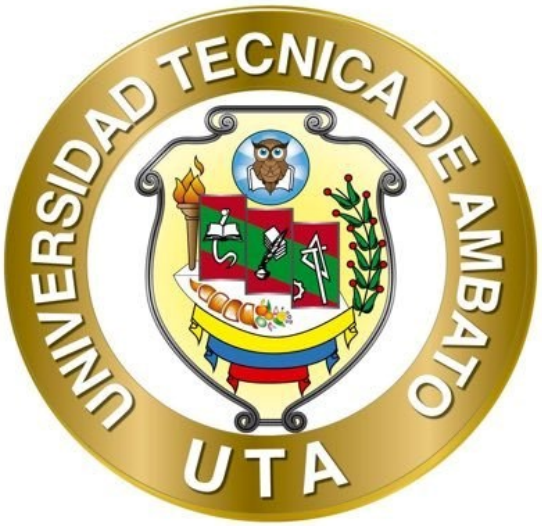


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERA CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACÚSTICO DE PAREDES COMPUESTAS UTILIZANDO UNA MATRIZ DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS Y FIBRAS VEGETALES DE COCO"

Autora: Jiménez Sánchez Mayra Alejandra

Tutor: Ing. Bayas Altamirano Myriam Marisol, Mg

AMBATO- ECUADOR

Abril - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema **"ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACÚSTICO DE PAREDES COMPUESTAS UTILIZANDO UNA MATRIZ DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS Y FIBRAS VEGETALES DE COCO",** elaborado por la Srta. Mayra Alejandra Jiménez Sánchez, portadora de la cédula de ciudadanía C.I.1804638995, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Firmado electrónicamente por:
MYRIAM MARISOL BAYAS ALTAMIRANO

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Mayra Alejandra Jiménez Sánchez, con C.I. 1804638995 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema **"ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACÚSTICO DE PAREDES COMPUESTAS UTILIZANDO UNA MATRIZ DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS Y FIBRAS VEGETALES DE COCO"**, así como también las tablas, criterios, ideas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021

Mayra Alejandra Jiménez Sánchez
C.I. 1804638995
AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora

Ambato, Marzo 2021

Mayra Alejandra Jiménez Sánchez
C.I. 1804638995
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Mayra Alejandra Jiménez Sánchez de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **"ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACÚSTICO DE PAREDES COMPUESTAS UTILIZANDO UNA MATRIZ DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS Y FIBRAS VEGETALES DE COCO"**,

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
MARITZA ELIZABETH URENA AGUIRRE

Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, MSc
Miembro Calificador

JORGE JAVIER GUEVARA ROBALINO
Firmado digitalmente por JORGE JAVIER GUEVARA ROBALINO
Fecha: 2021.03.25 23:19:14 -05'00'

Ing. Jorge Javier Guevara Robalino, Mg
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, hermanos, familiares y amigos en general, que confiaron en mí y que con sus palabras de aliento llenaron mi corazón de fortaleza y alegría para continuar adelante

Que toda la gloria sea para Dios

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por haberme otorgado tantas bendiciones en mi vida, a todos mis seres queridos por haber sido un apoyo incondicional, especialmente a mi amada madre y mi mejor amigo.

Agradezco a los profesores que fueron parte en mi educación, a todas las personas que formaron parte de esta investigación: docentes, ayudantes de laboratorio, técnicos en el tema y en especial agradezco a mi antiguo tutor el ingeniero Andrés Hidalgo, mi actual tutora la ingeniera Marisol Bayas y al Licenciado Rodney Hechavarría excelentes docentes y maravillosas personas, a la empresa Southcorp S.A., por haberme proporcionado el material para la validación de los equipos y a los catedráticos de la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica de Universidad de las Américas que estuvieron prestos a resolver cualquier inquietud que se me presentara.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN ii

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

ÍNDICE DE TABLAS xxii

RESUMEN xxvi

ABSTRACT xxvii

CAPíTULO I.- MARCO TEÓRICO 1

1.1 Antecedentes Investigativos 1

1.1.1 Antecedentes 1

1.1.2 Justificación 5

1.1.3 Fundamentación Teórica 7

1.1.3.1 Acústica 7

Sonido 7
Sonido audible 8
Decibel, dB 9
Niveles sonoros admisibles 9
Infrasonidos 10
Ultrasonidos 10
Período 11
Frecuencia 11
Amplitud 12
Longitud de onda 12
Aislamiento acústico 12
Absorción del sonido 13
Ondas Estacionarias 13
Tubo de Impedancia o Tubo de Kundt 13
Funcion de Transferencia 14
Transformada Rápida de Fourier (FFT) 14
Coeficiente de absorción acústica 15
Impedancia normal acústica, Z 15
Admitancia de superficie normal G 16
Número de onda 16
Cámara reverberante 16
Tiempo de reverberación 16
Plano de referencia 17
Factor de reflexión en incidencia normal r 17
Octava Banda 17

Material Acústico 19
Ruido 19
Tipos de ruidos según la intensidad y evolución temporal 20
1.1.3.2 Materiales 20
Material aislante 20
Absorbentes acústicos 20
Materiales absorbentes de sonido de tipo poroso 21
Material poroso rígido 21
Material poroso elástico 21
Materiales porosos fibrosos 22
Construcción sostenible 22
Materiales compuestos (MC) 22
Compuestos de Matriz Polimérica (CMP) 22
Polímeros termoplásticos 23
Técnicas de reciclaje 23
Fibras 24
Fibras naturales 24
Fibras vegetales 25
Materiales reforzados con fibras 25
Coco 25
1.1.5 Hipótesis 28
1.2 Objetivos 28
1.2.1 Objetivo General 28
1.2.2 Objetivos Específicos 28

CAPíTULO II.- METODOLOGÍA 29

2.1 Equipos y Materiales 29

2.2 Métodos 33

2.2.1 Metodología: 33

2.2.1.1 Construcción de los aparatos de medición 33

Tubo de impedancia: Método función de transferencia 33

Condiciones que debe cumplir 34

Soporte de muestra o porta muestra 40

Placa de apoyo 41

Equipo de procesamiento de señal 41

Altavoz 41

Terminación del altavoz 42

Ventilación del tubo 42

Número de muestras 42

Materiales utilizados en las mediciones 43

2.2.1.2 Elaboración de probetas 46

Obtención de la materia prima 46

Tratamiento químico 48

Obtención de densidad 50

Obtención de densidad 52

Realización de las probetas 54

2.2.1.3 Pruebas preliminares y mediciones 57

Tubo de impedancia 57

Cámara reverberante 58

2.2.1.4 Medidas preliminares 59

CAPíTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 62

2.3 Análisis y discusión de los resultados 62

2.4 Verificación de hipótesis 108

CAPíTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 109

4.1 Conclusiones 109

4.2 Recomendaciones 111

BIBLIOGRAFÍA 112

ANEXOS 120

ANEXO I Cálculo del hidróxido de sodio (NaOH) utilizado para el tratamiento de las fibras 120

ANEXO II Programación Matlab 123

Factor de corrección 123

Coeficiente de Absorción 124

ANEXO III Hoja de datos del producto: Black Acoustic Board 126

ANEXO IV Tiempos de reverberación 127

ANEXO V Otras mediciones realizadas con el tubo de impedancia 132

ANEXO VI Fotografías 140

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Áreas de interés de la acústica 7

Fig. 2. Período a diferentes frecuencias 11

Fig. 3. Oscilaciones de onda a 1 y 10 Hz 11

Fig. 4. Tubo de impedancia acústica 13

Fig. 5. Fuentes de ruido 19

Fig. 6. Onda sinusoidal usada en el proyecto 33

Fig. 7. Tubo de impedancia 34

Fig. 8. Partes del tubo de impedancia 38

Fig. 9. Esquema del tubo de impedancia en 3D 39

Fig. 10. Bridas 41

Fig. 11. Dimensiones de la terminación rígida 41

Fig. 12. Altavoz de membrana 42

Fig. 13. Imagen 1 configuración estándar del tubo de impedancia (Configuración I), imagen 2 micrófonos intercambiados del tubo de impedancia (Configuración II) 43

Fig. 14. Esquema de configuración de las paredes compuestas 44

Fig. 15. Residuos de coco fresco 46

Fig. 16. a) Fracciones de coco fresco b) Coco seco 46

Fig. 17. Proceso de obtención de la fibra 47

Fig. 18. Pellets de PEAD, pesados para la obtención de la densidad 53

Fig. 19. Probeta de 100% de plástico con empaque de caucho 56

Fig. 20. Esquema del porta muestra montado 57

Fig. 21. Esquema del tubo de impedancia, montado 58

Fig. 22. Coeficiente de absorción del material Black Acoustic Board (repetibilidad) 63

Fig. 23. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm..... 65
Fig. 24. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm..... 65
Fig. 25. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm..... 66
Fig. 26. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a 68
Fig. 27. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a 68
Fig. 28. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a..... 69
Fig. 29. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b 70
Fig. 30. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b 71
Fig. 31. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared

compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b 71
Fig. 32. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a 72
Fig. 33. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a 73
Fig. 34. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a 73
Fig. 35. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b 75
Fig. 36. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b 75
Fig. 37. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b 76
Fig. 38. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 3a 77
Fig. 39. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a 77

Fig. 40. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a 78
Fig. 41. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 3b 79
Fig. 42. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b 80
Fig. 43. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b 80
Fig. 44. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a 81
Fig. 45. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a 82
Fig. 46. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a 82
Fig. 47. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b 84

Fig. 48. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b 84
Fig. 49. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b 85
Fig. 50. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a 86
Fig. 51. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a 86
Fig. 52. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a 87
Fig. 53. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b 88
Fig. 54. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco..... 89
Fig. 55. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b 89

Fig. 56. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 6a 90
Fig. 57. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a 91
Fig. 58. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a 91
Fig. 59. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 6b 93
Fig. 60. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b 93
Fig. 61. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b 94
Fig. 62. Variaciones del coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1a, 2a, 3a, 4a, 5 a y 6 a 95
Fig. 63. Variaciones del coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1b, 2b, 3b, 4b, 5 b y 6 b 96
Fig. 64. Variaciones de la impedancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Todas las composiciones 97

Fig. 65. Variaciones de la susceptancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1a, 2a, 3a, 4a, 5 a y 6 a..... 98
Fig. 66. Variaciones de la conductancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1b, 2b, 3b, 4b, 5 b y 6 b 98
Fig. 67. Coeficiente de absorción. del material esponja negra 3cm..... 103
Fig. 68. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material esponja negra 3cm 104
Fig. 69. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material esponja negra 3cm 104
Fig. 70. Coeficiente de absorción. del material esponja amarilla de 2cm..... 105
Fig. 71. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material esponja amarilla de 2cm 106
Fig. 72. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material esponja amarilla de 2cm 106
Fig. 73. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board. Medición 1 132
Fig. 74. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board. Medición 1 133

Fig. 75. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board . Medición 1 133
Fig. 76. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board. Medición 2 134
Fig. 77. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board. Medición 2 135
Fig. 78. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board . Medición 2 135
Fig. 79. Coeficiente de absorción. del material del material corcho, espesor de 5mm 136
Fig. 80. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material corcho, espesor de 5mm..... 137
Fig. 81. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material corcho, espesor de 5mm..... 137
Fig. 82. Coeficiente de absorción. del material del material yeso, espesor de 5mm 138
Fig. 83. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material yeso, espesor de 5mm..... 139

Fig. 84. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material yeso, espesor de 5mm..... 139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Velocidad del sonido en diferentes medios 8

Tabla II. Niveles de intensidad sonora 9

Tabla III. Niveles sonoros admisibles de ruido en ambientes 10

Tabla IV. Frecuencias de trabajo de la octava banda y de un tercio de la octava banda 18

Tabla V. Clasificación de los polímeros termoplásticos 23

Tabla VI. Producción de coco en Ecuador 26

Tabla VII. Equipos y materiales usados en la obtención de la estopa de coco 29

Tabla VIII. Equipos y materiales usados en el tratamiento químico de la estopa de coco 29

Tabla IX. Equipos y materiales usados en los ensayos de la obtención de las densidades 30

Tabla X. Equipos y materiales de la salida de audio 30

Tabla XI. Equipos y materiales usados en la construcción del del micrófono utilizado en las mediciones con el tubo de Kundt 31

Tabla XII. Equipos y materiales usados en la construcción del tubo de impedancia y el procesamiento de señal 31

Tabla XIII. Equipos y materiales usados en la fabricación de las probetas 32

Tabla XIV. Equipos y materiales usados en la habitación de reverberación 32

Tabla XV. Máximas Frecuencias Recomendadas Basadas en el Diámetro del Micrófono 40

Tabla XVI. Paredes compuestas ensayadas; materia prima y espesores 44

Tabla XVII. Materiales varios testeados utilizando el tubo de Kundt 44

Tabla XVIII. Materiales Testeados utilizando el método de la cámara reverberante 45

Tabla XIX. Tonalidades de agua 49
Tabla XX. Datos obtenidos por el método del picnómetro (fibra de coco) 50
Tabla XXI. Datos obtenidos por desplazamiento de volúmenes (fibra de coco) 51
Tabla XXII. Datos obtenidos por el método del picnómetro (PEAD) 52
Tabla XXIII. Datos obtenidos por desplazamiento de volúmenes (PEAD) 52
Tabla XXIV. Condiciones de trabajo 54
Tabla XXV. Especificaciones de probetas 54
Tabla XXVI. Material requerido 55
Tabla XXVII. Tiempo de procesamiento en base al material requerido 56
Tabla XXVIII. Coeficiente de absorción del material Black Acoustic Board (repetibilidad) 63
Tabla XXIX. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm 64
Tabla XXX. Comparación del coeficiente de absorción obtenido en mediciones y el dado por las especificaciones del producto 66
Tabla XXXI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a 67
Tabla XXXII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b 70
Tabla XXXIII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a 72
Tabla XXXIV. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b 74
Tabla XXXV. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a 76

Tabla XXXVI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b 79
Tabla XXXVII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a..... 81
Tabla XXXVIII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b 83
Tabla XXXIX. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a..... 85
Tabla XL. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b 88
Tabla XLI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a 90
Tabla XLII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b 92
Tabla XLIII. Coeficientes de absorción acústica en función del material utilizado .. 95
Tabla XLIV. Coeficiente de absorción del mampuesto bloque hueco obtenida en la cámara reverberante 99
Tabla XLV. Coeficiente de absorción del mampuesto ladrillo obtenida en la cámara reverberante..... 100
Tabla XLVI. Coeficiente de absorción del material esponja negra obtenida en la cámara reverberante 101
Tabla XLVII. Coeficiente de absorción del material esponja amarilla obtenida en la cámara reverberante 102
Tabla XLVIII. Parámetros acústicos del material esponja negra de 3cm 103
Tabla XLIX. Parámetros acústicos del material esponja amarilla de 2cm 105

Tabla L. Comparación de coeficiente de absorción obtenido utilizando en tubo de impedancia y el tubo de impedancia. Material esponja negra 107
Tabla LI Comparación de coeficiente de absorción obtenido utilizando en tubo de impedancia y el tubo de impedancia. Material esponja amarilla 107
Tabla LII. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board. Medición 1 .. 132
Tabla LIII. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board. Medición 1 . 134
Tabla LIV. Parámetros acústicos del material corcho, espesor de 5mm 136
Tabla LV. Parámetros acústicos del material yeso, espesor de 5mm 138

RESUMEN

Una de las problemáticas más importantes de la actualidad y que poca atención se presta especialmente en nuestro país, es la contaminación auditiva, misma que puede traer consigo diferentes problemas en la salud como: estrés, trastornos de sueño, baja productividad, entre otros. En algunos países para minimizar el ruido se emplean diferentes materiales producidos a base de petróleo, generando así más residuos y contaminación. Para buscar una posible solución a este problema, se planteó este proyecto experimental, con el fin de analizar la factibilidad de utilizar dos materiales reciclados, formando un material compuesto para así analizar su desempeño acústico.

Las paredes compuestas analizadas, están formadas por dos paneles de 5 o 7mm de espesor con un vacío entre los paneles teniendo un espesor total de 8cm; para la evaluación de ciertas propiedades acústicas del material se utilizó el tubo de impedancia o tubo de Kundt, siguiendo la normativa ISO 10534-2 y ASTM E 1050 – 98.

Además, se realizó una comparación de las paredes compuestas con dos tipos de mampuestos comúnmente usado en este caso el bloque hueco de hormigón y el ladrillo, para la obtención del coeficiente de absorción acústica de estos materiales se siguió la norma ISO 354.

ABSTRACT

One of the most important problems nowadays and that little attention is paid especially in our country, is noise pollution, which can bring with it different health problems such as: stress, sleep disorders, low productivity, among others. In some countries to reduce noise, different petroleum-based materials are used, thus generating more waste and pollution. To find a possible solution to this problem, this experimental project was proposed, in order to analyze the feasibility of using two recycled materials, forming a composite material in order to analyze its acoustic performance.

The composite walls analyzed are formed by two panels 5 or 7mm thick with a gap between the panels having a total thickness of 8cm; For the evaluation of certain acoustic properties of the material, the impedance tube or Kundt tube was used, following the ISO 10534-2 and ASTM E 1050-98 standards.

In addition, a comparison was made of the composite walls with two types of masonry normally used, the hollow concrete block and brick, to obtain the acoustic coefficient of this materials, the ISO 354 standard was followed.

CAPíTULO I.- **MARCO TEÓRICO**

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Con el propósito de tener una visión general del comportamiento acústico de las paredes compuestas, se revisó diferentes fuentes bibliográficas como tesis, artículos, libros y normas los cuales proporcionaron diferentes metodologías y lineamientos para el desarrollo de este trabajo.

Desde años atrás, para reducir el ruido dentro de las viviendas se han utilizado diferentes materiales absorbentes, de los cuales, varios son poco recomendables ya que no son eco-amigables, además que algunos de ellos traen problemas en la salud. Por lo que se han llevado a cabo diferentes investigaciones con el fin de encontrar compuestos que no generen más desechos sino que se reutilice los materiales ya generados [1], para así reducir el impacto ambiental, ya que si no se lo realiza la generación masiva de residuos continuará. Entre tales residuos, se tiene un alto volumen de materiales de carácter polimérico, derivados del petróleo, que contribuyen a agudizar el problema medioambiental [2], por lo que se consideró la utilización de polímeros termoplásticos como matriz del material compuesto. Por otro lado, el coco es ampliamente utilizado en el Ecuador. En la actualidad se considera que hay una producción de alrededor de 3,000 hectáreas de cultivo de cocotero, que producen aproximadamente 4.6 millones de cocos, que vendría a constituir la oferta que existe en el país (Pro Ecuador, 2015) [3]. Esta producción masiva se da por la elaboración de diferentes productos a base de este material. Luego de usar la pulpa y el agua de la fruta, se desecha la corteza, generando una acumulación masiva de este residuo [2].

A continuación se presentan ciertas investigaciones realizadas acerca del tema:

Tadeusz Majewski y Andrzej Błędzki (2013), en su investigación “Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales” presentaron varios usos que se le puede dar en la industria a los plásticos reforzados con fibras naturales, como reemplazo de las fibras artificiales. Donde concluyeron que los materiales compuestos formados por plástico y fibras naturales son ampliamente utilizados en muelles, terrazas, y otras superficies cerca de piscinas o en centros de recreación. Por otro lado, son también usados como partes de automóviles, así como cubiertas de teléfonos celulares. Las ventajas de estos materiales compuestos son indiscutibles, las mismas que radican en una mayor resistencia a la humedad y a los insectos, además de un bajo nivel de mantenimiento [4].

Trejos Juan (2014), en su tesis de grado “Propiedades Mecánicas de una Matriz de Poliéster Reforzada con Fibra de Coco Comparadas con la Misma Matriz Reforzada con Fibra de Vidrio”, llevó a cabo una caracterización mecánica de dos clases de materiales, utilizando por un lado una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco por el otro la misma matriz pero en éste caso reforzada con fibra de vidrio, con una orientación aleatoria de las fibras y además vario las cantidades en volumen utilizando para los materiales reforzados con fibra de coco las siguientes concentraciones en volumen: 30, 35 y 40 % y para el caso de fibra de vidrio utilizó concentraciones en volumen del 5, 7.5 y 10 % [2].

M. A. Navacerrada, C. Díaz, A. Pedrero, M. Isaza, P. Fernández, C. Álvarez-López y A. Restrepo-Osorio (2016) en su investigación “Caracterización Acústica y Térmica de no Tejidos Basados en Fibras Naturales”, analizaron las propiedades acústicas y térmicas de materiales fabricados a partir de fibras naturales de fique y de coco, utilizando muestras tejidas y no tejidas, para las muestras no tejidas se utilizó látex

natural como matriz base para unir este material. La caracterización acústica se realizó a través del tubo de Kundt o mejor conocido como tubo de impedancia. Para la obtención de la conductividad térmica se utilizó un medidor de flujo de calor modelo HFM 436 Lambda de Neszcht [5].

J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder y V. J. Sanchís (2010) en su investigación titulada "Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf", propusieron un modelo semi-empírico desarrollado tomando como referencia a la investigación de Garai-Pompoli. Para desarrollar el método inicialmente fue necesario disponer de datos del coeficiente de absorción para incidencia normal y de resistencia al flujo de los materiales. Para obtener el coeficiente de absorción para incidencia normal, se aplicó el método de la función de transferencia (ISO10534) [6] a través del tubo de Kundt y para obtener la resistencia al flujo del material, se determinó utilizando el método de Ingard-Dear [7]. Luego se utilizó un método iterativo de disminución de función de error cuadrática para encontrar los coeficientes que describen de mejor forma el comportamiento acústico medido de las muestras de material de kenaf [1].

Rosana Moriana Torró (2010), en su Tesis Doctoral titulada "Desarrollo y Caracterización de Biocomposites Enfibrados Procedentes de Recursos Renovables. Estudio de su Degradación en Tierra", donde estudio las características y la biodegradabilidad de diferentes biocomposites producidos con materiales biodegradables. Para la matriz polimérica se emplearon dos termoplásticos de base almidón, reforzados con fibras naturales como algodón, cáñamo, kenaf, lino y yute con el propósito de mejorar sus, además de mantener su biodegradabilidad. Estos materiales compuestos se caracterizaron con el propósito de estudiar la influencia de

cada fibra natural en las propiedades de la matriz polimérica. Para esto se realizaron diferentes ensayos como el Análisis Espectroscópico (FTIR-ATR), Mecánico (Ensayos de Tensión), Morfológico (SEM) y Térmico (DMTA, TGA, DSC) [8].

1.1.2 Justificación

En la sociedad moderna la contaminación acústica es uno de los problemas más importantes [5], esta contaminación desde el punto de vista de salud ambiental es un inconveniente transcendental, tanto que la Organización Mundial de la Salud (OMS) se encuentra preocupada por esto, se estima que existen 300 millones de personas afectadas [9], ya que trae diferentes problemas para la salud como el rendimiento intelectual, conductas agresivas, pérdida de la audición , dificultad en la comunicación verbal, entre otras [9], [10].Una alternativa habitual para la disminución de este problema es la utilización de materiales sintéticos porosos, tales como lana de roca, lana de vidrio, espumas o lanas de poliéster [1]; siendo materiales caros de producir y no ecológicos ya que su producción se basa en productos petroquímicos [5]. Por otro lado estas fibras artificiales pueden ser reemplazadas por fibras naturales que brindan muy buenos resultados al insonorizar, además de ser eco amigables y menos abrasivas que las artificiales [11].

La industria de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación medioambiental [12] ya que conlleva diferentes efectos negativos como el agotamiento de los recursos, pérdida de la diversidad biológica debido a la extracción de materias primas, calentamiento global, lluvia ácida y esmog causado por las emisiones generadas por la fabricación de productos para la construcción [13]. Los edificios actuales están construidos con algunos materiales que en poco o en nada respetan el medio ambiente, y que incluso pueden resultar perjudiciales para la salud de las personas que los habitan [14].

Por otro lado, un desecho que genera una alta contaminación y es extensamente producido y consumido por la sociedad actual debido a la facilidad de uso [15] es el

plástico un claro ejemplo de esto es EEUU en el año 2004 consumió 28000 millones de botellas [16]. Se sabe que únicamente se recicla entre el 1% de la producción mundial y el resto es depositado en basureros, ríos y mares [16]. Al depositarse el plástico en vertederos se genera metano el cual es más nocivo que el dióxido de carbono [17]. La degradación del plástico es muy lenta pudiendo tardar 500 años. Además, una gran parte de estos plásticos se degrada en partículas de menor tamaño que se acumulan en el ecosistema [18] mayormente en los océanos, formándose inmensas islas de plástico lo cual contamina y reduce la vida marina, pues tras la ingesta de plástico se produce una liberación de sustancias toxicas y reducción de la eficiencia de los procesos fisiológicos y consecuentemente la muerte [15].

Por lo que es urgente buscar una solución al daño ocasionado al medio ambiente, desarrollando nuevas avances que ayuden a reparar los daños ambientales y en este caso buscar una construcción sostenible [19]. Siendo el objetivo de esta investigación el de buscar reutilizar un material de desecho el cual contamina el medio ambiente y existe en gran cantidad, para reducir el impacto ambiental, determinando el material que provee mejores características acústicas.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Acústica

Es la ciencia que estudia la generación, propagación y recepción de las ondas sonoras, tiene un carácter multidisciplinario, abarca cuestiones desde la física hasta la biología y las ciencias sociales [20], [21].

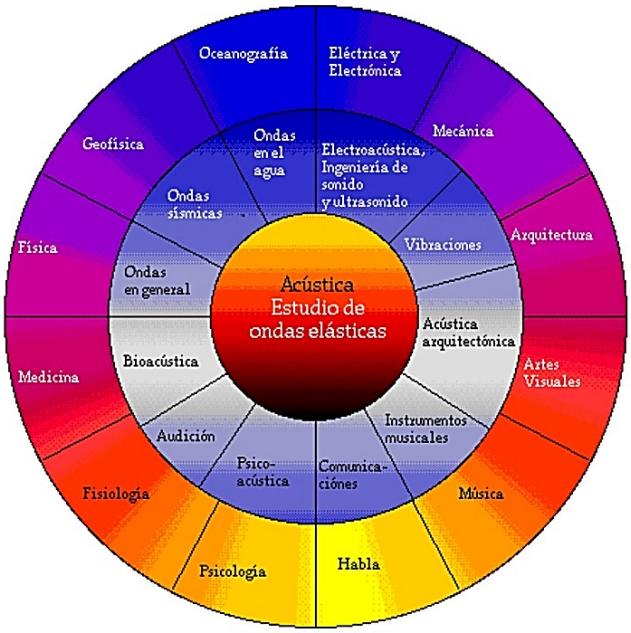


Fig. 1. Áreas de interés de la acústica
Fuente: [22]

Sonido

Se define como las fluctuaciones en la presión, se representan en ondas las cuales cuentan con una amplitud y una frecuencia [23], [24], consiste en la propagación de una perturbación en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) por el cual viajan las ondas sonoras [20], [25], [26], la unidad más empleada es el Pascal (N/m2) [27].

El sonido es una energía mecánica, sin transporte de material, este tiene una velocidad de acuerdo con las propiedades de medio que lo transmita [28].

Tabla I. Velocidad del sonido en diferentes medios

Medio	Velocidad
Agua a 25°C	1943 m/s
Agua Templada	1400 m/s
Acero	5100 m/s
Aire	340 m/s
Placa de Yeso	2400 m/s
Madera	2500 m/s
Ladrillo cerámico	2700 m/s
Hormigón	3400 m/s
Vidrio	4900 m/s
Aluminio	5100 m/s
Hierro	5130 m/s

Fuente: [28]

Sonido audible

Es considerado como el rango de frecuencias que puede ser percibido por el oído humano, el mismo que está comprendido entre 20 Hz y 20000 Hz (20KHz), sin embargo, la máxima frecuencia percibida por el oído humano depende de varios factores como la edad, por ejemplo un niño puede percibir frecuencias cercanas a 20KHz, mientras que una persona de más de 60 años solo puede percibir frecuencias de hasta 12KHz [20].

Las frecuencias audibles por el odio humano están clasificadas en tres regiones:

- Tonos graves: de 20 Hz a 250 Hz
- Tonos medios: de 500 Hz a 1000 Hz
- Tonos agudos: de 2000 Hz a 20Khz [28].

Decibel, dB

Representa la décima parte del belio (B). Es un nivel de medida no una unidad [22]. El término utilizado para identificar diez veces el logaritmo común de la relación de dos cantidades similares proporcionales a la potencia o a la energía [29].

Niveles sonoros admisibles

Para determinar el nivel de sonido adecuado en los ambientes se requiere un mínimo y máximo nivel de transmisión de sonido en dB para su aislamiento.

Tabla II. Niveles de intensidad sonora

Nivel	Fuente emisora
140 dB	Umbral de dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
100 dB	Herramientas eléctricas
90 dB	Tráfico
80 dB	Tren
70 dB	Electrodomésticos
50/60 dB	Aglomeramiento de gente
40dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Ruido en el campo
0 dB	Umbral de audicion

Fuente: [22]

Tabla III. Niveles sonoros admisibles de ruido en ambientes

Tipos de Ambientes	dB Recomendado
Estudios de grabación	28 dB
Salas de concierto y teatros	28- 38 dB
Hoteles (habitaciones individuales)	33- 42 dB
Salas de conferencia/ Aulas	33- 42 dB
Despachos de oficinas/ Bibliotecas	42- 46 dB
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	46- 50 dB
Restaurantes	46- 50 dB
Salas de ordenadores	46- 55 dB
Cafeterías	50- 55 dB
Polideportivos	50- 60 dB
Talleres (maquinaria ligera)	55- 65 dB
Talleres (maquinaria pesada)	60- 75 dB
Bibliotecas	33- 35 dB
Hospitales	25- 30 dB
Apartamentos	35- 45 dB
Oficinas particulares	40- 45 dB
Oficinas públicas	40- 55 dB
Salas de Música	30- 40 dB
Cines	30- 40 dB
Escuelas	35- 40 dB

Fuente: [28]

Infrasonidos

Son frecuencias inferiores a los 20 Hz, mismos que no suelen ser percibidos por el oído humano, aunque eventualmente se perciben las vibraciones en los tejidos blandos del cuerpo [20] [30], una característica especifica de estos infrasonidos es que tienen una longitud de onda grande, por lo que pueden viajar grandes distancias pasando por obstáculos de baja disipación, existen en forma natural en forma de actividad volcánica, temblores, tormentas eléctricas [31]

Ultrasonidos

Se refiere a los sonidos cuyas frecuencias son superiores a los 20 KHz y pueden ser percibidos por los perros, no existe un límite superior de frecuencia [20], [30].

Período

Representa el tiempo que tarda en realizarse una oscilación completa [32], [33].

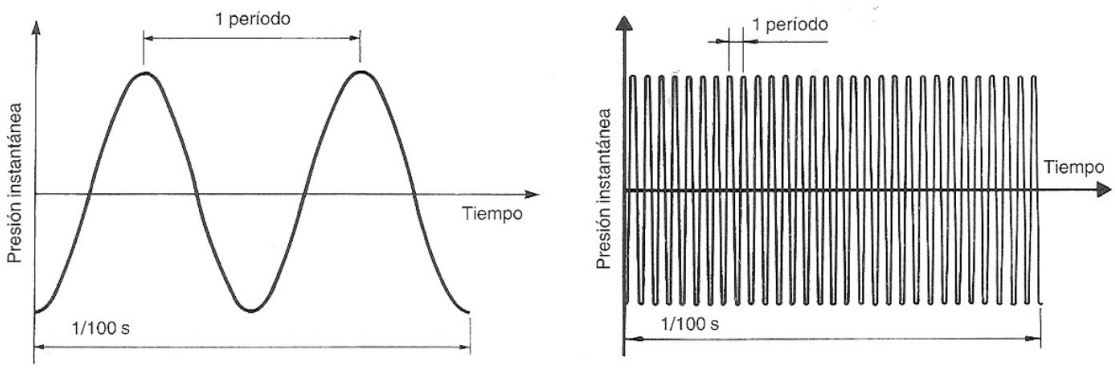


Fig. 2. Período a diferentes frecuencias
Fuente: [33]

Frecuencia

Es el número de repeticiones u oscilaciones completas que se realiza por segundo, se mide en Hertz (Hz) o ciclos por segundo (c/s) (Hz) [27], [32], [33], [34].

Para una voz masculina puede constarse unos 180 Hz, mientras que una voz femenina puede llegar a 660 Hz [35].

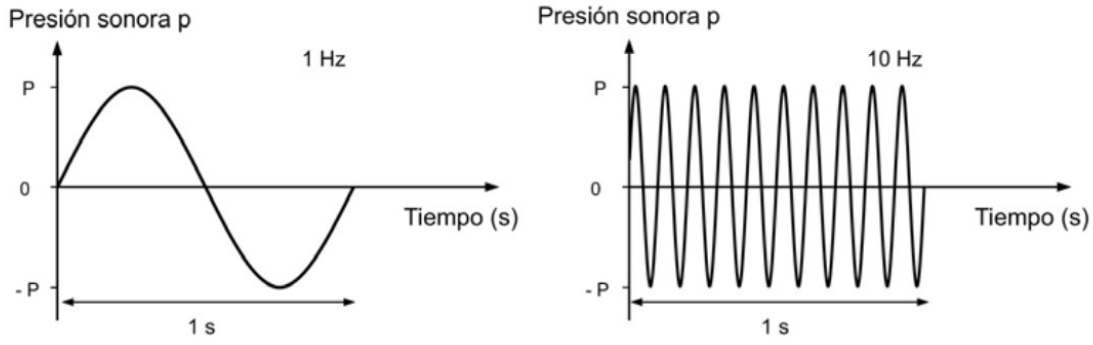


Fig. 3. Oscilaciones de onda a 1 y 10 Hz
Fuente: [33]

Amplitud

Se define como el máximo valor que alcanza una oscilación en un ciclo, es decir, la diferencia entre la parte más alta y baja de la onda. A mayor amplitud más fuerte será el nivel de sonido. Se mide generalmente en decibelios (dB) [31], [32], [35]

$$dB = 20\log\left(\frac{P}{P_o}\right) = 10log\left(\frac{W}{W_o}\right)$$

P_o=20μNw/m2=20μPa (Presión)

$W_o = 10^{-12}$ vatios (Potencia)

Longitud de onda

Es la distancia que necesita una onda para realizar un ciclo en un tiempo determinado. El ser humano puede escuchar ondas de sonido que se encuentre comprendidas entre 1,7cm hasta 17m de longitud [28], [34], [36]. Se representa por la letra griega "lambda" (λ), se mide en metros y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{\mathrm{c}}{\mathrm{f}} \qquad (1)$$

Donde:

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

λ: longitud de onda, m

f: frecuencia de trabajo, Hertz [36], [37]

Aislamiento acústico

Es la protección de un espacio contra la penetración de sonidos, estos sonidos pueden provenir de una fuente interior o exterior [28].

Absorción del sonido

Es un fenómeno físico por el cual un material absorbe una parte de la energía acústica que incide sobre la superficie del material. Esto se mide a través del coeficiente de absorción acústica [38].

Ondas Estacionarias

Están compuestos por movimientos ondulatorios que tienen la misma frecuencia, amplitud y longitud de onda, pero que se propagan en direcciones opuestas [26], [39].

Tubo de Impedancia o Tubo de Kundt

Es un dispositivo que fue creado por el físico alemán A. Kundt este fue creado con la finalidad de " visualizar" las ondas estacionarias y poder estudiarlas. En la actualidad se lo utiliza para la medición de parámetros acústicos como la impedancia y el coeficiente de absorción. Las normativas ISO 10543 para 1 y 2, son los estándares internacionales para determinar dichos parámetros a incidencia normal por el método de onda estacionaria y por el método de función de transferencia respectivamente [40].

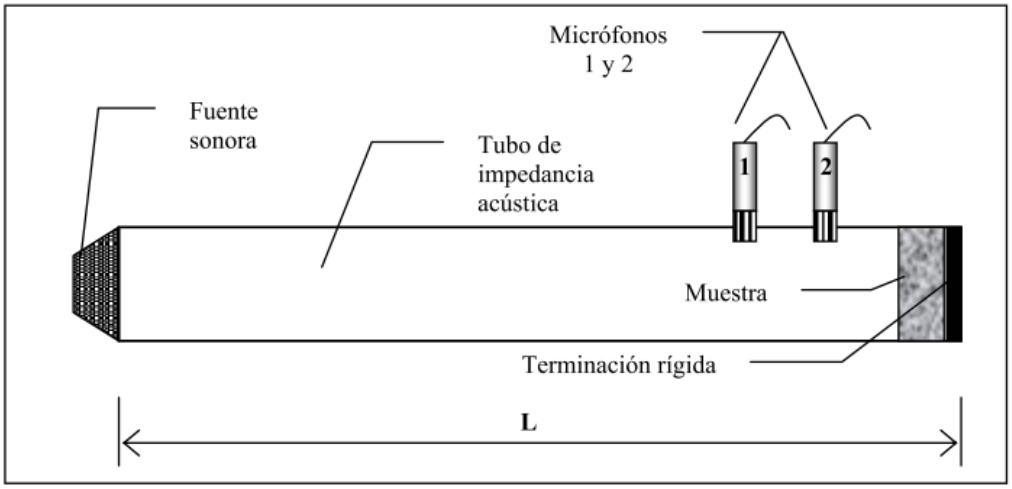


Fig. 4. Tubo de impedancia acústica
Fuente: [27]

Funcion de Transferencia

Es un modelo matemático que relaciona la respuesta de un sistema a una señal de entrada o excitación. El método de medición de la norma UNE-EN ISO 10534-2 [41] se basa en el hecho de que el coeficiente de reflexión acústica para incidencia normal r, puede determinarse a partir de la función de transferencia compleja H12 entre dos posiciones de micrófono frente al material ensayado, concretamente, entre la posición de micrófono 1 y 2 [6], [36][26].

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{S_{12}}{S_{11}} \text{ ó } \frac{S_{22}}{S_{21}} \text{ ó } \left(\frac{S_{12}}{S_{11}} * \frac{S_{22}}{S_{21}}\right)^{1/2} = H_r + jH_i \qquad (2)$$

Donde:

H_{12}: función de transferencia

H_r: parte real de H_{12}

H_i: parte imaginaria H_{12}

S_{12}: espectro cruzado

S_{11}: autoespectro

P_2 y P_2: presión acústica compleja en las dos posiciones de los micrófonos [6], [26], [42], [43], [44].

Transformada Rápida de Fourier (FFT)

Consiste en un cálculo matemático que transforma una señal que se encuentra en el dominio del tiempo al dominio de las frecuencias o viceversa [45]

Coeficiente de absorción acústica

Está definido como la relación entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente [6], [20], [26].

- La absorción aumenta con la frecuencia
- Para altas frecuencias la absorción no depende del espesor del material
- Para bajas frecuencias la absorción aumenta con el espesor [42].

$$\propto = \mathbf{1} - |\mathbf{r}|^{\mathbf{2}} \qquad (3)$$

Donde:

$\propto$: coeficiente de absorción acústica, adimensional

r: coeficiente de reflexión de presión compleja [43], [37].

Impedancia normal acústica, Z

Es la resistencia que opone un medio a ser atravesado. Esta expresada como la relación entre la presión sonora compleja P(0) y la componente de la velocidad de partícula sonora t (0). La componente real e imaginaria son la resistencia y reactancia acústica respectivamente [6], [20], [29], [37], [46], [44].

$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{c}} \qquad (4)$$

Donde:

Z: impedancia normal de superficie

P: presión compleja de una onda sonora

c: velocidad del sonido en una superficie [6], [20], [26].

Admitancia de superficie normal G

Representa la facilidad con que la onda sonora atravieza el medio, es el recíproco de la impedancia normal acústica (Z). Los componentes real e imaginaria son la conductancia acústica normal específica y la susceptancia acústica normal específica, respectivamente [6], [29].

Número de onda

Es un parámetro que indica el número de longitudes de onda que hay en un ciclo completo (2π radianes) y se mide en rad/m [27], [36].

$$\mathbf{k = w * c = 2 * \pi * \frac{f}{c}} \qquad (5)$$

Donde:

k: número de onda

w: frecuencia angular

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

f: frecuencia de trabajo, Hertz [6], [37].

