según sus componentes.

Cascarilla de arroz	+	Almidón de maíz	=	M1
Cascarilla de arroz	+	Almidón de yuca	=	M2
Cascarilla de arroz	+	Resina de pino	=	M3
Cascarilla de arroz	+	Resina de PVC	=	M4
Cascarilla de arroz	+	Colbón de madera	=	M5

Figura 46. Nomenclatura dada al tipo de mezclas según sus componentes. Elaboración propia.

Se deben tomar varias proporciones de cascarilla y aglutinante, en diferentes porcentajes de cascarilla/aglutinante. Se determinaron tres porcentajes o dosificaciones para las muestras, las cuales pueden observarse en la figura 47. Lo anterior en base a que la experimentación que se lleva a cabo, se determine en que dosificación y con qué aglomerante se comporta mejor la cascarilla, para así determinar la dosificación adecuada para la elaboración del panel, pero que además tenga un comportamiento acústico ideal.

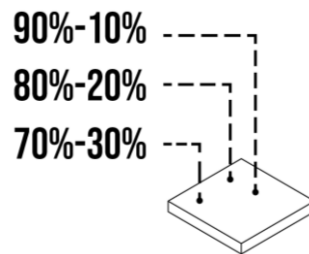


Figura 47. Porcentajes de mezcla entre el material y los aglutinantes. Elaboración propia.

Se deben tomar varias muestras de cada mezcla, variando entre las tres dosificaciones ya definidas, dependiendo de su dosificación se le da un nombre específico a cada muestra, en la

tabla 8 se puede observar el nombre de cada mezcla según el aglutinante utilizado, en la figura 48 se puede observar el porcentaje o dosificación de material/aglutinante.

CASCARILLA DE ARROZ	AGLUTINANTE	NOMBRE MEZCLA
	Almidón de maíz	M-1.1
		M-1.2
		M-1.3
	Almidón de yuca	M-2.1
		M-2.2
		M-2.3
	Resina de pino	M-3.1
		M-3.2
		M-3.3
	Resina de PVC	M-4.1
		M-4.2
		M-4.3
	Colbón de madera	M-5.1
		M-5.2
		M-5.3

Tabla 8. Nombre de las mezclas según sus componentes. Elaboración propia.

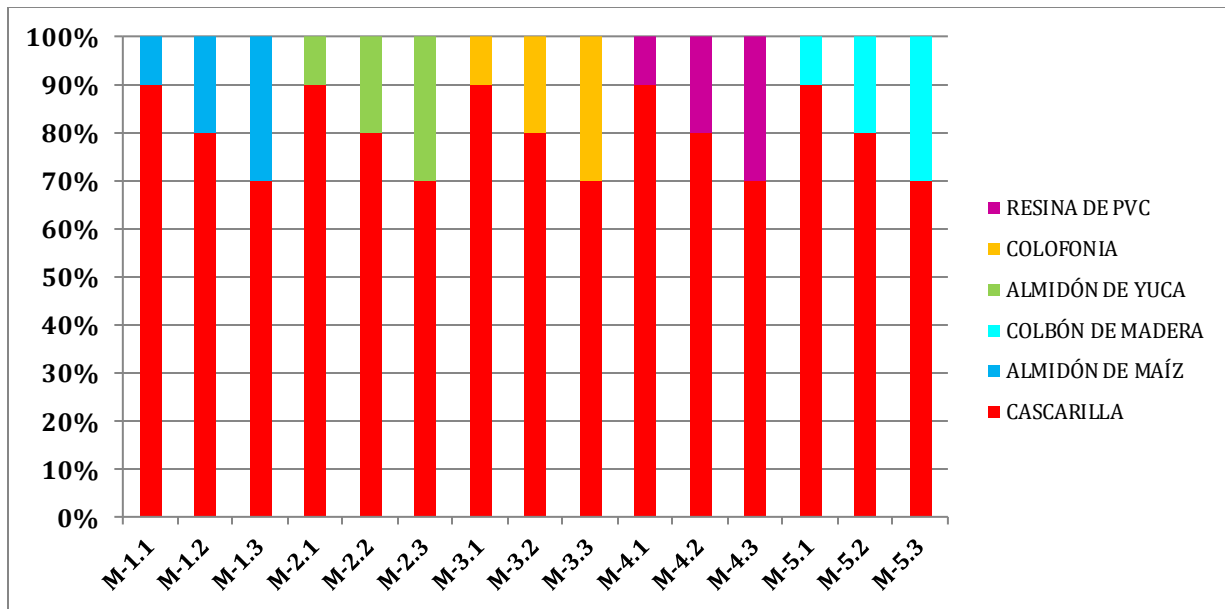


Figura 48. Proporciones de mezcla entre cascarilla y aglutinantes. Elaboración propia.

Después de definir los porcentajes de dosificación entre cada una de las muestras se deben probar varios espesores para las muestras, debido a que la mayoría de materiales existentes en el mercado varían en su espesor, como los rollos de lana de roca, de fibra de vidrio, las láminas de espuma fonoabsorbente y *black theater*, los más utilizadas son 40mm, 60mm y 80mm, en la figura 49 se puede observar las diferencias entre los diferentes espesores a utilizar para las muestras. Se deben hacer tres muestras, donde se varía el espesor, de cada una de las mezclas que se mencionaron anteriormente (figura 48 y tabla 8).

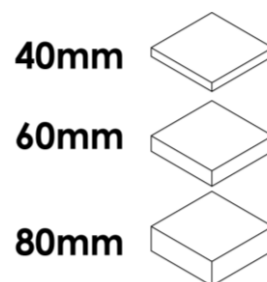


Figura 49. Espesores determinados para las probetas. Elaboración propia.

El objetivo de tener distintas muestras, donde se presentan las variables de aglutinante, el porcentaje de cascarilla/aglutinante y el espesor, es porque cada una de las variables anteriores tendrá su propio resultado, y al compararlos en las distintas pruebas, tanto acústicas como físicas, se determinará qué aglutinante, en qué dosificación y con qué espesor se comporta mejor y se obtendrán los mejores resultados.

El paso inicial dentro del proceso de armado de las probetas para el tubo de impedancia, o de Kudnt, es hacer las mezclas de cascarilla y de aglutinante, en las dosificaciones previamente definidas, el proceso es mezclando los elementos por capas, como se puede observar en la figura 50. Cabe aclarar que la cantidad de capas de la mezcla es la que define el espesor de cada una de las muestras.

La mezcla de la cascarilla junto con el aglutinante se vierte en el molde, éste aplica la presión necesaria constante para modificar su forma, y así formar la probeta para evaluar sus propiedades físicas y poder llevar a cabo las pruebas del tubo de impedancia.



Figura 50. Mezcla de la cascarilla junto con el aglutinante. Elaboración propia.

Después se aplica presión para facilitar la solidez y compactación de las muestras en el molde compuesto por un tubo de PVC de 4", y dos tapas compuestas por acrílico, para evitar que la mezcla se adhiera al molde y por una lámina de MDF, que evita que la fuerza que ejerce la

prensa sobre las tapas no dañe al acrílico. En las figuras 51 se puede observar el diseño del molde para las probetas y en la figura 52 se evidencia el proceso real de compactación dentro del molde.

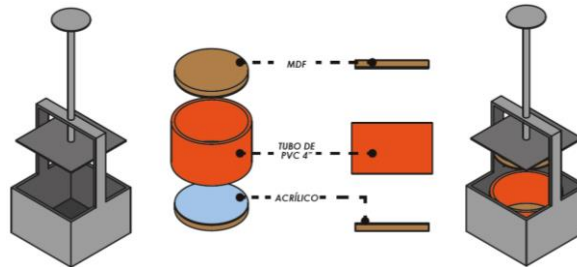


Figura 51. Molde para probetas para tubo de impedancia. Elaboración propia.



Figura 52. Proceso de mezcla de los materiales y posterior colocación en la prensa y el molde. Elaboración propia.

Posteriormente se retira la muestra del molde, retirando la tapa del tubo de PVC, y extrayendo la mezcla del interior, después se introduce la muestra dentro de una cámara de calor, la cual acelera el proceso de secado de las muestras, subiendo la temperatura del interior por encima de los 50°C, manteniendo seco el aire al interior, por último, se retira la probeta de la cámara de calor. Este proceso se puede observar en la figura 53.



Figura 53. Proceso de mezcla por capas, desmolde, secado en cámara de calor y resultado final de una probeta.

Como paso siguiente, se hace una inspección visual para examinar su rigidez, resistencia, solidez y compactación obtenida por cada una de las muestras. Posteriormente se llevará a cabo la prueba del tubo de impedancia para determinar el coeficiente de absorción acústico, la densidad y la porosidad de cada muestra.

Para complementar, se debe diseñar el sistema portante del panel, que se acople a distintos tipos de estructuras, determinando qué materiales deben componerlo, que no modifiquen la capacidad acústica del material, en el sistema se debe evitar el uso de materiales reflectantes o que estos no estén directamente expuestos a las ondas que incidan sobre el panel y el sistema. Más adelante se ahondará en cada uno de los componentes del sistema y su función en conjunto con el panel final.

4.6 Pruebas al material

4.6.1 Tubo de impedancia acústica: Los tubos de impedancias (tubos de Kudnt), son sistemas para el estudio y obtención de las propiedades acústicas de los materiales ensayados, como el coeficiente de absorción, la impedancia acústica, la porosidad y la densidad de los mismos.



Figura 54. Tubo de impedancia acústica o de Kudnt.

En la prueba de tubo de impedancia, se pueden utilizar desde uno, hasta cuatro micrófonos para las pruebas y la toma de datos variables, donde se obtiene el coeficiente de absorción acústica (NRC) la impedancia acústica, los coeficientes de transmisión de sonido (STC) o pérdidas de transmisión de sonido (STL).

El procedimiento que se lleva a cabo es el siguiente; se toma una de las muestras, se pone en el porta muestras del dispositivo, a través de un altavoz se direccionan sonidos a diferentes frecuencias hacia la muestra, los altavoces dentro del tubo miden qué sonidos atraviesan el material, cuales rebotan y cuales absorbe la muestra, a través de los resultados se determina el comportamiento acústico y se realiza la respectiva caracterización, también determina la impedancia acústica del material, así como el coeficiente de absorción. En la figura 55 se pueden observar los factores que determina el tubo de impedancia.

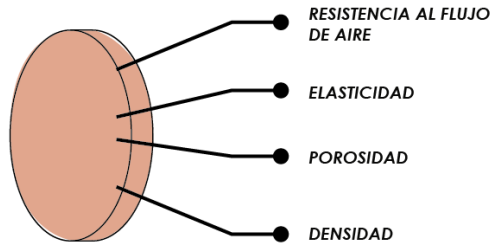


Figura 55. Factores que también determina el tubo de impedancia. Elaboración propia.