Cámara reverberante

Es uno de los laboratorios de mayor utilización en el campo acústico, su función es la de adquirir el coeficiente de absorción del material testeado; este ensayo esta regido por norma ISO 354 [47], [48].

Tiempo de reverberación

Se define como el tiempo necesario (seg) para que la presión sonora disminuya 60dB, luego de cesar el impulso sonoro [48]

Plano de referencia

Es la superficie de la muestra, el plano de referencia es asumido para ser x=0 [6], [44].

Factor de reflexión en incidencia normal r

Relación compleja de la amplitud de la onda reflejada a la onda incidente en el plano de referencia para una onda plana en incidencia normal [6], [44].

$$\mathrm{r} = \frac{\mathrm{H_{12}} - \mathrm{H_1}}{\mathrm{H_r} - \mathrm{H_{12}}} * \mathrm{e}^{2\mathrm{jkx1}} \qquad (6)$$

Donde:

H_{12}: función de transferencia

H_r: parte real de H_{12}

H_1: parte imaginaria de H_{12}

x1 posición última entre la muestra y el micrófono

k: número de onda [26].

Octava Banda

Una banda de frecuencias sonoras para las cuales las frecuencias más altas (f2), en el rango son dos veces las frecuencias más bajas, f1 [31].

$$f2 = 2 * f1, Hertz \qquad (7)$$

Las frecuencias nominales de la banda se define en la norma ANSI s1.6 [29].

Para la obtención del 1/3 de la octava banda; en este caso la frecuencia superior (f2), es la raíz cubica del doble de la frecuencia inferior (f1) [31].

$$f2 = \sqrt[3]{2} * f1, Hertz \qquad (8)$$

Tabla IV. Frecuencias de trabajo de la octava banda y de un tercio de la octava banda

Banda número N	Frecuencia Preferida, hertz	Intervalo de la octava banda		Intervalo de un tercio de la octava banda	
		Limitado	Ampliado	Limitado	Ampliado
14	25				x
15	31.5		x		x
16	40				x
17	50				x
18	63		x		x
19	80				x
20	100			x	x
21	125	x	x	x	x
22	160			x	x
23	200			x	x
24	250	x	x	x	x
25	315			x	x
26	400			x	x
27	500	x	x	x	x
28	630			x	x
29	800			x	x
30	1000	x	x	x	x
31	1250			x	x
32	1600			x	x
33	2000	x	x	x	x
34	2500			x	x
35	3150			x	x
36	4000	x	x	x	x
37	5000			x	x
38	6300				x
39	8000		x		x
40	10000				x
41	12500				x
42	16000		x		x
43	20000				x

Fuente: [29]

Material Acústico

Un material considerado en términos de las propiedades acústicas. Usualmente se trata de un material diseñado para absorber sonido [29].

Ruido

Es un sonido no deseado, molesto, es lo contrario de un tono puro, puede llegar a afectar la tranquilidad de las personas según el nivel de ruido generado, en la actualidad el ruido es uno de los contaminantes más comunes en el ambiente urbano, que trae consigo diferentes problemas como trastornos de sueño, baja productividad, estrés, dificultad en la comunicación verbal, entre otros [9], [10], [24], [35].

Por estimaciones internacionales, el ruido en ambientes urbanos es generado por diferentes fuentes, como las descritas en la siguiente figura:

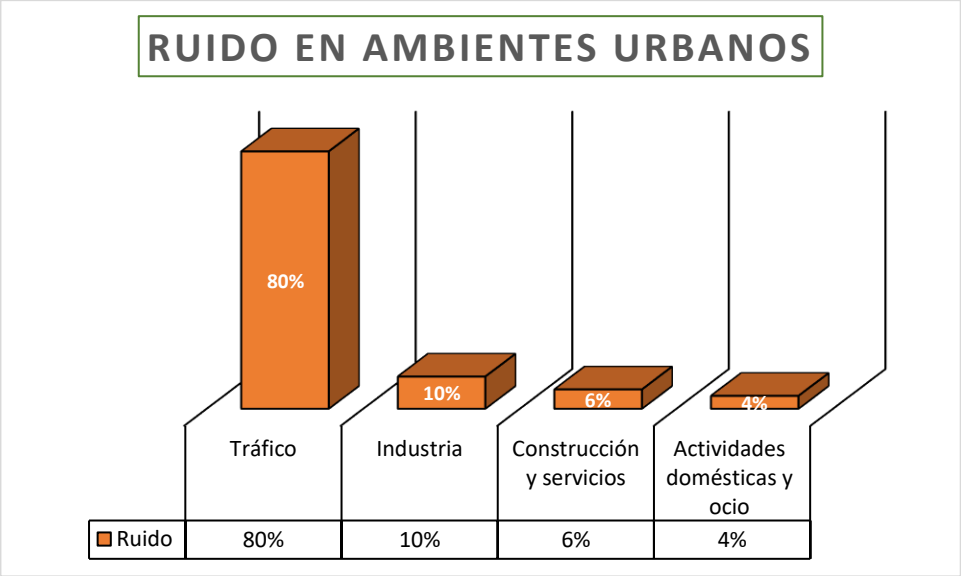


Fig. 5. Fuentes de ruido
Fuente: [24]

Tipos de ruidos según la intensidad y evolución temporal

a) Ruido continuo o constante

La intensidad permanece constante o presenta pequeñas variaciones (menores a ± 5 dB) a lo largo del tiempo. Ejemplo: el ruido producido por máquinas y motores que trabajan de forma continua [30].

a) Ruido fluctuante

La intensidad fluctúa a lo largo del tiempo en intervalos mayores a ± 5 dB. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias. Ejemplo: el ruido producido por el tráfico [30].

b) Ruido transitario

Tiene comienzo y final en un corto período de tiempo. Ejemplo: el ruido producido tras el paso de un vehículo [30].

c) Ruido de impacto

La intensidad aumenta bruscamente durante un impulso. La duración del impulso es breve. Ejemplo: el ruido producido por un disparo o un golpe de martillo [30].

1.1.3.2 Materiales

Material aislante

Poseen cierta capacidad para evitar que la energía sonora pase a través de ellos [49].

Absorbentes acústicos

Tienen una gran capacidad de absorber la mayoría de la energía sonora que reciben, es decir, reflejan un porcentaje pequeño del sonido incidente [38].

Materiales absorbentes de sonido de tipo poroso

Son materiales que presentan elevados coeficientes de absorción sonora en una parte o todo el espectro de frecuencias audibles, se clasifican en:

- Absorbentes de esqueleto rígido: el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia
- Absorbentes de esqueleto flexible: se producen resonancias a frecuencias bajas y medias [27], [50].

Al incidir una onda acústica sobre el material, solo una pequeña porción es reflejada, pues la energía acústica incidente es transformada en calor debido al roce interno del aire con las fibras del material [26], [42].

Material poroso rígido

Su coeficiente de absorción es pequeño en bajas frecuencias, destacan las siguientes propiedades:

- A mayor espesor, mayor absorción acústica.
- El coeficiente de absorción es menor a bajas frecuencias.
- El espacio de aire entre el material y la pared rígida favorece un aumento en la absorción acústica [26], [27].

Material poroso elástico

Su estructura se basa en un esqueleto elástico lo que permite que la absorción sonora aumente en función del aumento de la frecuencia. Se ha comprobado que mientras mayor es la densidad, mayor es la absorción sonora hasta cierto punto donde empieza a comportarse como material reflejante [26], [27].

Materiales porosos fibrosos

Incluyen los fabricados con fibras naturales (algodón, cáñamo, madera, coco, etc.) o artificiales (lana de vidrio, lana de roca, espuma, etc.) [26]

Construcción sostenible

Se define como la construcción donde se prioriza el cuidado y respeto al medio ambiente, con el propósito de reducir el impacto ambiental causado por los procesos de construcción, demolición y por el ambiente urbanizado [19].

Materiales compuestos (MC)

Es el que se obtiene al unir dos materiales de diferente naturaleza e indisolubles entre sí. Se puede distinguir tres fases: una continua o matriz, una discontinua o refuerzo y la interfaz o comprendida entre ellas. El propósito de crear un nuevo material compuesto es el de obtener propiedades que por separado los materiales no los podrían alcanzar [2], [51], [52].

Según el tipo de matriz pueden ser:

- Matriz metálica
- Matriz cerámica
- Matriz polimérica [53].

Compuestos de Matriz Polimérica (CMP)

Son los que utilizan materiales de origen polimérico, ya que, los materiales termoplásticos y termoestables son fáciles de procesar, además de ser livianos, económicos y pueden ser utilizados en varias aplicaciones [2].

Polímeros termoplásticos

Son aquellos que al presentar un aumento importante de temperatura [54] pueden ablandarse y derretirse para cambiar su forma sin afectar exageradamente sus propiedades, lo cual lo hace reutilizable, entre los polímeros termoplásticos se encuentran:

Tabla V. Clasificación de los polímeros termoplásticos

Termoplásticos		Símbolo	Propiedades	Usos
Polietileno Tereftalato		PET	Envases resistentes a los agentes químicos e impermeables	Botellas de refresco, etc.
Polietileno	Alta Densidad	HDPE/ PEAD	Sólido, incoloro, inodoro, no tóxico	Cubetas, juguetes, recipientes, botellas, envases resistentes a los agentes químicos e impermeables, etc.
	Baja Densidad	LDPE	Incoloro, inodoro, no tóxico, blando y ligero	Bolsas, vasos, platos, etc.
Policloruro de Vinilo		PVC	Térmico, rígido, flexible, resistente a ácidos	Tuberías, suelas se zapatos, juguetes, guantes, mangueras, etc.
Polipropileno		PP	Flexible, dureza superficial	Recipientes para alimentos, botellas, bolsas, sacos, industria automotriz, etc.
Poliestireno		PS	Transparente, pigmentable	Estuches de CD, vasos, platos, aislantes, etc.
Nylon			Traslucido, brillante, resistente, impermeable y flexible	Tejidos, cepillos de dientes, cuerdas, engranes, llantas de patines, etc.

Fuente: [2], [4], [55], [56]

Técnicas de reciclaje

a) Mecánico

Reutilización del plástico, pero sin cambiar su composición química original

b) Químico

Se le agrega polímeros modificados o materiales de refuerzo (fibras, rellenos) lo cual cambia su composición inicial

c) Recuperación energética

Es un proceso que revierte el proceso de producción reprocesando el material para convertirlos en los bloques de material de los cuales fueron hechos [57].

Fibras

Son hilos o cilindros de 2 a 10µm de diámetro [2]. Son utilizados desde la antigüedad en forma de materia prima para hacer varios productos como tela, papel, artesanías, etc. Con la búsqueda de nuevos materiales se empezaron a utilizar como material de refuerzo en distintas matrices cerámicas y metálicas, a fin de mejorar o generar nuevas propiedades, en materiales compuestos denominados composites [53].

Fibras naturales

Son aquellas que se extraen de minerales, animales o plantas. Las más comunes son las fibras vegetales debido a su facilidad de obtención y renovabilidad en corto tiempo respecto a otro tipo de fibras [53]. Ejemplo: algodón, cáñamo, kenaf, lino y yute, coco, banano, etc [8].

Tienen diferentes ventajas como:

- Son ambientalmente amigables, renovables.
- Presentan similares propiedades a materiales que tienen un refuerzo de fibra de vidrio.
- Mayor elasticidad.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.
- De 2 a 3 veces más económicas que trabajar con fibra de vidrio [11].

Fibras vegetales

Son fibras de origen natural, representan un recurso natural de bajo coste [58]. Se identifican por estar compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina [2], [58].

Materiales reforzados con fibras

Son ampliamente utilizados ya que al adicionar fibras a la matriz ya sea polimérica, metálica o cerámica, aumenta sus propiedades mecánicas considerablemente, según la naturaleza de los materiales que lo forman. En los materiales compuestos reforzados con fibras, la matriz une y soporta las fibras, protegiéndolas contra agentes externos [2].

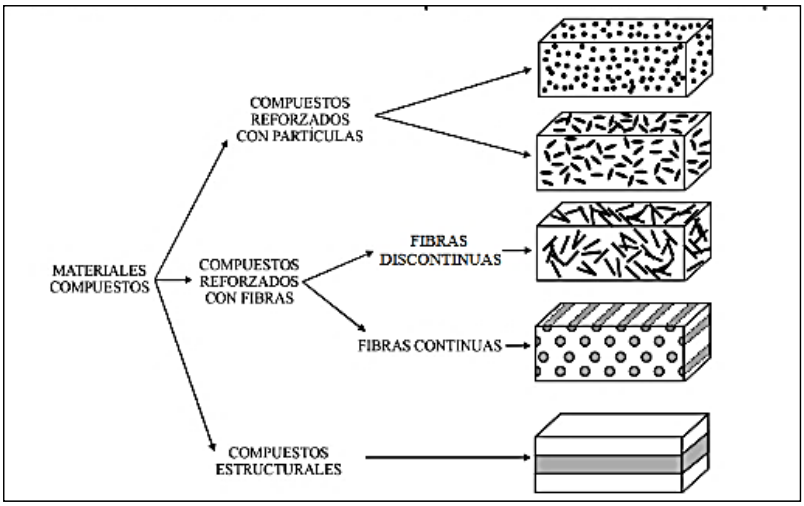


Figura 1.- Clasificación de los materiales compuestos en función del tipo de refuerzo
Fuente: [2]

Coco

El coco es un fruto, su nombre científico es coco nucífera , se encuentra cubierto de fibras, tiene forma ovoide, puede llegar a pesar 2.5 kilogramos [52]. El cultivo de cocotero en las poblaciones de la costa ecuatoriana ha sido de suma importancia, convirtiéndose en una de las fuentes de ingresos para estos pueblos[3].

Tabla VI. Producción de coco en Ecuador

Provincia	Hectárea Plantada	Tonelada producida anual
Loja	102	583
Esmeraldas	660	6500
Manabí	1210	11011
Guayas	189	1568
Sucumbíos	165	770
Napo	55	260
Orellana	22	95
Galápagos	1	6

Fuente: [59]

El coco se encuentra formado por tres capas; la envoltura conocido como mesocarpio, el endocarpio que es la cáscara y el endosperma que es la parte comestible [2], [3].

Figura 2.- Composición del coco
Fuente: [2]

El mesocarpio o la fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras como el sisal y el henequén [52].

Características de la fibra de coco:

- Presenta elevados índices de rigidez y dureza, debido a que es se trata de una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño.
- Posee una alta porosidad, una baja conductividad al calor, una alta resistencia al impacto, a las bacterias y al agua [60].

- Tarda en descomponerse de 20 a 30 años bajo condiciones húmedas y secas
- La fabricación de materiales compuestos se dificulta ya que la lignina, pectina entre otras impurezas dificulta su adhesión [2].

1.1.5 Hipótesis

La utilización de las paredes compuestas ayuda a aislar acústicamente

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Efectuar el análisis del desempeño acústico de paredes compuestas formadas por una matriz de polímeros termoplásticos y fibras vegetales de coco.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir el equipo de medición utilizado para determinar las ondas sonoras, mediante un método experimental.
- Realizar diferentes probetas de muestra de pared compuesta variando su composición polimérica y fibras vegetales.
- Determinar el desempeño acústico de las probetas mediante ensayos de laboratorio.
- Evaluar los Mampuestos con el desempeño acústico para determinar el mejor aislamiento.

CAPíTULO II.- **METODOLOGÍA**

En este capítulo se detalla la metodología que se siguió para llevar a cabo la investigación.

2.1 Equipos y Materiales

- Obtención de la estopa de coco

Tabla VII. Equipos y materiales usados en la obtención de la estopa de coco

Equipos	Materiales
Cepillo de cerdas de acero con mango de madera	Mesocarpio del coco
Combo de acero de 2lb	Agua

Fuente: Autor

- Tratamiento químico de la estopa de coco

Tabla VIII. Equipos y materiales usados en el tratamiento químico de la estopa de coco

Tratamiento químico	
Equipos	**Materiales**
Vaso de precipitación, Vidrio Pirex de 1000ml	Agua destilada
Varilla de agitación de vidrio	
Balanza digital con precisión de 2 decimales, marca citizen cz 1202	
Guantes quirúrgicos	Fibra de coco
Mascarilla	
Mandil	
Pipeta volumétrica de 4ml, en vidrio	
Espátula de hoja de acero inoxidable con mango de madera	
Piseta de 500ml de polipropileno	Sodio hidróxido, en lentejas, EMSURE®, 0.1 mol/l (0.1 N)
Campana Extractora, linea Sorbona, modelo BIO-FH1200A, marca Biobase	

Fuente: Autor

- Obtención de densidades

Tabla IX. Equipos y materiales usados en los ensayos de la obtención de las densidades

Obtención de densidades	
Método del picnómetro	
Equipos	**Materiales**
Picnómetro o matraz aforado de 500ml de capacidad, elaborado en vidrio borosilicato 3.3 de alta resistencia	Plástico PEAD en forma de pellets ovalados, su tamaño va de 1-4mm
Balanza digital con precisión de 2 decimales, modelo m-power, marca sartorius	Fibra de coco
Pipeta volumétrica de 4ml, en vidrio	Agua destilada
Embudo plástico	
Por desplazamiento de volúmenes	
Probeta graduada de 100ml, clase A, material vidrio con pico y base exagonal de plático con precisión de 1 ml	Plástico PEAD en forma de pellets ovalados, su tamaño va de 1-4mm
Balanza digital con precisión de 2 decimales, marca citizen cz 1202	Fibra de coco
	Agua destilada

Fuente: Autor

- Salida de audio

Tabla X. Equipos y materiales de la salida de audio

Equipos	**Materiales**	**Norma**
Parlante de membrana, marca eLasser: Potencia 2.5x2.5W, Jack: estándar 3.5mm audio jack, USB Plug and Play, Diámetro: 4.67cm	Plástico PVC	ASTM C384 ASTM- E 1050 ISO 10534-2
	Fibra de vidrio velo MAT 300, 300gr/m2	
Pistola de silicona, marca Stanley	Barras de silicona de 0.5cm	

Fuente: Autor

- Construcción del micrófono utilizado en las mediciones con el tubo de Kundt

Tabla XI. Equipos y materiales usados en la construcción del del micrófono utilizado en las mediciones con el tubo de Kundt

Equipos	Materiales
Tarjeta de audio USB, modelo 7.1 Channel Sound, marca KONNEN; Interfaz de host compatible con USB 2.0, para PC 3.5 mm	Micrófono de condensador o electret de 2 pines, marca Movilideas: Rango del voltaje de alimentación: 3V a 10V, Diámetro: 6.2 mm, Temperatura de operación: -20 ºC a +60 ºC
Cautín	Plug Jack plateado de 3.5 mm
Pistola de silicona, marca Stanley	Cable Blindado: High quality Microphone Cable 24AWG 99.98% OxYgen Free CoPPER, marca England Electronics

Fuente: Autor

- Tubo de impedancia

Tabla XII. Equipos y materiales usados en la construcción del tubo de impedancia y el procesamiento de señal

Equipos	Materiales	Norma
Software (Matlab y Audacity)	Tubo de acero negro	ASTM C384 ASTM-E 1050 ISO 10534-2
Laptop	Bridas	
Termohigrómetro modelo HTC-1, marca BOECO: Rango de temperatura: - 50~ +70°C (-58 ~ 158 ° F), Rango de humedad: 20% ~ 99% R, exactitud Humedad: -/+10% de HR, Exactitud de temperatura: ± 1 ºC (1,8 ºF)	Soportes de acero	
	Plástico nylon	
	Papel de asbesto	
	Pernos Allen de 1/4"	

Fuente: Autor

- Realización de probetas

Tabla XIII. Equipos y materiales usados en la fabricación de las probetas

Realización de probetas	
Equipos	**Materiales**
Balanza digital con precisión de 2 decimales, modelo m-power, marca sartorius	Plástico PEAD en forma de pellets ovalados, su tamaño va de 1-4mm
Molde en Aluminio	Fibra de coco
Prensa termo-conformadora: Temperatura de trabajo: 20-500 °C, Presión: 70 psi	Plástico film
	Desmoldante
	Empaques de caucho y teflón

Fuente: Autor

- Habitación de reverberación

Tabla XIV. Equipos y materiales usados en la habitación de reverberación

Obtención del tiempo de reverberación	
Equipos	**Materiales**
Micrófono de transmisión de condensador ZealSound, marca ZealSound, conectividad Micro USB and 3.5mm Audio Cable	Ladrillo
	Bloque hueco de hormigón
Cable auxiliar 3.5mm	Plancha de esponja amarilla, densidad 26.5kg/m3
Sotware REW multi y Excel	Plancha de esponja negra, densidad 16.9kg/m3

Fuente: Autor

2.2 Métodos

El método elegido para el desarrollo de este proyecto radica en enviar un tono puro (onda sinusoidal) a través del tubo a diferentes frecuencias, para esto se usaron las frecuencias del 1/3 de la banda de octava (detalle en la Tabla IV). Para el desarrollo y análisis con el tubo de impedancia se aplicó el método de la función de transferencia [37], [43].

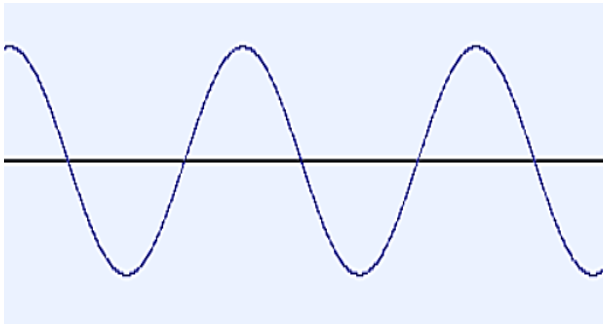


Fig. 6. Onda sinusoidal usada en el proyecto
Fuente: autor

2.2.1 Metodología:

Tras una larga investigación; en esta parte del capítulo se describe la metodología usada en el desarrollo de este proyecto, misma que por facilidad se ha dividido en las siguientes etapas:

- Construcción de los aparatos de medición.
- Elaboración de probetas.
- Pruebas preliminares y mediciones.

2.2.1.1 Construcción de los aparatos de medición

Tubo de impedancia: Método función de transferencia

El aparato consta de un tubo cilíndrico de acero negro de 41.2mm de diámetro interior, está formado por una porta muestra en un extremo del tubo y una fuente de sonido en el otro extremo.

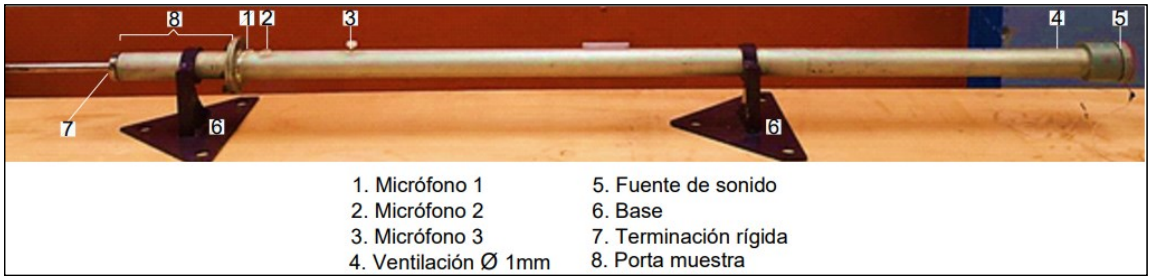


Fig. 7. Tubo de impedancia
Fuente: autor

Se recomienda que el espesor de pared del tubo sea de al menos el 5% de la sección transversal del tubo, esto con el fin de que no muestre vibraciones excesivas por el sonido [6].

$$\mathrm{e} = 5\% * \mathrm{d} \qquad (9)$$

$$e = 5\% * 0.0412$$

$$e = 0.00206m$$

Donde:

e: espesor de pared del tubo, m

d: diámetro de la sección transversal del tubo, m

El tubo fue galvanizado y rectificado para que las paredes sean uniformes, sin porosidades, lisa y no presente fugas, para así evitar ruido exterior o vibraciones que puedan influir en la precisión de los resultados [43], [61]. El espesor de pared usado es de 3.7mm mayor al mínimo requerido.

Condiciones que debe cumplir

Cálculo de las frecuencias de trabajo en base al diámetro y longitud del tubo

El rango de frecuencias de trabajo depende del diámetro del tubo y el espaciamiento entre los micrófonos [43].

$$\mathbf{f_l < f < fu} \qquad (10)$$

Donde:

f: frecuencia de operación, Hertz

fu: frecuencia ultima o máxima de trabajo, Hertz

f_l: frecuencia mínima de trabajo, Hertz

Cálculo de la velocidad del sonido en el aire:

$$c = 343.2 * (T/293)^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

Se tomó un valor promedio de 18°C→291.15°K

$$c = 343.2 * (291.15/293)^{\frac{1}{2}}$$

$$c = 342 \frac{m}{seg}$$

Donde:

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

T: temperatura del aire, °K [41]

- **Cálculo del diámetro del tubo:**

$$\mathbf{fu < K * \frac{c}{d}} \qquad (12)$$

$$fu < 0.58 * \frac{342}{0.0412}$$

$$fu < 4814.56\ Hz$$

Si se trabaja con frecuencias superiores pueden desarrollarse modos cruzados y es probable que las ondas incidentes y reflejadas en el tubo no sean planas [62].

Donde:

fu: frecuencia ultima o máxima de trabajo, Hertz

d: diámetro de la sección transversal del tubo, m

K: coeficiente, 0.58 [43].

- **Cálculo de la frecuencia inferior**

El cálculo de la frecuencia de trabajo inferior, se basa en la longitud del tubo, por lo que el tubo debe ser lo suficientemente largo para causar que las ondas planas se desarrollen entre la fuente de sonido y la muestra [41]. Para esto se eligió trabajar con un tubo de 1.5m.

$$\mathrm{f_l} > \frac{0.75 * \mathrm{c}}{\mathrm{l} - \mathrm{d}} \qquad (13)$$

$$f_l > \frac{0.75 * 342}{1.5 - 0.0412}$$

$$f_l > 176Hz$$

f_l: frecuencia mínima de trabajo, Hertz

l: longitud del tubo, m

d: diámetro de la sección transversal del tubo, m

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg [37]

Las frecuencias de trabajo se consideraron en el rango de $200\ Hertz < f < 4000\ Hertz$ utilizados en el 1/3 de banda de octava.

Por requerimiento de la norma ISO 10534-2 el espaciamiento mínimo entre el micrófono y la fuente de sonido debe cumplir con la siguiente condición:

$$x > 3 * d > 300mm$$

$$x > 3 * 41.2 > 300mm$$

$$x > 123.6 > 300mm$$

La distancia x que se utilizó es de 1.30m.

Cálculo del espaciamiento entre micrófonos:

Los micrófonos deben ser idénticos en cada ubicación, montados al ras de la pared, su ubicación se conocerá con una precisión de ±0.2mm.

- **En base a la frecuencia máxima**

$$s < \frac{c}{2 * fu} \qquad (14)$$

$$s < \frac{342}{2 * 4000}$$

$$s < 0.043\ m$$

Es recomendable que el espaciamiento máximo entre micrófonos (s), sea el 80% de $c/2fu$

$$80\% * s = 0.034\ m$$

Se tomó la medida de 3 cm entre micrófonos

s: espaciamiento entre micrófonos, m

fu: frecuencia ultima o máxima de trabajo, Hertz

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg [43].

- **En base a la frecuencia mínima**

$$s > 5\% * \lambda_l \qquad (15)$$

$$\lambda_l = \frac{c}{f_l} \qquad (16)$$

$$s > 0.05 * \frac{342}{200}$$

$$s > 0.085m$$

Por tanto, se decidió colocar tres micrófonos (ver Fig. 8) el primero a 2cm medidos desde la cara de la probeta, el siguiente a 3cm entre ejes y el último a 15cm.

λ_l: longitud de onda inferior, m

s: espaciamiento entre micrófonos, m

f_l: frecuencia mínima de trabajo, Hertz

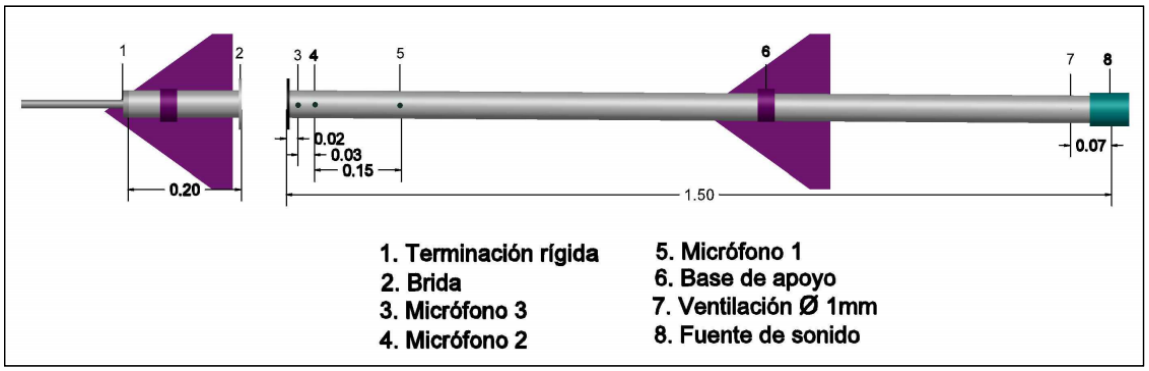


Fig. 8. Partes del tubo de impedancia
Fuente: Autor

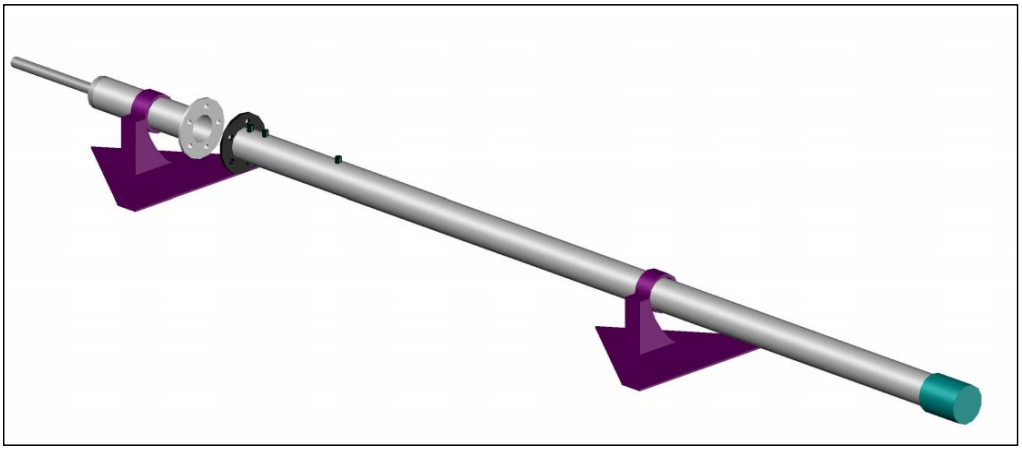


Fig. 9. Esquema del tubo de impedancia en 3D
Fuente: Autor

Cálculo del diámetro del micrófono:

Los micrófonos que serán utilizados deben tener un diámetro que sea lo suficientemente pequeño para evitar distorsiones, para lo cual se deben seguir las siguientes recomendaciones:

$$\emptyset_{\mathrm{m}} < \frac{\mathrm{c}}{\mathrm{fu}} \text{ ó } \emptyset_{\mathrm{m}} < 20\% * \lambda_f \qquad \textit{(17) (18)}$$

$$\emptyset_m < \frac{342}{4000}$$

$$\emptyset_m < 0.0855m$$

Se recomienda que el diámetro del micrófono sea inferior al 20% de la longitud de onda de la mayor frecuencia de interés [43].

$$\emptyset_m < 20\% * \frac{342}{4000}$$

$$\emptyset_m < 0.017m$$

Donde:

$\emptyset_m$: diámetro de micrófono, m

fu: frecuencia ultima o máxima de trabajo, Hertz

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

λ_f: longitud de onda superior, m

Por lo tanto el micrófono utilizado en esta investigación cumple con un diámetro de 6.2 mm [61].

Conjuntamente se debe tener en cuenta el diámetro nominal para determinar la frecuencia máxima de trabajo como se describe en la siguiente tabla.

Tabla XV. Máximas Frecuencias Recomendadas Basadas en el Diámetro del Micrófono

Diámetro Nominal (in)	Diámetro de Diafragma (mm)	Máxima Frecuencia (Hz)
1	22.7	3000
1/2	12.2	5600
1/4	5.95	11500

Fuente: [43]

Como el diámetro del micrófono con el que se está trabajando es de 6.2mm se podría trabajar hasta una frecuencia de 5600 Hertz.

Soporte de muestra o porta muestra

Se trata de una unidad separada que se encuentra al extremo contrario de la fuente de sonido, unido por bridas al tubo donde se realiza la medición. Las bridas se encuentran unidas por 5 pernos allen de cabeza hexagonal, además se colocó entre las bridas papel de asbesto para sellar completamente la salida de sonido.

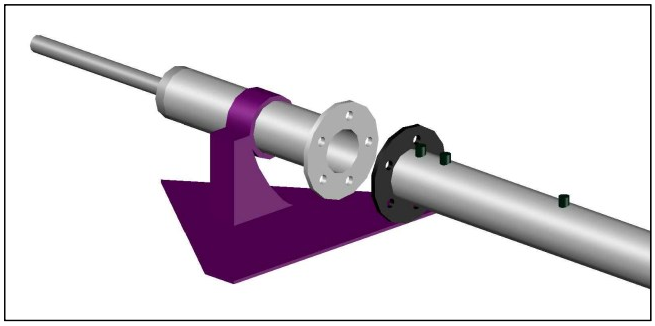


Fig. 10. Bridas
Fuente: autor

Placa de apoyo

La norma ISO 10534-2 y ASTM E 1050 – 98 [41], [43] recomienda colocar una placa posterior de soporte de la muestra de un espesor no menor a 20mm, por lo que se realizó esta placa de acero de un espesor de 20mm.

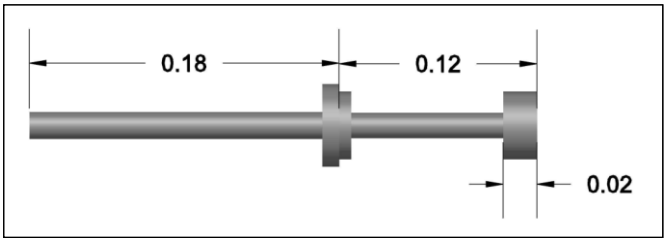


Fig. 11. Dimensiones de la terminación rígida
Fuente: autor

Equipo de procesamiento de señal

Para la obtención de los datos se utilizó el software Audacity y para el procesamiento de la señal el software Matlab.

Altavoz

Altavoz de membrana marca eLasser, ubicado en el extremo opuesto del soporte de muestra. El altavoz cubre la totalidad de la sección transversal del tubo, tiene un diámetro de 4.67cm; se encuentra en una caja fabricada con PVC y posteriormente aislada para evitar la transmisión de flancos al micrófono.

Fig. 12. Altavoz de membrana
Fuente: autor

Terminación del altavoz

Se colocaron 200mm de un material absorbente (Fibra de vidrio) de sonido en la parte frontal del parlante, en la caja que lo sostiene para así reducir las resonancias de la columna de aire en el tubo de impedancia.

Ventilación del tubo

Es recomendable hacer un agujero de 1-2mm de diámetro, esto para evitar grandes variaciones de presión al colocar o retirar la muestra, , por lo que se realizó una perforación de 1mm ubicada a 7 cm medido desde la fuente de sonido (ver Fig. 8).

Número de muestras

La norma ISO 10534-2 y ASTM E 1050 – 98 [41], [43] recomienda un mínimo de dos muestras probadas con las mismas condiciones de montaje.

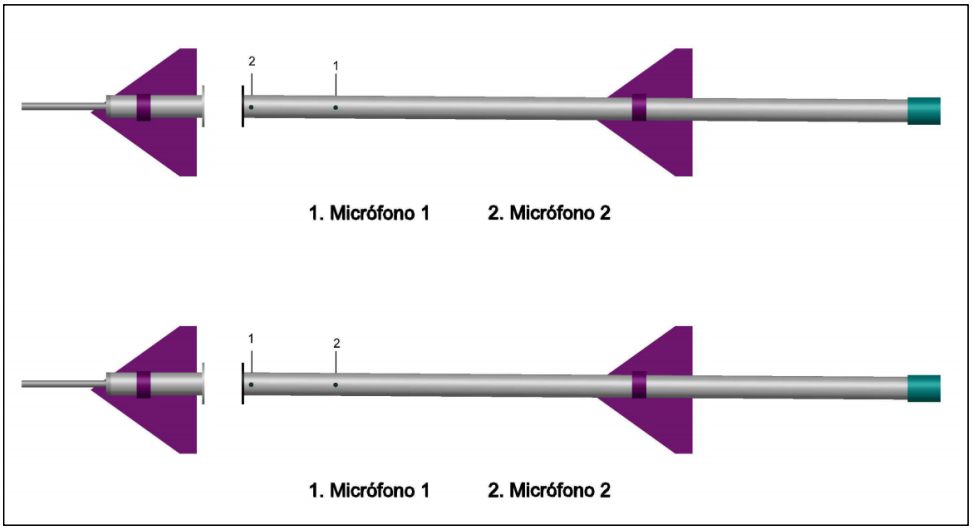


Fig. 13. Imagen 1 configuración estándar del tubo de impedancia (Configuración I), imagen 2 micrófonos intercambiados del tubo de impedancia (Configuración II)
Fuente: Autor

Materiales utilizados en las mediciones

Tubo de Kundt

Las paredes compuestas analizadas se encuentran formadas por dos paneles de 0.005 o 0.007m de espesor (unión de plástico de alta densidad con fibra de coco) con una cámara de aire entre los mismos, teniendo un espesor total de 0.08m, esto se puede apreciar claramente en la siguiente figura

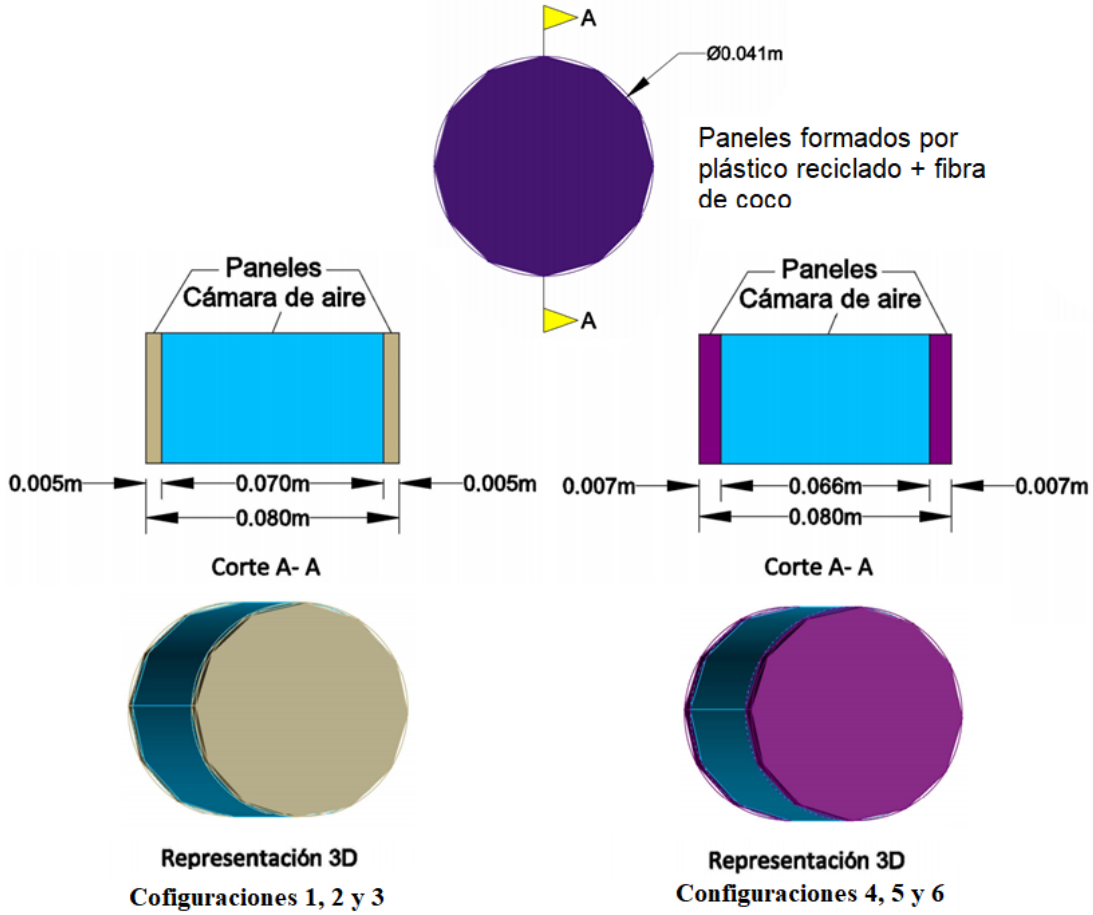


Fig. 14. Esquema de configuración de las paredes compuestas
Fuente: Autor

En la Tabla XVI y Tabla XVII se detallan los materiales que fueron testeados utilizando el tubo de Kundt

Tabla XVI. Paredes compuestas ensayadas; materia prima y espesores

Configuración (e.t 80mm)	Código	Plástico (%)	Fibra de coco (%)	Espesor de cada panel (mm)	Cámara de aire (mm)	Probetas ensayadas
1	0-5	100	0	5	70	2
2	25-5	75	25	5	70	2
3	50-5	50	50	5	70	2
4	0-7	100	0	7	66	2
5	25-7	75	25	7	66	2
6	50-7	50	50	7	66	2
					TOTAL	12

Fuente: autor
Tabla XVII. Materiales varios testeados utilizando el tubo de Kundt

Material	Espesor (cm)
Black Acoustic Board	2.5
Esponja amarilla	2
Esponja negra	3
Yeso	0.5
Corcho Aglomerado	0.5

Fuente: Autor

Cámara reverberante

La esponja amarilla y negra fue testeado por los dos métodos, esto para comparar los resultados obtenidos por estos dos procesos

Tabla XVIII. Materiales Testeados utilizando el método de la cámara reverberante

Material	Dimensión (cm)
Esponja amarilla	200*100*2
Esponja negra	200*100*3
Ladrillo	10*16*8
Bloque hueco de hormigón	40*20*12

Fuente: Autor

2.2.1.2 Elaboración de probetas

Se clasifico en:

- Obtención de la materia prima (plástico y fibra de coco)
- Realización de las probetas

Obtención de la materia prima

a) Fibra de coco

Fig. 15. Residuos de coco fresco
Fuente: autor

1. Separar el mesocarpio en fracciones pequeñas
2. Dejar secar (con el propósito que se endurezca la fibra)

a) b)

Fig. 16. a) Fracciones de coco fresco b) Coco seco
Fuente: autor

3. Remojar la fibra en agua (por al menos 2 horas) para facilitar la extracción de la fibra
4. Para el desfibrado se utilizó un combo para suavizar y con la ayuda de un cepillo de acero se obtuvo las fibras

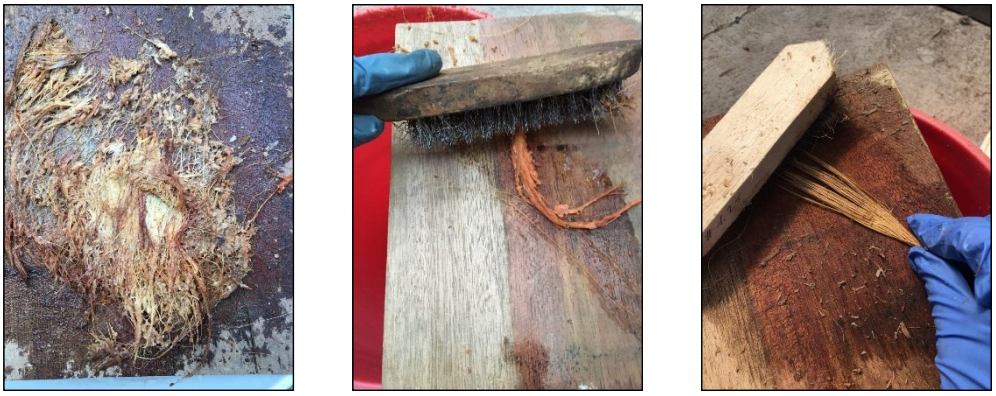


Fig. 17. Proceso de obtención de la fibra
Fuente: autor

5. Secar la fibra

Tratamiento químico

Para mejorar la unión fibra-matriz, se le dio un tratamiento químico a las fibras, el cual consiste en introducir las fibras en una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH), para así reducir la cantidad de impurezas, lignina y ceras. Se utilizo una concentración del 2% en masa, misma que fue tomada en base de la investigación "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales" [53], donde se observaron mejores propiedades mecánicas con esa concentración [2], [53].

El procedimiento de tratamiento químico se lo realizo en un laboratorio de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, ya que cuenta con laboratorios muy bien equipados para estos procesos.

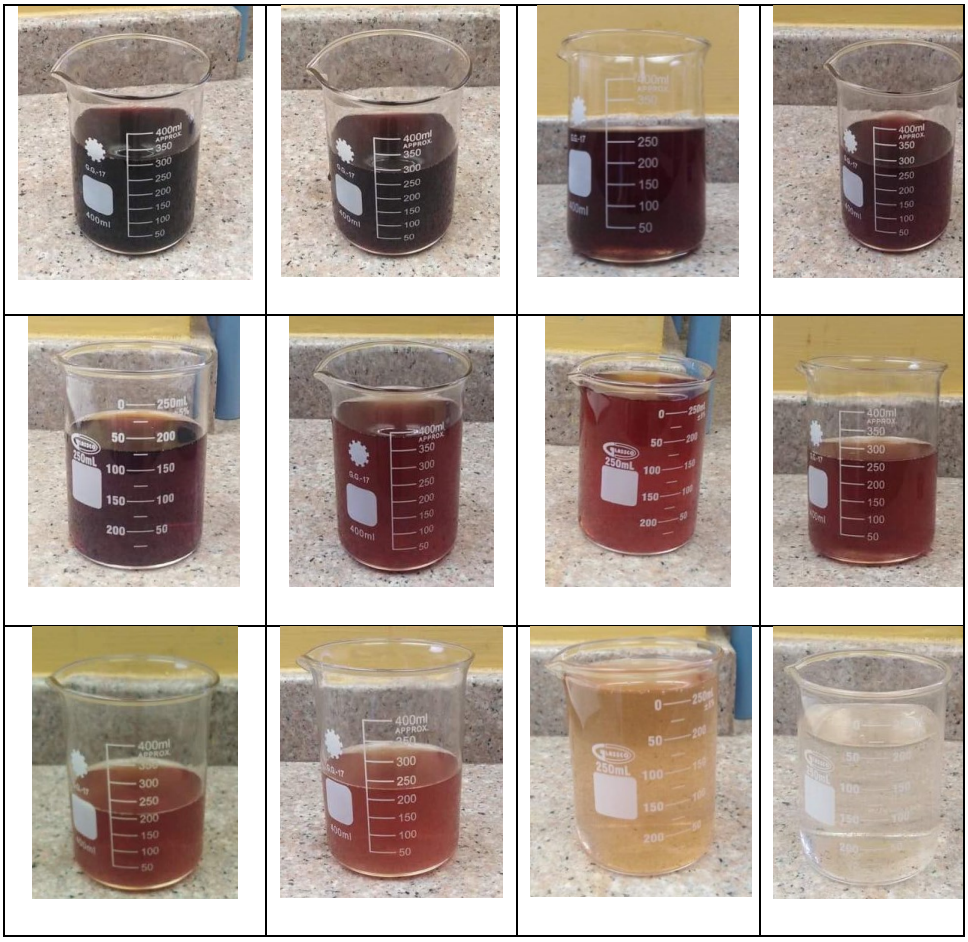
El proceso del cálculo del hidróxido usado se encuentra en el ANEXO I

1. Pesar la estopa de coco (71gr) y el hidróxido de sodio (150.815gr)
2. Tomar dos vasos de precipitación de 1000ml de capacidad y medir 850ml de agua destilada en cada uno
3. Colocar en cada vaso de precipitación la mitad del hidróxido de sodio (75.408gr) y mezclar con la ayuda de la varilla hasta disolver completamente el NaOH
4. Sumergir en cada vaso la mitad de la estopa de coco (35.5gr) por un tiempo de dos horas
5. Retirar la solución y dejar reposar las fibras tratadas en agua destilada durante un día
6. Lavar muy bien las fibras con suficiente agua, para esto fue necesario lavarlas en 12 ocasiones, obteniendo en cada una de ellas tonalidades de

color y presencia de impurezas cada vez menores. En la Tabla XIX se puede apreciar este proceso

7. Dejar secar

Tabla XIX. Tonalidades de agua



Fuente: Autor

Obtención de densidad

Método del picnómetro

Tabla XX. Datos obtenidos por el método del picnómetro (fibra de coco)

Temperatura del agua	19 °C
Peso de la muestra (Wf)	2.5 gr
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	667.6 gr
Wf + Wbw	670.1 gr
Peso del picnómetro + agua + muestra (Wbwf)	667.11 gr
Desplazamiento del agua (Wf+Wbw-Wbwf)	2.99 gr
Factor de corrección K	0.9984 gr

Fuente: Autor

$$\rho = \frac{Wf * K}{Wf + Wbw - Wbwf}$$

$$\rho = \frac{2.5 * 0.9984}{2.99}$$

$$\rho = 0.8348 \frac{gr}{cm^3}$$

Donde:

ρ: densidad del material, gr/cm^3

Wf: peso de la muestra, gr

Wbw: peso del picnómetro más el peso del agua, gr

Wbwf: peso del picnómetro más el peso del agua más el peso de la muestra, gr

Por desplazamiento de volúmenes

Tabla XXI. Datos obtenidos por desplazamiento de volúmenes (fibra de coco)

Peso de la muestra (Wf)	7.16 gr
Volumen inicial (Vo)	70 cm^3
Volumen final (Vf)	83 cm^3

Fuente: Autor

$$\rho = \frac{Wp}{\Delta V}$$

$$\rho = \frac{7.16}{83 - 70}$$

$$\rho = 0.55 \ \frac{gr}{cm^3}$$

Donde:

ρ: densidad del material, gr/cm^3

Wf: peso de la muestra, gr

ΔV: variación de volumen, cm^3

Por el método del picnómetro se utilizó una muestra poco representativa, variando bastante la densidad obtenida, así que para cálculos posteriores se usará la densidad de $0.55 \ gr/cm^3$

a) Plástico

Se obtuvo plástico de alta densidad (PEAD) en forma de pellets (Fig. 18)

Obtención de densidad

Método del picnómetro

Tabla XXII. Datos obtenidos por el método del picnómetro (PEAD)

Temperatura	19 °C
Peso de la muestra (Wp)	10 gr
Peso del picnómetro + agua (Wbw)	662.58 gr
Wp + Wbw	672.58 gr
Peso del picnómetro + agua + muestra (Wbwp)	661.86 gr
Desplazamiento del agua (Wp+Wbw-Wbwp)	10.72 gr
Factor de corrección K	0.9984 gr

Fuente: Autor

$$\rho = \frac{Wp * K}{Wp + Wbw - Wbwp}$$

$$\rho = \frac{10 * 0.9984}{10.72}$$

$$\rho = 0.9314 \frac{gr}{cm^3}$$

ρ: densidad del material, gr/cm^3

Wp: peso de la muestra, gr

Wbw: peso del picnómetro más el peso del agua, gr

Wbwp: peso del picnómetro más el peso del agua más el peso de la muestra, gr

Por desplazamiento de volúmenes

Tabla XXIII. Datos obtenidos por desplazamiento de volúmenes (PEAD)

Peso de la muestra (Wp)	25 gr
Volumen inicial (Vo)	60 cm^3
Volumen final (Vf)	87 cm^3

Fuente: Autor

$$\rho = \frac{Wp}{\Delta V}$$

$$\rho = \frac{25}{87 - 60}$$

$$\rho = 0.9259 \approx 0.93 \ \frac{gr}{cm^3}$$

Para cálculos posteriores la densidad que se usará es de 0.93 gr/cm^3

Donde:

ρ: densidad del material, gr/cm^3

Wp: peso de la muestra, gr

ΔV: variación de volumen, cm^3

Fig. 18. Pellets de PEAD, pesados para la obtención de la densidad
Fuente: Autor

Realización de las probetas

1. Determinar las fracciones volumétricas de los materiales a utilizarse, así como los espesores de pared y probetas; estableciéndose así que la pared compuesta será de 8cm formada por dos paneles (en este caso probetas de 5 o 7mm de espesor, revisar la Tabla XVI y la Fig. 14)
2. Establecer las condiciones de trabajo

Tabla XXIV. Condiciones de trabajo

Densidad HDPE (gr/cm3)	0.93
Densidad Fibra (gr/cm3)	0.55
Temperatura de procesamiento (°C)	200
Tiempo de procesamiento (min)	10-12
Presión (psi)	70

Fuente: autor

3. Calcular los volúmenes de trabajo para 5 y 7mm de espesor

Tabla XXV. Especificaciones de probetas

Diámetro de probeta (cm)	4.050	**Área probeta (cm2)**	12.883
Espesor probeta T1 (cm)	0.50	**Espesor probeta T2 (cm)**	0.70
V probeta (5mm)	6.441	**V probeta (7mm)**	9.018

Fuente: autor

4. Determinar las cantidades de material requerido

Tabla XXVI. Material requerido

% Plástico (HDPE)	%Fibra de coco	Cantidad de plástico requerida (gr)	Cantidad de fibra requerida (gr)	Cantidad de plástico requerida (gr)	Cantidad de fibra requerida (gr)
		5 mm		7mm	
100%	0%	5.990	0.000	8.387	0.000
75%	25%	4.493	0.886	6.290	1.240
50%	50%	2.995	1.771	4.193	2.480

Fuente: autor

5. Cortar las fibras de coco entre 2-4mm de longitud, esto para reducir el volumen de la fibra
6. Pesar el material, tanto la fibra y el plástico en las cantidades establecidos en la Tabla XXVI
7. Cortar cuadrados de aproximadamente 7*7cm de plástico film, esto con el propósito que el material no se desparrame en el molde, al mezclar el plástico con las fibras.
8. Colocar desmoldante en el molde, tanto en la parte superior como inferior
9. Cerrar el plástico con los materiales en su interior, mezclar y colocar en el molde
10. Ingresar en la máquina ya previamente calentada a la temperatura requerida (200°C) y con el temporizador activado (ver Tabla XXVII)

Tabla XXVII. Tiempo de procesamiento en base al material requerido

% Plástico (HDPE)	%Fibra de coco	Tiempo de procesamiento (min)
100%	0%	10
75%	25%	11
50%	50%	12

Fuente: autor

11. Retirar el molde, enfriar y sacar las probetas
12. Colocar empaque de caucho a cada probeta, esto con el fin de sellar los posibles agujeros existentes entre la probeta y la pared del tubo

Fig. 19. Probeta de 100% de plástico con empaque de caucho
Fuente: Autor

2.2.1.3 Pruebas preliminares y mediciones

Procedimiento de medición

Tubo de impedancia

1. Ensamblar el equipo como se muestra en la Fig. 21
2. Tomar la temperatura ambiental
3. Medir la presión atmosférica
4. Corregir el desajuste entre los canales de entrada de los micrófonos (ver sección 2.2.1.4)
5. Montar las probetas en el porta muestras, la primera justo al inicio de la brida y la segunda a 8cm medida desde la cara de la brida (Fig. 20)
6. Especificar el plano de referencia, el cual se mide desde la cara de la muestra al eje del micrófono más cercano
7. Grabar la señal emitida
8. Procesar la información obtenida

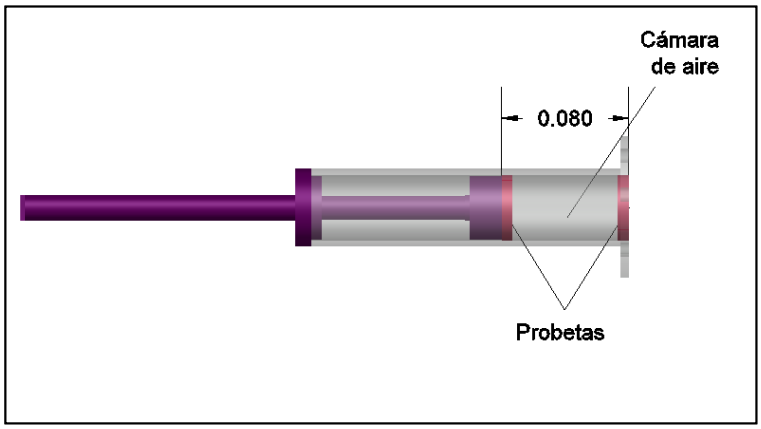


Fig. 20. Esquema del porta muestra montado
Fuente: Autor

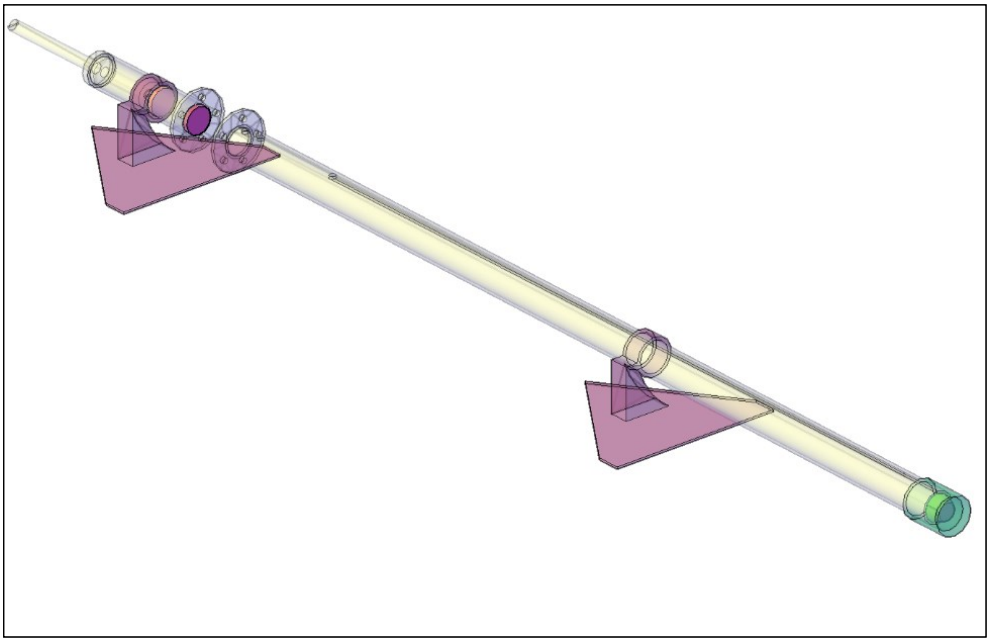


Fig. 21. Esquema del tubo de impedancia, montado
Fuente: Autor

Cámara reverberante

1. Tomar las dimensiones del recinto donde se realizará las mediciones
2. Calibrar la recepción del micrófono y con la salida de audio (chequear que no se sature la señal)
3. Medir la temperatura y humedad ambiental
4. Posicionar el micrófono y la fuente sonora
5. Utilizando el software libre REW multi generar y grabar el impulso emitido
6. Procesar la información

2.2.1.4 Medidas preliminares

Corrección por desajuste entre los canales de entrada de los micrófonos

Se realiza para minimizar el desajuste de amplitud y fase, para esto se requiere un material absorbente (en este caso se utilizó esponja de densidad 22.85 kg/m^3 y 5.17cm de espesor) el cual es colocado en la porta muestra, con los micrófonos posicionados en la configuración estándar medir la función de transferencia H_{12}^{I}. Repetir la medición cambiando la posición de los micrófonos (colocando 1 en 2 y 2 en 1) y asegurándose que los micrófonos se encuentren ocupando la posición exacta de la configuración anterior y medir la función de transferencia H_{12}^{II} (Ver Fig. 13)

A partir de estas mediciones se calcula el factor de calibración H_c con la siguiente ecuación

$$H_c = \left(\frac{H_{12}^{I}}{H_{12}^{II}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

H_c: factor de calibración

H_{12}^{I}: función de transferencia en la posición estándar o I

H_{12}^{II}: función de transferencia en la posición II

Para el ensayo: se inserta la muestra se mide la función de transferencia sin corregir y se la divide para el factor de corrección como se muestra en la ecuación:

$$H_{12} = \frac{\widehat{H}_{12}}{H_c}$$

H_{12}: función de transferencia corregida

$\widehat{H}_{12}$: función de transferencia sin corregir.

H_c: factor de calibración [36]

Procedimiento de prueba

Calcular la velocidad del sonido, longitud de onda y la impedancia característica como se detalla a continuación

$$c = 343.2 * (T/293)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

T: temperatura del aire, °K

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

λ: longitud de onda, m

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg

f: frecuencia de trabajo, Hertz

$$\rho = \rho o * \frac{pa * To}{po * T}$$

Donde:

T: temperatura del aire, °K

ρ: densidad del aire

pa= presión atmosférica, kPa

po =101.325kPa

ρo=1.186kg/m^3

To=293°K [41]

Termómetro y barómetro

Se debe medir y mantener constante la temperatura durante una medición con una tolerancia de ±1K, para esto se utilizó el termohigrómetro digital HTC-1

La presión atmosférica se debe medir con una tolerancia de ±0.5kPa, para esto se utilizó los softwares libres Barómetro Plus y Bar-o-Meter (apps para celular).

Tiempo de medición

El error sistemático se reducirá si el tiempo de medición es mayor que el tiempo de propagación

Se puede calcular de la siguiente forma

$$t \gg \frac{2 * (l + s)}{c}$$

Donde

t: tiempo de medición, seg

l: longitud medida desde la cara de la muestra al eje del micrófono más cercano, m

s: espaciamiento entre micrófonos, m

c: velocidad del sonido en el aire, m/seg [43]

CAPíTULO III.- **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

2.3 Análisis y discusión de los resultados

Luego de haber seguido la metodología descrita en el capítulo anterior y procesar la información obtenida, se presentan los resultados. Dichos resultados fueron obtenidos tras varias mediciones con el mismo material. Todas las medidas se realizaron utilizando la banda de frecuencias sonoras de un tercio de octava de banda (200-4000 Hz), descrita en la Tabla IV.

Para la validación del tubo de impedancia se utilizó el material Black Acoustic Board de 1 pulgada de espesor y 48kg/m3 de densidad de la marca Owens Corning Insulating Systems, Llc, ya que se trata de un material testeado que cuenta con los coeficientes de absorción en el 1/8 de banda de frecuencias, este material también fue utilizado para analizar la repetibilidad de las mediciones. Además, se realizaron mediciones tanto en el tubo de impedancia como en la cámara reverberante de los materiales esponja amarilla de densidad 26.5kg/m3 y esponja negra de densidad 16.9kg/m3 (comparación en la Tabla L y la Tabla LI)

Para el análisis de repetibilidad se realizaron dos mediciones consecutivas utilizando el mismo material (Black Acoustic Board) sin retirarlo de la porta muestra

Tabla XXVIII. Coeficiente de absorción del material Black Acoustic Board (repetibilidad)

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción	
	Medición 1	Medición 2
200	0.096	0.043
250	0.229	0.104
315	0.427	0.420
400	0.694	0.699
500	0.210	0.326
630	0.171	0.155
800	0.252	0.215
1000	0.611	0.625
1250	0.372	0.287
1600	0.909	0.895
2000	0.650	0.676
2500	0.293	0.388
3150	0.943	0.928
4000	0.849	0.832

Fuente: Autor

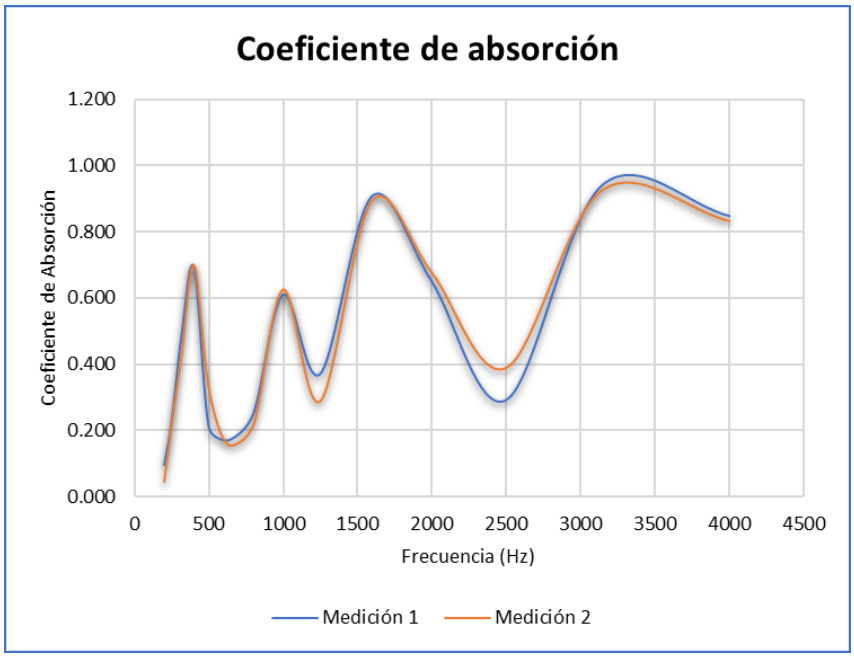


Fig. 22. Coeficiente de absorción del material Black Acoustic Board (repetibilidad)
Fuente: Autor

En la hoja de datos del producto Black Acoustic Board (Anexo III), se detalla que la muestra fue colocada contra un respaldo sólido, como una pared de bloque [63], por

lo que para simular un escenario similar se colocó el material de una pulgada de espesor y de respaldo una placa de yeso de 7mm de espesor (densidad 1103.7kg/m3).

Tabla XXIX. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm

Black Acoustic Board+ Yeso 7mm					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.203	0.077	-0.600	0.211	1.640
250	0.152	0.112	-1.306	0.065	0.760
315	0.251	0.063	-0.367	0.458	2.647
400	0.199	0.087	-0.749	0.153	1.318
500	0.699	0.400	-0.573	0.818	1.173
630	0.518	0.253	-0.619	0.565	1.383
800	0.579	0.187	-0.795	0.281	1.192
1000	0.838	2.309	-0.269	0.427	0.050
1250	0.946	0.845	-0.409	0.958	0.464
1600	0.473	0.285	-0.871	0.339	1.037
2000	0.853	0.522	-0.362	1.294	0.896
2500	0.894	0.811	-0.592	0.805	0.588
3150	0.827	0.931	-0.879	0.568	0.536
4000	0.896	0.802	-0.577	0.821	0.591

Fuente: Autor

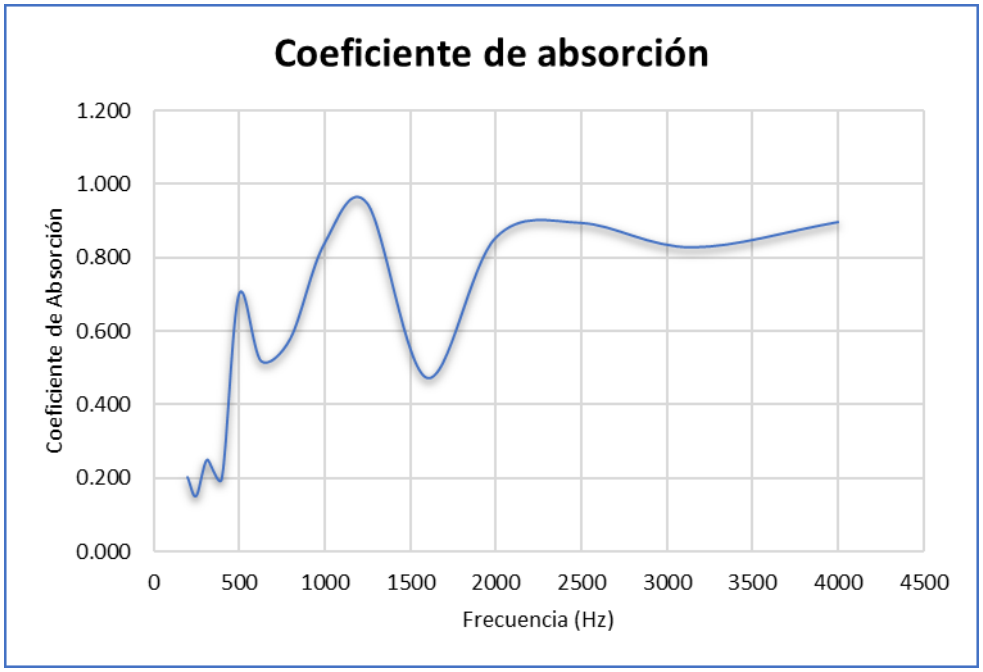


Fig. 23. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 23 se observa que a partir de los 500Hz el coeficiente de absorción va incrementando, exceptuando la frecuencia de 1600Hz donde desciende a 0.47

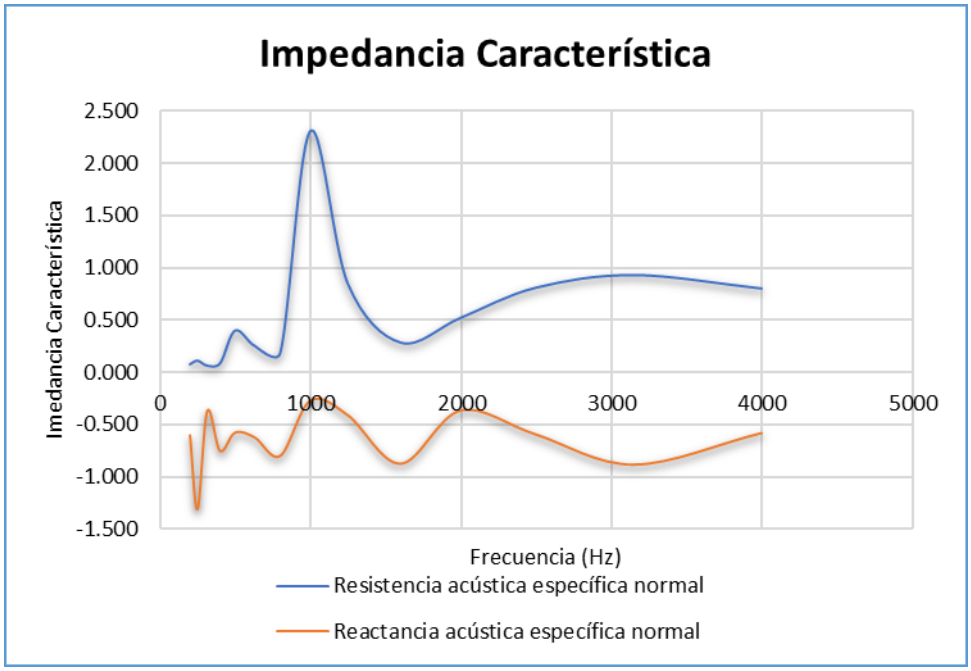


Fig. 24. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm
Fuente: Autor

Evaluando la Fig. 24 se aprecia un pico en la resistencia acústica a los 1000Hz; siendo en el resto de las frecuencias de trabajo menor a 1; mientras que en la reactancia el pico se presenta a los 250Hz

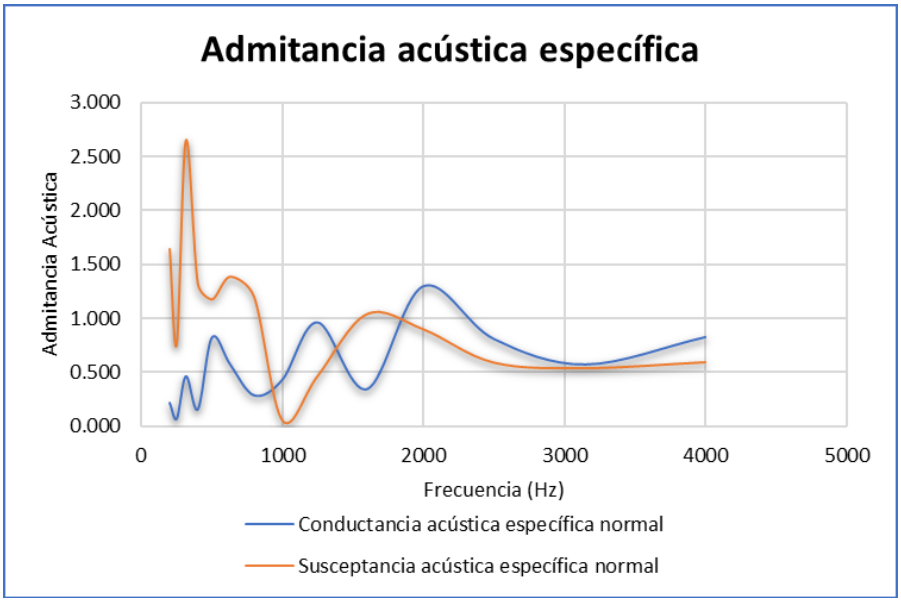


Fig. 25. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board con una placa de yeso de 7mm
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 25 se observa que la susceptancia acústica más elevada se encuentra en el rango de 200-800Hz y a partir de los 2500Hz se mantiene prácticamente sin variación tanto la conductancia como la susceptancia.

Tabla XXX. Comparación del coeficiente de absorción obtenido en mediciones y el dado por las especificaciones del producto

Coeficiente de absorción			
Frecuencia (Hz)	**Black Acoustic Board+ Yeso 7mm (medido)**	**Black Acoustic Board (especificaciones del producto)**	**Discrepancia**
250	0.183	0.250	0.067
500	0.683	0.620	0.063
1000	0.838	0.910	0.072
2000	0.853	0.990	0.137
4000	0.984	0.980	0.004

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la Tabla XXX, los resultados obtenidos en las mediciones por los equipos utilizados en la realización de este proyecto son casi idénticos a los valores presentados en la hoja de especificaciones de Black Acoustic Board.

A continuación, se presentan las tablas y gráficos obtenidos de las mediciones de las paredes compuestas por dos placas de 5 y 7mm de espesor respectivamente.

Tabla XXXI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a

0% Fibra Código 1-0-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.010	0.003	-0.492	0.013	2.031
250	0.013	0.003	-0.169	0.117	5.923
315	0.027	0.007	-0.226	0.138	4.415
400	0.296	0.070	-0.298	0.752	3.180
500	0.299	0.101	-0.382	0.648	2.443
630	0.378	0.163	-0.609	0.410	1.534
800	0.371	0.155	-0.576	0.435	1.619
1000	0.497	0.330	-0.941	0.332	0.946
1250	0.463	0.472	-1.383	0.221	0.648
1600	0.438	0.150	-0.214	2.193	3.134
2000	0.352	0.371	-1.955	0.094	0.494
2500	0.613	0.429	-0.871	0.455	0.924
3150	0.236	0.073	-0.617	0.190	1.598
4000	0.501	1.950	-2.619	0.183	0.246

Fuente: Autor

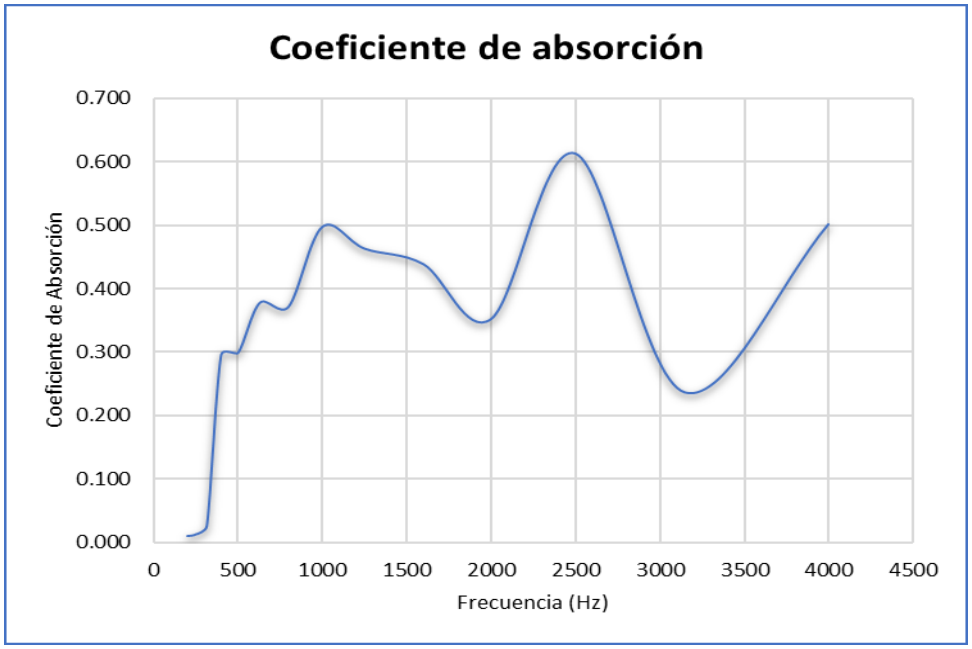


Fig. 26. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 26 se observa que en esta composición se obtuvieron coeficientes de absorción menores a 0.5, exceptuando los 2500Hz donde es de 0.61

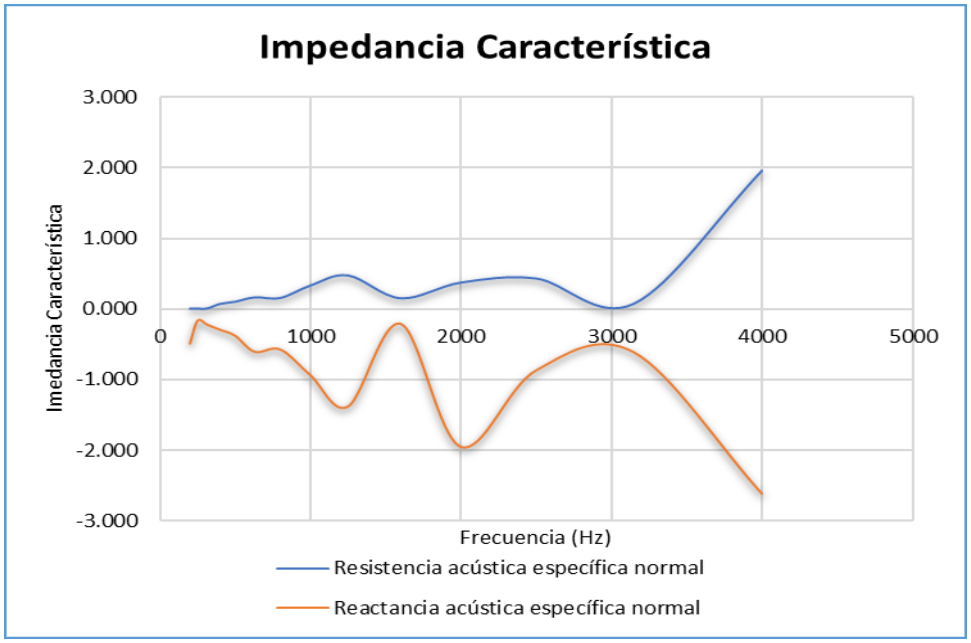


Fig. 27. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 27 se evidencia que la resistencia y reactancia más elevada se da a los 4000 Hz