4.6.2 Sonómetro: En esta prueba se toma como base la prueba hecha y descrita en la tesis “fabricación de paneles acústicos resistentes a la compresión, conformados por cascarilla de arroz, cemento y arena” (Proaños y Sandoval, 2010). Se utiliza un instrumento para medición acústica conocido como sonómetro, el cual se encarga de registrar los decibeles en el espacio.

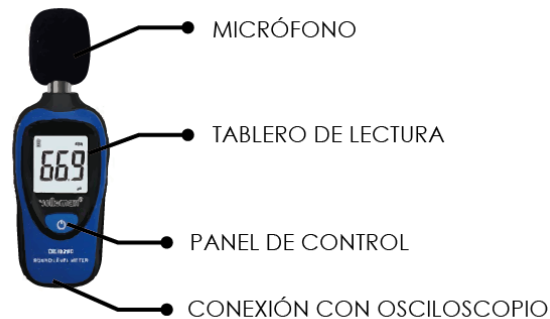


Figura 56. Partes del sonómetro. Elaboración propia.

Para comprobar los cambios sonoros de los paneles de cascarilla de arroz, se construirán dos modelos de cámaras de 10 cm x 10 cm con los paneles de arroz y aglutinante.

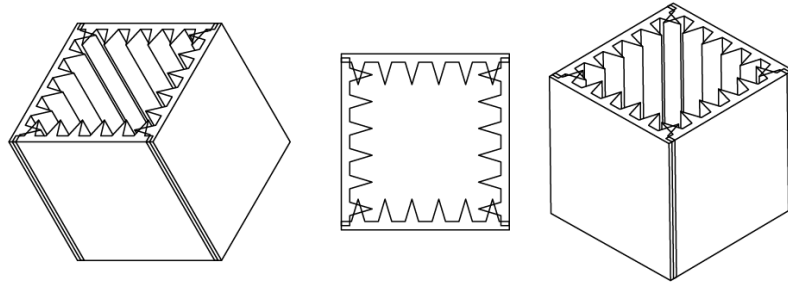


Figura 57. Modelo de caja a partir de los paneles de cascarilla de arroz. Elaboración propia.

Con una grabadora de sonido, se registra la presión sonora en el ambiente, como se observa en la figura 58. Se toman tres (3) registros de la presión sonora del ruido presentes en el medio ambiente. Posteriormente se toman tres (3) registros de la presión sonora al interior de la caja de paneles. Por último se comparan los cuatro registros iniciales con los del interior de la caja de paneles, para así determinar la diferencia de presión sonora en el exterior e interior de la caja.



Figura 58. Gráfica de cómo se toma la muestra del sonido ambiente como niveles de referencia. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en estas pruebas permitirán determinar la viabilidad del material, hablando de su desempeño. Es necesario introducir la caja de paneles en la tierra, puesto que simula así un recinto cerrado cubierto con los paneles.

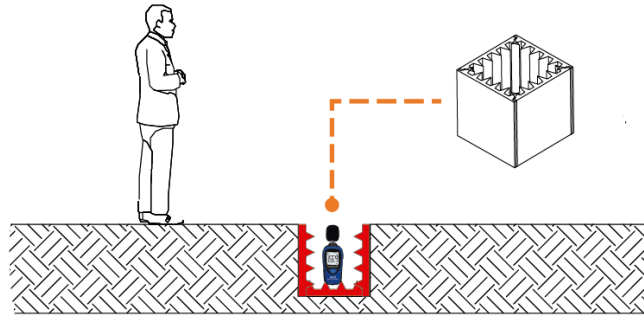


Figura 59. Gráfico de toma de niveles de presión sonora con los paneles de cascarilla. Elaboración propia.

4.6.2 Túnel de fuego: Esta prueba es empleada por la norma ASTM E 84; Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials (Método estándar de ensayo de las características de combustión de superficie de los materiales de construcción). Se coloca una muestra de 50 centímetros de ancho por 700 centímetros de largo, en un túnel de ladrillo. En el caso de que se haga que le prueba del tejido sin estar adherido a otro material, el tejido se coloca sobre una malla de alambre. La muestra está expuesta a las llamas que salen del quemador en forma de U representado en perfil frontal durante 10 minutos. Durante los diez minutos que dura la prueba, se mide y se registra la propagación sobre la superficie del material de muestra y el humo resultante.

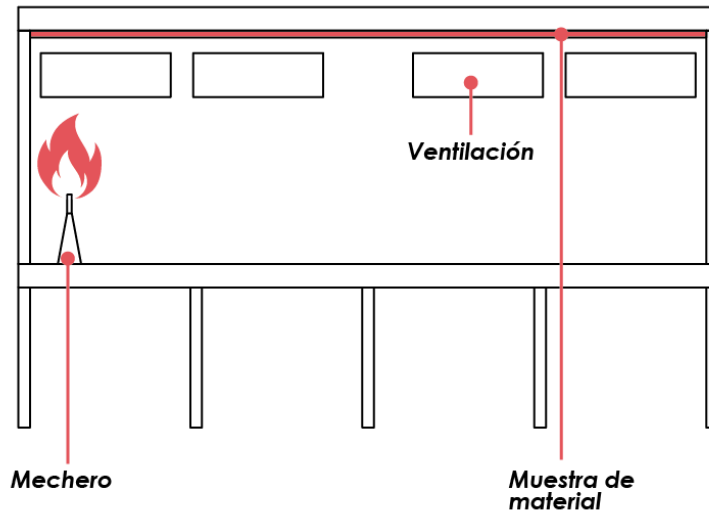


Figura 60. Esquema del túnel de fuego. Elaboración propia.

4.7 Conclusiones de las mezclas

Entre los siguientes resultados se aborda el desempeño de cada una de las mezclas realizadas, teniendo en cuenta la proporción ideal, su rigidez, su resistencia a la compresión, su flexibilidad y su tiempo de secado.

4.7.1 Cascarilla y Almidón de maíz

El material no se compacta lo suficiente, al secarse se torna arenosa y no mantiene su integridad física, requiere un tiempo de secado mayor, alrededor de 96 horas y requiere más tiempo en el molde de compresión. Lo anterior se debe a que el componente principal del almidón para tener sus cualidades como aditivo es el agua, esta, al evaporarse por el secado, no aglutina lo suficiente el material.



Figura 61. Probetas de almidón de maíz. Elaboración propia.

4.7.2 Cascarilla y Almidón de yuca

Esta mezcla requiere aún más tiempo de secado que la mezcla con almidón de maíz, 120 horas de secado para lograr ser desmoldada, pero como la anterior, no mantiene su forma por la misma razón, al secarse completamente se torna árida, aunque es más adherente en comparación con el almidón de maíz. Y a diferencia del almidón de maíz, esta no es flexible.



Figura 62. Probetas de almidón de yuca. Elaboración propia.

4.7.3 Cascarilla y Colbón de madera

La mezcla de cascarilla y colbón de madera es la que menos tiempo de secado requiere, en comparación con las demás, es la más resistente y es la que menos tiempo requiere dentro del molde de compresión para mantener su forma. Además el colbón de madera no cubre totalmente

las porosidades de la mezcla, lo que favorece que mantenga la característica principal de un material acústico, es decir, que sea poroso y denso.



Figura 63. Probetas de colbón de madera. Elaboración propia.

4.7.4 Cascarilla y Colofonia (Resina de pino)

Esta mezcla no fue posible realizarla debido al alto coste de la resina, además de que es muy difícil obtenerla y debe ser manipulada por personal experto en este tipo de químicos.

4.7.5 Cascarilla y resina de PVC

Para que esta mezcla funcione se requiere una mayor medida de aglutinante, lo que hace que pierda completamente sus porosidades, ya que sella totalmente el material, convirtiéndolo así en un material reflectante. Esta resina no funciona para unir el material, solo une resina con resina, lo que genera que la cascarilla pierda completamente sus capacidades físicas y químicas.



Figura 64. Probetas de resina de PVC. Elaboración propia.

5 Resultados pruebas acústicas y físicas

Se fabricaron varias probetas para la realización de estas pruebas, debido a que se deben medir y promediar los resultados, para obtener resultados más y así poder aplicar esos resultados en el panel definitivo.

5.1 Tubo de impedancia

Para esta prueba se fabricaron pruebas de tres espesores diferentes, y clasificadas según su espesor en una nomenclatura definida (Ver tabla 9), para poder saber qué resultado obtuvo cada probeta específica y promediar ese resultado según su clasificación.

ESPESOR	NOMENCLATURA
2mm	A
6mm	B
8mm	C

Tabla 9. Clasificación de las muestras, según su espesor. Elaboración propia.

De la clasificación A, las cuales son las de menor espesor, se fabricaron seis muestras, de la clasificación B, se fabricaron diez muestras, y de la clasificación C, las de mayor espesor, tres muestras (Ver tabla 10).

A	A-1
	A-2
	A-3
	A-4
	A-5
	A-6
B	B-1
	B-2
	B-3
	B-4
	B-5
	B-6
	B-7
	B-8
	B-9
	B-10
C	C-1
	C-2
	C-3

Tabla 10. Nombre de las probetas en función de su clasificación, según su espesor. Elaboración propia.



Figura 65. Probeta A-1. Elaboración propia.



Figura 66. Probeta B-1. Elaboración propia.



Figura 67. Probeta C-1. Elaboración propia.

Las mediciones de cada una de las probetas se llevaron a cabo según la normativa ASTM C384-98, la que brinda las frecuencias a las cuales deben ser medidos los materiales, para así poder comparar distintos materiales en función de las mismas frecuencias. Las frecuencias en Hertz (Hz) a las cuales toma la medición el tubo según la normativa, van desde los 100Hz, hasta 1600Hz. En la tabla 11 se puede observar en detalle cada una de las frecuencias a las cuales se hace la medición.

FRECUENCIAS Hz												
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600

Tabla 11. Frecuencias de medición, según la norma ASTM C384-98. Elaboración propia.

Con base a la cantidad de muestras que se midieron, en función con las frecuencias según la normativa pertinente, se obtuvieron los siguientes resultados. En la tabla 12 se pueden observar los resultados de las mediciones, hechos en colaboración con la facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá, en conjunto con el ingeniero Darío Páez y el físico Luis Herrera.