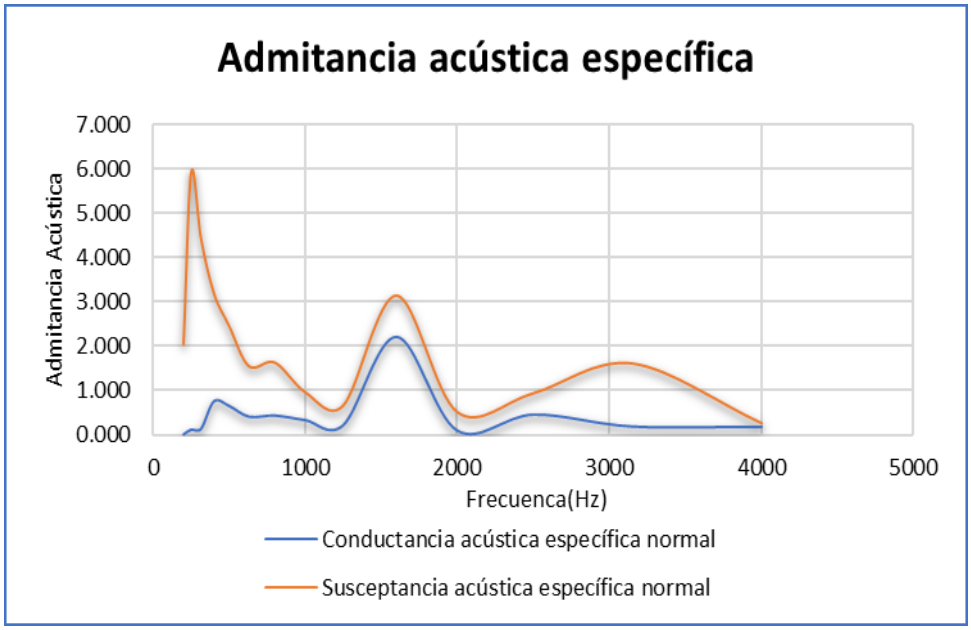


Fig. 28. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1a
Fuente: Autor

En la Fig. 28 se aprecia que la susceptancia acústica en el rango de 2000-4000Hz presenta una variación en su valor (ascenso y descenso), mientras que la conductancia en el mismo rango se mantiene prácticamente constante

Tabla XXXII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b

0% Fibra Código 2-0-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.041	0.013	-0.511	0.050	1.956
250	0.232	0.053	-0.139	2.405	6.290
315	0.041	0.011	-0.355	0.090	2.813
400	0.324	0.107	-0.305	1.021	2.918
500	0.309	0.099	-0.269	1.207	3.275
630	0.570	0.256	-0.468	0.900	1.645
800	0.445	0.139	-0.711	0.264	1.354
1000	0.468	0.295	-0.917	0.318	0.988
1250	0.491	0.674	-1.640	0.215	0.522
1600	0.341	0.105	-0.117	4.251	4.722
2000	0.329	0.145	-0.674	0.306	1.418
2500	0.655	0.387	-0.663	0.657	1.125
3150	0.216	0.063	-0.542	0.212	1.820
4000	0.700	0.455	-0.695	0.659	1.008

Fuente: Autor

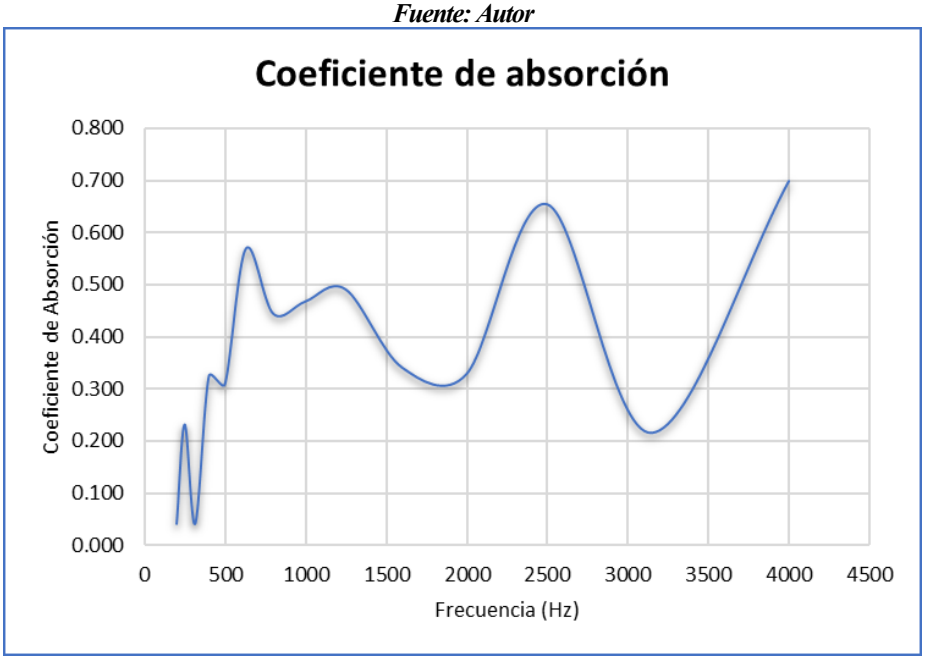


Fig. 29. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b
Fuente: Autor

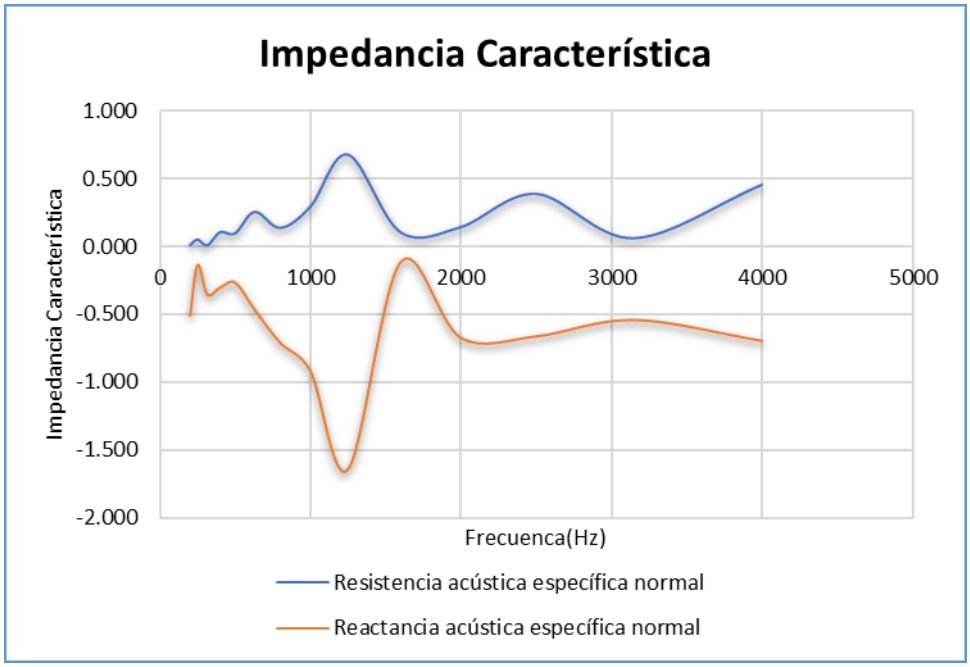


Fig. 30. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b
Fuente: Autor

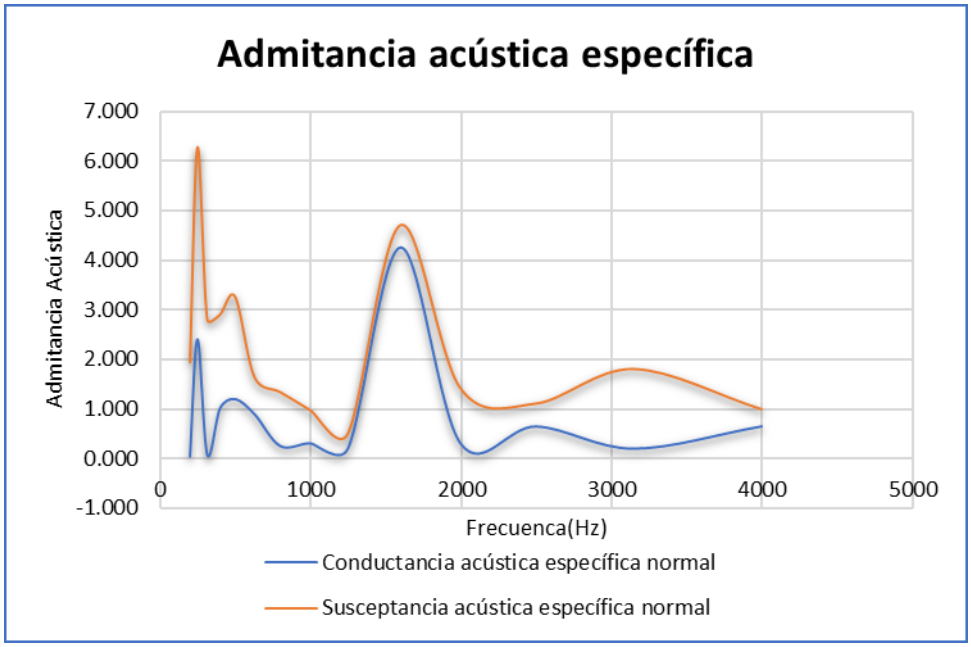


Fig. 31. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 1b
Fuente: Autor

Tabla XXXIII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a

25% Fibra Código 1-25-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.104	0.025	-0.133	1.370	7.242
250	0.128	0.035	-0.171	1.163	5.623
315	0.382	0.085	-0.235	1.361	3.757
400	0.327	0.659	-2.820	0.079	0.336
500	0.261	0.065	-0.348	0.520	2.780
630	0.415	0.165	-0.481	0.637	1.860
800	0.427	0.132	-0.698	0.262	1.382
1000	0.551	0.411	-0.999	0.353	0.856
1250	0.633	1.161	-1.633	0.289	0.407
1600	0.229	3.786	-7.642	0.052	0.105
2000	0.366	0.315	-1.724	0.103	0.561
2500	0.433	0.215	-0.715	0.386	1.283
3150	0.654	0.496	-0.891	0.477	0.857
4000	0.532	0.331	-0.845	0.402	1.026

Fuente: Autor

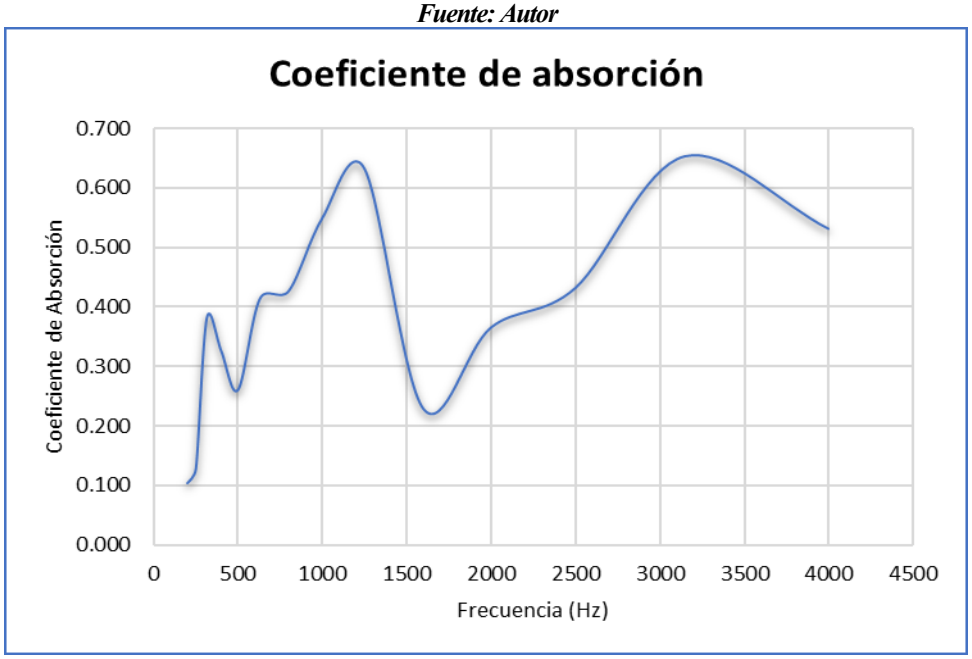


Fig. 32. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a
Fuente: Autor

Se puede observar un incremento en el coeficiente de absorción comparado con la pared compuesta anterior

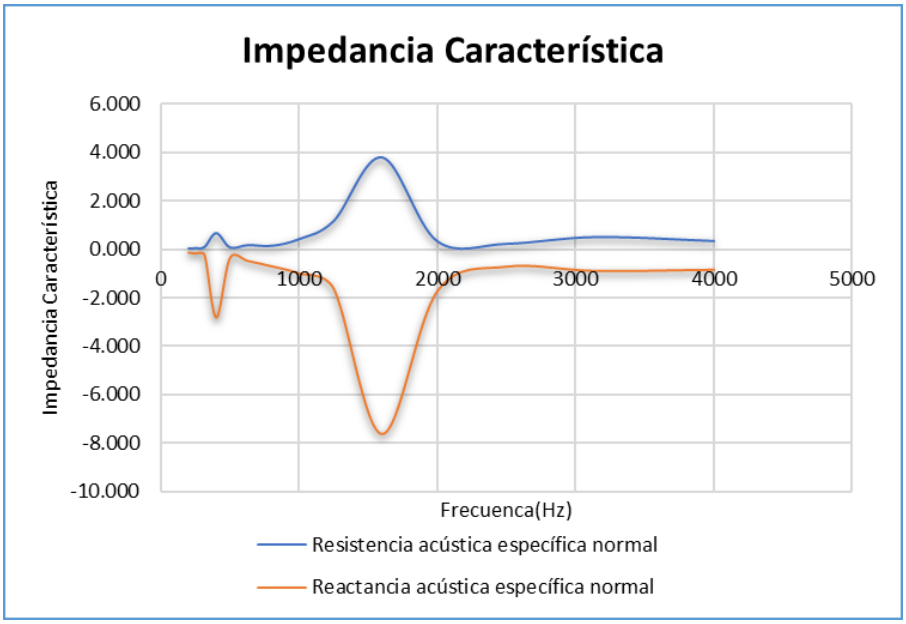


Fig. 33. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 33 se observa que la resistencia y reactancia más elevada se da a los 1600Hz, y en las frecuencias posteriores se mantienen casi sin variación

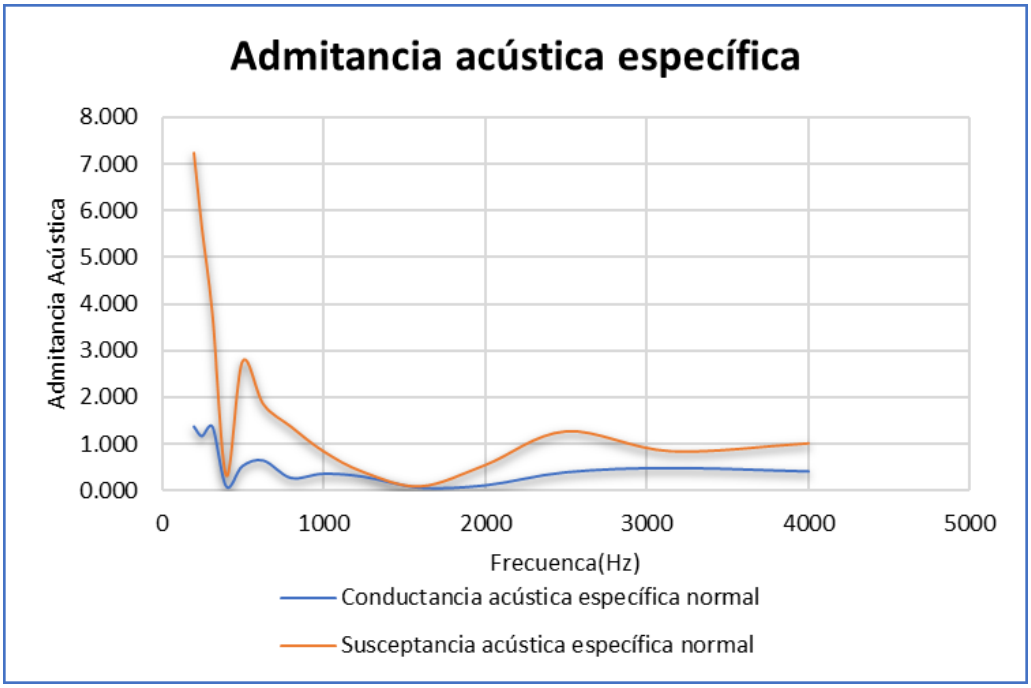


Fig. 34. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2a
Fuente: Autor

En la Fig. 34 se evidencia que la conductancia y susceptancia acústica más elevada se encuentra a los 200Hz, y en las frecuencias posteriores a 2000Hz se mantienen casi sin variación

Tabla XXXIV. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b

25% Fibra Código 2-25-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.034	0.008	-0.130	0.501	7.670
250	0.252	0.057	-0.151	2.202	5.795
315	0.472	0.194	-0.999	0.187	0.964
400	0.321	1.094	-3.038	0.105	0.291
500	0.375	0.138	-0.421	0.705	2.146
630	0.420	0.108	-0.485	0.438	1.965
800	0.458	0.129	-0.610	0.333	1.568
1000	0.481	0.372	-1.101	0.275	0.815
1250	0.462	1.169	-2.329	0.172	0.343
1600	0.176	2.050	-6.751	0.041	0.136
2000	0.471	0.276	-1.349	0.146	0.711
2500	0.415	0.126	-0.672	0.270	1.438
3150	0.790	0.446	-1.398	0.207	0.649
4000	0.608	0.332	-1.319	0.180	0.713

Fuente: Autor

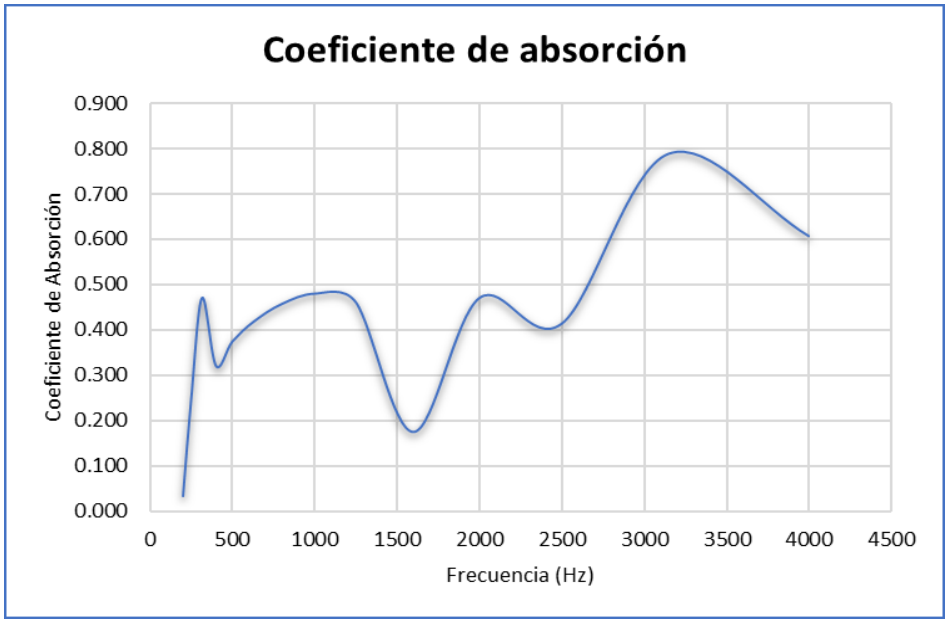


Fig. 35. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b
Fuente: Autor

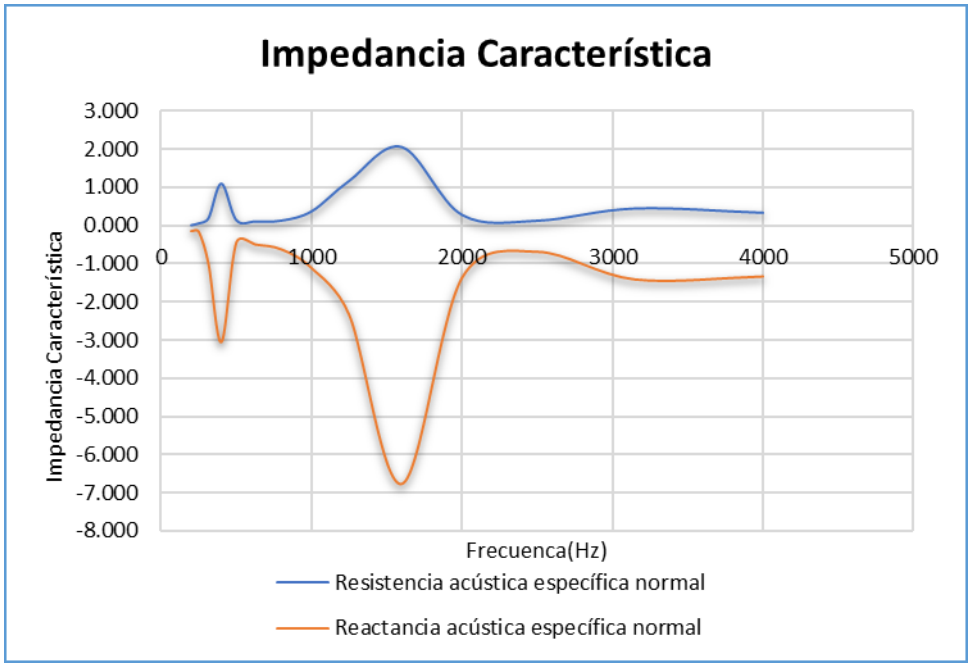


Fig. 36. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b
Fuente: Autor

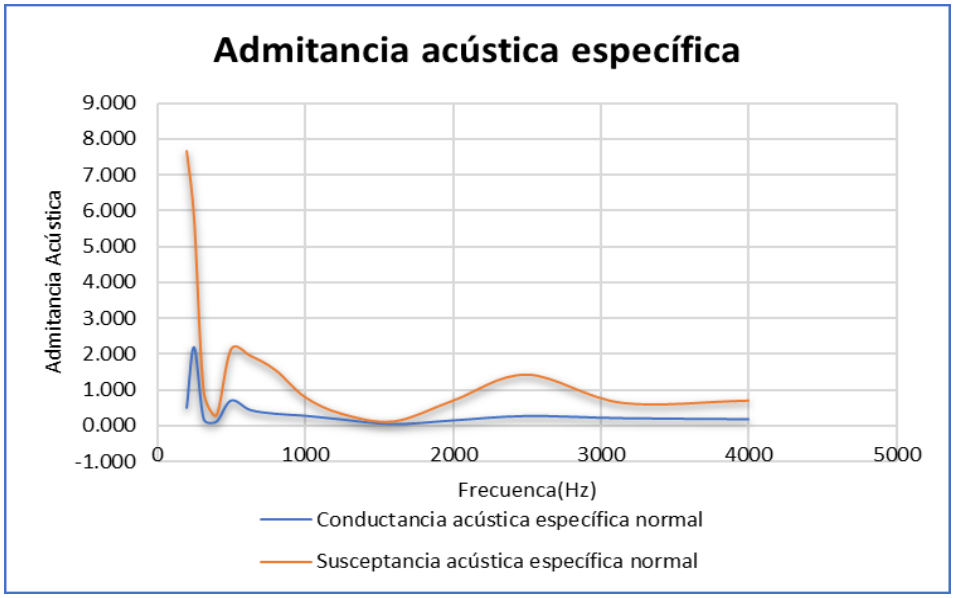


Fig. 37. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 2b
Fuente: Autor

Tabla XXXV. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a

50% Fibra Código 1-50-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.401	0.095	-0.358	0.692	2.609
250	0.432	0.224	-0.759	0.357	1.212
315	0.143	0.041	-0.227	0.761	4.265
400	0.511	0.193	-0.290	1.588	2.393
500	0.482	0.433	-1.243	0.250	0.718
630	0.407	0.183	-1.064	0.157	0.913
800	0.388	0.189	-0.729	0.332	1.285
1000	0.481	0.313	-0.936	0.321	0.961
1250	0.385	0.137	-0.364	0.905	2.404
1600	0.205	0.048	-0.165	1.611	5.577
2000	0.526	0.662	-1.509	0.244	0.556
2500	0.736	0.496	-0.676	0.705	0.961
3150	0.427	0.557	-1.671	0.180	0.539
4000	0.922	0.799	-0.478	0.921	0.551

Fuente: Autor

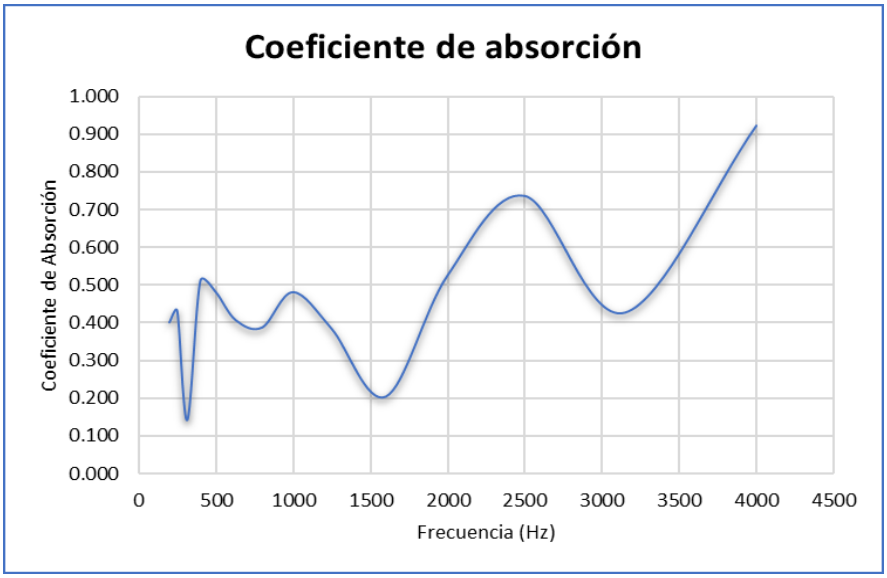


Fig. 38. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 3a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 38, el coeficiente de absorción más elevado se encuentra en el rango de 2000-4000Hz, aunque se produce un descenso en los 3150Hz

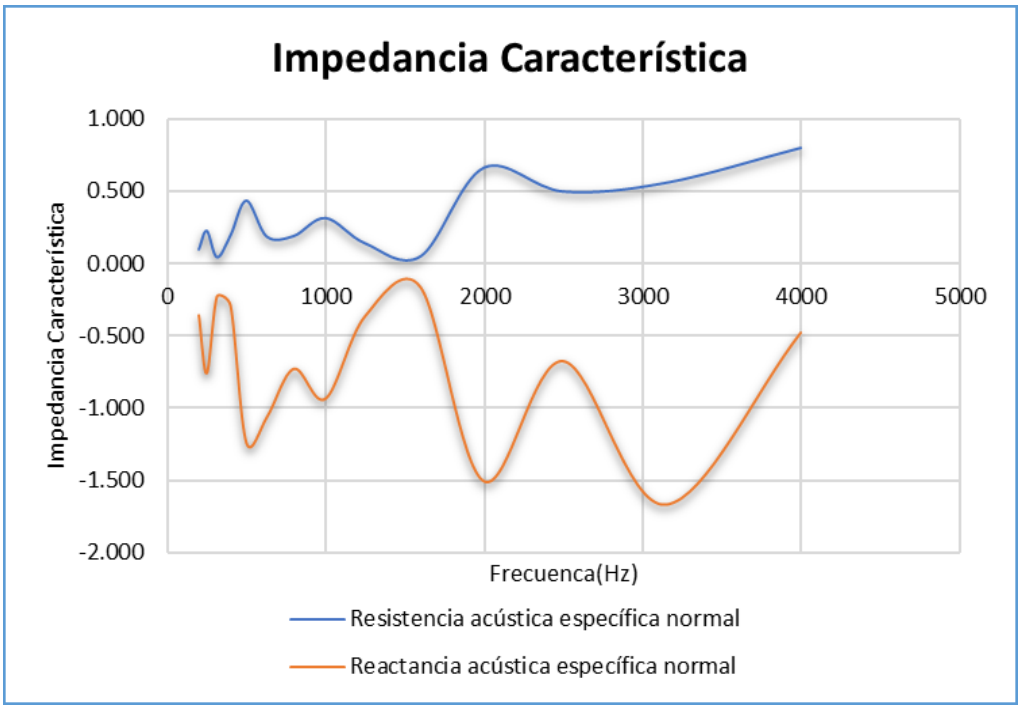


Fig. 39. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 39, se evidencia que la resistencia y reactancia se presentas cambios en todas las frecuencias de trabajo

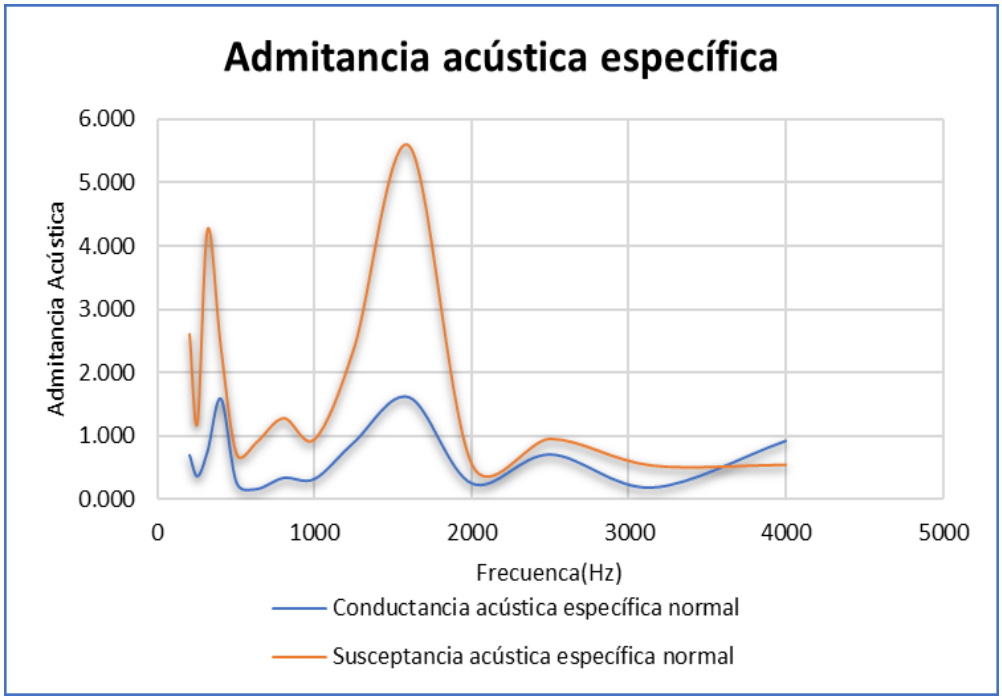


Fig. 40. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3a
Fuente: Autor

En la Fig. 40 se evidencia que la conductancia y susceptancia acústica más elevada se encuentra a los 1600Hz, y en las frecuencias posteriores a 2000Hz se mantienen casi sin variación

Tabla XXXVI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b

50% Fibra Código 2-50-5					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.261	0.075	-0.541	0.251	1.814
250	0.462	0.269	-0.848	0.340	1.071
315	0.228	0.068	-0.219	1.286	4.168
400	0.509	0.208	-0.419	0.951	1.916
500	0.506	0.358	-0.993	0.322	0.891
630	0.427	0.241	-0.848	0.310	1.091
800	0.460	0.259	-0.814	0.354	1.116
1000	0.420	0.299	-1.077	0.239	0.863
1250	0.478	0.128	-0.562	0.387	1.692
1600	0.152	0.042	-0.149	1.768	6.231
2000	0.557	0.877	-1.667	0.247	0.470
2500	0.912	0.230	-0.645	0.490	1.375
3150	0.619	0.675	-1.248	0.335	0.620
4000	0.962	0.923	-0.376	0.929	0.379

Fuente: Autor

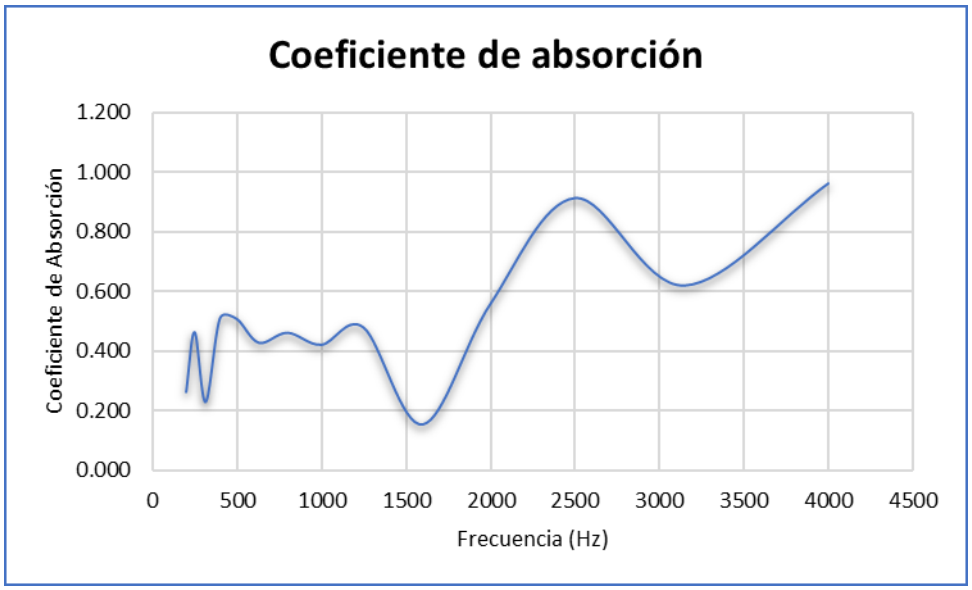


Fig. 41. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 3b
Fuente: Autor

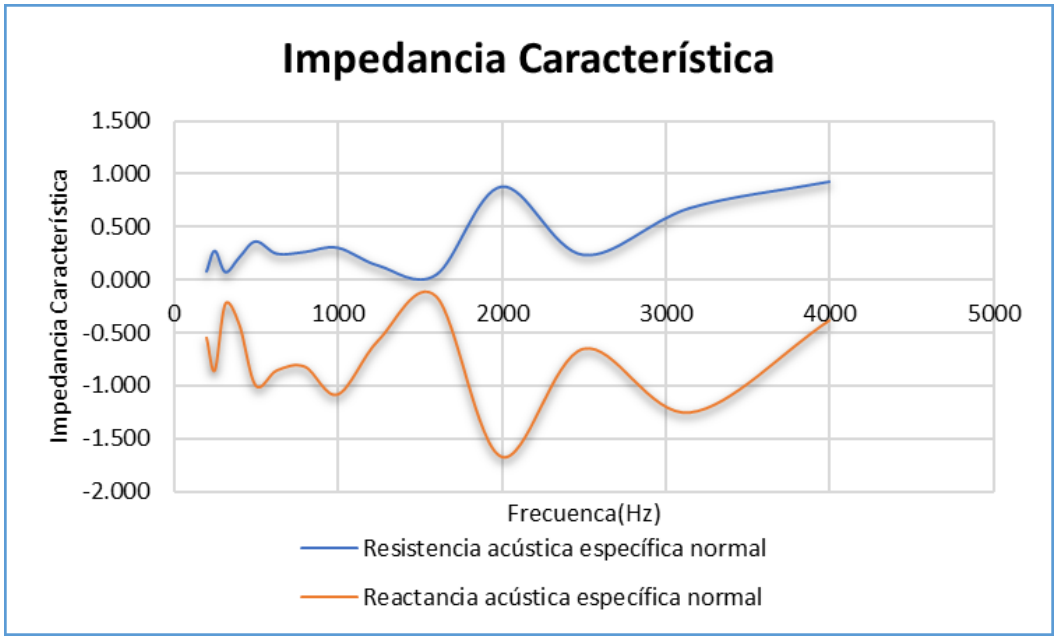


Fig. 42. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b
Fuente: Autor

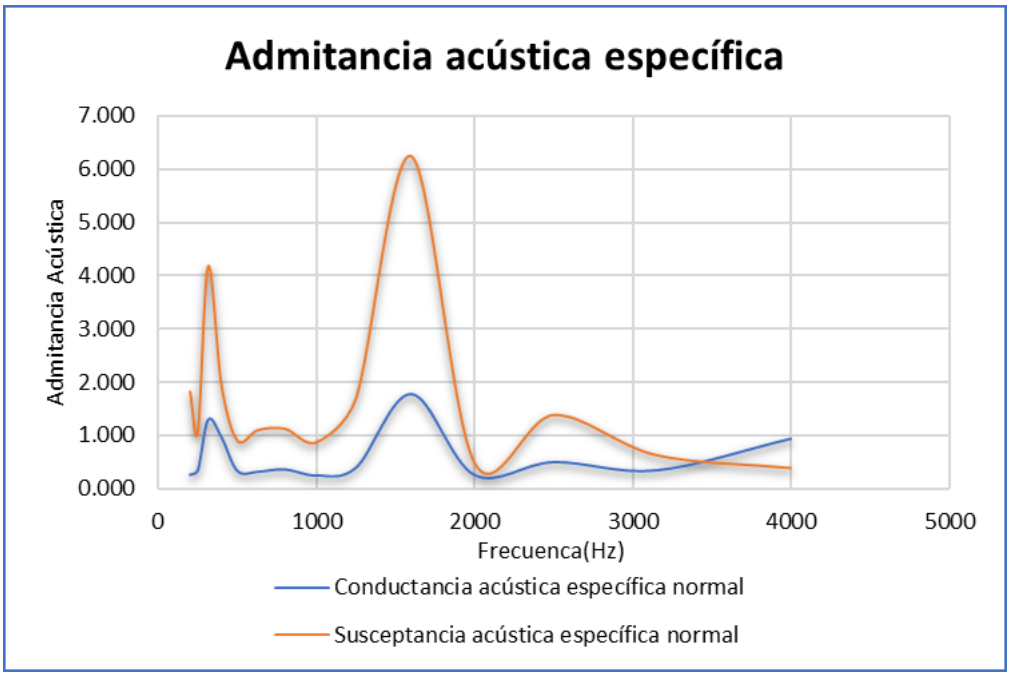


Fig. 43. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 5mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 3b
Fuente: Autor

Tabla XXXVII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a

0% Fibra Código 1-0-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.293	0.065	-0.137	2.828	5.943
250	0.256	0.195	-1.275	0.117	0.766
315	0.114	0.031	-0.366	0.226	2.712
400	0.589	0.128	-0.329	1.027	2.640
500	0.587	0.273	-0.490	0.868	1.557
630	0.464	0.191	-0.480	0.717	1.799
800	0.132	0.051	-0.663	0.115	1.499
1000	0.634	0.419	-0.793	0.521	0.985
1250	0.296	0.245	-1.325	0.135	0.730
1600	0.209	0.064	-0.310	0.641	3.094
2000	0.503	0.185	-0.266	1.762	2.529
2500	0.670	0.630	-1.050	0.420	0.700
3150	0.365	0.328	-1.351	0.170	0.699
4000	0.398	0.539	-1.745	0.162	0.523

Fuente: Autor

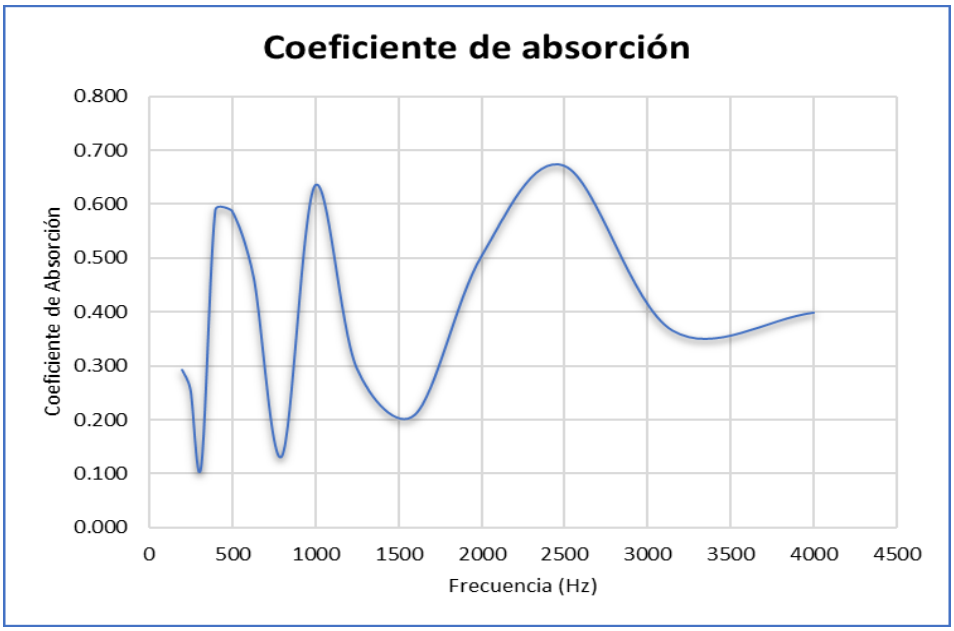


Fig. 44. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a
Fuente: Autor

En la Fig. 44 se observan variaciones del coeficiente de absorción en toda la frecuencia de trabajo; presentándose el máximo valor a los 2500Hz con un coeficiente de absorción de 0.67