Frec. (Hz)	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	C-1	C-2	C-3
100	0,16	0,10	0,07	0,13	0,10	0,18	0,00	0,21	0,12	0,22	0,18	0,09	0,16	0,21	0,11	0,16	0,19	0,29	0,23
125	0,23	0,21	0,24	0,21	0,19	0,22	0,19	0,23	0,25	0,22	0,28	0,20	0,25	0,35	0,22	0,26	0,28	0,36	0,28
160	0,26	0,25	0,29	0,22	0,22	0,24	0,26	0,28	0,16	0,30	0,35	0,26	0,27	0,39	0,29	0,29	0,34	0,39	0,33
200	0,32	0,33	0,36	0,31	0,28	0,31	0,33	0,36	0,34	0,36	0,39	0,30	0,34	0,42	0,33	0,34	0,40	0,44	0,38
250	0,31	0,32	0,31	0,31	0,29	0,31	0,33	0,34	0,33	0,34	0,35	0,31	0,32	0,39	0,32	0,33	0,38	0,41	0,36
315	0,33	0,32	0,34	0,32	0,30	0,30	0,37	0,36	0,35	0,36	0,39	0,30	0,33	0,43	0,32	0,35	0,44	0,47	0,39
400	0,27	0,28	0,27	0,27	0,24	0,29	0,37	0,35	0,33	0,34	0,34	0,29	0,31	0,36	0,30	0,33	0,49	0,49	0,38
500	0,27	0,27	0,24	0,25	0,08	0,27	0,44	0,37	0,35	0,35	0,33	0,28	0,30	0,34	0,30	0,31	0,61	0,59	0,40
630	0,27	0,28	0,27	0,26	0,22	0,25	0,51	0,46	0,44	0,46	0,40	0,35	0,33	0,41	0,32	0,37	0,87	0,79	0,53
800	0,20	0,25	0,24	0,17	0,17	0,26	0,64	0,52	0,54	0,58	0,43	0,34	0,34	0,22	0,32	0,38	0,99	0,99	0,67
1000	0,30	0,33	0,25	0,23	0,23	0,32	0,94	0,86	0,80	0,86	0,66	0,48	0,47	0,51	0,45	0,55	0,73	0,77	0,89
1250	0,23	0,33	0,00	0,02	0,08	0,26	0,72	0,87	0,86	0,81	0,88	0,70	0,60	0,78	0,67	0,82	0,44	0,45	0,69
1600	0,41	0,63	0,18	0,41	0,19	0,53	0,86	0,50	0,11	0,29	0,72	0,75	0,61	0,72	0,75	0,74	0,47	0,32	0,18

Tabla 12. Resultados de coeficiente de absorción acústico de cada una de las muestras en función de las frecuencias.
Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.

Los resultados que se observan en la tabla 12, son los de cada una de las probetas que se obtuvieron en función de las frecuencias que determina la norma ASTM C384-98, para comprender mejor los resultados se graficaron, separándolos según la nomenclatura de las probetas, en la figura 68, que corresponde a los resultados de las probetas A, se puede concluir que funciona medianamente bien a frecuencias medias, como a 400Hz y 500Hz en promedio de cada una de las muestras A, ya que cada una de las muestras obtuvo entre 0.25 y 0.30 en las frecuencias anteriormente mencionadas. También cabe resaltar que el resultado de estas muestras en frecuencias altas fue muy variado, ya que la muestra A-2, obtuvo un coeficiente de absorción de 0.63 en la frecuencia de 1600Hz, mientras que la A-3 obtuvo como resultado 0.18, la variación de estos resultados se puede deber al nivel de compactación del material y al espesor con el que cuentan (2mm).

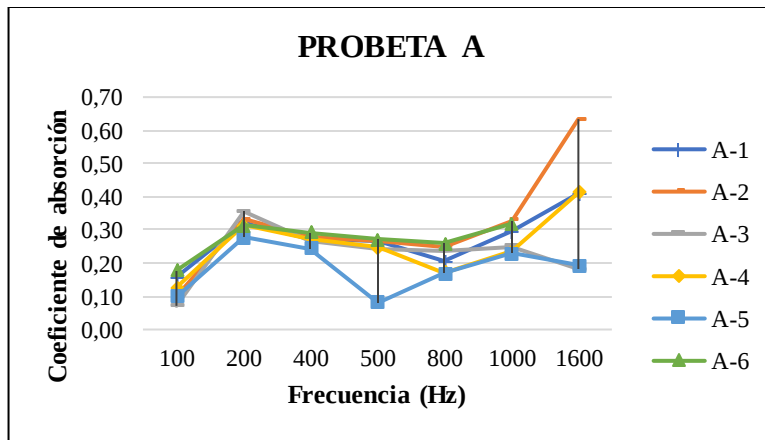


Figura 68. Resultados del tubo de impedancia de las probetas A. Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.

En la figura 69, la correspondiente a las probetas B (6mm), se puede observar que entre las frecuencias de 200Hz hasta los 500Hz los resultados varían muy poco, esto cambia un poco entre las frecuencias de 800Hz y 1000Hz, donde la muestra B-1 obtuvo 0.72 y 0.86 en el coeficiente de absorción. En la frecuencia más alta, es decir, la de 1600Hz se puede observar una variación mucho mayor entre los resultados de las muestras, donde la muestra B-1 obtuvo 0.86, y la muestra B-3, por el contrario, obtuvo 0.11, lo que es un resultado poco favorable. En las probetas B se evidencian resultados más cercanos entre sí, comparados con los resultados de las probetas A, esto se puede deber al espesor de las muestras, demostrando así que en función de los espesores los resultados obtenidos son mejores.

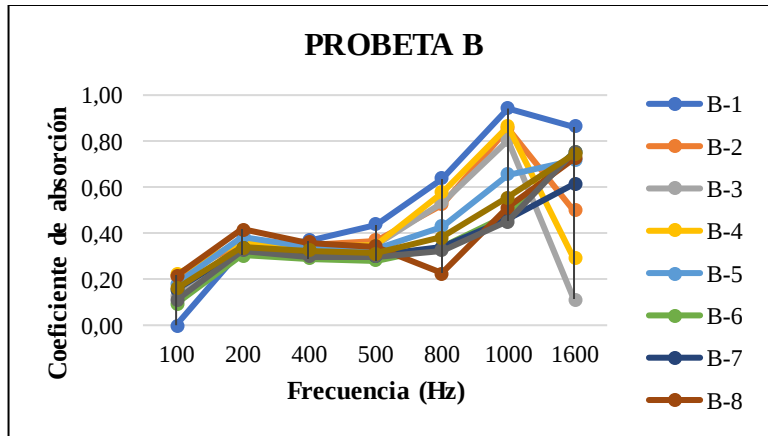


Figura 69. Resultados del tubo de impedancia de las probetas B. Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.

Los resultados de las probetas C, se pueden observar en la figura 70, se puede evidenciar que los resultados de las muestras C-1 y C-2 que se obtuvieron son similares, como en la frecuencia de 800Hz, se evidencia que estas probetas obtuvieron de coeficiente de absorción 0.99 cada una, lo que significa que este resultado es muy favorable en función al objetivo de esta investigación, en la muestra C-3 se observa que los resultados son muy distintos, esto debido a que en la muestra C-3 la compactación es menor, a diferencia de las otras muestras.

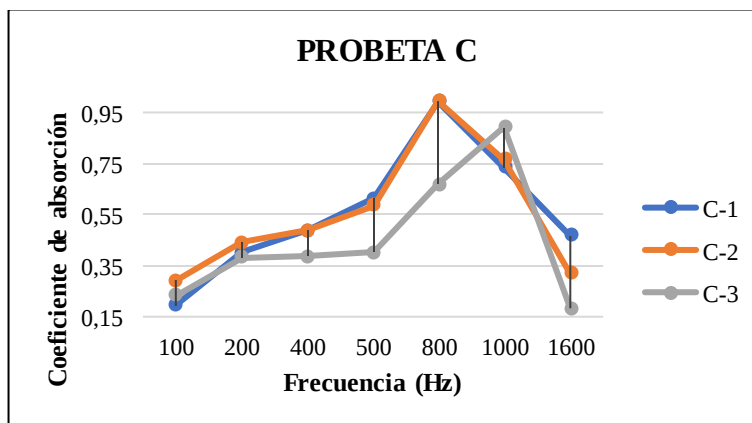


Figura 70. Resultados del tubo de impedancia de las probetas C. Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.



Figura 71. Probeta C-2 (Izq.) y probeta C-3 (Der.). Elaboración propia.

Para obtener resultados comparables, se promediaron los resultados de cada probeta según su clasificación (Ver tabla 13).

Frec. (Hz)	A-PROM	B-PROM	C-PROM
100	0,12	0,15	0,24
125	0,22	0,24	0,31
160	0,25	0,28	0,35
200	0,32	0,35	0,41
250	0,31	0,34	0,38
315	0,32	0,36	0,43
400	0,27	0,33	0,45
500	0,23	0,34	0,53
630	0,26	0,41	0,73
800	0,22	0,43	0,88
1000	0,28	0,66	0,80
1250	0,15	0,77	0,52
1600	0,39	0,61	0,32

Tabla 13. Promedio de coeficiente de absorción acústico de las probetas A, B, C. Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.

Además de la tabla anterior, los resultados se pueden observar en forma de gráfica en la figura 72, donde se puede destacar que el coeficiente de absorción más elevado fue el de las probetas C, lo que permite corroborar lo dicho por Carrión en 1998, en su libro *“Diseño acústico de espacios arquitectónicos”*. Donde expone que, a mayor espesor del material, se obtienen mejores resultados de absorción acústica y por el contrario, comparativamente los resultados

menos favorables fueron los obtenidos por las probetas A, las cuales obtuvieron coeficientes de absorción entre 0.12 y 0.39.

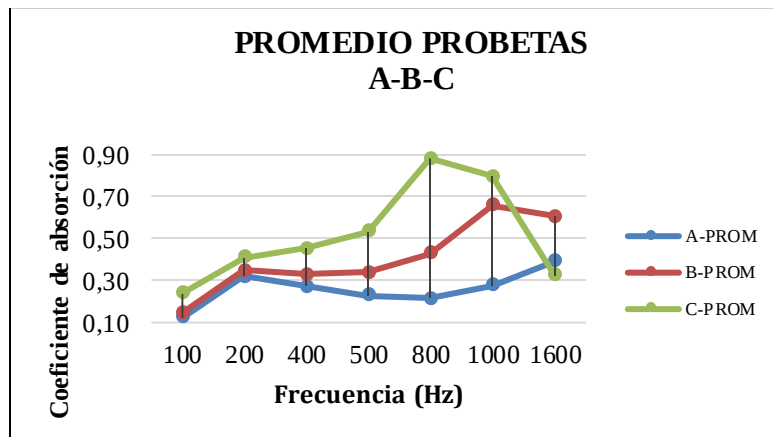


Figura 72. Resultados promedio del tubo de impedancia de las probetas A, B y C. Fuente: Ingeniero Darío Páez, Físico Luis Herrera, facultad de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura sede Bogotá.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que el espesor ideal del panel final debe ser de 80mm o mayor, debido a que absorbe mejor las ondas sonoras que inciden en él, también que la proporción ideal de material y aglutinante debe ser de 70/30, esto, debido a que hay suficiente aglutinante para mantener el material unido, pero no tanto como para obstruir las porosidades del mismo. Como tercera conclusión se puede decir que el mejor aglutinante es el colbón de madera, ya que mantiene las cualidades del material, mantiene la forma deseada y cuenta con un grado de resistencia considerable. En la figura 73 se puede observar las muestras dentro del porta muestras del tubo de impedancia donde se llevaron a cabo las mediciones.