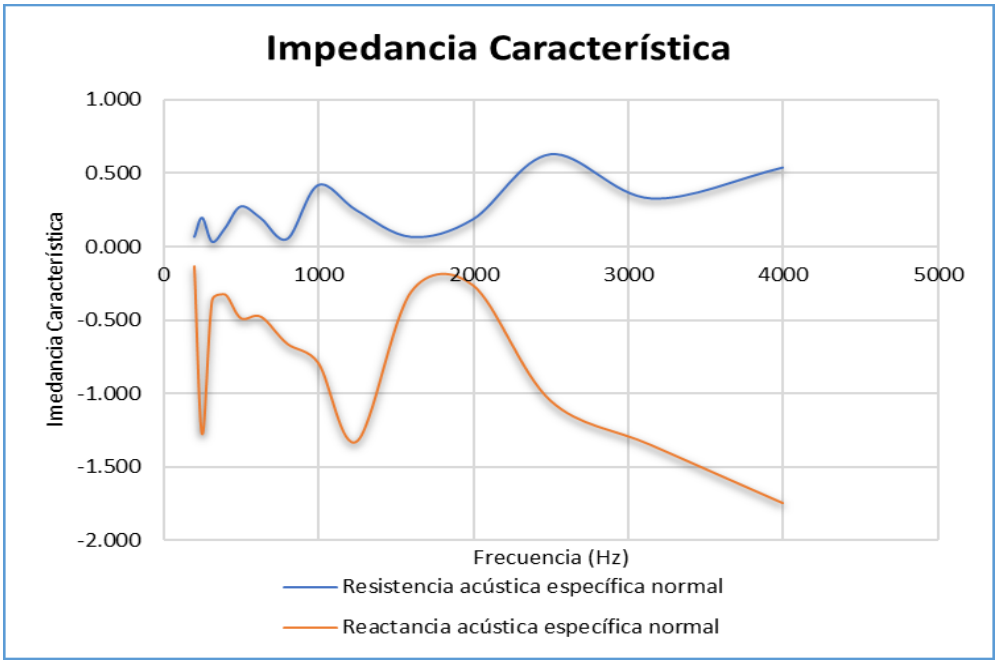


Fig. 45. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 45, se observan cambios en la resistencia y reactancia en todas las frecuencias de trabajo

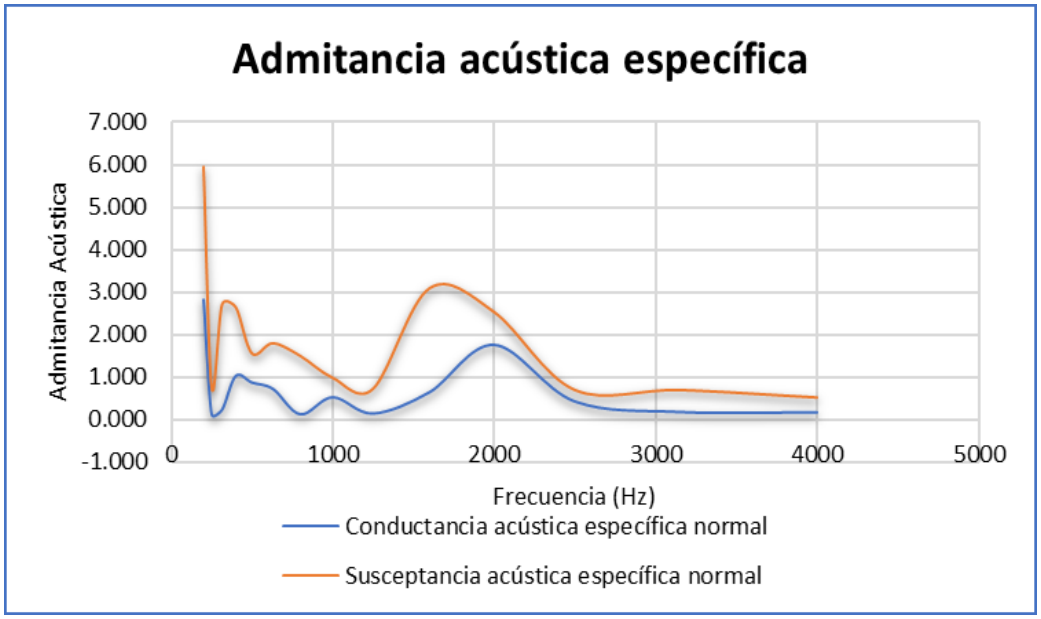


Fig. 46. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 46, se observa que la conductancia y susceptancia acústica más elevada se encuentra a los 200Hz, y en las frecuencias posteriores a 2500Hz se mantienen casi sin variación

Tabla XXXVIII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b

0% Fibra Código 2-0-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.295	0.066	-0.150	2.466	5.595
250	0.248	0.151	-1.307	0.087	0.755
315	0.165	0.040	-0.210	0.873	4.599
400	0.406	0.153	-0.425	0.753	2.083
500	0.423	0.155	-0.361	1.003	2.341
630	0.456	0.214	-0.634	0.478	1.416
800	0.172	0.068	-0.671	0.150	1.474
1000	0.620	0.476	-0.945	0.425	0.844
1250	0.385	0.189	-1.144	0.141	0.851
1600	0.215	0.067	-0.330	0.592	2.911
2000	0.526	0.189	-0.146	3.308	2.564
2500	0.599	0.448	-0.947	0.409	0.863
3150	0.393	0.276	-1.085	0.220	0.866
4000	0.249	0.527	-2.873	0.062	0.337

Fuente: Autor

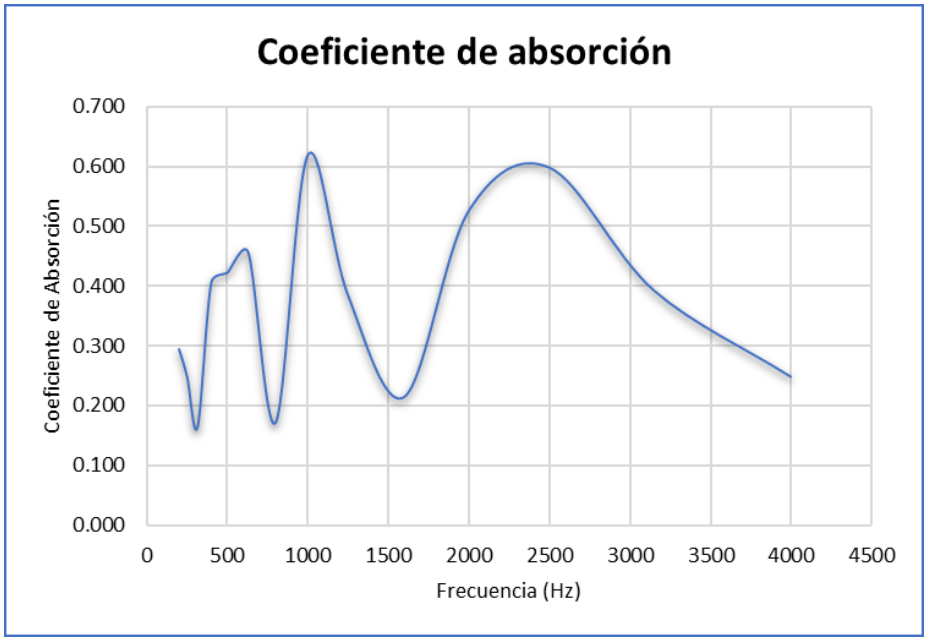


Fig. 47. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b
Fuente: Autor

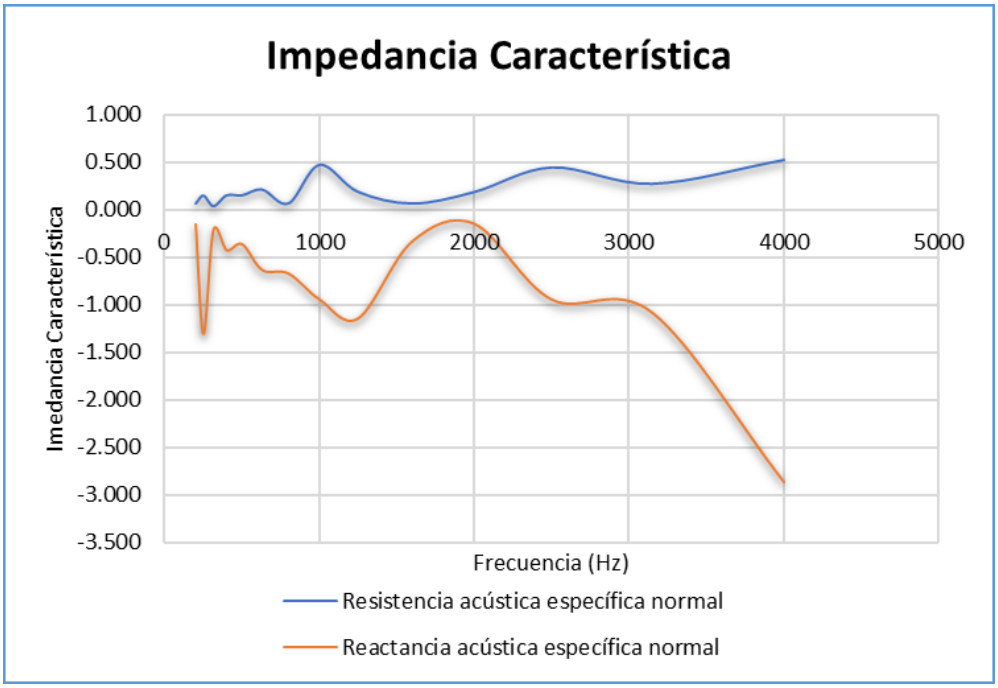


Fig. 48. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b
Fuente: Autor

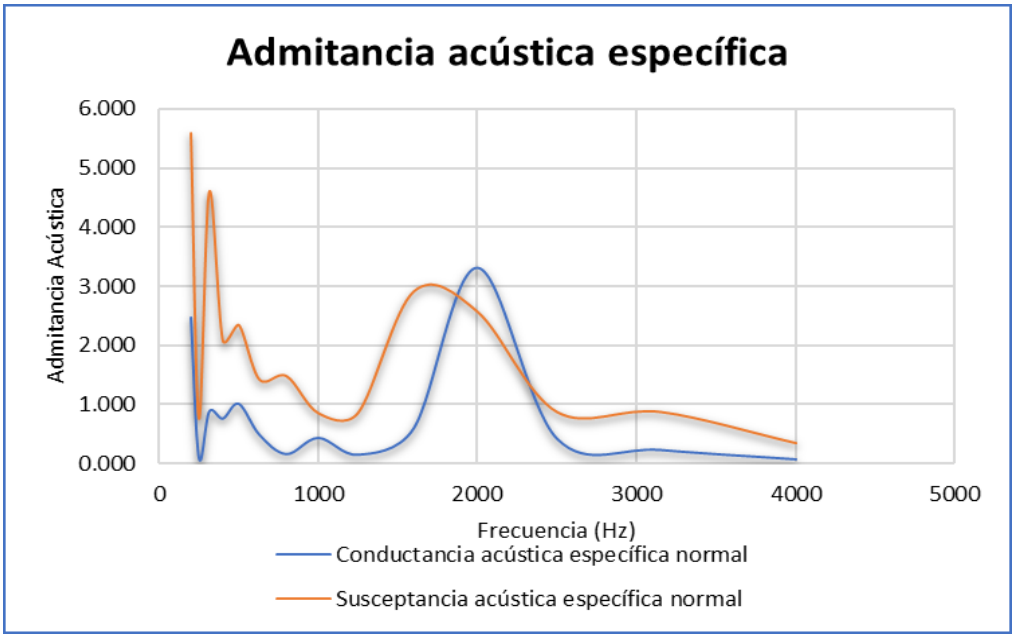


Fig. 49. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (100% plástico + 0% fibra) de coco. Composición 4b
Fuente: Autor

Tabla XXXIX. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a

25% Fibra Código 1-25-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.147	0.068	-0.844	0.095	1.177
250	0.282	0.064	-0.185	1.668	4.820
315	0.347	0.171	-0.777	0.271	1.228
400	0.460	0.598	-2.246	0.111	0.416
500	0.603	0.430	-0.897	0.434	0.907
630	0.318	0.115	-0.452	0.529	2.080
800	0.452	0.252	-0.813	0.347	1.122
1000	0.504	0.408	-1.122	0.286	0.787
1250	0.275	0.231	-1.359	0.121	0.715
1600	0.529	0.193	-0.190	2.633	2.594
2000	0.799	1.105	-1.051	0.475	0.452
2500	0.674	0.181	-0.637	0.413	1.452
3150	0.504	0.545	-1.392	0.244	0.623
4000	0.487	0.746	-2.462	0.113	0.372

Fuente: Autor

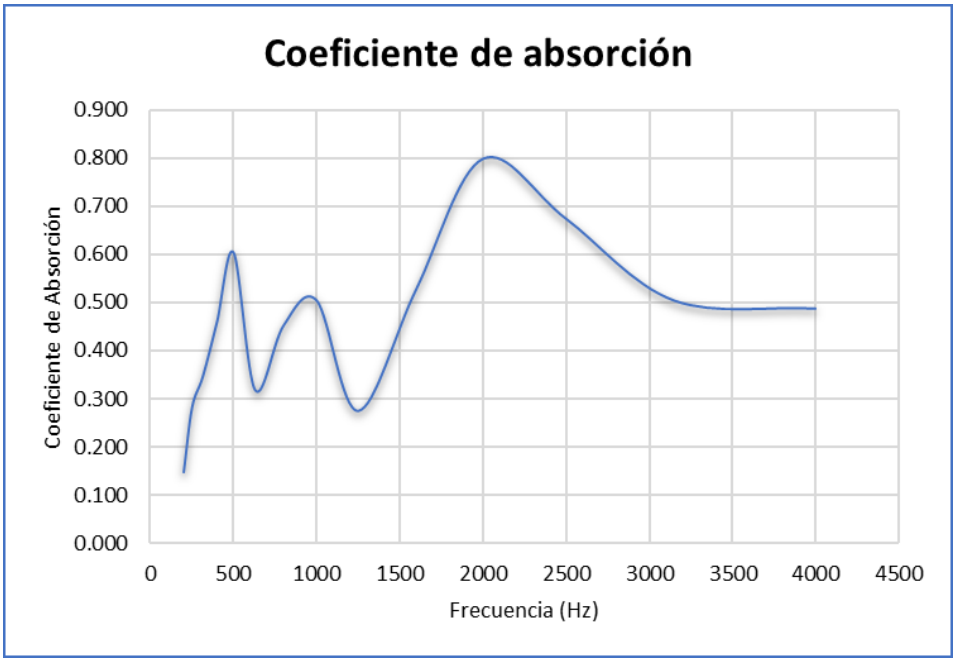


Fig. 50. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a
Fuente: Autor

En la Fig. 50, se puede apreciar que el coeficiente de absorción más elevado se encuentra a los 2000Hz siendo este 0.79

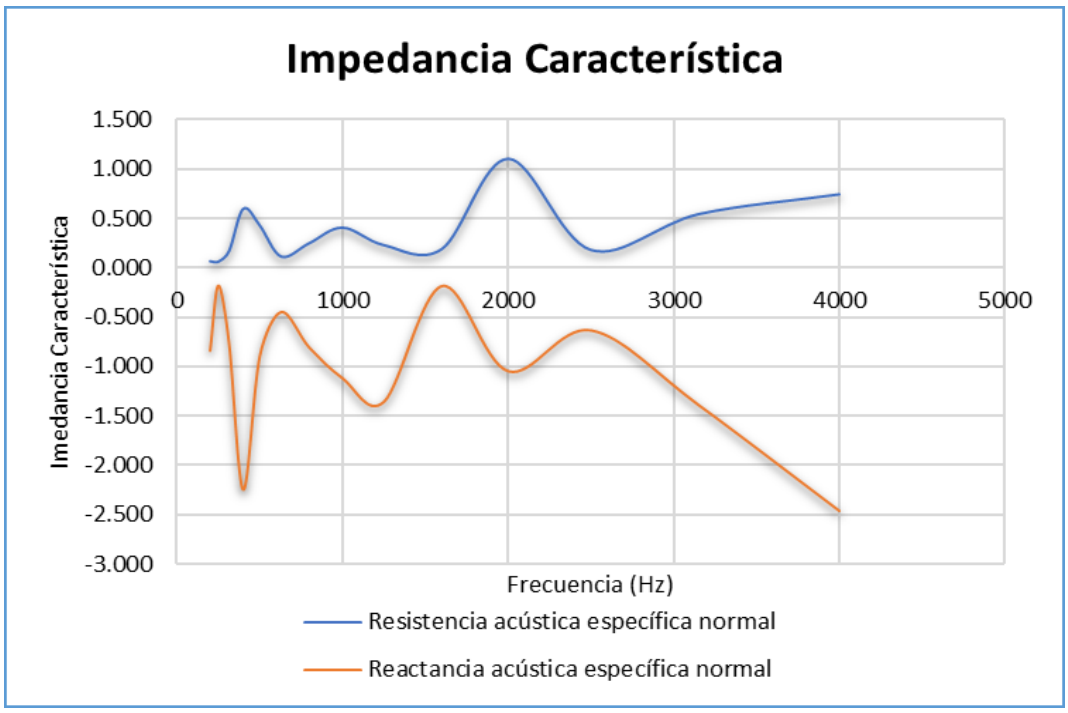


Fig. 51. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a
Fuente: Autor

Se observa en la Fig. 51

Fig. 51 cambios en la resistencia y reactancia en todas las frecuencias de trabajo, presentándose la máxima resistencia a los 2000Hz y la máxima reactancia a los 4000Hz

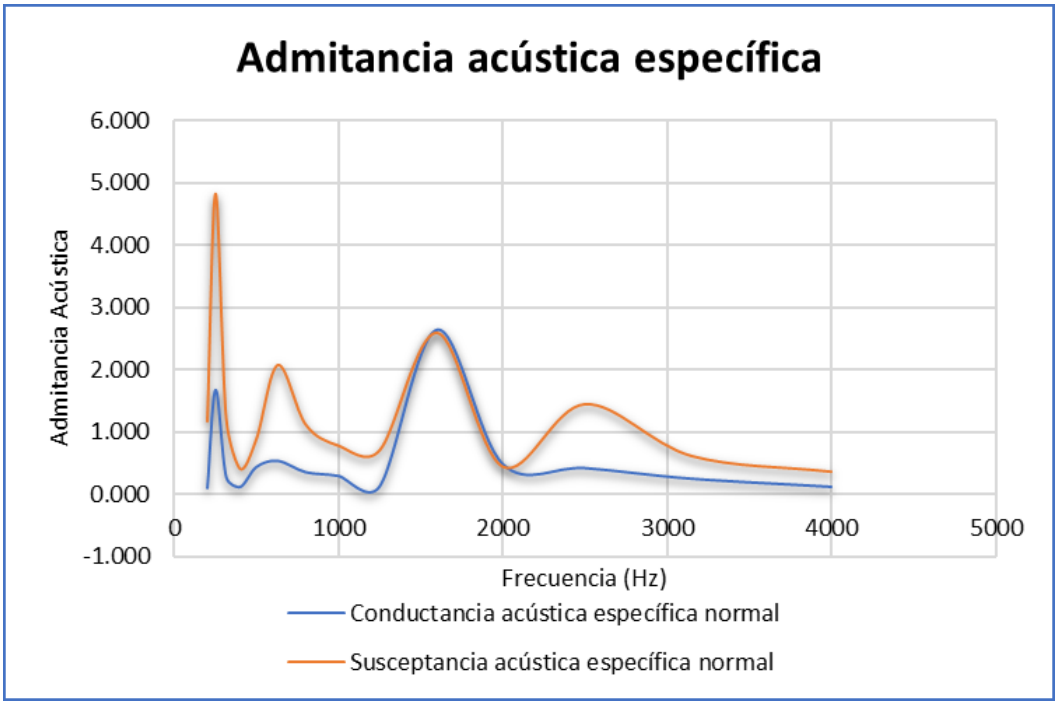


Fig. 52. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5a
Fuente: Autor

La Fig. 52 muestra que la conductancia máxima se presenta a 250Hz y la susceptancia máxima a 1600Hz, y en las frecuencias posteriores a 2500Hz se mantienen casi sin variación

Tabla XL. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b

25% Fibra Código 2-25-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.257	0.073	-0.534	0.252	1.837
250	0.244	0.072	-0.177	1.979	4.854
315	0.298	0.088	-0.586	0.249	1.669
400	0.441	0.737	-2.572	0.103	0.359
500	0.677	0.521	-0.875	0.502	0.843
630	0.386	0.100	-0.479	0.419	2.000
800	0.512	0.300	-0.809	0.403	1.087
1000	0.503	0.339	-0.950	0.333	0.934
1250	0.166	0.159	-1.762	0.051	0.563
1600	0.563	0.115	-0.180	2.511	3.943
2000	0.772	0.840	-0.985	0.502	0.588
2500	0.677	0.395	-0.623	0.727	1.145
3150	0.443	0.486	-1.477	0.201	0.611
4000	0.604	1.049	-2.636	0.130	0.328

Fuente: Autor

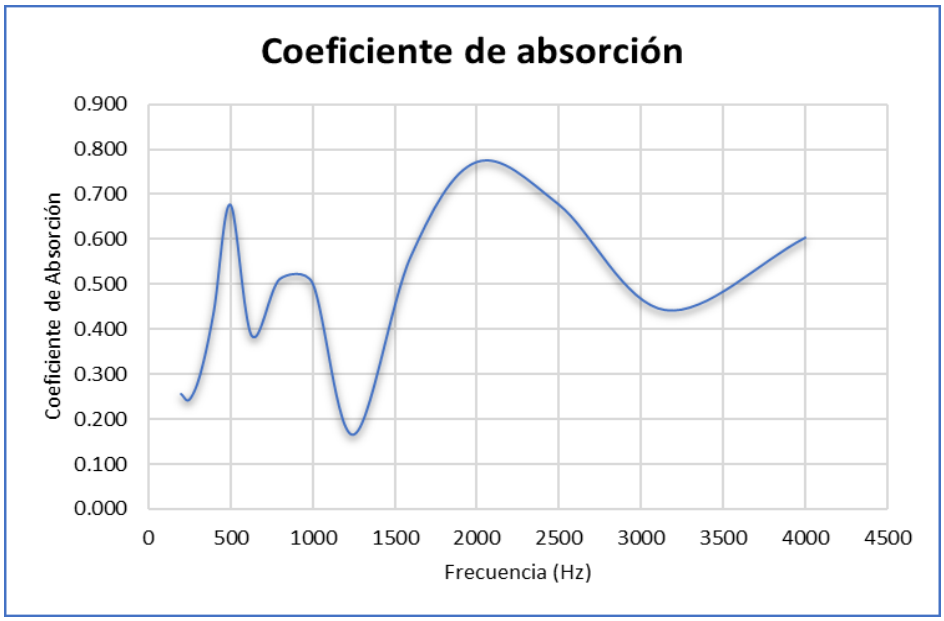


Fig. 53. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b
Fuente: Autor

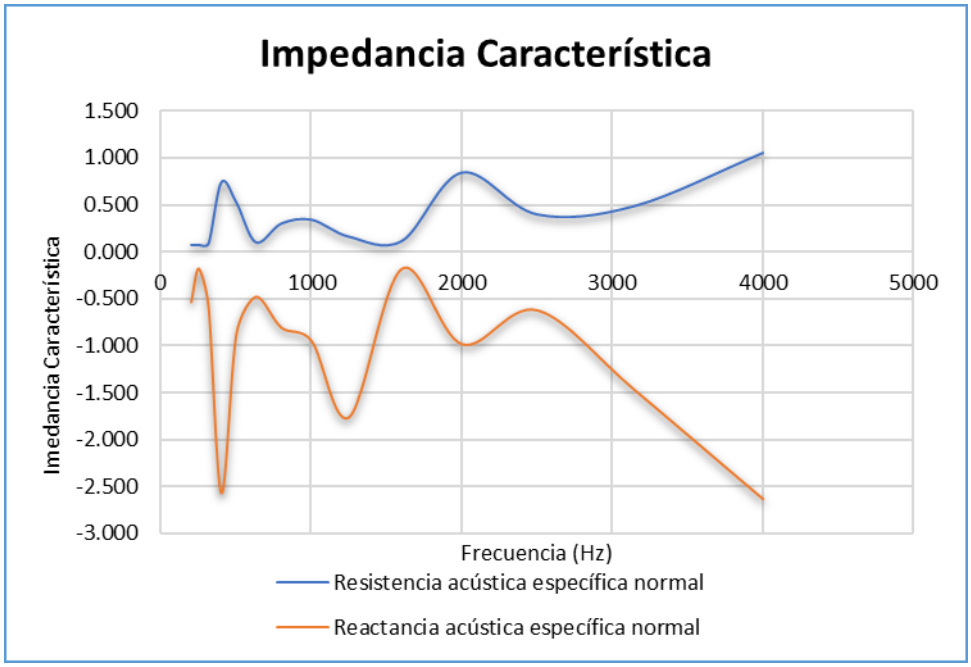


Fig. 54. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco.
Composición 5b
Fuente: Autor

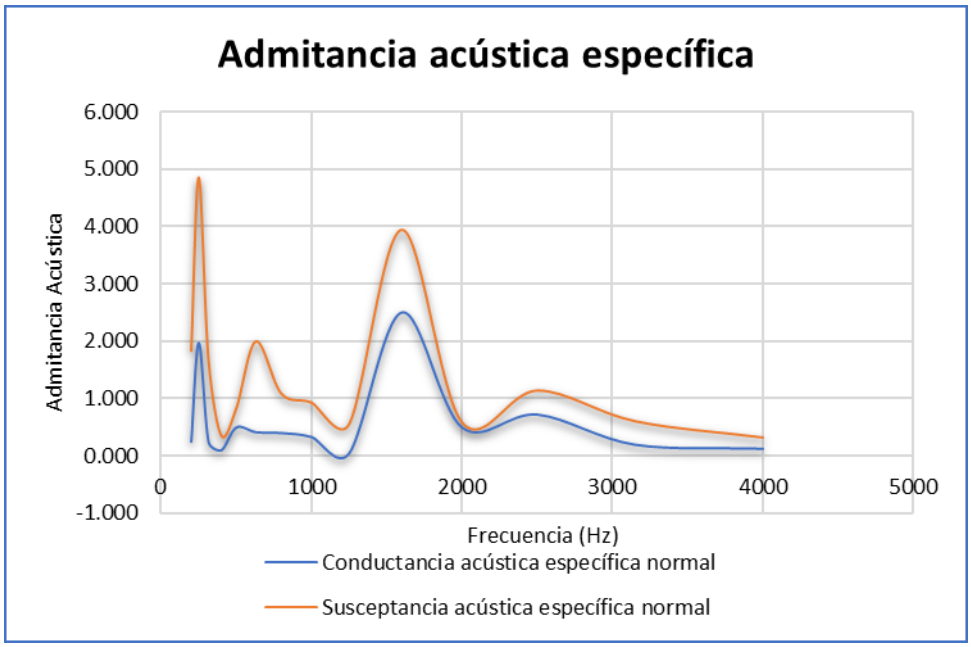


Fig. 55. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (75% plástico + 25% fibra) de coco. Composición 5b
Fuente: Autor

Tabla XLI. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a

50% Fibra Código 1-50-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.492	1.394	-2.369	0.184	0.314
250	0.554	0.570	-1.286	0.288	0.650
315	0.580	1.494	-2.021	0.236	0.320
400	0.573	0.391	-0.891	0.413	0.941
500	0.521	0.187	-0.167	2.979	2.651
630	0.641	0.132	-0.261	1.542	3.054
800	0.463	0.261	-0.817	0.355	1.111
1000	0.478	0.163	-0.817	0.235	1.176
1250	0.776	0.171	-0.442	0.762	1.968
1600	0.230	0.067	-0.160	2.225	5.317
2000	0.566	0.128	-0.384	0.782	2.341
2500	0.679	0.457	-0.755	0.587	0.969
3150	0.542	0.738	-1.557	0.249	0.524
4000	0.557	0.743	-2.294	0.128	0.395

Fuente: Autor

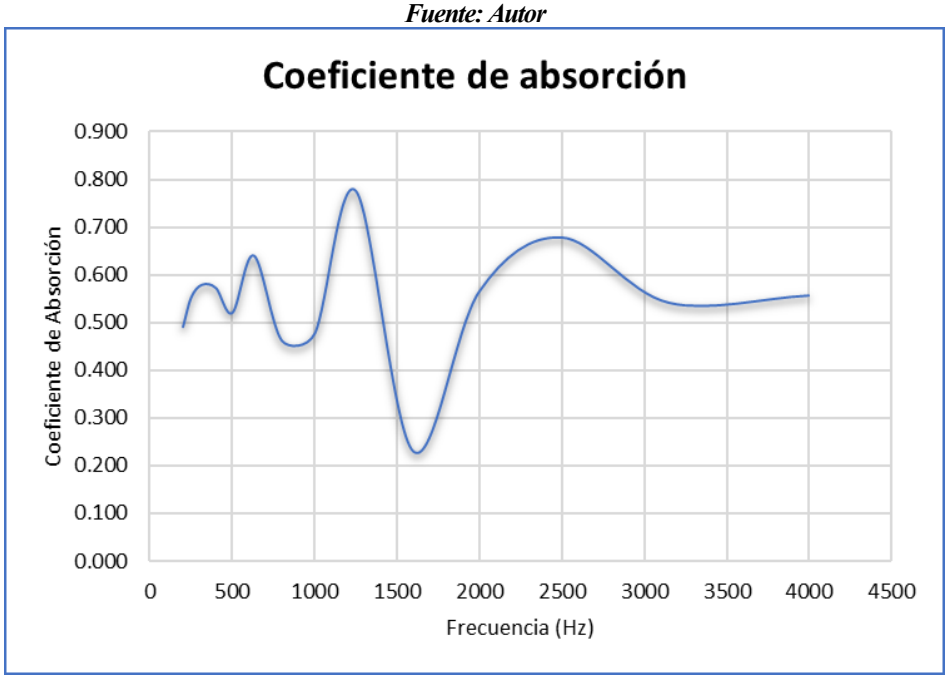


Fig. 56. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 6a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 56, se observa que el coeficiente de absorción en la mayoría de las frecuencias se mantiene en el rango de 0.45-0.7, exceptuando las frecuencias de 1250 y 1600Hz

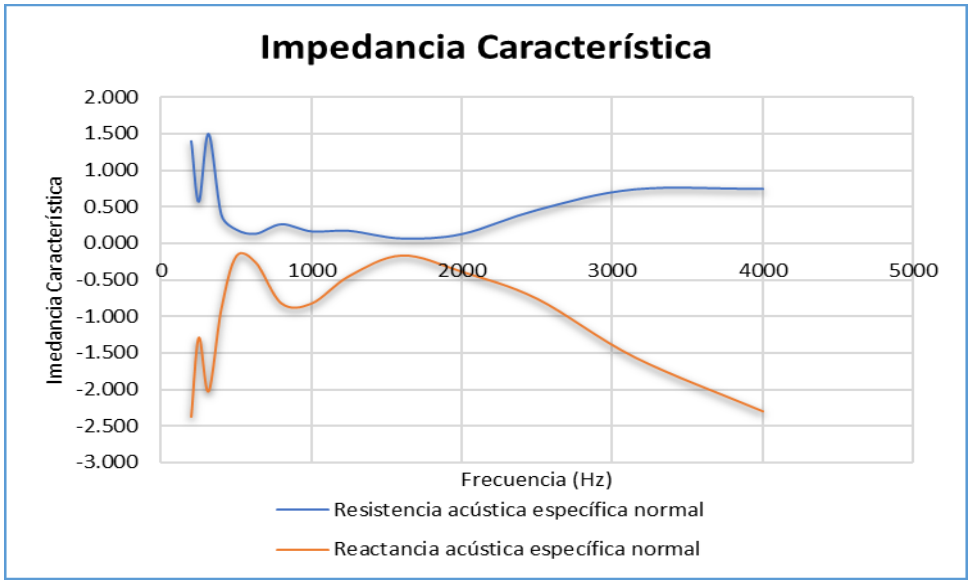


Fig. 57. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a
Fuente: Autor

Se observa en la Fig. 57 cambios en la resistencia y reactancia en todas las frecuencias de trabajo, presentándose la máxima resistencia y reactancia a los 200Hz

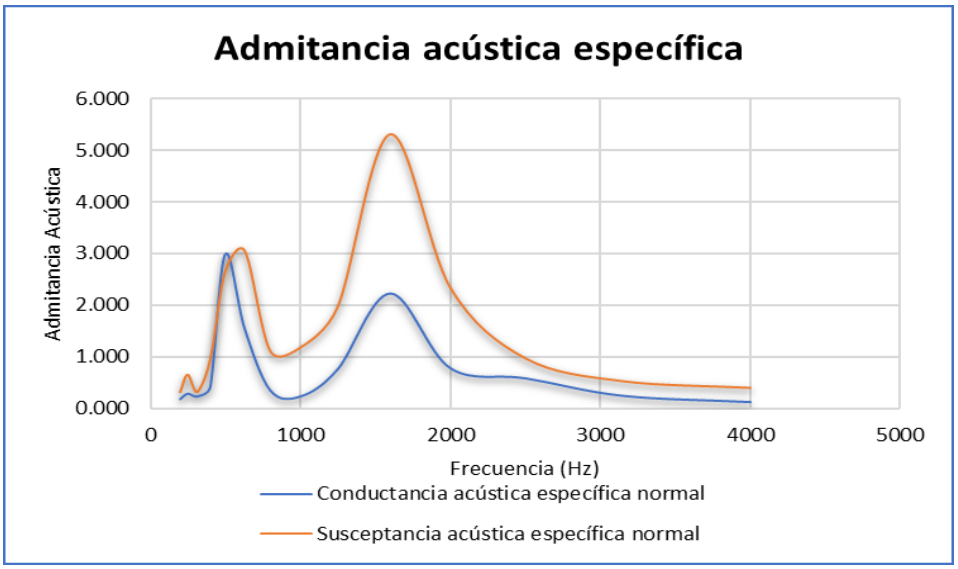


Fig. 58. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 58, la conductancia máxima se presenta a los 630Hz y la susceptancia máxima a 1600Hz, y en las frecuencias posteriores a 2500Hz se mantienen casi sin variación

Tabla XLII. Parámetros acústicos de la pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b

50% Fibra Código 2-50-7					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.501	1.475	-2.375	0.189	0.304
250	0.562	0.489	-1.123	0.326	0.748
315	0.636	1.359	-1.726	0.282	0.358
400	0.582	0.424	-0.941	0.398	0.883
500	0.696	0.352	-0.441	1.106	1.385
630	0.623	0.360	-0.679	0.609	1.149
800	0.476	0.143	-0.683	0.294	1.403
1000	0.470	0.125	-0.547	0.397	1.736
1250	0.787	0.160	-0.326	1.212	2.472
1600	0.228	0.067	-0.189	1.658	4.698
2000	0.535	0.214	-0.358	1.230	2.055
2500	0.727	0.674	-0.950	0.496	0.700
3150	0.500	0.523	-1.365	0.245	0.639
4000	0.712	0.576	-1.747	0.170	0.516

Fuente: Autor

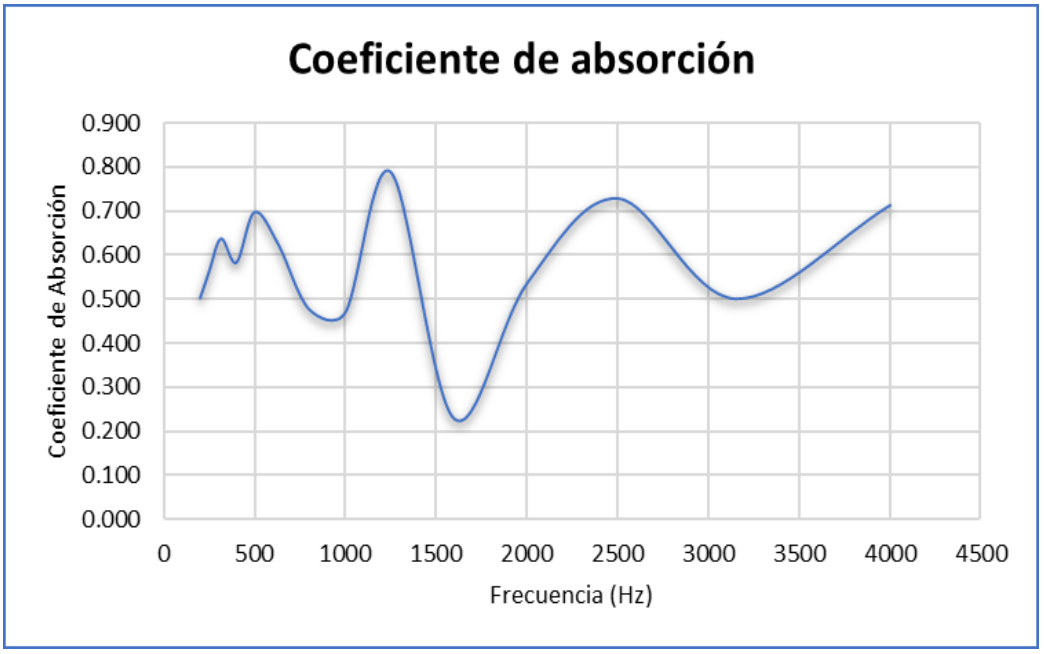


Fig. 59. Coeficiente de absorción. Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico +50% fibra) de coco. Composición 6b
Fuente: Autor

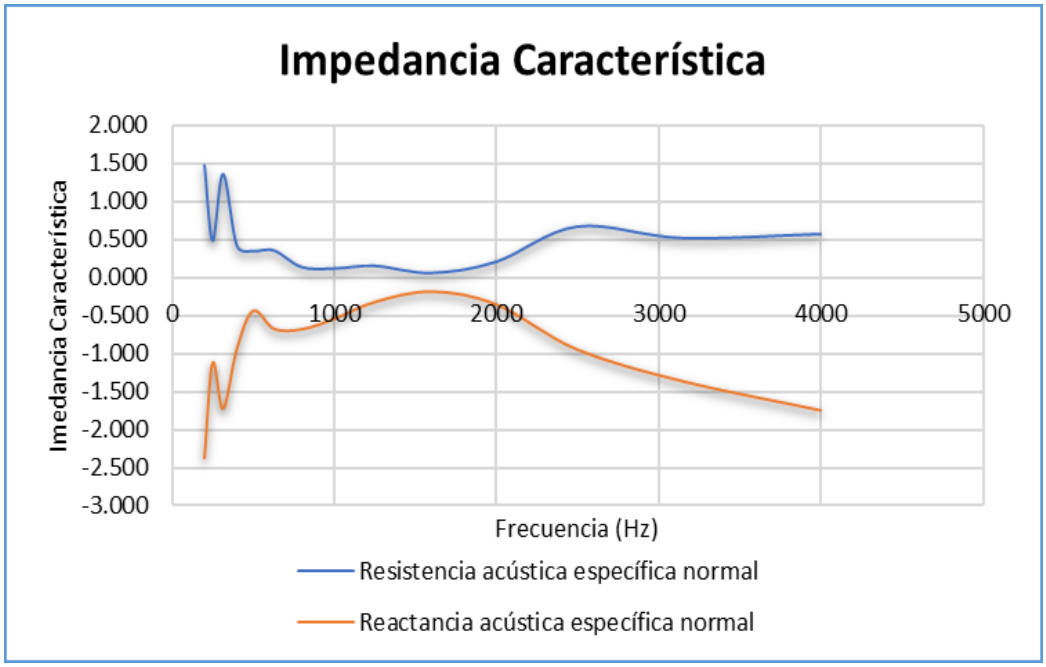


Fig. 60. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b
Fuente: Autor

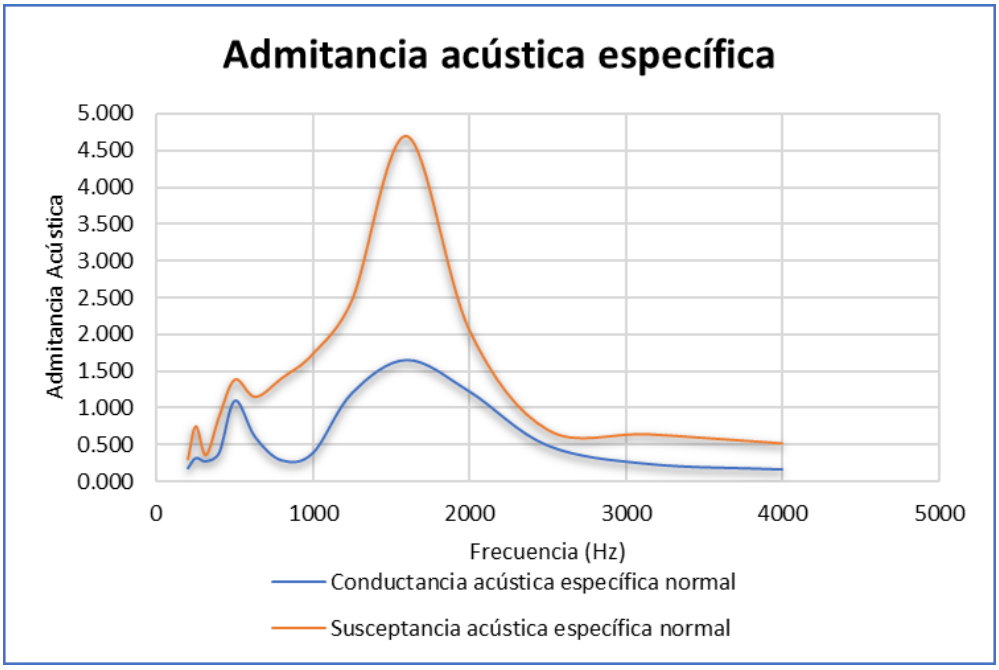


Fig. 61. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Pared compuesta por 2 placas de 7mm (50% plástico + 50% fibra) de coco. Composición 6b
Fuente: Autor

Tras observar los resultados, se puede inferir que al añadirle fibra de coco al material matriz (Polietileno de alta densidad), su coeficiente de absorción mejora considerablemente en la mayor parte de las frecuencias analizadas; a continuación, se presenta un resumen general de los resultados

Tabla XLIII. Coeficientes de absorción acústica en función del material utilizado

Frecuencia (Hz)	Coeficiente de absorción											
	Material											
	a-0-5	b-0-5	a-25-5	b-25-5	a-50-5	b-50-5	a-0-7	b-0-7	a-25-7	b-25-7	a-50-7	b-50-7
200	0.01	0.04	0.10	0.03	0.40	0.26	0.29	0.29	0.15	0.26	0.49	0.50
250	0.01	0.23	0.13	0.25	0.43	0.46	0.26	0.25	0.28	0.24	0.55	0.56
315	0.03	0.04	0.38	0.47	0.14	0.23	0.11	0.16	0.35	0.30	0.58	0.64
400	0.30	0.32	0.33	0.32	0.51	0.51	0.59	0.41	0.46	0.44	0.57	0.58
500	0.30	0.31	0.26	0.38	0.48	0.51	0.59	0.42	0.60	0.68	0.52	0.70
630	0.38	0.57	0.41	0.42	0.41	0.43	0.46	0.46	0.32	0.39	0.64	0.62
800	0.37	0.44	0.43	0.46	0.39	0.46	0.13	0.17	0.45	0.51	0.46	0.48
1000	0.50	0.47	0.55	0.48	0.48	0.42	0.63	0.62	0.50	0.50	0.48	0.47
1250	0.46	0.49	0.63	0.46	0.38	0.48	0.30	0.38	0.27	0.17	0.78	0.79
1600	0.44	0.34	0.23	0.18	0.20	0.15	0.21	0.22	0.53	0.56	0.23	0.23
2000	0.35	0.33	0.37	0.47	0.53	0.56	0.50	0.53	0.80	0.77	0.57	0.54
2500	0.61	0.66	0.43	0.41	0.74	0.91	0.67	0.60	0.67	0.68	0.68	0.73
3150	0.24	0.22	0.65	0.79	0.43	0.62	0.37	0.39	0.50	0.44	0.54	0.50
4000	0.50	0.70	0.53	0.61	0.92	0.96	0.40	0.25	0.49	0.60	0.56	0.71

Fuente: Autor

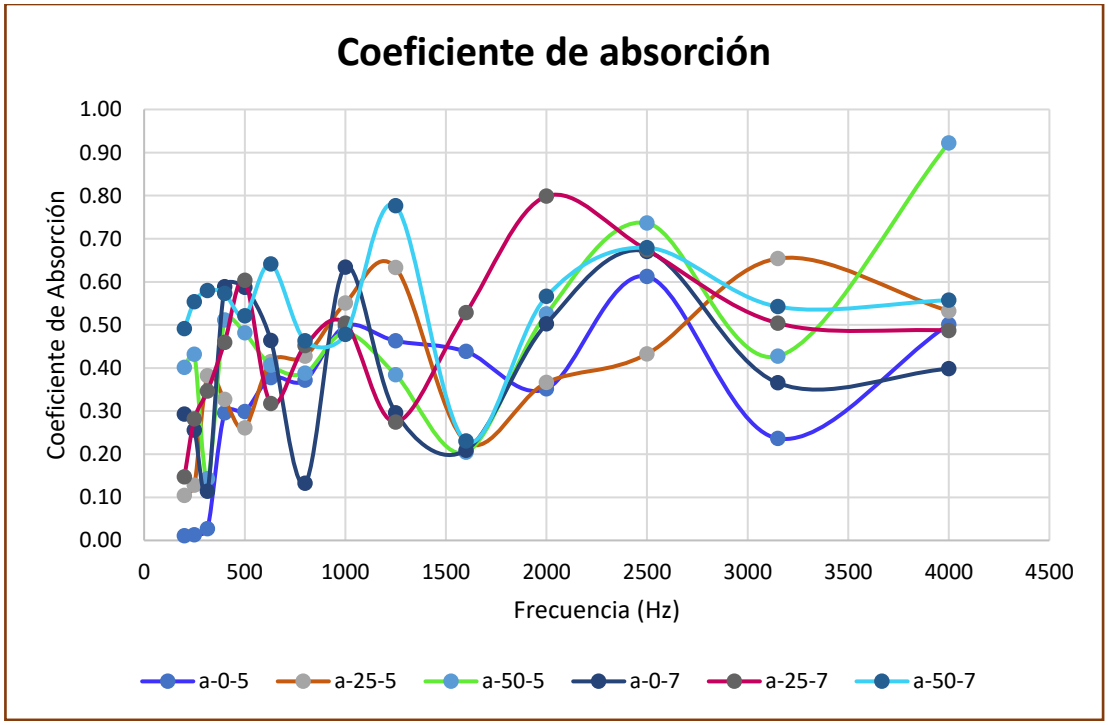


Fig. 62. Variaciones del coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1a, 2a, 3a, 4a, 5 a y 6 a
Fuente: Autor

De acuerdo con la Fig. 62 y Fig. 63, se infiere que el material que provee mejores propiedades acústicas es la pared compuesta por dos paneles de 5mm usando la composición 50% fibra de coco y 50% polietileno de alta densidad, ya que en las frecuencias de mayor interés que van de 2000-4000 Hz (frecuencias al que el oído del ser humano tiene mayor sensibilidad) se obtuvieron los coeficientes de absorción más elevados.

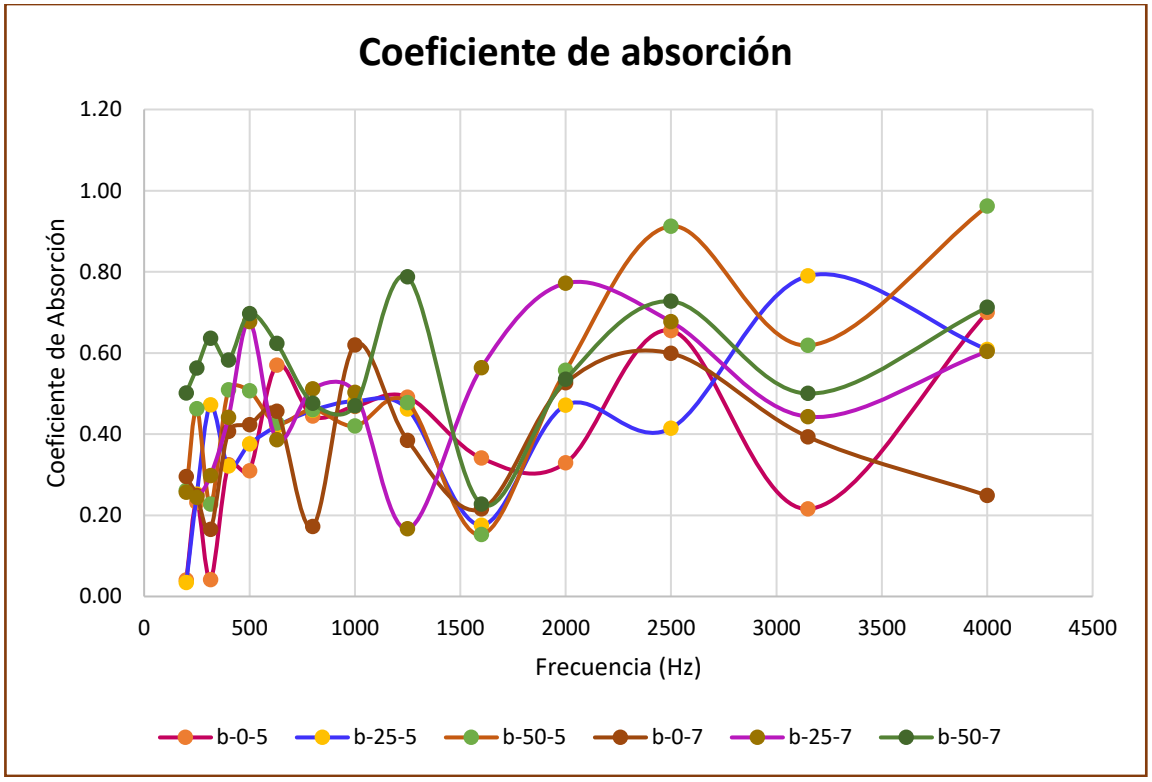


Fig. 63. Variaciones del coeficiente de absorción acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1b, 2b, 3b, 4b, 5 b y 6 b
Fuente: Autor

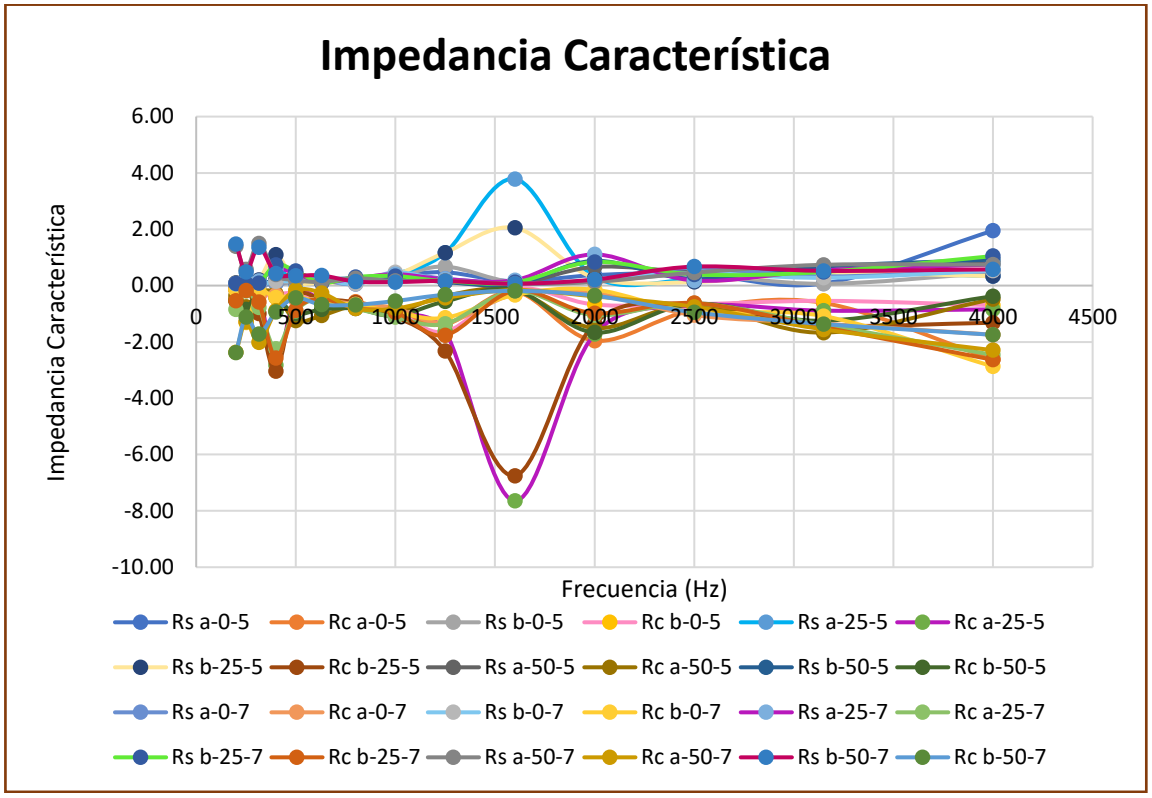


Fig. 64. Variaciones de la impedancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Todas las composiciones
Fuente: Autor

En la Fig. 64 de resumen, se observa las variaciones de la impedancia acústica, presentándose en el eje y positivo la resistencia; siendo la parte real (Rs) y el eje y negativo la reactancia acústica (Rc); siendo la parte imaginaria; asimismo se evidencia un pico en la impedancia a los1600Hz en la configuración 2 (dos paneles de 5mm formados por el 75% de plástico y 25% de fibra).

En la Fig. 65 y la Fig. 66, se observa las variaciones de la admitancia acústica, presentándose en la Fig. 65 la parte real de la admitancia, la cual es conocida como la conductancia (Cd) y en la Fig. 66 la parte imaginaria de a admitancia, conocida como la susceptancia (Sc); se evidencia el valor más pequeño a los1600Hz en la configuración 2 (dos paneles de 5mm formados por 75% de plástico y 25% de fibra)

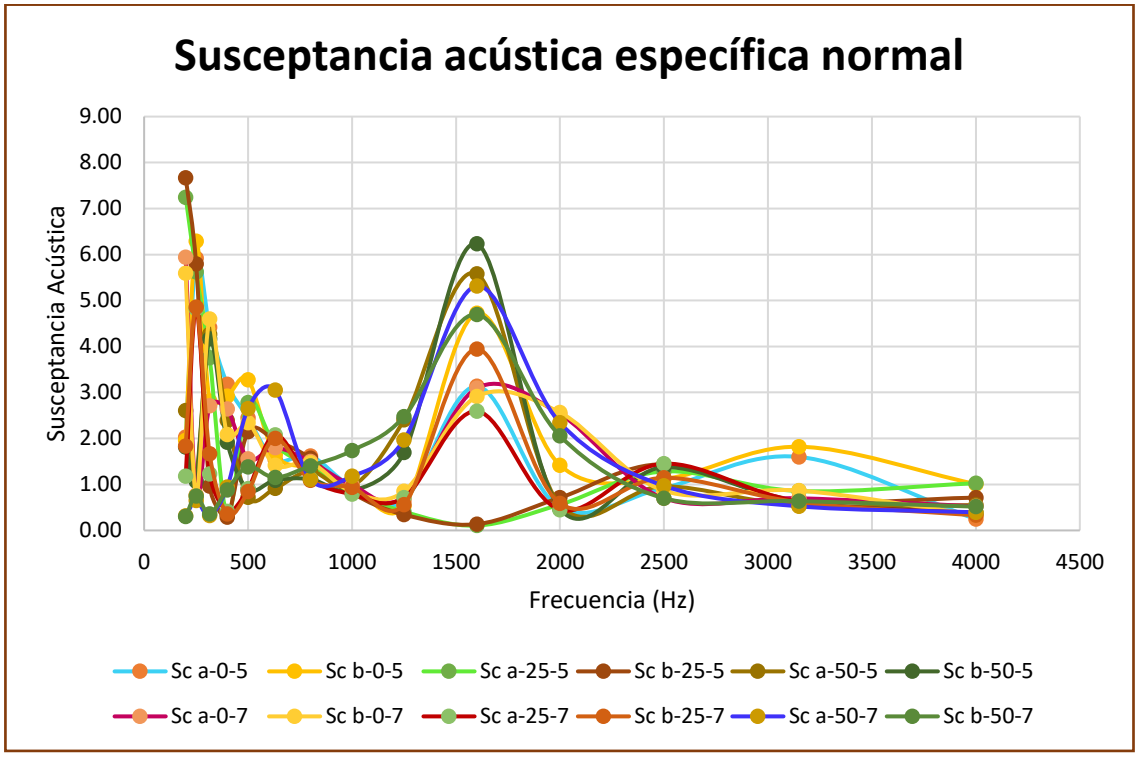


Fig. 65. Variaciones de la susceptancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1a, 2a, 3a, 4a, 5 a y 6 a
Fuente: Autor

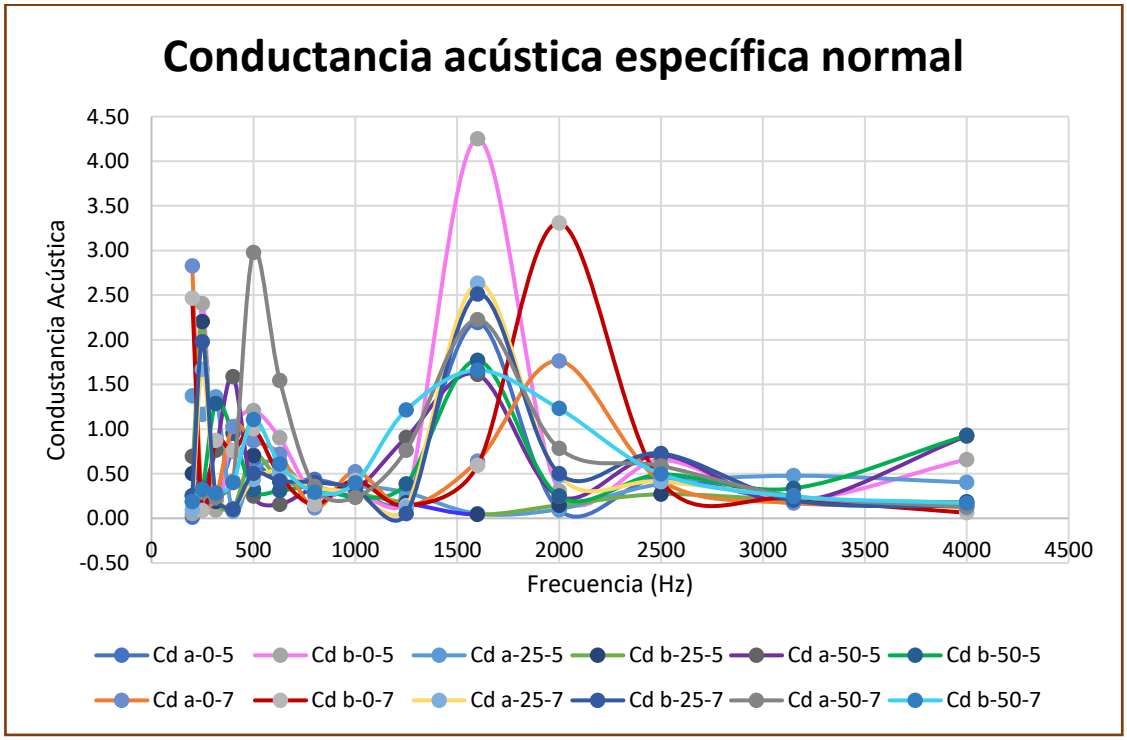


Fig. 66. Variaciones de la conductancia acústica en función de la frecuencia y el material utilizado. Composición 1b, 2b, 3b, 4b, 5 b y 6 b
Fuente: Autor

Se presentan los coeficientes de absorción obtenidos en una cámara reverberante

Tabla XLIV. Coeficiente de absorción del mampuesto bloque hueco obtenida en la cámara reverberante

Bloque hueco de hormigón	
Dimensión del mampuesto (cm)	
40*20*12	
Área del especímen (m2)	
1.140	
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de Absorción**
200	0.757
250	0.237
315	0.240
400	0.161
500	0.094
630	0.150
800	0.185
1000	0.190
1250	0.181
1600	0.244
2000	0.195
2500	0.196
3150	0.257
4000	0.314

Fuente: Autor

Tabla XLV. Coeficiente de absorción del mampuesto ladrillo obtenida en la cámara reverberante

Ladrillo	
Dimensión del mampuesto (cm)	
10*16*8	
Área del especímen (m2)	
1.6	
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de Absorción**
200	0.1996
250	0.1634
315	0.1409
400	0.3326
500	0.4056
630	0.4068
800	0.4879
1000	0.4410
1250	0.6140
1600	0.7100
2000	0.5825
2500	0.7048
3150	0.5741
4000	0.4574

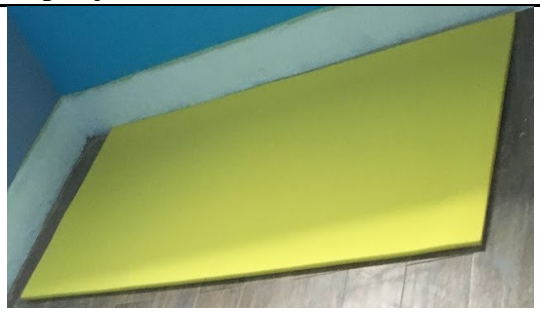
Fuente: Autor

Tabla XLVI. Coeficiente de absorción del material esponja negra obtenida en la cámara reverberante

Esponja negra	
Dimensión del mampuesto (cm)	
200*100*3	
Área del especímen (m2)	
2	
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de Absorción**
200	0.1269
250	0.1601
315	0.2546
400	0.2439
500	0.2341
630	0.3533
800	0.3999
1000	0.4413
1250	0.4020
1600	0.5357
2000	0.4894
2500	0.5820
3150	0.3117
4000	0.2725

Fuente: Autor

Tabla XLVII. Coeficiente de absorción del material esponja amarilla obtenida en la cámara reverberante

Esponja amarilla	
Dimensión del mampuesto (cm)	
200*100*2	
Área del especímen (m2)	
2	
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de Absorción**
200	0.0563
250	0.0877
315	0.1335
400	0.1595
500	0.2374
630	0.2688
800	0.4373
1000	0.4441
1250	0.4916
1600	0.5526
2000	0.5543
2500	0.5341
3150	0.5813
4000	0.5199

Fuente: Autor

De igual forma se obtuvo el coeficiente de absorción de la esponja negra y amarilla utilizando el tubo de impedancia, donde se adquirieron los siguientes resultados

Tabla XLVIII. Parámetros acústicos del material esponja negra de 3cm

Esponja Negra					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.139	0.036	-0.326	0.334	3.028
250	0.159	0.050	-0.400	0.309	2.461
315	0.298	0.114	-0.533	0.383	1.796
400	0.244	0.234	-1.803	0.071	0.546
500	0.200	0.226	-1.975	0.057	0.500
630	0.369	0.190	-0.801	0.280	1.182
800	0.370	0.247	-1.449	0.114	0.671
1000	0.388	1.182	-2.726	0.134	0.309
1250	0.373	0.204	-0.860	0.261	1.101
1600	0.527	0.206	-0.329	1.368	2.184
2000	0.599	0.227	-0.103	3.655	1.654
2500	0.477	0.166	-0.180	2.763	3.005
3150	0.342	0.130	-0.493	0.501	1.897
4000	0.280	0.755	-3.276	0.067	0.290

Fuente: Autor

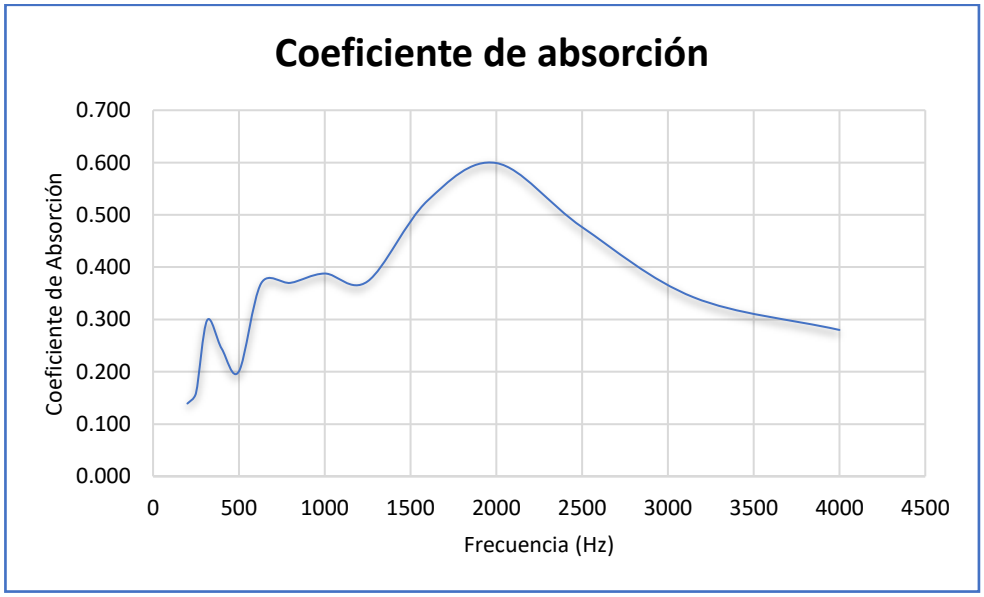


Fig. 67. Coeficiente de absorción. del material esponja negra 3cm
Fuente: Autor

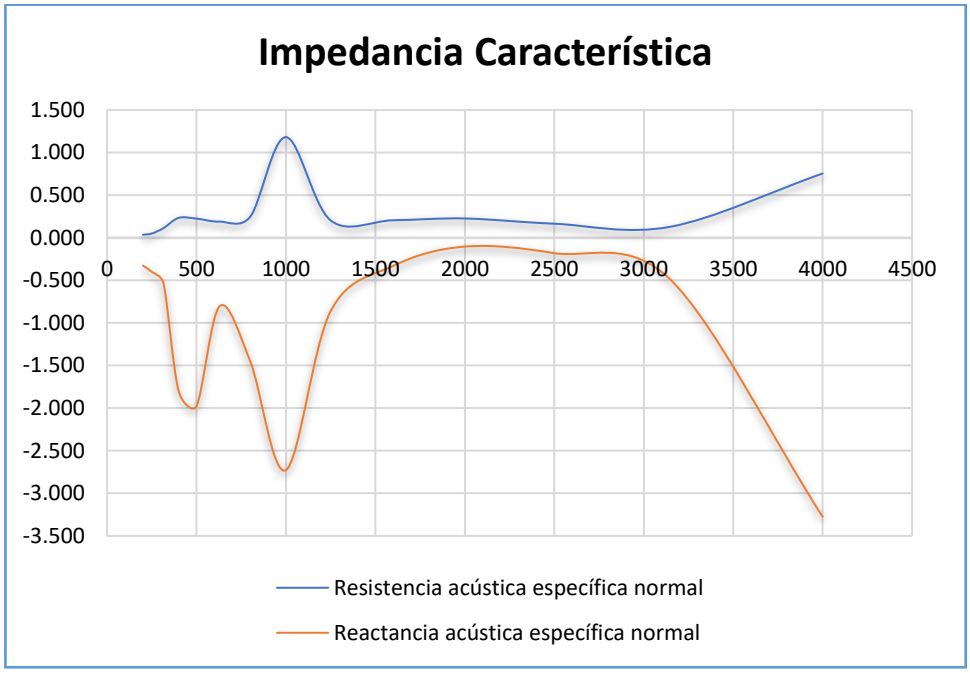


Fig. 68. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material esponja negra 3cm
Fuente: Autor

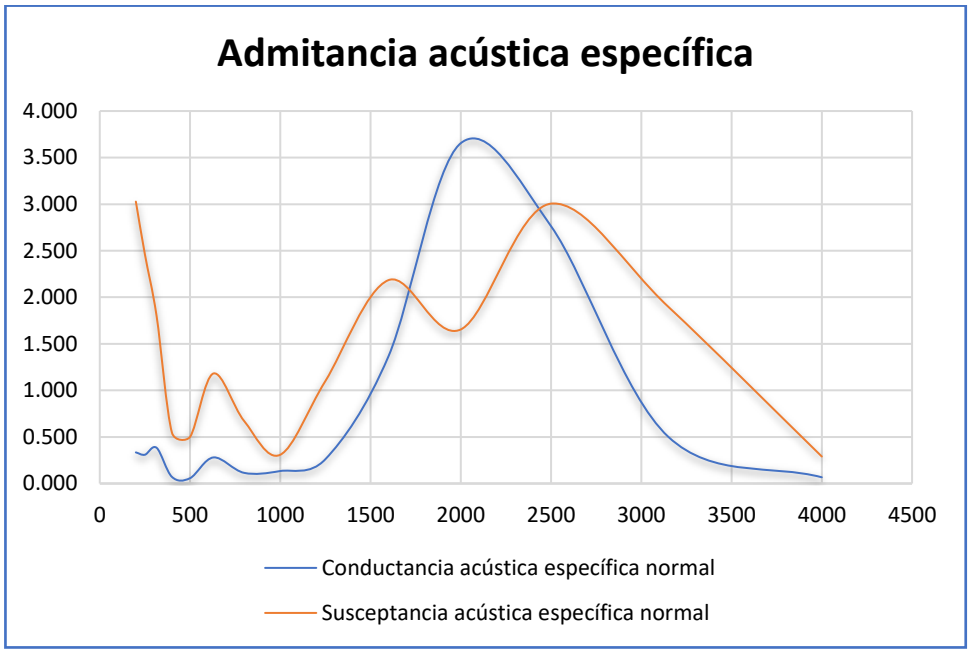


Fig. 69. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material esponja negra 3cm
Fuente: Autor

Tabla XLIX. Parámetros acústicos del material esponja amarilla de 2cm

Esponja Amarilla					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.076	0.030	-0.718	0.058	1.391
250	0.082	0.091	-1.796	0.028	0.555
315	0.202	0.059	-0.534	0.204	1.849
400	0.098	0.036	-0.612	0.095	1.628
500	0.065	0.032	-1.014	0.031	0.985
630	0.388	0.156	-0.520	0.529	1.764
800	0.317	0.183	-0.953	0.194	1.012
1000	0.396	1.905	-3.289	0.132	0.228
1250	0.474	0.188	-0.420	0.887	1.982
1600	0.522	0.228	-0.491	0.778	1.675
2000	0.530	0.241	-0.527	0.717	1.569
2500	0.742	0.453	-0.576	0.844	1.073
3150	0.432	0.308	-1.068	0.249	0.865
4000	0.493	0.203	-1.005	0.193	0.956

Fuente: Autor

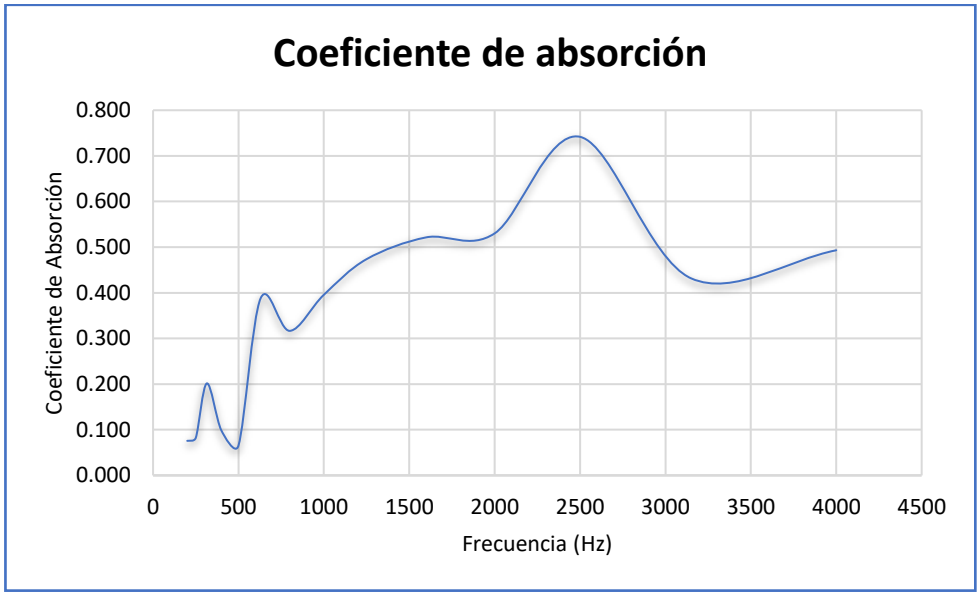


Fig. 70. Coeficiente de absorción. del material esponja amarilla de 2cm
Fuente: Autor

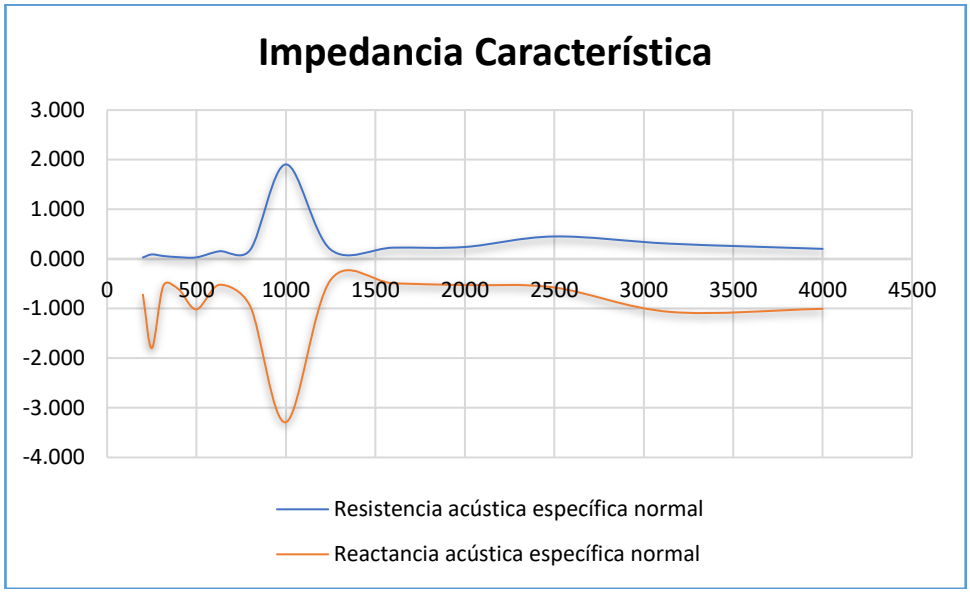


Fig. 71. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material esponja amarilla de 2cm
Fuente: Autor

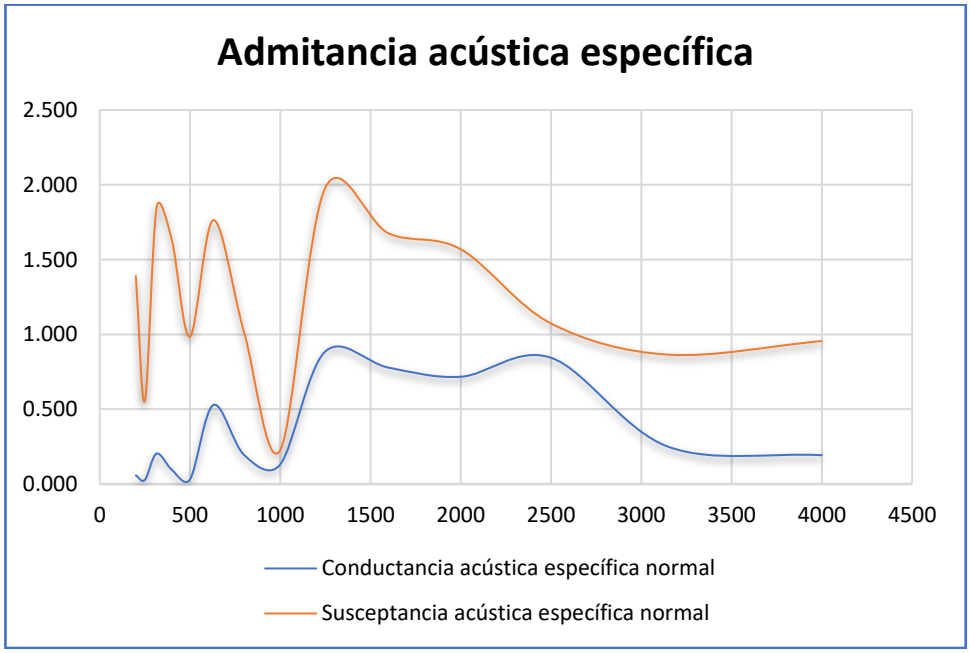


Fig. 72. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material esponja amarilla de 2cm
Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla L y la Tabla LI, se obtuvo resultados bastante similares al realizar la medición en la cámara reverberante y el tubo de impedancia

Tabla L. Comparación de coeficiente de absorción obtenido utilizando en tubo de impedancia y el tubo de impedancia. Material esponja negra

Esponja Negra		
Frecuencia (Hz)	**Medido en el tubo de impedancia**	**Medido en la cámara reverberante**
200	0.139	0.127
250	0.159	0.160
315	0.298	0.255
400	0.244	0.244
500	0.200	0.234
630	0.369	0.353
800	0.370	0.400
1000	0.388	0.441
1250	0.373	0.402
1600	0.527	0.536
2000	0.599	0.489
2500	0.477	0.582
3150	0.342	0.312
4000	0.280	0.272

Fuente: Autor

Tabla LI Comparación de coeficiente de absorción obtenido utilizando en tubo de impedancia y el tubo de impedancia. Material esponja amarilla

Esponja Amarilla		
Frecuencia (Hz)	**Medido en el tubo de impedancia**	**Medido en la cámara reverberante**
200	0.076	0.056
250	0.082	0.088
315	0.202	0.134
400	0.098	0.159
500	0.065	0.237
630	0.388	0.269
800	0.317	0.437
1000	0.396	0.444
1250	0.474	0.492
1600	0.522	0.553
2000	0.530	0.554
2500	0.742	0.534
3150	0.432	0.581
4000	0.493	0.520

Fuente: Autor

2.4 Verificación de hipótesis

Tras analizar los resultados de los coeficientes de absorción acústica obtenidos, se pudo verificar que las paredes compuestas utilizando una matriz de polímeros termoplásticos y fibras vegetales de coco contribuye de gran forma a aislar acústicamente

CAPíTULO IV.- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1 Conclusiones

- ✓ Para las mediciones acústicas se construyó un tubo de impedancia, siguiendo las normas ISO 10534-2 Y ASTM E1050-12, se elaboró utilizando un tubo cilíndrico de acero negro de 41.2mm de diámetro interior, con espesor de pared de 3.7mm, mismo que fue galvanizado y rectificado: el equipo se encuentra formado por dos partes la primera de 1.5m de longitud (parte A) y la segunda parte de 0.2m donde se colocan los especímenes a ser medidos (parte B), estas dos partes son unidas por dos bridas utilizando 5 pernos allen de cabeza hexagonal; se encuentra dispuesto al extremo de la parte A una fuente sonora y al otro en la parte B una terminación rígida de 2cm de espesor que se coloca tras la muestra; en la parte A se dispusieron 3 micrófonos, que se encuentran distribuidos de la siguiente manera, el 1ro a 2cm, el 2do a 5cm y el 3ro a 20cm medidos desde la brida. El uso de este equipo de medición resulta de gran utilidad, ya que se requieren especímenes de muestra relativamente pequeños y se obtienen resultados reales, mientras que en una cámara reverberante se necesita un área grande de material, siendo los resultados de los dos métodos muy similares.
- ✓ Se produjo un total de 24 probetas, mismas que se varió su composición en porcentaje; composición-1 se realizaron 4 probetas de 5 y 4 probetas 7mm de espesor utilizando el 100% de plástico: composición-2 se realizaron 4 probetas de 5 y 4 probetas 7mm de espesor formadas por una mezcla del 75% de plástico y 25% de fibra de coco: composición-3 se realizaron 4 probetas de 5 y 4 probetas 7mm de espesor formadas por una mezcla del 50% de plástico y 50% de fibra de coco; además, se constató que se adhieren perfectamente bien las

fibras de coco (tratadas y no tratadas químicamente) con la matriz polimérica. Las paredes compuestas se encuentran formadas por dos probetas utilizando en cada una de las mediciones dos de 5 o dos de 7mm de espesor.