Figura 73. Probeta y medición en tubo de impedancia. Elaboración propia.

Para concluir se realiza una comparación entre los materiales acústicos existentes en el mercado, tanto de procedencia natural como sintética y la cascarilla de arroz, los valores de la cascarilla son el promedio entre los valores de las probetas C, las cuales tienen un espesor de 80mm. En la figura 70 se puede evidenciar que la cascarilla de arroz se sitúa como el mejor material entre las fibras de origen natural, y se acerca a los valores del *black theater* en frecuencias superiores a 1000Hz, lo anterior demuestra que esta fibra natural se perfila como un buen material acústico, teniendo a su favor su fácil obtención, su bajo costo en el mercado, y la facilidad en su transformación, puesto que no requiere de químicos ni tratamientos de gran consumo energético como los materiales de origen artificial.

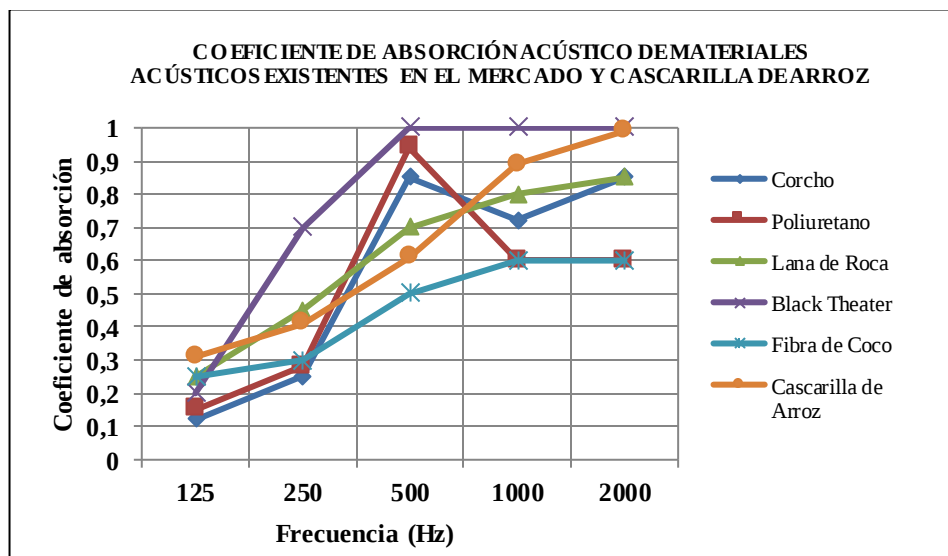


Figura 74. Coeficiente de absorción acústico de materiales acústicos existentes en el mercado y cascarilla de arroz. Diversas fuentes.

5.2 Sonómetro

En las mediciones al exterior de la caja se registran niveles de presión sonora entre los 50 y los 60 decibeles, estos valores se registran normalmente en el ambiente, al interior de la caja se registraron niveles entre los 40 y los 50 decibeles, demostrando que los paneles cuentan con propiedades aislantes y absorbentes (Ver figura 75). Aunque es una prueba a escala, permite demostrar la capacidad del material de aislar los sonidos exteriores y concluye que la cascarilla de arroz aglutinada con colbón de madera se perfila como un material acústico con gran capacidad aislante y absorbente.

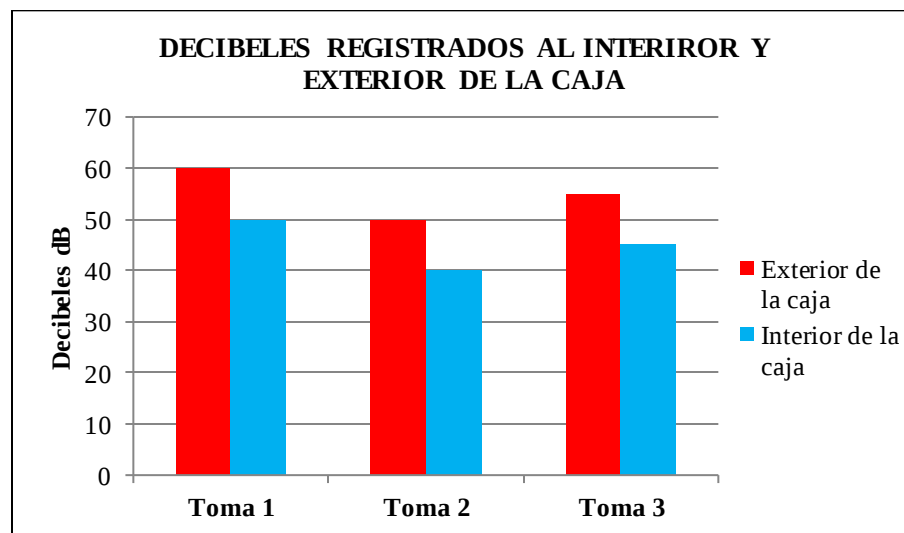


Figura 75. Decibeles registrados al interior y exterior de la caja de paneles a escala de cascarilla de arroz. Elaboración propia.



Figura 76. Caja de paneles a escala de cascarilla de arroz. Elaboración propia.

5.3 Ignífuga

Se realizó la prueba con un soplete, el cual incide a través de una llama directa al material de prueba, durante tres minutos.

A modo de conclusión se puede precisar que el material no se quema completamente y no genera llama, puesto que esta se extingue a los pocos segundos de ser retirado de la llama directa, el aglomerante utilizado en las probetas (colbón de madera) no varía la resistencia al fuego que posee la cascarilla de forma natural, el material no requiere químicos o sustancias diferentes a su composición inicial, para mejorar su resistencia al fuego.

Igualmente se comprobó que el material no emana humo denso y/o tóxico al estar expuesto a la llama, el humo del material es similar al expedido por la madera o el papel al ser quemados, lo anterior quiere decir que el material y el aglutinante empleado al ser quemados no son tóxicos, en caso de que se presente una emergencia, no representa un peligro importante para las personas. Aunque se recomienda un estudio más minucioso en este aspecto.

La prueba da como resultado que la propagación del fuego a través del material es mínima y la cascarilla mezclada con colbón de madera aún conserva su alta resistencia al fuego, ya que la llama no dura tanto tiempo y no consume el material. Para lograr consumir el material se debe estar expuesto a temperaturas superiores a los 700°C y por un tiempo prolongado. El material podría clasificarse en la escala de propagación de la llama, según la ASTM E 84, en clase 2, es decir resistente en gran medida al fuego. Lo anterior quiere decir que según el título J de la norma NSR-10, el material es seguro para ser empleado en recintos cerrados, ya que demuestra que no es tóxico y no se consume con facilidad por posibles conflagraciones.

En la figura 77 se puede observar una comparación entre distintos materiales donde se muestra la temperatura a la que reacciona cada uno al estar expuesto directamente al fuego, se puede concluir que la cascarilla es el material de mayor resistencia al fuego directo, teniendo una ventaja considerable con respecto a los otros materiales acústicos existentes en el mercado.

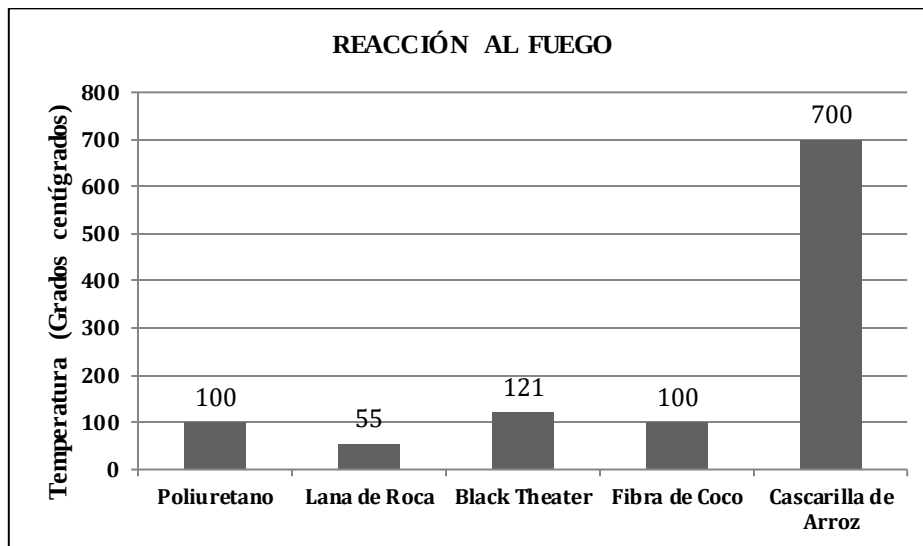


Figura 77. Temperatura a la que reaccionan los materiales acústicos. Diversas fuentes.



Figura 78. Realización prueba ignífuga a la probeta A-5. Elaboración propia.

6 Implementación del panel al sistema portante

El sistema se compone de cuatro tipos de uniones, según la cantidad de paneles que va a soportar y la ubicación de estos, también cuenta con marcos en madera, los cuales sostienen y protegen el panel, el sistema y sus partes pueden observarse en la figura 79.

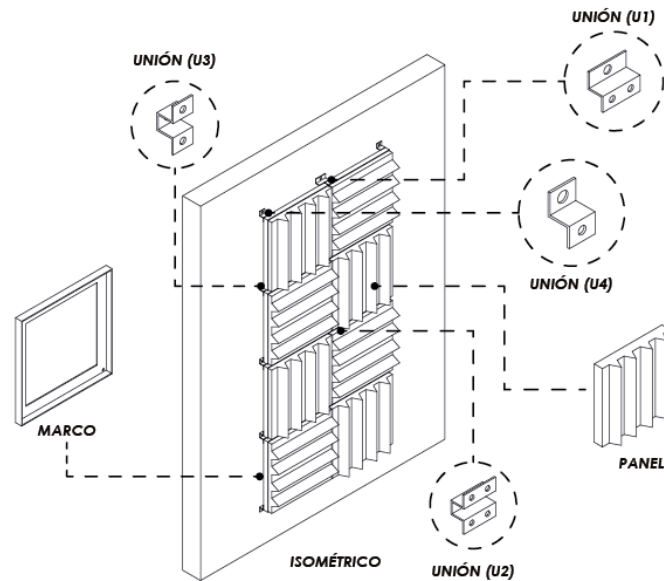


Figura 79. Sistema conjunto con cada una de las partes que lo componen. Elaboración propia.

Platinas: Las uniones son en acero calibre 18, según su ubicación dentro del sistema se le da un nombre a cada unión, como se evidencia en la figura 80.

La unión U1y U3 soportan dos marcos y dos paneles cada uno, la diferencia entre estas es que la primera sostiene dos marcos de manera horizontal, y la segunda de manera vertical, la unión U2 soporta cuatro paneles y cuatro marcos y la unión U4 soporta un solo panel, esta unión se emplea para las esquinas del montaje del panel.

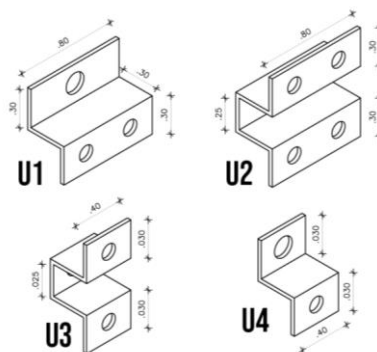


Figura 80. Uniones en acero calibre 18 para unión entre marco y muro. Elaboración propia.

Uniones y/o anclajes: Para unir los perfiles al muro y a los marcos del sistema, se emplean pernos y tornillos diferentes. El anclaje entre la unión y el muro se puede observar en la figura 81, y el perno que une la unión con el marco en la figura 82.

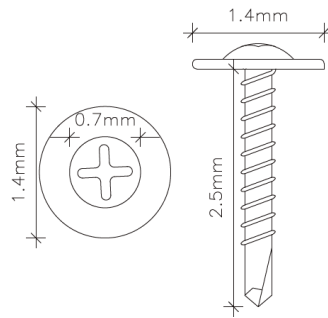


Figura 81. Tornillo auto perforante de 1/2" de longitud. Elaboración propia.

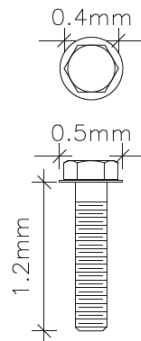


Figura 82. Tuerca de 3/4" de longitud. Elaboración propia.

Marco: Los marcos son en madera tipo MDF, de tres milímetros (3mm) de espesor (Figura 83), éstos no van unidos al panel, ya que los sostienen por fricción. Estos van unidos a las uniones a través de un perno de 1.2mm de longitud (figura 82).

Segundo, se procede a hacer la fijación de los marcos de madera tipo MDF (Ver figura 84) mediante una tuerca de 3/4" de longitud (Ver figura 82). Lo anterior se puede observar en la figura 85. (Ver anexo, plano A-003)

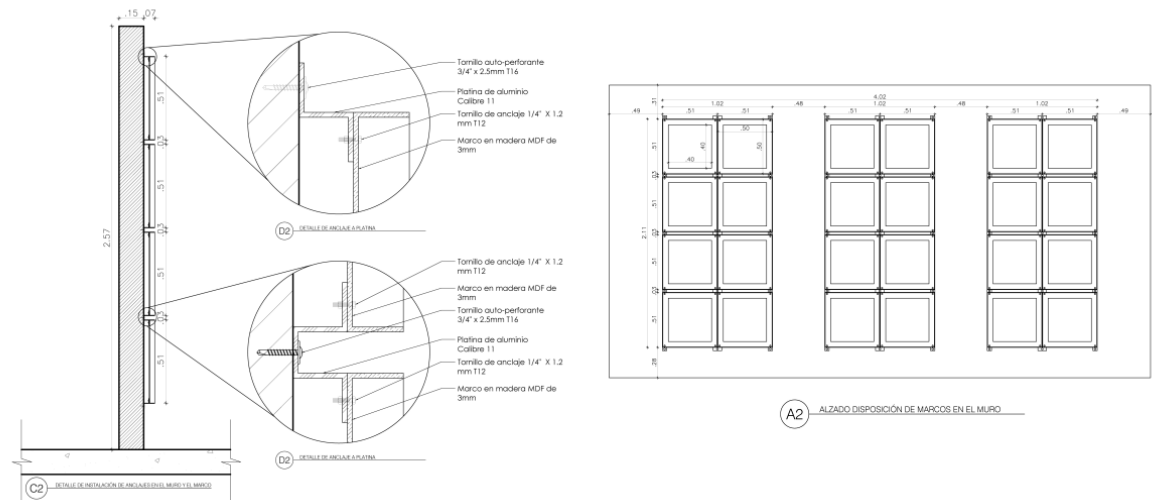


Figura 85. Detalle de fijación de muro a platina y de platina a marco de madera. Elaboración propia.

Por último, se procede a instalar los paneles dentro de los marcos, estos se fijan por fricción al marco, como se observa en la figura 86. (Ver anexo, plano A-004)

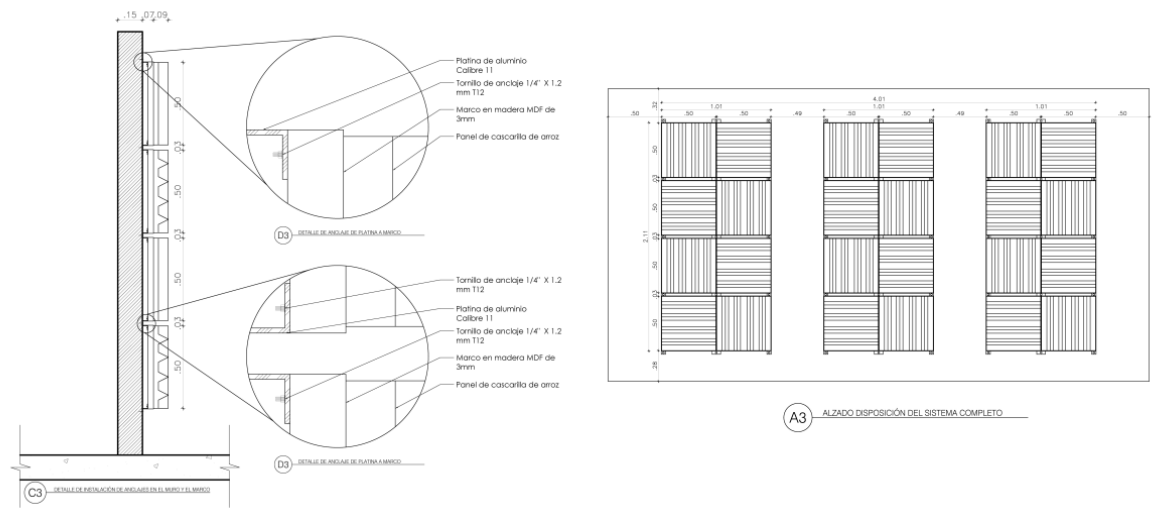


Figura 86. Detalle de fijación entre marco de madera y panel de cascarilla de arroz. Elaboración propia.

El sistema deberá cubrir al menos el 60% de la superficie cada uno de los muros donde se va a implementar, el espesor y la composición del panel se definirá según las pruebas acústicas para determinar su coeficiente de absorción acústico, está destinado para muros divisorios al interior de los espacios, para así lograr un acondicionamiento acústico óptimo, el sistema debe contar con sus propios elementos de anclaje que sean adaptables a cualquier tipo de muro y/o sistema constructivo.

Como ejemplo, las ondas del emisor se difunden en el espacio de manera que se pierden o bajan su intensidad (figura 87), esto se refleja en que en el punto más alejado del salón, los sonidos se distorsionen lo suficiente como para impedir su comprensión, los materiales empleados en la construcción del salón facilitan la propagación de ondas de manera desordenada, es decir, se presentan reflexiones de ordenes mayores.

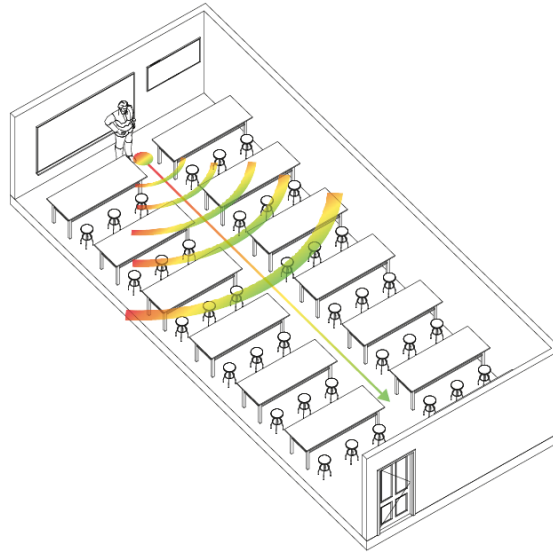


Figura 87. Difusión de las ondas sonoras en el espacio sin la aplicación del sistema. Elaboración propia.

Existen varias condiciones a la hora de implementar el sistema en un recinto que por su uso así lo requiera, como se puede observar en la figura 88. Los materiales empleados en la construcción del salón y las dimensiones que posee facilitan la propagación de ondas de manera desordenada, es decir, se presentan más reflexiones de orden mayor. Además de mejorar acústicamente el recinto, se busca mejorar visualmente el espacio, esto debido a la forma dada al panel y la materialidad dada a los componentes del sistema. En las figuras 89 y 90 se puede observar una aproximación digital del resultado final en la instalación del sistema dentro de un salón de clases.

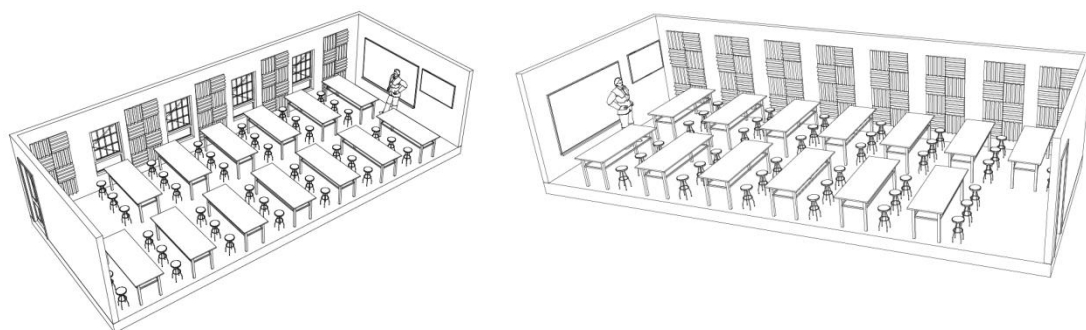


Figura 88. Sistema implementado dentro de un recinto. Elaboración propia.

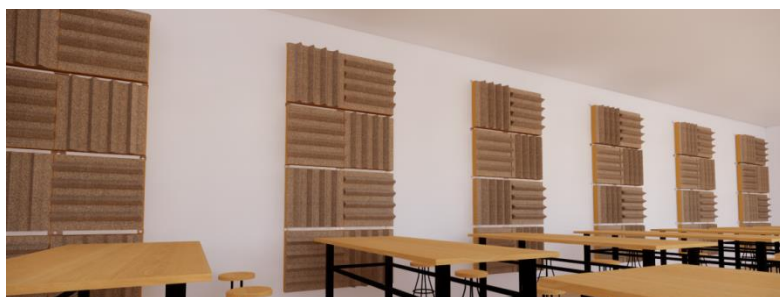


Figura 89. Render del sistema completo instalado en el recinto. Elaboración propia.