- ✓ Se determinó en función de las 12 paredes compuestas realizadas, que el material que nos presta el mayor coeficiente de absorción en el rango de mayor interés, siendo este al que el oído humano es más sensible (2000-4000Hz), es la pared compuesta formada por dos placas de 5mml; comparando esta espesor con la pared compuesta por dos probetas de 7mm de espesor se observó que al aumentar el espesor del material se obtienen coeficientes de absorción relativamente bajos en el rango de mayor interés, estas dos comparaciones son en base a las probetas formadas por la unión del 50% de plástico y 50% de fibra de coco.
- ✓ Analizando los coeficientes de absorción de los mampuestos de uso común y las paredes compuestas en análisis, a una frecuencia de 2000 y 4000Hz, el ladrillo presenta 0.582 y 0.457, respectivamente: el bloque hueco presenta 0.195 y 0.314, respectivamente; mientras que la pared compuesta formada por dos probetas de 5mm realizada con la unión del 50% de plástico y el 50% de fibra de coco presenta 0.526 y 0.922, respectivamente: la pared compuesta formada por dos probetas de 7mm realizada por la unión del 50% de plástico y el 50% de fibra de coco presenta 0.566 y 0.557, respectivamente. Concluyendo frente a los resultados presentados que las paredes compuestas por la unión de una matriz de polímeros termoplásticos y fibras vegetales de coco presentan un desempeño acústico superior a los mampuestos de uso común (ladrillos y bloques).

4.2 Recomendaciones

- ✓ Para la construcción del tubo de impedancia se recomienda utilizar un material rígido y liso, cumpliendo con la normativa ISO 10534-2 Y ASTM E1050-12, además que el equipo debe sellarse perfectamente para que no se produzca salida de sonido.
- ✓ Se aconseja mezclar adecuadamente la materia prima (fibra de coco y plástico de alta densidad) antes de fundir los materiales; así como utilizar un equipo adecuado para este proceso (que procure calor y presión).
- ✓ Antes de realizar una medición se debe verificar que las probetas se encuentren colocadas totalmente perpendiculares al tubo, asimismo realizar las mediciones en un lugar silencioso.
- ✓ Se sugiere utilizar mampuestos de uso común para que la comparativa con el material propuesto (paredes compuestas), sea lo más cercano a la situación actual en el país, referente al sector de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Ramis, J. Alba, R. Rey, E. Escuder, and V. J. Sanchís, "Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf," *Mater. Construcción*, vol. 60, pp. 133–143, 2010, doi: 10.3989/mc.2010.50809.

[2] J. Trejos, "Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio," Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.

[3] A. Quito, "Aprovechamiento de los residuos de coco para su uso interno y exportación," Universidad de Guayaquil, 2016.

[4] T. Majewski and A. Błędzki, "Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales," in *Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 2013, pp. 676–682.

[5] M. A. Navacerrada *et al.*, "Caracterización Acústica y Térmica de no tejidos basados en Fibras Naturales," *EuroRegio*, no. 43, pp. 1–10, 2016.

[6] International Standard, "Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method, ISO 10534-2," 1998.

[7] K. U. Ingard, "Measurement of a acoustic flow resistence," vol. 103, pp. 567–572, 1985.

[8] R. Moriana, "Desarrollo y Caracterización de Biocomposites Enfibrados procedentes de Recursos Renovables. Estudio de su degradación en Tierra," Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

[9] "Ruido Laboral," *Revista Ciencia & Trabajo*, vol. 8, no. 20. 2006.

[10] C. Martimportugu, J. Gallego, and F. Domingo, "Efectos del ruido comunitario," *Rev. Acústica*, vol. 34, pp. 31–39, 1993.

[11] T. Clotario, P. Cecilia, S. Andrés, and B. Javier, "Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa," *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. 19, pp. 113–120, 2006.

[12] A. M. Pertuz, "Construcción y Medio Ambiente," *Rev. Módulo*, vol. 1, no. 9, pp. 105–114, 2010.

[13] A. Enshassi, B. Kochendoerfer, and E. Rizq, "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción," *Rev. Ing. Construcción RIC*, vol. 29, no. 3, pp. 234–254, 2014.

[14] I. Bonus, "Diseño Modulado de Viviendas Prefabricadas de Maderas Optimizando el Uso de Eucaliptus," in *VIII Encuentro internacional de Investigadores de la red Latinoamericana de Cooperación Universitaria*, 2012, vol. 1, pp. 1–32.

[15] R. Elías, "Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar," *Rev. Invest. Desarro. Pesq.*, no. 27, pp. 83–105, 2015.

[16] C. Flores, "Polímeros Vs . Plásticos," *Rev. Electrónica*, no. 14, pp. 51–60, 2009.

[17] J. Bilbao, "Reciclado de residuos plásticos," *Rev. Iberoam. Polímeros*, vol. 5, no. 1, pp. 28–45, 2004.

[18] D. Segura, R. Noguez, and G. Espín, "Contaminación ambiental y bacterias

productoras de plásticos biodegradables," *Rev. Biotecnol.*, vol. 14, no. 3, pp. 361–372, 2007, doi: 10.15541/jim20140074.

[19] P. Alavedra, J. Domínguez, G. Engracia, and J. Serra, "La construcción sostenible. el estado de la cuestión," *Inf. la Constr.*, vol. 49, no. 451, 1997.

[20] C. Pérez, "Sonido y audicion."

[21] F. Miyara, "Introducción a la acústica."

[22] J. Salinas, "Acustica arquitectonica," in *Procesos Constructivos Nivel III*, 2013, pp. 1–22.

[23] K. Mikl and M. Burgess, "Manual del Estudiante: ruido, medición y sus efectos," p. 330, 2009.

[24] R. Gloria, "Sistema de Insonorización en Materiales Renovables para Viviendas en Bogota," Universidad Católica de Colombia, 2017.

[25] J. Álvarez and G. Lozano, "Diseño y Construcción de un Dispositivo para Medir Coeficientes de Absorción de Materiales," Universidad de San Buenaventura, 2007.

[26] M. Argotti, "Evaluación de las Propiedades Acústicas de diferentes muestras de un Material no Tejido de Fibras Naturales Compuestas de un gran porcentaje de Musaceae," Universidad de las Americas, 2017.

[27] E. Sanchis, "Modelización, Simulación y Caracterización Acústica de Materiales para su uso en Acústica Arquitectónica," Universidad Politécnica de Valencia, 2008.

[28] K. Lancerio, “Manual de Materiales Acústicos en la Arquitectura,” Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.

[29] American National Standard, *Standard Terminology Relating to Environmental Acoustics, ASTM C 634-00*, vol. 14. 2000.

[30] A. Domingo, *Apuntes de Acústica*. 2014.

[31] K. Mikl and M. Burgess, “Manual del Estudiante: ruido, medición y sus efectos,” p. 330, 2009.

[32] J. Cabrera, *Acústica y Fundamentos del Sonido*. Bogota, 2010.

[33] L. A. Lancón, “Caracterización de la Absorción sonora en modelos Físicos a escala,” Universidad Autónoma Metropolitana, 2012.

[34] J. Sánchez, “Diseño e implementación de un tubo de Kundt para el aprendizaje significativo de ondas estacionarias y su uso entre estudiantes de bachillerato,” *Rev. Invest. (Guadalajara).*, vol. 36, no. 75, pp. 115–128, 2010.

[35] O. Marcillo, “Aplicación de ondillas a la Reducción de ruido en Señales de Audio,” Escuela Politécnica Nacional, 1999.

[36] H. Arnay, “Estudio de la Precisión en la Determinación del Coeficiente de Absorción Acústica en Tubo de Impedancia,” Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

[37] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method ASTM C 384-98*. 1998, pp. 1–9.

[38] M. Torner, “Viabilidad de un tubo de impedancia en medio acuático,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2016.

[39] L. Hernández, “Análisis y Diseño del Tubo de Impedancias bajo el Método de Función de Transferencia,” Instituto Politécnico Nacional, 2009.

[40] C. Salazar, “Aplicación del método de medición de pérdida por transmisión de acuerdo a la norma ASTM E2611-09 incluyendo un quinto micrófono de medición como referencia para estimar parámetros acústicos como la pérdida por transmisión y los coeficientes de absorción y,” Universidad de San Buenaventura Colombia, 2017.

[41] International Standard, *Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method, ISO 10534-2*. 1998.

[42] R. Lara, “Caracterización acústica de un material de origen biológico : fibras de posidonia,” Universidad Politécnica de Valencia.

[43] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System, E 1050-98*. 1998, pp. 1–11.

[44] E. R. Claver, “Diseño de un software de caracterización acústica de materiales mediante una tarjeta NIDAQ en un tubo,” Universidad Politécnica de Valencia, 2017.

[45] J. Bernal, P. Gómez Jesús, and J. Bobadilla, “Una visión práctica en el uso de

la Transformada de Fourier como herramienta para el análisis espectral de la voz," *Estud. fonética Exp.*, vol. 10, pp. 77–105, 1999.

[46] T. Esquerdo, "Desarrollo de Modelos de Comportamiento Acústico y Caracterización Experimental de Materiales Elaborados con Aligerantes para la Construcción. Aplicación a Sistemas de Control de Ruido," Universidad de Valencia, 2015.

[47] International Standard, *Measurement of sound absorption in a reverberation room Acoustique, ISO 354*, vol. 2. 2003, p. 13.

[48] A. Teira, "Adecuación y validación de una cámara reverberante a escala para ensayos de pantallas acústicas," Universidad Politécnica de Valencia, 2012.

[49] F. Machuca, "Desarrollo de un Sistema de Medición de Aislamiento Sonoro en Incidencia Normal," Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

[50] A. Fenández, "Caracterización Acústica de un Material de uso Alternativo A Partir de la Resistencia al Flujo y el Coeficiente de Absorción para Evaluar su Posible Aplicación en Soluciones Acústicas," Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín, 2015.

[51] S. Perdomo, "Desarrollo de un Material Compuesto a partir de Fibras Naturales para la Utilización en Viviendas," Universidad de las Fuerzas Armadas, 2015.

[52] A. Escudero and J. Aristizabal, "Caracterización Mecánica de Fibras de Coco como Refuerzo de Materiales Compuestos Poliméricos," Universidad Libre.

[53] G. E. M. Ortíz, "Caracterización mecánica del material compuesto de matriz

poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales," Universidad Técnica de Ambato, 2017.

[54] S. Canevarolo, *Ciencia dos Polímeros*, Tercera. San Paulo, 2013.

[55] R. Mere, "Elaboración y Evaluación de placas aglomeradas a base de Polietileno de Alta Densidad reciclado y envases de Tetra pak," Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014.

[56] "Materiales plásticos."

[57] A. R. Q. Jose and F. Navarro, "Universidad de colima," 2005.

[58] A. Ruiz and M. Barbero, "Implementación de tecnologías constructivas con fibras vegetales que sean sostenibles en contextos de precariedad," in *IV Congreso Internacional de Estudios del Desarrollo*, 2018, pp. 1–26.

[59] J. Andino, "Estudio de la prefactibilidad de la producción de leche de coco," Universidad San Francisco de Quito, 2012.

[60] N. Villegas and R. Vélez, "Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de Coco para Viviendas de bajo costo," Universidad de Guayaquil, 2007.

[61] G. Navas and N. Santander, "Diseño y Construcción de un tubo de Impedancia, para la evaluación de la absorción sonora de materiales utilizados en la construcción," pp. 55–65, 2011.

[62] S. J. P. Ruí, "Extendiendo las capacidades de medición del tubo de impedancias instrumentos , UNAM," no. 5, 2000.

[63] Owens Corning Insulating Systems, “SelectSound Black Acoustic Board.”

ANEXOS

ANEXO I Cálculo del hidróxido de sodio (NaOH) utilizado para el tratamiento de las fibras

Densidad del agua $\rho_{H_2O} = 1\ gr/cm^3$

Densidad del hidróxido de sodio $\rho_{NaOH} = 2.13\ gr/cm^3$

Volumen de la solución $V_{solución} = 1700\ cm^3$

Concentración del hidróxido de sodio $M_{NaOH} = 0.02$

Para el cálculo de las cantidades de solvente (H2O) y soluto (NaOH) se utilizará la ecuación conocida como la "regla de mezclas"

$$V_{NaOH} = \frac{M_{NaOH} * \rho_{NaOH}}{M_{NaOH} * \rho_{NaOH} + (1 - M_{NaOH}) * \rho_{NaOH}}$$

$$V_{NaOH} = \frac{0.02 * 2.13 \frac{gr}{cm^3}}{0.02 * 2.13 \frac{gr}{cm^3} + (1 - 0.02) * 1 \frac{gr}{cm^3}}$$

$$V_{NaOH} = 0.04165$$

Donde:

V_{NaOH}: concentración de hidróxido de sodio en fracción de volumen, cm^3

M_{NaOH}: Concentración del hidróxido de sodio

ρ_{NaOH}: Densidad del hidróxido de sodio, gr/cm^3

Volumen de hidróxido de sodio y agua que se utilizará

$$V_{NaOH} = 0.04165 * 1700\ cm^3$$

$$V_{NaOH} = 70.805\ cm^3$$

$$V_{H_2O} = (1 - 0.04165) * 1700\ cm^3$$

$$V_{H_2O} = 1629.195\ cm^3$$

Peso del NaOH en gramos

$$m_{NaOH} = V_{NaOH} * \rho_{NaOH}$$

$$m_{NaOH} = 70.805\ cm^3 * 2.13\ gr/cm^3$$

$$m_{NaOH} = 150.8146 gr$$

Donde:

m_{NaOH}: masa requerida de hidróxido de sodio, gr

V_{NaOH}: concentración de hidróxido de sodio en fracción de volumen, cm^3

ρ_{NaOH}: densidad del hidróxido de sodio, gr/cm^3

Masa total de la solución

$$m_t = m_{NaOH} + m_{H_2O}$$

$$m_t = 150.8146 gr + 1629.195\ gr$$

$$m_t = 1780\ gr$$

Para garantizar un tratamiento químico óptimo de las fibras es recomendable el uso de una relación fibra- solución de 1:25

Donde:

m_t: masa total de la solución, gr

m_{NaOH}: masa requerida de hidróxido de sodio, gr

m_{H_2O}: masa del agua, gr

Masa de fibra a tratarse

$$m_f = 1780\ gr * \frac{1\ gr\ fibra}{25\ gr\ solución}$$

$$m_f = 71.2gr \approx 71gr$$

Donde:

m_f: masa de fibra a tratarse, gr

ANEXO II Programación Matlab

Factor de corrección

%Posición 1

%Micrófono 1

```
audio1 = audioread('200.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
dvals = sort(Complex, 'descend');
a=max(Complex)
```

M1=[a];

Micrófono 2

```
audio1 = audioread('2002.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
dvals = sort(Complex, 'descend');
a=max(Complex)
```

M2=[a];

%Posición 2

%Mic 2-P 1

```
audio1 = audioread('200P1.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
```

```
dvals = sort(Complex, 'descend');
a=max(Complex)
```
M2_P1=[a];

%Mic 1-P2

```
audio1 = audioread('200P2.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
dvals = sort(Complex, 'descend');
a=max(Complex)
```
M1_P2=[a];

%Factor de corrección Mic 1-2

```
%MIC 1-2
C1=conj(M1);
S12=M2.*C1;
S11=M1.*C1;
H1=S12./S11;
%MIC 2-1
C4=conj(M2_P1);
S12= M1_P2.*(C4);
S11= M2_P1.*(C4);
H2=S12./S11;
Hc1_2=(H1./H2).^(1/2);
```

Coeficiente de Absorción

%Micrófono 1

```
audio1 = audioread('200.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
a=max(Complex)
P1=[a];
```

%Micrófono 2

```
audio1 = audioread('2002.wav');
audion1 = audio1(1:150000,1);
Fs=44100;
L = length(audion1);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y1 = fft(audio1, NFFT)/L;
N = 2*abs(Y1(1:NFFT/2+1));
f1 = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
[p1_max, index] = max(N);
a1_max = f1(index);
% parte compleja
Complex = 2*(Y1(1:NFFT/2+1));
dvals = sort(Complex, 'descend');
a=max(Complex)
P2=[a];
```

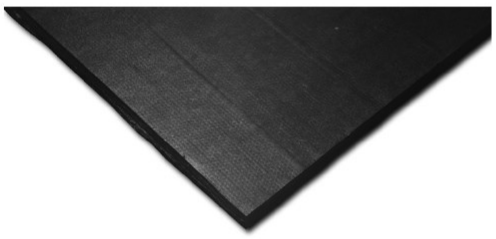
%Cálculo de los parámetros acústicos

```
freq=[200];
s=0.15;
x_1=0.2;
%Ingresar la temperatura en celsius
t1=18;
T=t1+273.15;
P=74.34
%Obtención de la velocidad
c=343.2*sqrt(T/293);
%Obtención de número de onda
k=2*pi*freq./c;
P2_c=conj(P2);
P1_c=conj(P1);
S12=(P2).*(P1_c);
S11=(P1).*(P1_c);
H1A=S12./S11;
H_1=exp(-1i*k*s);
H_R=exp(1i*k*s);
H12=H1A./Hc1_2;
r=((H12-H_1)./(H_R-H12)).*exp(2*1i*k *x_1);
alpha=1-abs(r).^2;
% Relación de impedancia acústica específica
z=(1+r)./(1-r);
zr=real(z);
zi=imag(z)
% Relación de resistencia acústica específica normal
rpc=alpha./((2.*(1-real(r))-alpha));
% Relación de admitancia acústica específica
ypc=1./z;
figure;
subplot(1,2,1)
plot(freq,alpha)
xlim([200 4000]);
ylim([0 1])
subplot(1,2,2)
plot(freq,real(z),freq,imag(z))
xlim([200 4000]);
p=[alpha zr zi real(ypc) imag(ypc)];
```

ANEXO III Hoja de datos del producto: Black Acoustic Board

PRODUCT DATA SHEET

SelectSound®
Black Acoustic Board



Excellent Acoustical Performance
SelectSound® Black acoustic board provides excellent acoustical performance for multiplex theaters, sound studios and performing arts centers.

Durable Material Composition
SelectSound® Black acoustic board is dimensionally stable and will not shrink or warp. The board's resilient composition resists job-site damage. When necessary, the durable black mat facing may be cleaned by vacuuming. SelectSound® Black acoustic board, composed of inorganic glass fibers, will not rot or mildew and is noncorrosive to steel, copper and aluminum.

Fast, High Quality Installation
Lightweight and resilient, SelectSound® Black acoustic board is easy to handle, fabricate and install. Both stick pins and adhesives can be used to secure boards to drywall, concrete block or precast concrete.

Size Availability
SelectSound® Black acoustic board is available in 48" x 96" size.

Black Core with Dark Black Finish Surface
SelectSound® Black acoustic board has a gray/black fiber glass core with a black mat finish that provides low light reflectivity. The black surface is ideal for eliminating screen light reflections and preventing insulation from showing through most surface treatments.

Design Considerations
Acoustical performance of interior surfaces can generally be improved by increasing acoustical material thickness. SelectSound® Black acoustic board can be specified for use in conjunction with other Owens Corning acoustical materials to provide additional performance.

Owens Corning also manufactures SelectSound® Black acoustic blanket. This roll product is ideal for use behind fabric on theater walls, in sound studios and performing arts centers.

Applicable Standards
The 1.10 noise reduction coefficients of a 2" SelectSound® Black acoustic board was derived from tests conducted in accordance with ASTM C 423 procedures by a NVLAP accredited laboratory.

Physical Properties

Property	Test Method	Value
Compressive Strength (minimum) at 10% deformation at 25% deformation	ASTM C 165	 25 lb./ft.^{2} (1,197 Pa) 90 lb./ft.^{2} (4,309 Pa)
Water Vapor Sorption (by weight)	ASTM C 1104	<3% by weight at 120°F (49°C), 95% R.H.
Fungi Resistance	ASTM C 1338	Meets Requirement
Nominal Density	ASTM C 303	3.0 pcf (48 kg/m^3)
Corrosiveness	ASTM C 665 Corrosiveness Test	Will not cause corrosion greater than that caused by sterile cotton on aluminum or steel[1]
Surface Burning Characteristics Flame Spread Smoke Developed	ASTM E 84 CAN/ULC-S102[2]	 25[2] 50

[1]When wet, coated surfaces in contact with galvanized steel may cause discoloration of the sheet metal.

[2]The surface burning characteristics of these products have been determined in accordance with UL 723 and CAN/ULC-S102-M. These standards should be used to measure and describe the properties of materials, products or assemblies in response to heat and flame under controlled laboratory conditions and should not be used to describe or appraise the fire hazard or fire risk of materials, products or assemblies under actual fire conditions. However, results of this test may be used as elements of a fire risk assessment which takes into account all of the factors which are pertinent to an assessment of the fire hazard of a particular end use. Values are reported to the nearest 5 rating.

Installation Procedure
SelectSound® Black acoustic board can be installed on drywall, concrete block or precast concrete using impaling pins or appropriate adhesives.

ANEXO IV Tiempos de reverberación

Habitación vacía

Tiempo de reverberación

Frecuencias	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200				4.027	3.585	3.489				4.436	4.063	4.309		2.859	3.560	3.643		3.771	3.104	3.409	3.508
250	2.722	2.831	3.217	2.633	2.362	2.306	2.396	2.480	2.785	3.936	3.908	2.872	2.878	2.952	3.047	2.897	2.982	2.580	2.588	3.521	2.640
315	2.460	2.564	2.997	2.436	1.977	1.952						0.002	2.876	2.750	3.140	3.160	3.203	2.750	2.532	3.528	2.831
400	2.27	2.519	3.016	2.406		2.275			3.188	2.801	2.055	1.924				2.805	2.694	3.384	1.531	3.300	2.819
500	2.239		2.887			3.609	1.744	2.515	3.399			2.321			3.226	2.590	2.474	3.408		2.915	
630	1.655	1.978	2.759	2.606	4.137	3.783	3.634	2.877	2.576		2.511	3.462	1.972	3.794		2.127	2.060		3.498	2.829	4.055
800	2.824		1.845	2.438	3.790	3.470	3.566	2.646	2.000			2.859	2.983	3.384	2.484	1.478	1.463	3.407	3.231	2.599	3.120
1000	3.287	2.998	1.857			4.414	3.137	2.975	1.525	2.842		2.569	2.701	3.289	2.171	4.280	3.929	2.299		3.046	3.436
1250	3.180	1.995		1.549	2.635	3.008	3.692	3.315		3.324	2.990	4.165	4.016		1.755	2.129	2.041			3.479	3.514
1600		3.670	3.855		2.882	2.579	3.444	4.359		3.386		3.394		2.741	3.551	3.432	3.329		2.860	3.496	3.318
2000	0.105	2.670	2.671	1.858	3.009	2.917	3.041	2.908	3.053	2.620	2.897	3.246	3.131	2.748	2.910	2.671	2.902	3.143	3.394	3.130	3.097
2500	2.684	2.575	2.819	2.721	0.067	2.593	2.318	2.782	2.901	2.054	2.538	2.538	2.564	2.175	2.635	2.849	2.379	0.034	2.164	2.620	2.499
3150	2.307	2.447	2.219	2.439	2.236	2.651	2.318	2.439	2.440	1.184	2.433	2.237	2.250	2.517	2.336	2.151		2.205	2.508	2.218	2.204
4000	2.013	1.993	1.920	2.169			1.955	2.140	2.086	2.460	2.160	1.972	2.203	2.298	2.126	2.104	2.067	1.994	2.122	2.054	1.934

Tiempo de reverberación

Frecuencias	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	3.773	3.669	4.301	2.992	2.881	2.291				4.291		4.337	3.679	0.002			4.046	3.427		3.635	3.601
250	3.255	3.172	3.108	3.108	3.091	2.266	3.124	3.699	3.278	2.928	2.946	2.694	3.553	3.280	3.255			3.255	2.393	3.074	2.965
315						1.684	2.846	3.829	3.372	3.048	2.653	2.518	3.159	3.748	3.058	4.192	2.550	3.417	2.243	2.893	2.886
400	2.719	4.566		2.134			2.690		3.364		3.031	2.683	4.189	4.520	3.492						
500	2.454	4.367		2.160		3.775		3.371		3.295	3.018	2.440	4.123	4.831	3.621		0.071				3.078
630	2.057	4.304	2.884	3.139	3.682		1.921	2.917	1.876				3.720	2.428						3.629	2.042
800		2.809	1.775	3.390	2.916	3.201		2.093	3.234		1.720		3.194	2.894			2.661	2.961	3.132	3.198	4.533
1000	1.689		1.798	4.002	3.756	4.446	2.009	3.754			1.468	2.598			2.675		2.010	3.264	3.236	4.216	2.180
1250	3.733	1.579	3.297	2.922	4.546	2.578	4.013	3.398	3.523		0.095	3.100	3.501	3.224	2.923	2.702	2.695	4.329	3.787	3.547	3.042
1600	3.147	1.591	3.480	3.143	3.358	2.950	3.377	3.672	4.306		3.194	3.704	3.454	3.978	2.873	3.051	2.768	3.573	3.311	2.772	3.655
2000		1.052	3.103	3.846			2.940	2.939	2.341	2.692	3.145	2.286	2.926	2.202	3.126	2.970		2.450	3.135	3.108	2.461
2500		0.821		2.373	1.173	2.741	2.364	2.528	2.680	2.528	2.315	2.681	2.428	2.049	2.669	2.710	2.726	2.967	2.462	2.587	2.583
3150	2.426	2.347	2.525	2.037	2.402	2.403	2.134	2.212	2.228	2.275	2.086	2.196	1.940	2.642	2.225	2.434	2.344	2.301	2.246	2.438	2.306
4000	2.094	2.201	2.228	2.031	2.087	2.104	2.144	2.121	2.143	1.897	2.139	2.079	1.511	2.075	2.162	2.072	2.156	2.045	2.049	2.060	2.161

Bloque hueco																				
Frecuencias	Tiempo de reverberación																			
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	1.124	1.229	1.058	1.353	1.383	1.572		2.923			1.998	2.156	1.245	1.479	1.380	1.592	1.549	1.474	1.973	2.180	1.703
250	3.404		2.945	2.569	3.011	2.814	2.723	2.964	2.412				1.674	2.449	1.898	2.957	2.609	2.706	2.549	2.573	2.598
315	2.761		2.729	1.837		2.490	2.024	2.047	2.063	1.513	2.043	1.914				2.322			2.937	3.471	2.759
400	2.459	2.462	2.526		2.504		2.611	2.681	2.508	2.716	2.566	2.612	1.546	2.761	2.324	2.212	2.027	2.482	3.367		2.592
500	2.713	2.738	2.646	1.875	2.684	2.890	2.849	2.444	2.468	3.248	3.039	2.961					1.856	3.948		2.653	2.934
630	2.714	2.525	2.245	1.033		2.655				2.900	2.527	2.511		4.140			1.326		1.985	2.502	2.776
800	2.991	2.229	1.815	2.045	2.513	2.522	2.197	2.177	2.232	2.247	2.243		2.486	1.763	2.668	1.695	4.039	2.913	1.793	1.910	2.368
1000	3.351	2.631	1.495	2.161	2.378	2.531		2.762		2.773	2.057		2.502	2.342	1.870	1.585	2.796	2.561	2.327	1.430	2.449
1250	3.316	2.447	3.324	2.105	2.741	2.638	2.780	2.631	2.783			2.458		2.536		1.571	2.569	2.012	2.495	1.731	2.756
1600	0.056	2.804	3.096	2.200	3.048	2.601	2.361	2.479	2.558	2.162	2.716	1.971	2.681	2.534	2.546	2.557	2.549	2.587	2.318	2.430	2.669
2000	1.590	2.064	2.179	2.257	1.920	2.242	2.151	2.308	2.082	2.203	2.326	2.140	2.933	2.309	2.029	2.289	2.431	2.637	3.311	1.862	2.878
2500	2.627	1.942	1.813	2.459	1.383	1.939	1.939	2.010	1.985	2.116	1.982	2.136	1.919	2.337	2.134	2.349	1.874	1.986	1.782	2.138	1.651
3150	1.878	1.855	2.268	1.706	1.370	1.727	1.782	1.774	1.793	1.751	2.145	2.489	1.831	1.643	1.635	1.859	1.727	1.924	1.998	2.006	1.969
4000	1.337	1.605	1.509	1.627	1.448	1.657	1.675	1.673	1.641	1.687	1.546	1.538	1.822	1.863	1.583	1.561	1.630	1.581	1.723	1.762	1.676

Frecuencias	Tiempo de reverberación																				
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	1.706	1.714	1.793	1.487	2.029	2.205	1.651	1.714	1.734	1.964	2.025	2.117	1.474	1.324	1.886	1.605	1.616		2.101	1.839	
250	2.168	2.334	2.009	1.840	1.867	1.758	1.715	1.869	1.531	1.963	2.656	1.978	1.854	2.151	2.031	1.918	2.108		2.162		
315		3.024	2.454	1.901	2.242	1.705			1.595	2.099	2.672	2.117	1.580	1.842	1.886				1.967	2.457	
400	2.682	3.107	2.667	2.374	2.423	2.240	2.544	2.581	2.032	2.323		2.455	1.538	2.283	2.493	2.406	2.247	1.725	1.562	2.410	2.761
500	3.382	2.673	3.253		2.763	2.616	2.755	2.663	2.242		2.706		3.475		2.994	2.030	2.262	1.759	1.416		2.963
630	2.821		2.941		2.639		2.592	2.672	1.446	1.647	2.144	2.765		2.686	2.350		2.785	2.458		2.336	2.741
800	2.133	1.977	2.211	2.137	2.258		2.417	2.491	2.565	1.213		3.105	2.466	2.551	2.092	2.504	2.679	2.334	2.806	1.912	2.176
1000	2.054	1.966	2.506	2.426	2.346	2.509	2.437	2.821	2.010				2.785	2.908	1.905	2.983	2.748	2.713	2.436		1.806
1250		1.578	2.494	2.553	2.197	2.779	2.615	3.102	2.239	2.563	1.552	1.383	2.768	3.695	2.959	2.578	2.193	2.395	2.458	2.820	2.791
1600	2.798	1.689	2.375	2.767	1.956	2.609	2.572	3.172	2.439	2.566	2.504	1.661	2.474	2.415	2.365	2.498	2.245	2.330	2.969	2.635	2.745
2000	2.000	2.735	2.276	2.881	1.416	2.046	2.446	2.853	2.628	1.803	2.358	1.839	2.273	2.412		2.248	2.429	2.438	2.087	2.176	
2500	1.265	2.213	1.789	1.768	1.069	2.634	1.911	2.270	3.159	2.001	2.057	1.760	1.843	1.894	1.951	1.964	2.171	1.887	2.141	1.899	2.118
3150	1.925	1.913	1.763	1.874	2.739	1.613	2.090	2.144	1.284	1.403	1.765	1.572	1.964	1.907	1.862	1.747	1.848	2.083	1.792	2.027	1.687
4000	1.505	1.644	1.491	1.520	1.582	1.900	2.013	1.926	1.775	1.694	1.478	0.058	1.595	1.610	1.750	1.719	1.674	1.721	1.637	1.627	1.645

Ladrillo																				
Frecuencias	Tiempo de reverberación																			
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	2.668	2.654	2.549	2.149	2.362	2.395	2.548	2.157	2.229	2.692	2.984	3.355	2.469	3.111	2.325			3.295	2.430	2.549	2.939
250	2.895	4.485	2.445	1.774	2.400	1.985	2.573	2.080	2.264				1.630	2.202	1.827	3.095	2.638	3.403			3.860
315	2.335	3.474	1.786	1.416	1.737	1.475									1.413	2.397			2.462	2.154	3.557
400		2.386	0.660	3.051	1.712	1.600	1.319	1.648	1.446	1.792	1.831	1.868	1.246	1.544	2.798	2.067	1.530				2.949
500				1.743	1.736	1.499		3.104	1.747	3.233		1.800		1.596	2.426	2.300	2.987	1.968		1.632	1.040
630	2.572	0.679	2.426	2.924		2.183	1.945	2.014		2.362	1.867	2.058	2.160		1.780	1.615	1.858	1.588		2.466	0.942
800	2.018	0.593	1.948	2.548	1.800	1.864	1.972	2.057	1.784	1.738	1.705	1.809	2.497	1.841	2.324	1.722	1.851	1.524		1.773	0.844
1000	2.328	0.817	2.207	1.246	2.206	3.807	2.529	3.088	1.601	2.355	2.426	2.277	3.159	1.562	1.742	1.973	2.023	1.749	0.848	1.992	0.791
1250	1.496		2.062	1.112	2.060	1.180	1.989	1.620	2.026	1.861	2.275	1.760	0.971	2.157	1.806	2.045	1.959	1.546	1.075	2.353	0.712
1600	1.815		2.055	1.265	1.899	1.291	1.525	1.778	2.522	2.033	1.971	1.799	2.566	2.281	2.263	1.933	1.930		1.003	1.653	0.858
2000	1.700	1.792	1.434	1.518	1.902	0.852	2.090	2.225	1.523	1.866	1.765	2.138	2.171	1.758	1.890	1.807	1.947	0.809		1.711	
2500	0.904	1.100	1.593	2.163	1.779	2.061	0.709	1.220	1.830	1.544	1.547	1.389	0.198	1.632	1.556	1.572	1.576	0.648	0.779	1.949	1.208
3150	0.011	1.596	1.663	1.159	1.481	1.667	1.708	1.643	1.483	1.453	1.456	1.969	1.644	1.617	1.384	1.363	1.560	0.765	0.913	1.457	1.252
4000	1.646	1.424	1.384	1.605	1.446	1.656	1.601	1.433	1.372	1.304	1.363	1.441	1.547	1.308	1.403	1.486	1.483	1.603	1.058	1.572	1.328

Frecuencias	Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación			Tiempo de reverberación		
	Tiempo de reverberación																				
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	2.832	2.987	3.187	2.877	3.276		2.728		3.452	2.659	3.400	3.404				2.660	2.365	2.532	3.285	3.188	3.288
250		0.006					2.405	2.506	2.431	2.286	2.726	2.564	2.562	2.712	2.984				2.150	2.329	2.296
315	2.666	2.703	2.917	2.767	3.060	2.279	2.488	3.174	2.177	2.178	2.830	2.338	2.487	2.504	2.779						
400	1.935	2.302	2.348	2.690	3.425	2.049	2.638	2.197	2.182	1.723	2.727	1.996	2.497	2.104	2.510	2.313	2.351	1.351	1.929	2.223	
500		1.984		2.171		1.511	2.253		1.689	1.364		1.807		2.563	2.751		1.853	2.330	1.503	2.111	
630		1.600	2.272		3.642		1.894			1.036	1.812	1.809				2.001	1.919	1.971		2.076	1.903
800	1.976	1.232	1.772		1.667	1.903	1.565	1.460	2.624	1.939	2.313	1.659	1.020	2.129	2.371	1.610	1.814	1.798	1.863	1.942	1.373
1000	2.013	3.985	2.485	1.804	1.661	1.812	1.360	1.306	2.239	1.770	1.725	1.367	0.947	2.177	1.662	1.694	1.861	1.535	1.679	2.658	1.556
1250	1.988		3.189	1.949	1.848	1.970	3.096	1.200	2.168	1.938	1.392	1.159	1.104	1.887	1.224	1.774	1.872	1.251	1.730	1.915	1.790
1600	1.932	1.583	1.223	1.955	1.846	1.953	2.331	1.234	1.867	1.953	1.294	2.621	0.979	1.921	1.425	1.047	1.771	1.365	0.001	1.214	1.651
2000	1.891	1.973	1.222	1.806	1.509	1.667	1.380	1.095	1.949	1.544	1.949		0.778	1.710	1.887	1.186	2.094	1.947	2.286	1.312	
2500	1.375	1.380	2.009	1.971	1.603	1.554	1.769	1.008	1.589	1.524	1.621	1.153	1.093	1.481	1.284	0.750	2.071	1.735	1.408	1.325	0.830
3150	1.546	1.403	1.750	1.113	1.497	1.449	1.435	16.570	1.442	1.353	1.480	1.395	1.705	1.459	2.919	1.300	2.461	1.573	1.407	1.413	0.992
4000	1.416	1.417	1.595	1.344	1.652	1.458	1.349	6.266	1.319	1.232	1.382	1.485	1.609	1.540	1.596	1.600	2.520	1.522	1.349	1.602	1.999

Esponja negra																				
Frequencias	Tiempo de reverberación																			
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200				2.620	2.554	2.526	3.954			3.019	2.573	3.044	2.398	3.218	2.864	3.611	2.598	2.421	2.632	3.488	2.476
250	2.306	2.442	2.893	2.336	2.551	2.315	1.990	1.897	2.037			0.001	2.283	2.233	2.540	3.449	2.378	2.792	2.099	2.201	2.503
315	2.388	2.114	2.747	1.993	1.934	2.425	1.992	1.955	1.766			0.005						2.432	1.741	1.760	2.384
400	2.000		2.300	2.430	2.246	2.248		1.815	1.647		1.915	1.875	1.742	1.406	1.734	3.251	2.102	2.093	2.040	1.968	2.071
500	1.922	2.041						1.836		1.695	2.116			1.471	2.017			2.069	2.360		
630	1.474	2.060		1.628	2.015	1.863	1.199		1.976	1.583			2.159		2.023	0.836	1.745	1.658		1.597	1.276
800	1.081	2.182	2.801	1.159	1.832	1.728	1.224	2.155	1.704	1.344		1.525	1.743	1.849	1.453	0.747	1.758	1.448	0.925	1.369	1.553
1000	2.113	2.176		1.011	1.651	1.762	1.189	1.690	2.031	1.396	1.726	1.530	1.777	1.670	1.148	0.796	1.816	1.202	0.816	1.609	1.666
1250	1.727	1.355	2.326	1.017	2.561	1.686	1.049	1.343	2.665	1.425	1.619	1.602	2.456	1.576	2.373	0.648	1.735	2.555	0.723	1.372	1.726
1600	1.546	1.313	1.489	0.970	1.159	1.593	1.077	1.889	0.839	1.442	1.695	1.730	2.080	1.974	0.742	2.144	1.895	1.754	0.831	1.274	1.509
2000	1.247	1.243	1.109	1.003	1.069	1.387	0.988	1.498	1.086	1.585	1.659	2.127	0.811	1.457	1.253		1.486	1.236	0.733		1.386
2500	1.396	1.252		1.543	0.988		0.846	1.318		0.723	1.195		0.874	1.504		0.986	1.805		2.944		
3150	1.352	1.282	1.352	1.525	2.255	0.888	1.405	1.363		0.587	1.169	1.227	1.472	1.337	1.368	1.445	1.434	1.417	2.169	1.610	1.402
4000	1.056	2.064	1.079	1.390	1.242	4.106	1.301	1.518	3.282	2.449	1.088	1.499	0.396	1.137	1.173	1.219	1.246	1.275		4.957	1.359