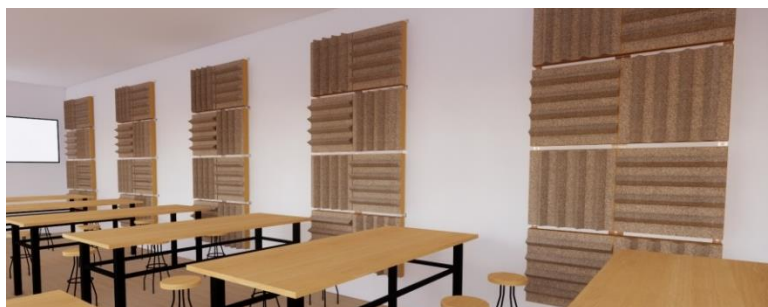


Figura 90. Render del sistema completo instalado en el recinto. Elaboración propia.

El objetivo de implementación del panel va más allá de un salón de clases, puede ser implementado en un espacio donde se reúnan docenas de personas y la predominancia del uso sea el habla, o la escucha a un expositor, como un teatro, un auditorio, una sala de exposición, etc., donde los acabados o las dimensiones del recinto no permitan la intangibilidad de la palabra, y se requiera un acondicionamiento acústico para mejorar el confort del mismo.

Un segundo ejemplo de la implementación del sistema puede ser un auditorio, como el que se puede observar en las siguientes figuras (91-95). Donde las dimensiones del mismo, permiten que se presenten reflexiones de mayor orden, ya que el espacio es muy grande, y las ondas del emisor rebotan sobre las diversas superficies del recinto muchas veces, hasta convertirlas en ondas inteligibles al oído, lo que ocasiona tiempos de reverberación inadecuados para el uso al que está destinado este auditorio.

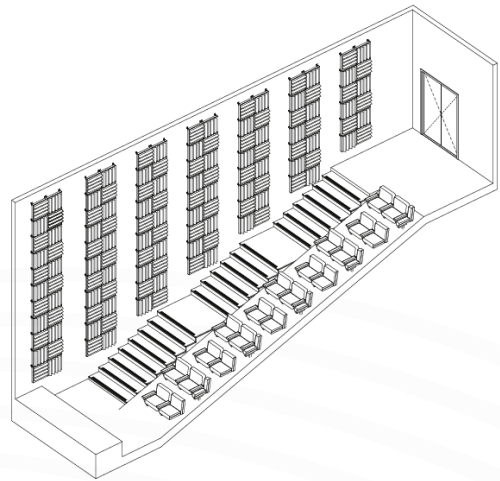


Figura 91. Sección isométrica de un auditorio con el sistema implementado. Elaboración propia.

Al implementar el sistema en este espacio lo que se busca es que las reflexiones disminuyan para así mejorar la comprensión de los sonidos emitidos, también busca mejorar estéticamente el recinto a través de la materialidad del sistema y la organización de los paneles dentro del montaje del mismo.

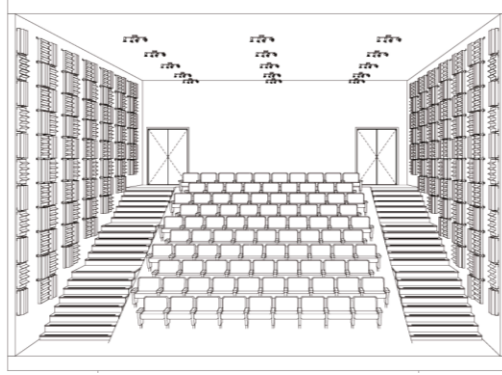


Figura 92. Corte fugado de un auditorio con el sistema implementado. Elaboración propia.

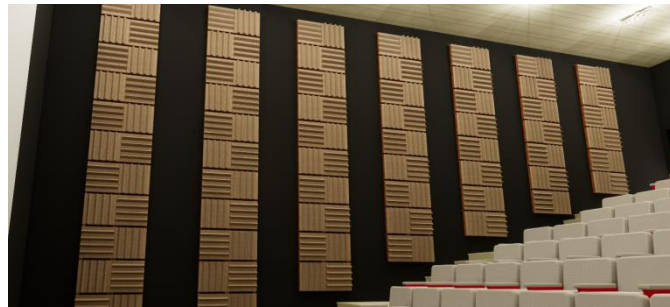


Figura 93. Render del sistema implementado en un auditorio. Elaboración propia.



Figura 94. Render del sistema implementado en un auditorio. Elaboración propia.



Figura 95. Render del sistema implementado en un auditorio. Elaboración propia.

La ventaja de este sistema se concentra en su fácil instalación, mantenimiento y limpieza, ya que los paneles se desmontan con facilidad de los marcos, lo que facilita el desmonte de las piezas que deban ser reemplazadas, sin averiar el muro donde está instalado, ya que no está directamente puesto sobre él y sin necesidad de desmontar el sistema completo, ya que todas las uniones son a través de tornillos y tuercas.

7 Conclusiones

La cascarilla de arroz se perfila como un excelente absorbente y aislante acústico debido a los resultados obtenidos en la prueba del tubo de impedancia y del sonómetro, tanto sus propiedades físicas, como la resistencia a la degradación que posee, la alta estabilidad térmica, permite que reaccione a temperaturas muy altas, en comparación con otros materiales. Esto le da la posibilidad de ser un elemento no estructural que cumple los lineamientos estipulados en la NSR-10, título J (Requisitos de protección contra incendios en edificaciones).

Las diferentes muestras realizadas con los distintos aglutinantes permitieron identificar que el colbón de madera es el aglutinante más óptimo, debido a que mantiene la forma dada al material y conserva las propiedades ignífugas y de resistencia a la degradación del mismo. A diferencia de las otras muestras, las cuales presentaron fallas en la integridad de las mismas.

Con respecto a los resultados obtenidos de coeficiente de absorción de las probetas, se demostró la afirmación de Antoni Carrión, quien en su libro *“Diseño Acústico de espacios arquitectónicos”* (1998), expresó la idea de que un material cuenta con mayor coeficiente de absorción a medida que se incrementa el espesor, las muestras evaluadas a través del tubo de impedancia que mostraron mejores resultados de absorción fueron las de mayor espesor.

En ese sentido, la comparación realizada entre las distintas probetas de espesor variable, evidenciaron que la muestra de mayor espesor (80mm), cuenta con los valores de coeficiente de absorción más altos, al comparar también la cascarilla, con los materiales acústicos existentes en el mercado, tanto de procedencia natural como sintética. Se puede evidenciar que la cascarilla de arroz se sitúa como el mejor material entre las fibras de origen natural, y se acerca a los valores del *black theater* en frecuencias superiores a 1000Hz, lo anterior demuestra que esta fibra natural se perfila como un buen material acústico, teniendo a su favor la facilidad de su obtención, su bajo costo en el mercado, y la facilidad en su transformación, puesto que no requiere de químicos ni tratamientos de gran consumo energético como los materiales de origen artificial.

En la prueba del sonómetro se demostró la capacidad aislante del material, teniendo la capacidad de disminuir hasta en cinco (5) decibeles (dB) el nivel de presión sonora registrado en la caja con aplicación de paneles de cascarilla con respecto a las mediciones hechas en la caja sin presencia de los paneles de cascarilla.

8 Recomendaciones

Se identificó la necesidad de investigar otras posibilidades con diversos aglutinantes, más económicos y de fácil obtención, que sean capaces de igualar o superar los resultados obtenidos con el colbón de madera, además de posibilitar el secado al vacío, para dar más hermetismo y favorecer el secado de la mezcla al interior del molde, para así evitar hacer el desmoldado de la mezcla con el aglutinante húmedo, y disminuir las posibilidades de que la mezcla pierda su forma.

Para mejorar el grado de compactación del material se debe ahondar en otro método que ejerza mayor compresión y que esta sea medible, para así poder obtener de manera más exacta

los valores de compresión para obtener el valor de la densidad del material compactado y aglutinado.

Se puede modificar la forma dada al material, la cual esté más enfocada a la mejora de la absorción de las ondas incidentes sobre el mismo, para mejorar técnicamente el desempeño acústico del panel.

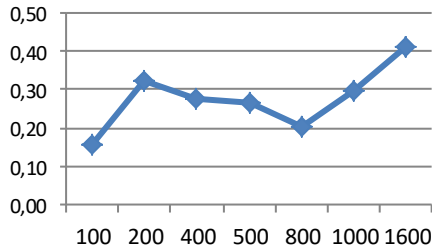
Se deben evaluar otras alternativas para el método de fijación de los paneles, y evaluar la posibilidad de adaptarlo a sistemas ya existentes en el mercado, para que los paneles puedan ser empleados en otros elementos arquitectónicos además de muros, como cielos rasos, placas, etc.

Se debe profundizar más en las aplicaciones que pueden tener estas fibras en la industria, para la mejora de la calidad acústica y/o visual de los espacios, ya que son de fácil obtención, económicas y de fácil procesamiento.

9 Anexos

9.1 Fichas técnicas coeficiente de absorción

A continuación, se muestran las fichas con los resultados de coeficiente de absorción de cada una de las muestras y/o probetas fabricadas con el fin de comprobar su valor de absorción a través del tubo de impedancia o de Kudnt.

<div><div><div>UNIVERSIDAD La Gran Colombia</div><div>Fundada en 1951</div></div><div><div>UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA</div></div></div> <div colspan="4">PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)</div>					
		NOMBRE		Hernán Santiago Espejo Villalba	
		CÓDIGO		1014288663	
		MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA			
NOMBRE DE LA MUESTRA 	A-1		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA		
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO	
				100	0,16
	ESPESOR	20mm	200	0,32	
				400	0,27
	DOSIFICACIÓN	70/30	500	0,27	
				800	0,2
	PESO	40gr	1000	0,3	
			1600	0,41	
DENSIDAD		GRÁFICA			
IMAGEN					
OBSERVACIONES					



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia
Fundada en 1951



UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
COLOMBIA

PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)

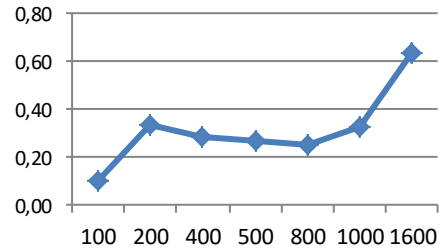
NOMBRE

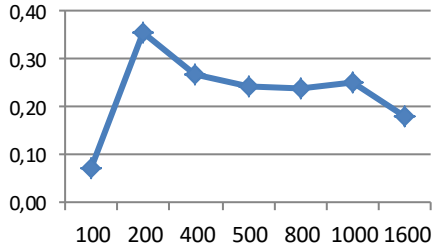
Hernán Santiago Espejo Villalba

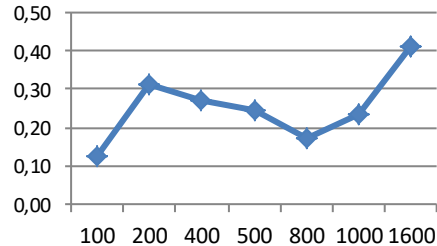
CÓDIGO

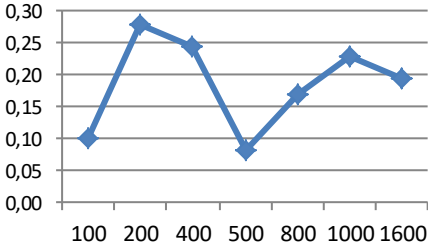
1014288663

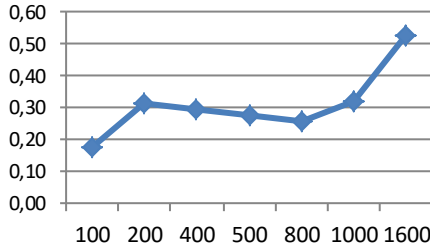
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA

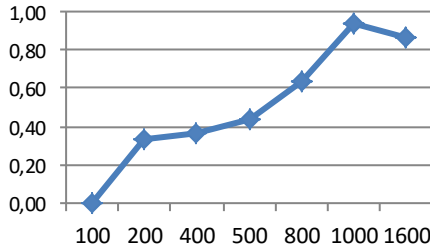
NOMBRE DE LA MUESTRA	A-2		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	20mm	100	0,1
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,33
			400	0,28
			500	0,27
	PESO	42gr	800	0,25
	DENSIDAD		1000	0,33
			1600	0,63
IMAGEN			GRÁFICA	
OBSERVACIONES				

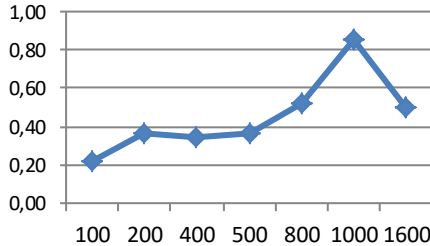
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	
CÓDIGO	1014288663			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA				
NOMBRE DE LA MUESTRA	A-3		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	20mm	100	0,07
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,36
			400	0,27
			500	0,24
	PESO	41gr	800	0,24
			1000	0,25
DENSIDAD		1600	0,18	
IMAGEN			GRÁFICA	
OBSERVACIONES				

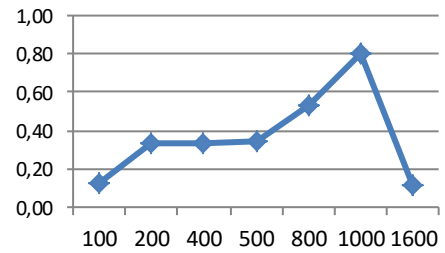
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA	A-4		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA		
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO	
	ESPESOR	20mm	100	0,13	
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,31	
			400	0,27	
			500	0,25	
	PESO	35gr	800	0,17	
			1000	0,23	
DENSIDAD		1600	0,41		
IMAGEN			GRÁFICA 		
OBSERVACIONES					

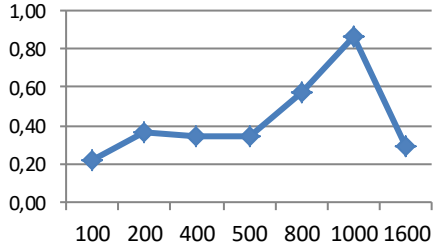
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	
CÓDIGO	1014288663			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA				
NOMBRE DE LA MUESTRA	A-5		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	20mm	100	0,10
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,28
			400	0,24
			500	0,08
	PESO	40gr	800	0,17
			1000	0,23
DENSIDAD		1600	0,19	
IMAGEN			GRÁFICA	
OBSERVACIONES				

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)																		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba																	
CÓDIGO	1014288663																			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA																				
NOMBRE DE LA MUESTRA	A-6		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA																	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO																
	ESPESOR	20mm	100	0,18																
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,31																
			400	0,29																
			500	0,27																
			800	0,26																
			1000	0,32																
PESO	40gr	1600	0,53																	
DENSIDAD		GRÁFICA																		
IMAGEN				 <table border="1"> <caption>Data for Acoustic Coefficient Graph</caption> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Coefficiente Acústico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,31</td></tr> <tr><td>400</td><td>0,29</td></tr> <tr><td>500</td><td>0,27</td></tr> <tr><td>800</td><td>0,26</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0,53</td></tr> </tbody> </table>	Frecuencia	Coefficiente Acústico	100	0,18	200	0,31	400	0,29	500	0,27	800	0,26	1000	0,32	1600	0,53
Frecuencia	Coefficiente Acústico																			
100	0,18																			
200	0,31																			
400	0,29																			
500	0,27																			
800	0,26																			
1000	0,32																			
1600	0,53																			
OBSERVACIONES																				

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)																	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba																
		CÓDIGO	1014288663																		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA																					
NOMBRE DE LA MUESTRA	B-1		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA																		
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO																	
	ESPESOR	60mm	100	0,00																	
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,33																	
			400	0,37																	
			500	0,44																	
	PESO	70gr	800	0,64																	
			1000	0,94																	
DENSIDAD		1600	0,86																		
IMAGEN			GRÁFICA																		
OBSERVACIONES			 <table border="1"> <caption>Data for Acoustic Coefficient Graph</caption> <thead> <tr> <th>Frecuencia</th> <th>Coefficiente Acústico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,33</td></tr> <tr><td>400</td><td>0,37</td></tr> <tr><td>500</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>800</td><td>0,64</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0,94</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0,86</td></tr> </tbody> </table>			Frecuencia	Coefficiente Acústico	100	0,00	200	0,33	400	0,37	500	0,44	800	0,64	1000	0,94	1600	0,86
Frecuencia	Coefficiente Acústico																				
100	0,00																				
200	0,33																				
400	0,37																				
500	0,44																				
800	0,64																				
1000	0,94																				
1600	0,86																				

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA		B-2		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
				100	0,21
		ESPESOR	60mm	200	0,36
				400	0,35
		DOSIFICACIÓN	70/30	500	0,37
				800	0,52
PESO	90gr	1000	0,86		
		1600	0,50		
		DENSIDAD		GRÁFICA	
IMAGEN					
OBSERVACIONES					

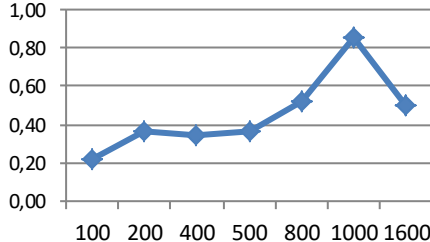
		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)			
		NOMBRE		Hernán Santiago Espejo Villalba	
		CÓDIGO		1014288663	
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
		B-3		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
				FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	100	0,12
		ESPESOR	60mm	200	0,34
		DOSIFICACIÓN	70/30	400	0,33
		PESO	65gr	500	0,35
				800	0,54
				1000	0,80
		DENSIDAD		1600	0,11
IMAGEN		GRÁFICA			
OBSERVACIONES					

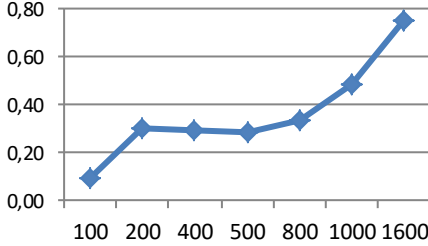
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA		B-4		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
				100	0,22
		ESPESOR	60mm	200	0,36
				400	0,34
		DOSIFICACIÓN	70/30	500	0,35
				800	0,58
PESO	80gr	1000	0,86		
		1600	0,29		
		DENSIDAD		GRÁFICA	
IMAGEN					
OBSERVACIONES					

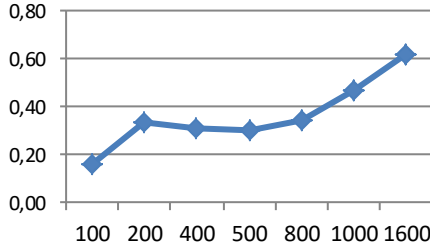
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA <tr><td colspan="2">PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)</td></tr> <tr><td>NOMBRE</td><td>Hernán Santiago Espejo Villalba</td></tr> <tr><td>CÓDIGO</td><td>1014288663</td></tr>		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	CÓDIGO	1014288663
		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)					
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba				
		CÓDIGO	1014288663				

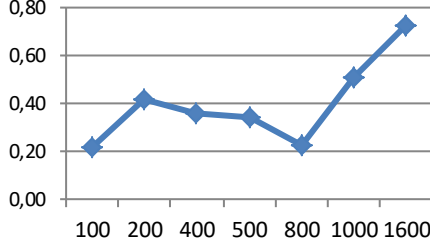
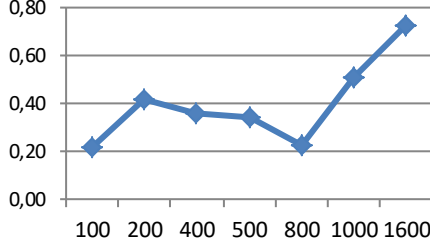
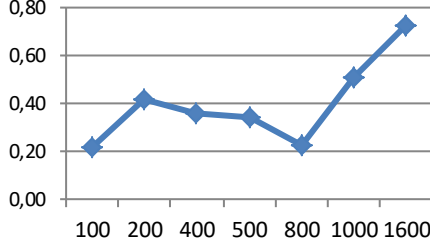
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
 	NOMBRE DE LA MUESTRA	B-5		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.		FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
		ESPESOR	60mm	100	0,18
	DOSIFICACIÓN	70/30		200	0,39
		PESO	60gr		400
	DENSIDAD				500
				800	0,43
			1000	0,66	
		1600	0,72		

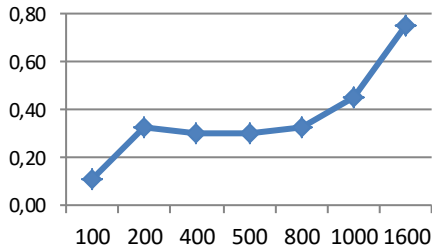
IMAGEN			
OBSERVACIONES			

GRÁFICA	
	

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	
CÓDIGO	1014288663			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA				
NOMBRE DE LA MUESTRA	B-6		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	60mm	100	0,09
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,30
			400	0,29
			500	0,28
	PESO	50gr	800	0,34
			1000	0,48
		1600	0,75	
	DENSIDAD		GRÁFICA	
IMAGEN				
OBSERVACIONES				

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	
CÓDIGO	1014288663			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA				
NOMBRE DE LA MUESTRA	B-7		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	60mm	100	0,16
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,34
			400	0,31
			500	0,30
	PESO	45gr	800	0,34
			1000	0,47
DENSIDAD		1600	0,61	
IMAGEN			GRÁFICA	
OBSERVACIONES				

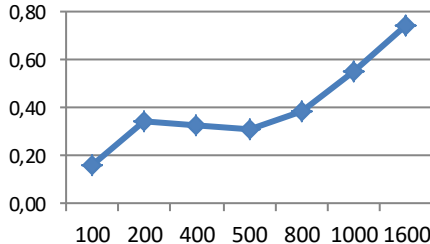
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA <tr><td colspan="4">PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)</td></tr> <tr><td colspan="2">NOMBRE</td><td colspan="2">Hernán Santiago Espejo Villalba</td></tr> <tr><td colspan="2">CÓDIGO</td><td colspan="2">1014288663</td></tr> <tr><td colspan="6">MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA</td></tr> <tr><td colspan="2" rowspan="8">  </td><td colspan="2">B-8</td><td colspan="2">RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA</td></tr> <tr><td rowspan="2">COMPONENTES</td><td>Colbón de madera / Cascarilla de arroz.</td><td>FRECUENCIA</td><td>COEFICIENTE ACÚSTICO</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ESPESOR</td><td>60mm</td><td>100</td><td>0,21</td></tr> <tr><td rowspan="2">DOSIFICACIÓN</td><td>70/30</td><td>200</td><td>0,42</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>400</td><td>0,36</td></tr> <tr><td rowspan="2">PESO</td><td>62gr</td><td>500</td><td>0,34</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>800</td><td>0,22</td></tr> <tr><td rowspan="2">DENSIDAD</td><td></td><td>1000</td><td>0,51</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1600</td><td>0,72</td></tr> <tr><td colspan="2">IMAGEN</td><td colspan="4">GRÁFICA</td></tr> <tr><td colspan="2">OBSERVACIONES</td><td colspan="4"></td></tr>		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)				NOMBRE		Hernán Santiago Espejo Villalba		CÓDIGO		1014288663		MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA								B-8		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO					ESPESOR	60mm	100	0,21	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,42			400	0,36	PESO	62gr	500	0,34			800	0,22	DENSIDAD		1000	0,51			1600	0,72	IMAGEN		GRÁFICA				OBSERVACIONES					
		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)																																																																							
		NOMBRE		Hernán Santiago Espejo Villalba																																																																					
		CÓDIGO		1014288663																																																																					
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA																																																																									
		B-8		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA																																																																					
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO																																																																				
		ESPESOR	60mm	100	0,21																																																																				
		DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,42																																																																				
					400	0,36																																																																			
		PESO	62gr	500	0,34																																																																				
					800	0,22																																																																			
DENSIDAD		1000	0,51																																																																						
			1600	0,72																																																																					
IMAGEN		GRÁFICA																																																																							
OBSERVACIONES																																																																									

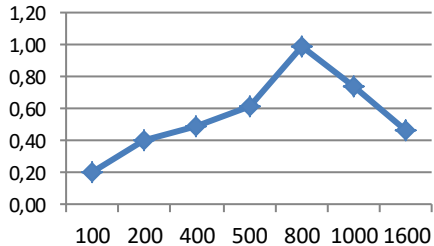
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	
CÓDIGO	1014288663			
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA				
NOMBRE DE LA MUESTRA	B-9		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
	ESPESOR	60mm	100	0,11
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,33
			400	0,30
			500	0,30
			800	0,32
			1000	0,45
PESO	60gr	1600	0,75	
DENSIDAD		GRÁFICA		
IMAGEN				
OBSERVACIONES				

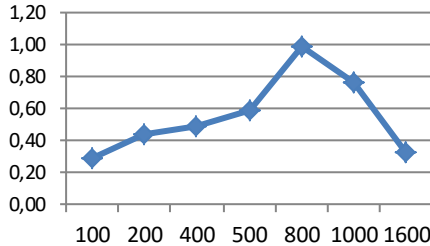
 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951  UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA <tr><td colspan="2">PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)</td></tr> <tr><td>NOMBRE</td><td>Hernán Santiago Espejo Villalba</td></tr> <tr><td>CÓDIGO</td><td>1014288663</td></tr>		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba	CÓDIGO	1014288663
		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)					
		NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba				
		CÓDIGO	1014288663				

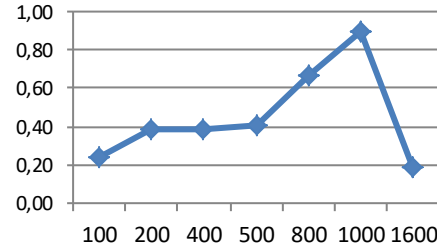
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
 	NOMBRE DE LA MUESTRA	B-10		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.		FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
		ESPESOR	60mm	100	0,16
	DOSIFICACIÓN	70/30		200	0,34
		PESO	60gr		400
	DENSIDAD				500
				800	0,38
			1000	0,55	
		1600	0,74		

IMAGEN			
OBSERVACIONES			

GRÁFICA	
	

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA		C-1		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
				100	0,19
		ESPESOR	80mm	200	0,40
				400	0,49
		DOSIFICACIÓN	70/30	500	0,61
				800	0,99
PESO	120gr	1000	0,73		
		1600	0,47		
		DENSIDAD		GRÁFICA	
IMAGEN					
OBSERVACIONES					

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA		C-2		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA	
		COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO
		ESPESOR	80mm	100	0,29
		DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,44
				400	0,49
				500	0,59
		PESO	115gr	800	0,99
				1000	0,77
DENSIDAD		1600	0,32		
IMAGEN				GRÁFICA 	
OBSERVACIONES					

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia Fundada en 1951		 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA COLOMBIA		PROYECTO DE GRADO (ÉNFASIS TECNOLÓGICO)	
				NOMBRE	Hernán Santiago Espejo Villalba
		CÓDIGO	1014288663		
MUESTRAS PARA TUBO DE IMPEDANCIA					
NOMBRE DE LA MUESTRA	C-3		RESULTADOS TUBO DE IMPEDANCIA		
	COMPONENTES	Colbón de madera / Cascarilla de arroz.	FRECUENCIA	COEFICIENTE ACÚSTICO	
	ESPESOR	80mm	100	0,23	
	DOSIFICACIÓN	70/30	200	0,38	
			400	0,38	
			500	0,40	
	PESO	100gr	800	0,67	
			1000	0,89	
DENSIDAD		1600	0,18		
IMAGEN			GRÁFICA		
OBSERVACIONES					

9.2 Planos técnicos

9.2.1 Especificaciones del molde

9.2.1.1 A-001, Detalles y especificaciones del molde B, para la fabricación del panel. (Archivo adjunto)

9.2.2 Proceso de instalación del sistema

9.2.2.1 A-002, Instalación de las uniones o platinas del sistema al muro. (Archivo adjunto)

9.2.2.2 A-003, Instalación de los marcos del sistema a las platinas o uniones. (Archivo adjunto)

9.2.2.3 A-004, Instalación del panel de cascarilla de Arroz al marco del sistema. (Archivo adjunto)

10 Lista de Referencia o Bibliografía

- Fausto E Rodríguez. (2013). Espacio, Sonido y Arquitectura. México: Limusa.
- Grupo de Investigación en Ingeniería de Edificación (GIIE) de la Universidad de Burgos (UBU). Proyecto “Life Repolyuse”. Burgos, España.
- J. Llinares, A. Llopis, J. Sancho. (2008). Acústica arquitectónica y Urbanística. México D.F.: Limusa.
- Carrión Isbert, A. (1998). Diseño Acústico de espacios arquitectónicos, Barcelona, España: Edicions UPC.
- Fernández, M. (2013). Acústica aplicada a la edificación. Evolución histórica desde la antigüedad hasta su actual integración en los procesos constructivos (investigación de grado). Escuela universitaria de arquitectura técnica, Universidad da Coruña, España.
- Sierra, J (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascara de arroz en Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Ella Thorns. (2018) ¿Podría el corcho ser la respuesta de la naturaleza a nuestras necesidades medioambientales y de construcción? 2 Sep 2018, de ArchDaily Colombia Sitio web: <https://www.archdaily.co/co/885866/podria-el-corcho-ser-la-respuesta-de-la-naturaleza-a-nuestras-necesidades-medioambientales-y-de-construccion>
- Helena Rodríguez Gálvez. (2014). Aislamientos Naturales I: Productos industriales de cáñamo, de Mimbrea Sitio web:

<http://www.mimbrea.com/aislanientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/comment-page-1/#comments>

- Aisla Granada. (.). AISLAMIENTO DE CÁÑAMO. Recuperado Septiembre 2018, de Aisla Granada Sitio web:
<http://www.aislamientoecologicocelulosa.com/aislamiento-de-cañamo.html>
- IPUR. (2017). El poliuretano en nuestras vidas. 2018, de asociación de la industria del poliuretano Sitio web: <https://aislaconpoliuretano.com/el-poliuretano-en-nuestra-vida-el-aislamiento-acustico.htm>
- Ede Coromoto Martinez de Adrianza. (2015). Aislamiento acustico a ruidos aereos en techo con materiales ecologicos . 2018, de Universidad politecnico de madrid Sitio web:
http://oa.upm.es/39160/1/EDE_COROMOTO_MARTINEZ_DE_ADRIANZA.pdf
- BCK BARNACORK. (2018). Rollos de fibras de coco. 2018, de BCK BARNACORK Sitio web:
<http://www.barnacork.com/aislamientos/aislamientos/rollos-de-fibra-de-coco.html>
- Secretaría distrital de ambiente. (2011). Información general sobre la problemática de ruido. 2018, Sitio web: <http://ambientebogota.gov.co/ruido>
- Juan Miguel Hernández Bonilla. (2018). El ruido está matando a miles de personas cada año. El Espectador.
- Mariana Palumbo. (2018). Contribution to the development of new bio-based thermal insulation materials made from vegetal pith and natural binders:

hygrothermal performance, fire reaction and mould growth resistance. 2018°, de scienceDirect Sitio web: <https://tdx.cat/handle/10803/314580->

- Francisco Javier Rodrigéz, Javier de la Puente Crespo. (2006). Guía Acústica de la Construcción. Madrid, España: CIE DOSSAT.
- Páez, (2016). Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de guadua.
- Cadena, C. Bula, A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Proaños L, Sandoval, M. (2010). Fabricación de paneles acústicos resistentes a la compresión, conformado por cascarilla de arroz, cemento y arena (Tesis de pregrado). Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Gloria, R. (2017). Sistema de insonorización en materiales renovables para viviendas en Bogotá (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rangel, Leidig, Moreno, Pablo, Trejo, Shakespeare, & Valero, Styles. (2017). Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de Eucalyptus urophylla. Maderas. Ciencia y tecnología, 19(3), 373-386. Epub 16 de mayo de 2017. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000032>
- Marta Torner Rubies. (2016). Viabilidad de un tubo de impedancia en medio acuático (Tesis de Pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Casas-García, Oscar; Betancur-Vargas, Carlos Mauricio; Montaña-Erazo, Juan Sebastián. Revisión de la normatividad para el ruido acústico en Colombia y su

aplicación. En: Entramado. Enero - Junio, 2015 vol. 11, no. 1, p. 264-286,

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21106>

- ASTM C384-98, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998, www.astm.org

-