Frequencias	Tiempo de reverberación																				
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200			2.227				2.911	2.593	2.551	2.415	3.146	2.308	1.847			2.427		2.823	2.701	2.607	2.481
250			2.156	1.920	1.679	1.986	2.082	2.134	1.986	1.991	2.498	1.748	2.987	2.233	2.178				1.947	1.707	1.882
315	1.466	1.667	1.729	1.740	1.603	1.737	1.917	2.029	1.527	1.747	1.753	1.257	3.147	1.746	1.745	1.766	1.747		1.670	1.451	1.714
400	1.525	1.838			1.529	2.007	1.955	1.617	1.296	1.578	1.368	2.447		1.698	1.718	1.702	1.650	2.435	1.666	2.712	
500	2.667		1.499	1.993	3.130			1.834	1.826	1.255		2.081		1.509	1.383	1.681	4.341		1.299		3.380
630	1.918	1.982	1.492	1.577	1.892	1.761	1.680	1.402		1.178	1.866	1.540	0.788			1.276	1.792	1.620		1.852	2.209
800	1.623	1.555	1.545	1.346	1.414	1.523	1.552		1.580	2.163	1.392	1.762	0.707	1.792	1.722	1.503	1.560	1.657	1.487	1.519	
1000	1.716	1.760	1.243	1.671	1.625	2.046	1.648	1.573	1.462	1.381	1.582	4.895	0.693	1.349	1.316	1.538	1.457	1.393	1.261	1.262	1.059
1250	1.608	1.324			1.559	3.204	1.584	1.172	1.450	1.788	1.515	0.986	0.932	1.976	1.939	1.736	1.643	1.724	1.533	1.250	1.180
1600	1.434	1.435	1.240	2.690	1.761	0.873	1.260	1.682	1.527	1.285	1.319	1.163	0.606	1.468	1.310	2.013	1.576	1.475	1.681	1.602	1.134
2000	1.424	1.834	1.494	1.826	1.374	0.852	1.191	1.425	1.876	1.435	1.311	1.679	1.696	1.639	1.515	0.683	2.118	1.793	1.328	1.890	1.579
2500	1.285	1.798	1.198	0.735	1.441	0.912	1.518	1.147	0.979	1.330	1.074	0.851	0.964	1.263	1.103	0.990	1.128	0.983	1.524	0.881	1.366
3150	1.322	1.249	1.250	5.166	1.177	1.081	3.247	1.265	1.398	1.078	0.997	0.953	1.256	1.228	1.123	0.449	1.460	3.340	1.240	1.362	5.584
4000	1.039	1.429	1.073	4.940	0.999	0.613	0.806	1.135	1.278	1.765	1.062	1.347	1.126	1.066	1.123	1.154	1.212	1.324	1.168	1.178	1.400

Esponja amarilla																				
Frecuencias	Tiempo de reverberación																			
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200		2.604		2.765	2.933	3.068		2.528	3.622	3.062	3.198	3.031	2.109	2.783	2.748	3.061	2.945	3.129	3.186	2.691	
250	3.069	2.605	2.572	2.423	2.451	2.415	1.992	1.750	1.960				2.559	2.500	2.288	2.447	2.737	2.343	2.321	2.611	2.646
315	2.947	2.748	2.671	2.496	2.456	2.454		2.078	2.224				2.083	2.086				1.969	1.953	2.466	2.171
400	3.213	3.095	2.720	2.346	2.593	2.482	2.093	1.155	2.235	2.319	2.508	2.176	1.839	1.552	1.528	1.738	2.331	1.590	1.813	2.264	2.156
500					1.970	2.257		2.176	2.245	1.931	1.941	1.725		1.562	2.311	1.550	2.748	2.314	1.490	1.948	
630		1.068	1.438	1.765	2.340			1.667	1.992	2.516	2.285	1.930	2.387		1.997			1.801	1.182	1.417	1.386
800		0.813	1.007	1.573	2.019	1.773	1.721	1.748	1.572		1.761	1.291	1.717	1.765	1.657	1.584	1.611	1.627	2.327	1.092	0.987
1000		0.754	0.981	1.552	2.408	1.861	1.616	1.731	1.596			0.971	1.478	1.534	1.605	1.530	1.399	1.492	1.581	1.176	3.287
1250		0.693	1.049	1.527	2.811	1.573	1.543	1.482	1.394		1.586	2.492	1.464	1.511	1.644	1.939	1.480	1.320	1.102	1.559	1.234
1600	1.138	0.740	0.811	1.685	0.030	1.589	1.711	1.677	1.063	1.614	1.476	1.417	1.753	1.544	1.567	1.287	1.498	1.663	1.539	1.137	1.180
2000	0.940	0.675	0.710	1.713	0.777	1.647	1.077	1.371	0.863	1.234	1.291	1.150	1.324	1.357	1.497	1.353	1.372	1.054	1.374	1.643	1.624
2500	1.225	1.789	0.754	1.302	0.677	1.253	1.130	1.162	1.970	1.134	1.175	1.165	1.294	1.413	1.231	1.389	1.404	1.050	1.343	1.123	0.978
3150	1.200	1.537	1.369	1.271	0.611	1.167	1.322	1.240	1.022	1.124	1.296	1.130	1.322	1.184	1.222	1.165	1.140	1.355	1.214	1.301	1.350
4000	1.045	0.990	1.233	1.180	0.512	1.227	1.151	1.137	1.342	1.105	0.991	1.132	1.102	1.133	1.166	1.196	1.255	0.916	1.115	1.204	0.914

Frecuencias	Tiempo de reverberación																				
	Micrófono 1			Micrófono 2			Micrófono 3			Micrófono 4			Micrófono 5			Micrófono 6			Micrófono 7		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
200	3.670	3.963	2.198				3.354	4.030	3.813	3.387	3.503	3.520							3.816	3.313	3.111
250				2.331	1.931	2.479	2.446	2.840	2.954	2.563	2.566	2.555	2.698	2.787	2.891				2.665	2.352	2.538
315	2.028	2.075	1.689	1.978		2.459	1.896	2.417	2.246	2.256	2.222	2.270	2.146	2.171	2.478		0.001		2.354	2.092	2.189
400	2.392	2.507		1.933	1.696	2.618	1.723	2.382	1.934	2.288	2.053	2.445	2.118	2.104	2.437	1.589					
500	2.223	2.399			1.685	2.106	1.585		1.941	1.775	1.633			1.767	2.301	1.659	2.536	3.094		1.253	1.756
630		9.109	4.500	1.713	1.831	1.956	1.002	1.104	1.604	1.431	1.301			1.780	1.824	1.800	2.339				1.526
800	1.704		1.840	1.439	1.260	1.503	2.220	1.236	1.282	1.249	1.075	1.229		1.949	1.411	1.334	1.600	0.105	1.357	1.409	1.283
1000	1.705		1.431	1.619	1.215		1.397	1.360	1.775	1.060	1.077	1.269	1.410	1.670	1.233	1.117	1.557	2.532	1.442	1.374	2.168
1250	1.254		1.317	1.945	1.194	1.462	1.740	1.583	1.907	0.928	1.433	1.147	1.508	1.555	1.062	1.411	1.191	1.450	1.497	1.479	1.507
1600	1.077	1.566	1.595	1.305	1.660	1.663	1.739	1.664	1.808	1.811	1.110	1.125	1.359	1.366	1.987	1.492	0.972	1.526	1.449	1.520	1.307
2000	2.390	1.386	1.385	1.399	1.860	1.395	1.319	1.516	1.300	1.065	1.348	1.002	1.374	1.644	1.292	1.398	0.807	1.502	1.495	1.395	1.623
2500	1.857	1.343	1.298	1.515	0.922	1.150	1.241	1.133	1.045	1.360	1.025	1.315	1.307	1.114	0.890	1.416	1.637	1.321	1.244	1.114	1.238
3150	0.985		1.239	1.221	1.427	1.184	1.208	1.141	0.844	1.073	1.063	0.736	1.170	1.202	1.120	1.215	1.034	0.908	1.208	1.212	1.178
4000	1.410	1.185	1.083	1.092	1.211	1.163	1.099	1.314	1.306	1.037	0.948	1.083	1.015	0.998	2.330	3.391	1.294	1.284	1.219	0.999	1.249

ANEXO V Otras mediciones realizadas con el tubo de impedancia

Tabla LII. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board. Medición 1

Black Acoustic Board-Medición 1					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.096	0.025	-0.330	0.233	3.013
250	0.229	0.206	-1.466	0.094	0.669
315	0.484	1.943	-2.718	0.174	0.243
400	0.694	0.475	-0.750	0.603	0.951
500	0.210	0.121	-1.021	0.114	0.966
630	0.171	0.284	-2.476	0.046	0.399
800	0.252	0.534	-2.474	0.083	0.386
1000	0.611	1.955	-2.019	0.248	0.256
1250	0.372	0.145	-0.911	0.171	1.070
1600	0.909	0.894	-0.588	0.781	0.514
2000	0.650	0.336	-0.534	0.845	1.341
2500	0.293	0.089	-0.190	2.032	4.311
3150	0.943	1.058	-0.501	0.772	0.365
4000	0.849	1.543	-0.898	0.484	0.282

Fuente: Autor

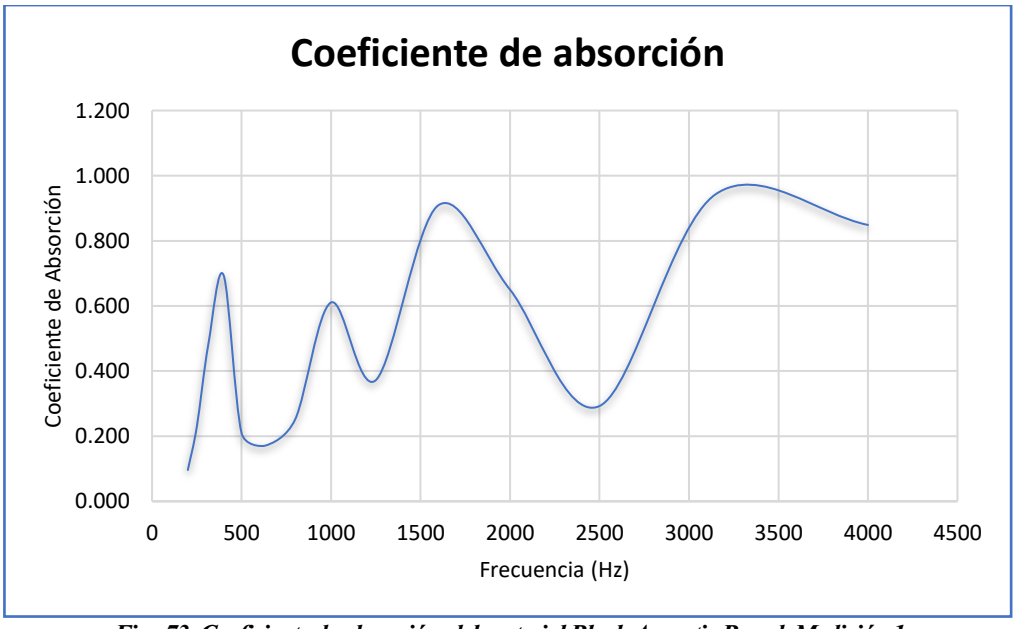


Fig. 73. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board. Medición 1
Fuente: Autor

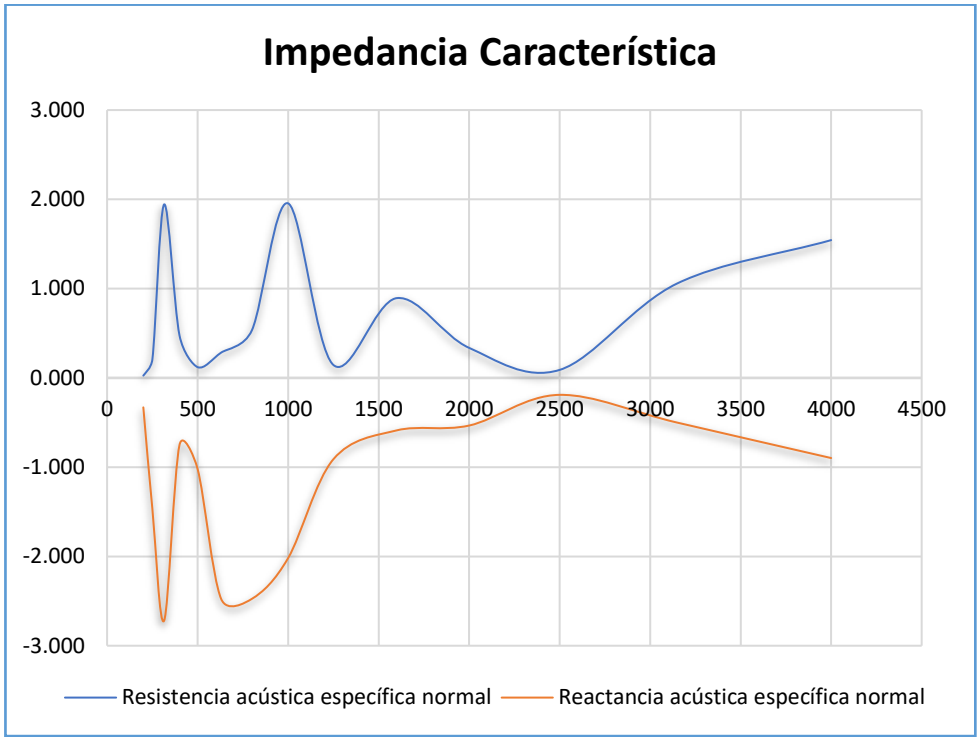


Fig. 74. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board. Medición 1
Fuente: Autor

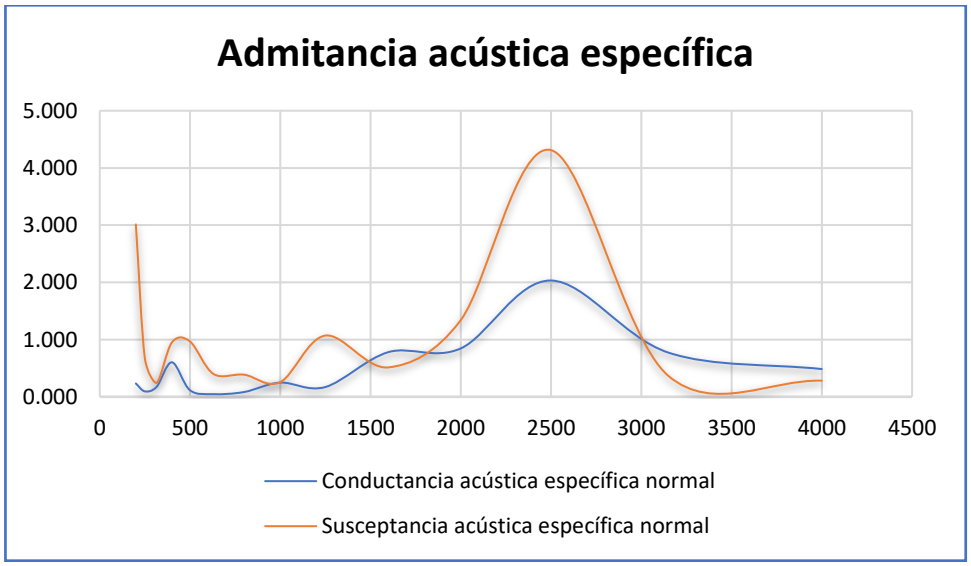


Fig. 75. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board . Medición 1
Fuente: Autor

Tabla LIII. Parámetros acústicos del material Black Acoustic Board. Medición 1

Black Acoustic Board-Medición 2					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.043	0.012	-0.329	0.113	3.040
250	0.216	0.149	-1.429	0.072	0.692
315	0.420	1.398	-2.748	0.147	0.289
400	0.699	0.515	-0.807	0.562	0.880
500	0.326	0.215	-1.078	0.178	0.892
630	0.155	0.420	-3.240	0.039	0.304
800	0.215	0.195	-1.481	0.087	0.664
1000	0.625	1.612	-1.870	0.264	0.307
1250	0.287	0.132	-0.746	0.230	1.300
1600	0.895	0.760	-0.546	0.868	0.623
2000	0.676	0.144	-0.342	1.045	2.486
2500	0.388	0.127	-0.191	2.419	3.638
3150	0.928	1.696	-0.213	0.580	0.073
4000	0.832	0.980	-0.888	0.560	0.508

Fuente: Autor

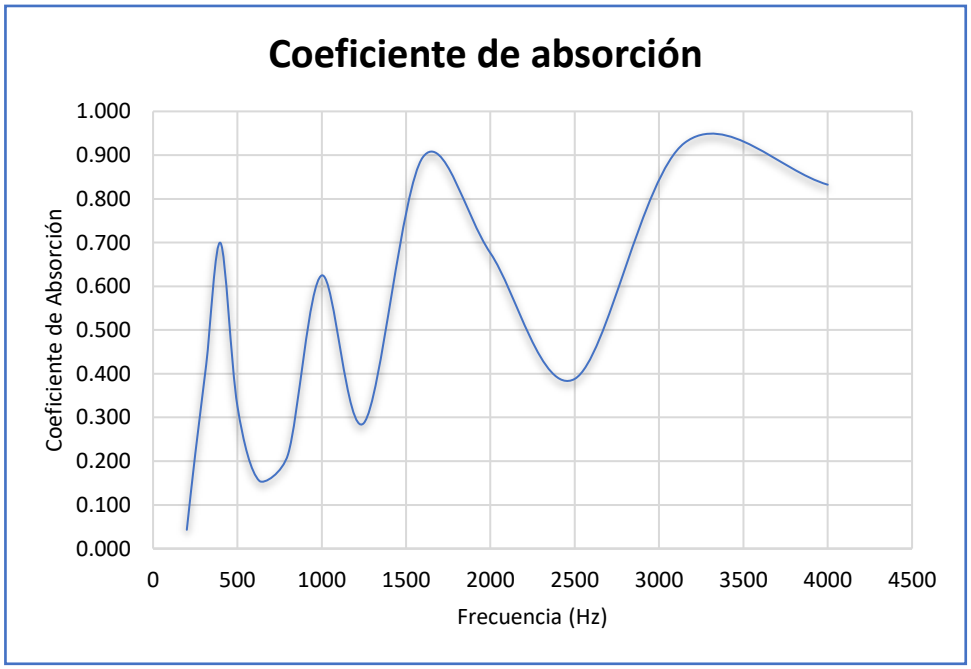


Fig. 76. Coeficiente de absorción. del material Black Acoustic Board. Medición 2
Fuente: Autor

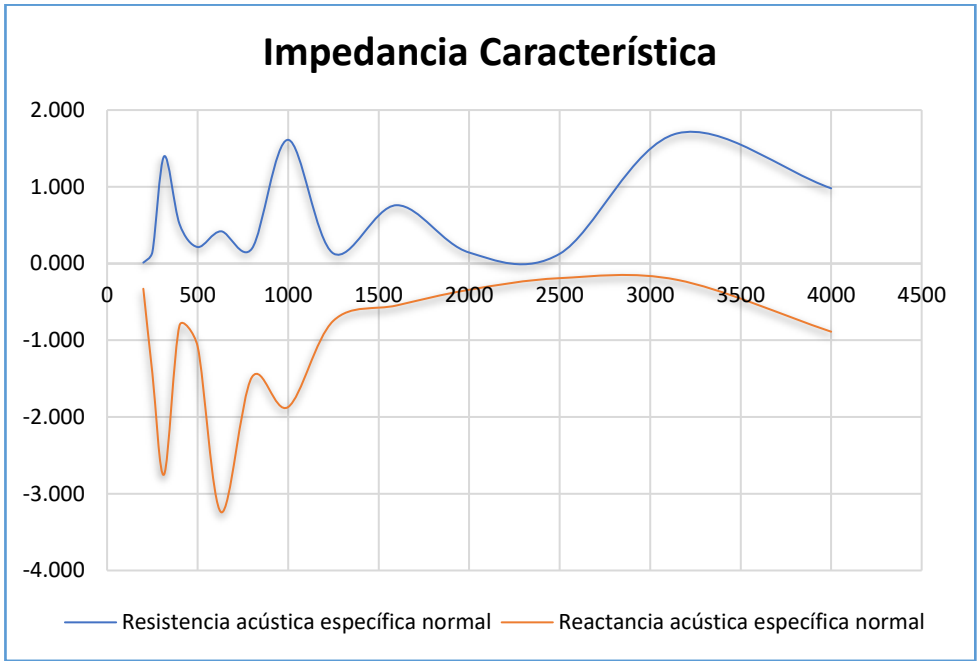


Fig. 77. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board. Medición 2
Fuente: Autor

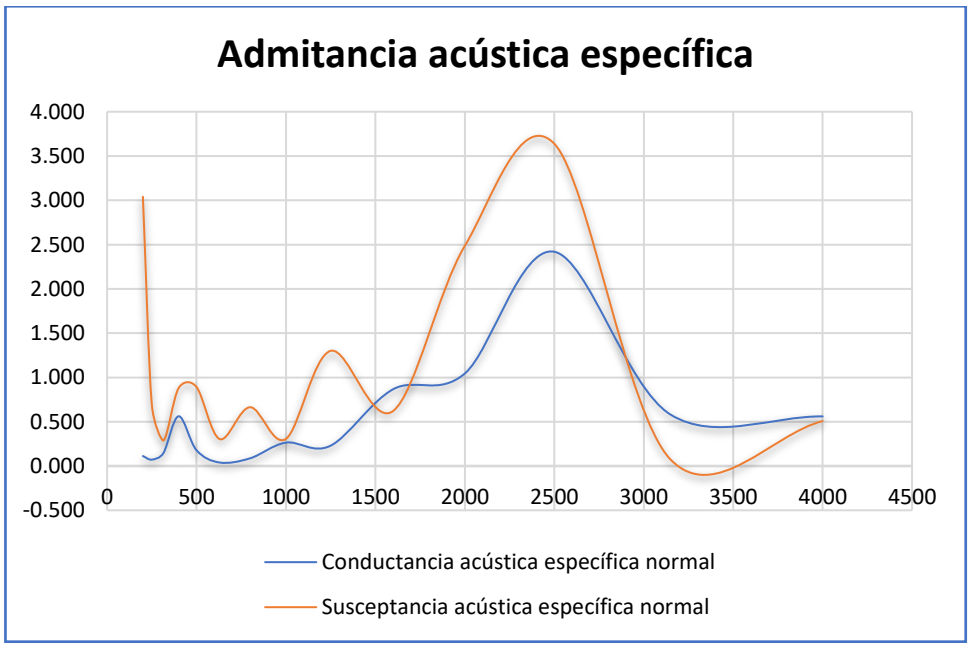


Fig. 78. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material Black Acoustic Board . Medición 2
Fuente: Autor

Tabla LIV. Parámetros acústicos del material corcho, espesor de 5mm

Corcho (5mm)					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.463	0.181	-0.410	0.902	2.043
250	0.334	0.131	-0.542	0.423	1.743
315	0.586	0.204	-0.869	0.256	1.091
400	0.378	0.416	-1.549	0.162	0.602
500	0.183	0.182	-1.604	0.070	0.616
630	0.258	0.104	-0.634	0.253	1.536
800	0.108	0.556	-4.504	0.027	0.219
1000	0.340	0.124	-0.447	0.578	2.077
1250	0.258	0.104	-0.634	0.253	1.536
1600	0.269	0.250	-1.467	0.113	0.663
2000	0.175	0.070	-0.676	0.152	1.465
2500	0.315	0.631	-2.314	0.110	0.402
3150	0.267	0.135	-1.128	0.104	0.874
4000	0.545	0.442	-1.081	0.324	0.792

Fuente: Autor

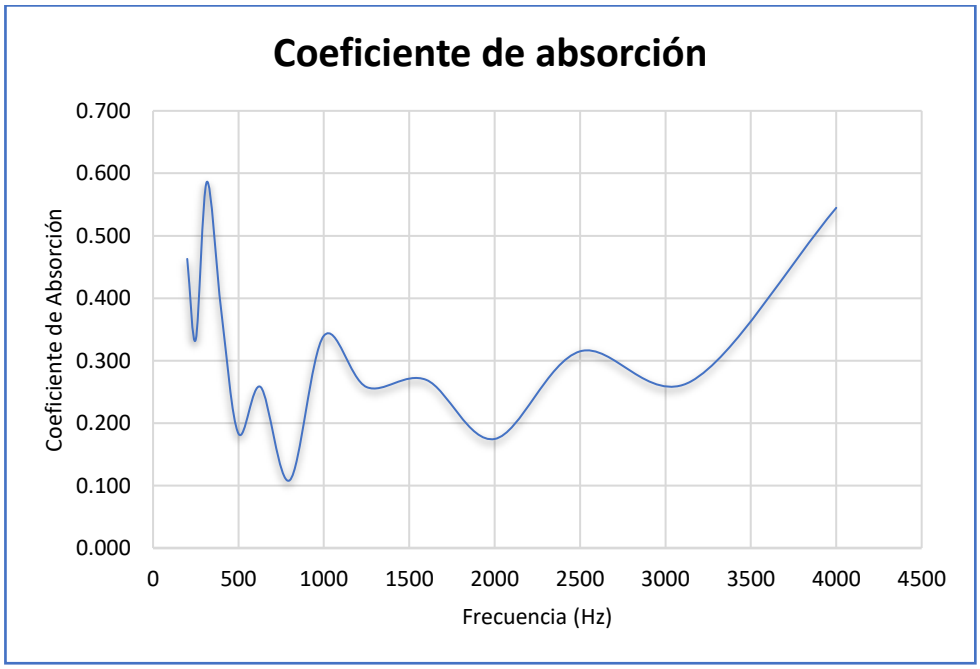


Fig. 79. Coeficiente de absorción. del material del material corcho, espesor de 5mm
Fuente: Autor

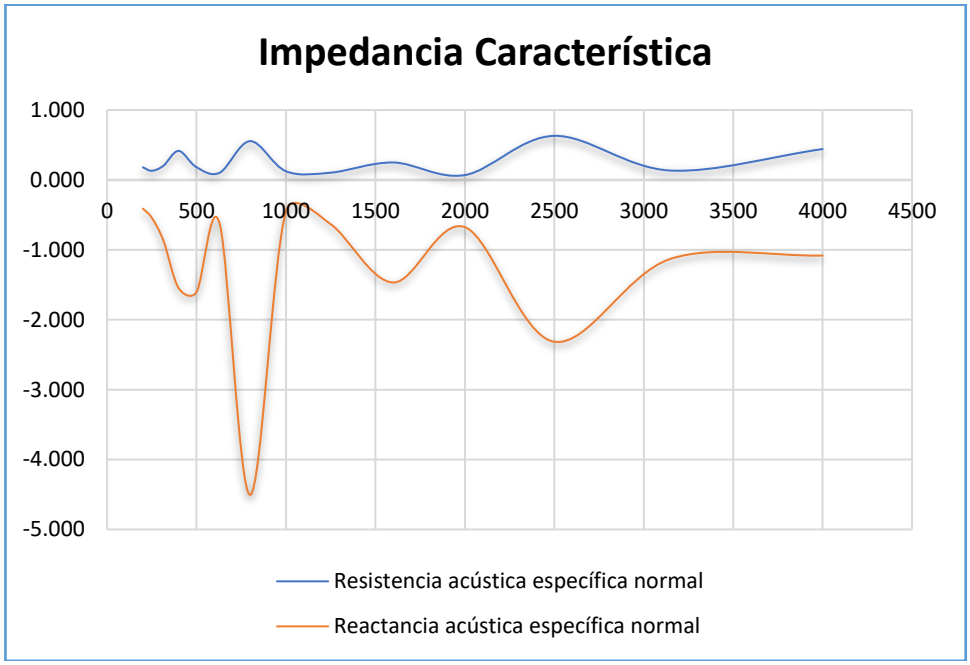


Fig. 80. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material corcho, espesor de 5mm
Fuente: Autor

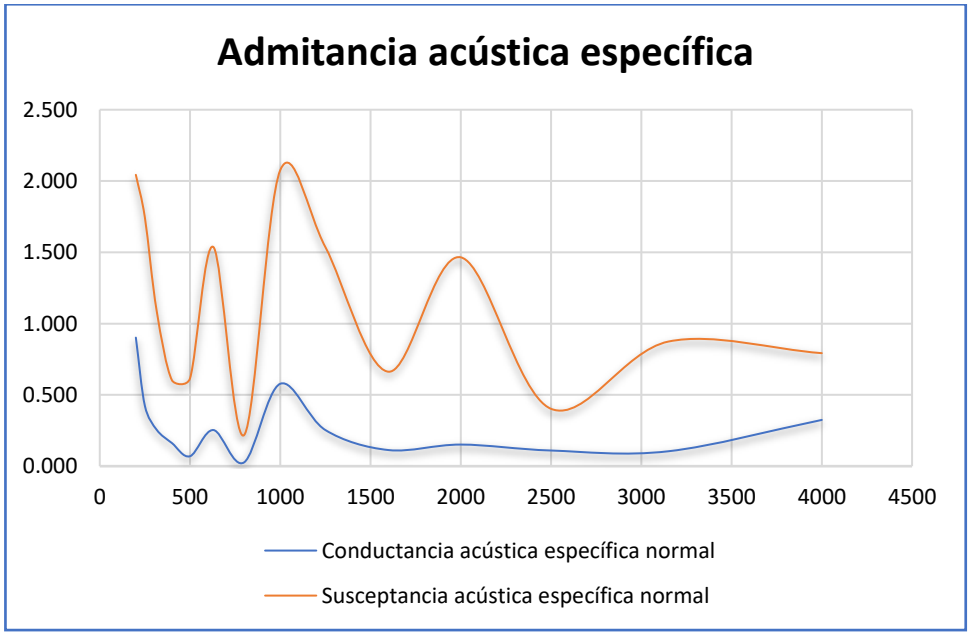


Fig. 81. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material corcho, espesor de 5mm
Fuente: Autor

Tabla LV. Parámetros acústicos del material yeso, espesor de 5mm

Yeso (5mm)					
Frecuencia (Hz)	**Coeficiente de absorción**	**Resistencia acústica específica normal**	**Reactancia acústica específica normal**	**Conductancia acústica específica normal**	**Susceptancia acústica específica normal**
200	0.463	0.181	-0.410	0.902	2.043
250	0.334	0.131	-0.542	0.423	1.743
315	0.586	0.204	-0.869	0.256	1.091
400	0.378	0.416	-1.549	0.162	0.602
500	0.183	0.182	-1.604	0.070	0.616
630	0.258	0.104	-0.634	0.253	1.536
800	0.108	0.556	-4.504	0.027	0.219
1000	0.340	0.124	-0.447	0.578	2.077
1250	0.258	0.104	-0.634	0.253	1.536
1600	0.269	0.250	-1.467	0.113	0.663
2000	0.175	0.070	-0.676	0.152	1.465
2500	0.315	0.631	-2.314	0.110	0.402
3150	0.267	0.135	-1.128	0.104	0.874
4000	0.545	0.442	-1.081	0.324	0.792

Fuente: Autor

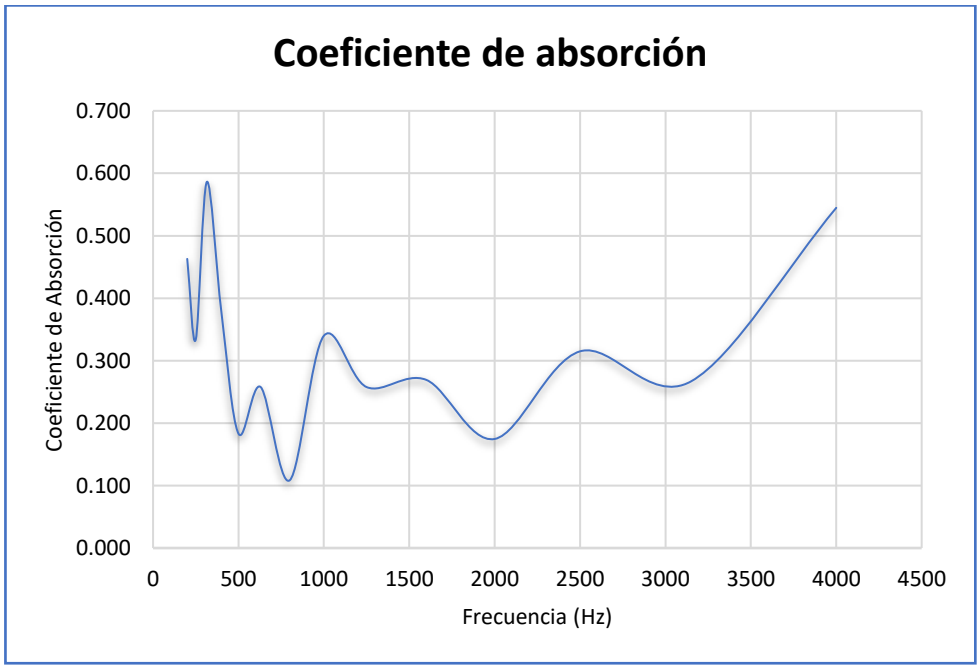


Fig. 82. Coeficiente de absorción. del material del material yeso, espesor de 5mm
Fuente: Autor

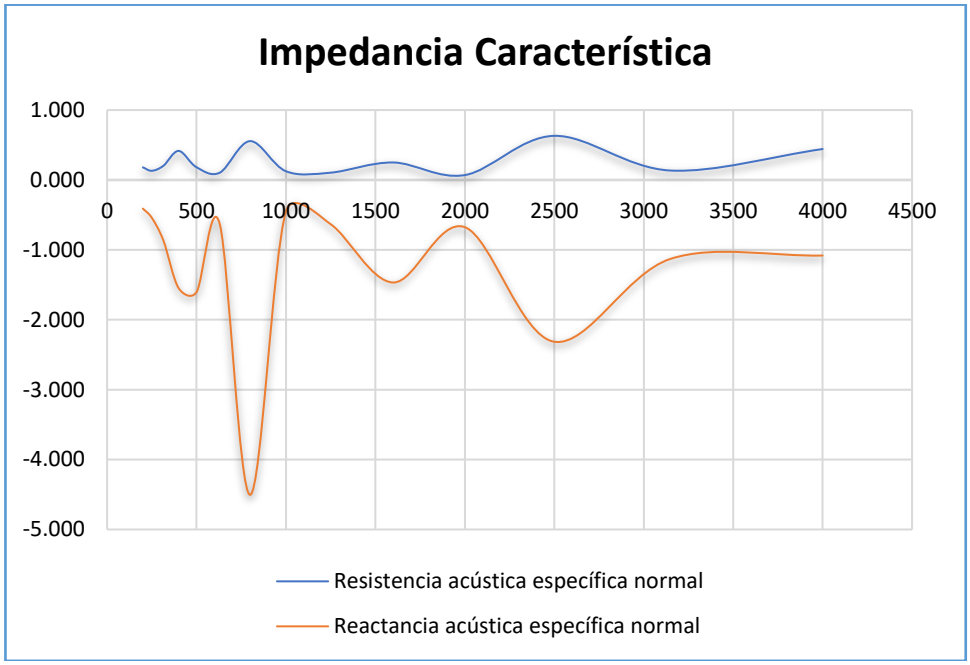


Fig. 83. Impedancia acústica específica, parte real (resistencia acústica específica normal), parte imaginaria (reactancia acústica específica normal). Material yeso, espesor de 5mm
Fuente: Autor

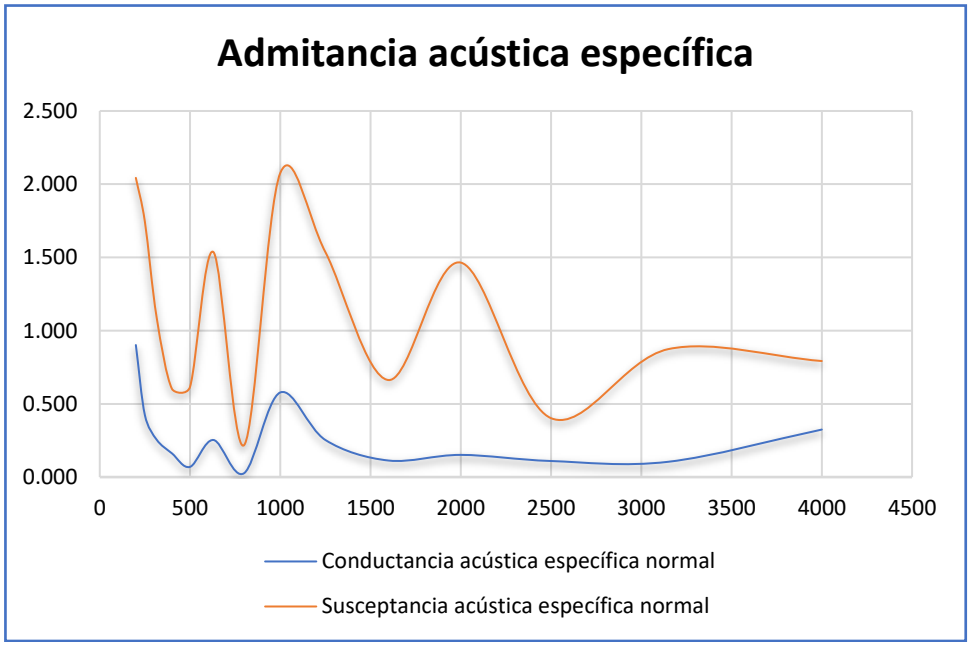
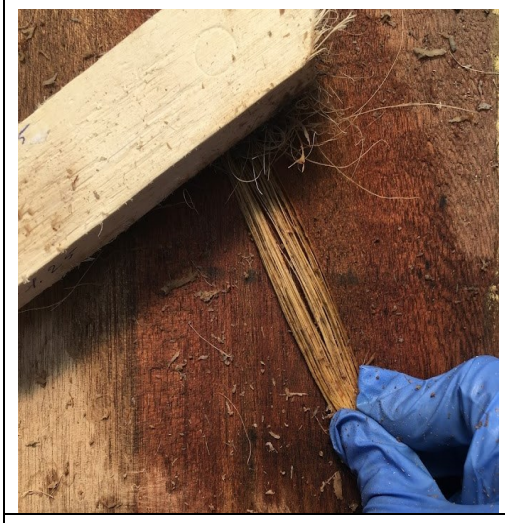
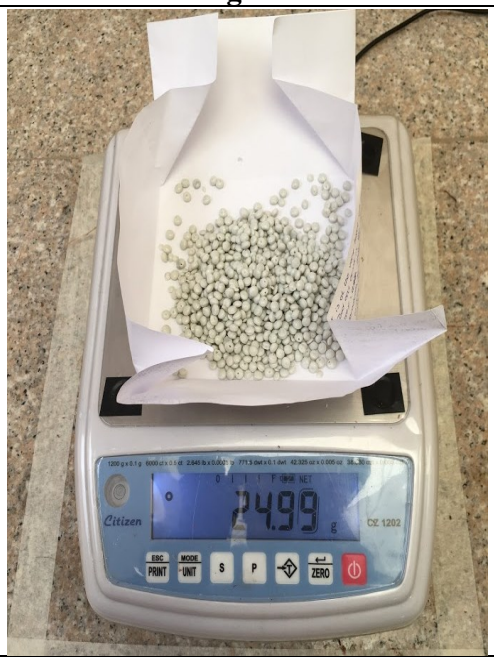


Fig. 84. Admitancia acústica específica, parte real (conductancia acústica específica normal), parte imaginaria (susceptancia acústica específica normal). Material yeso, espesor de 5mm
Fuente: Autor

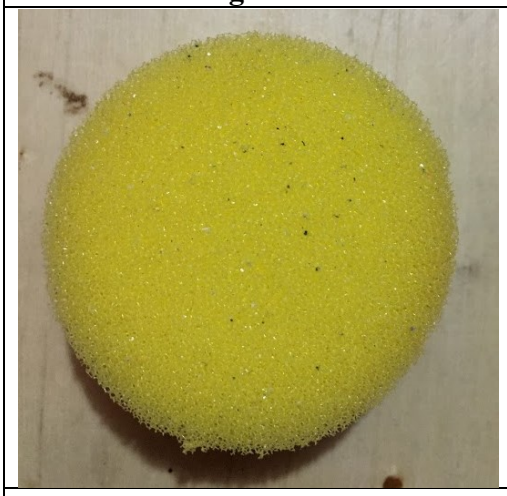
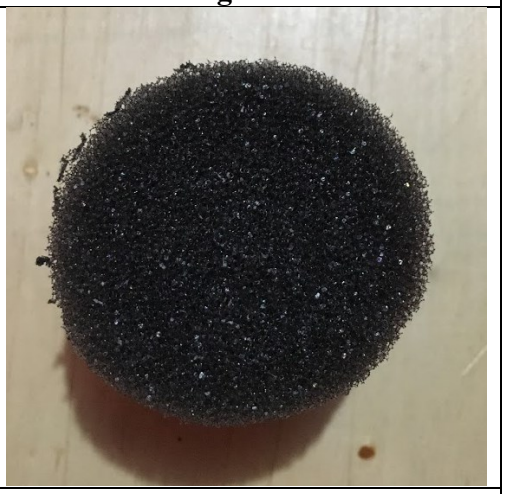
ANEXO VI Fotografías

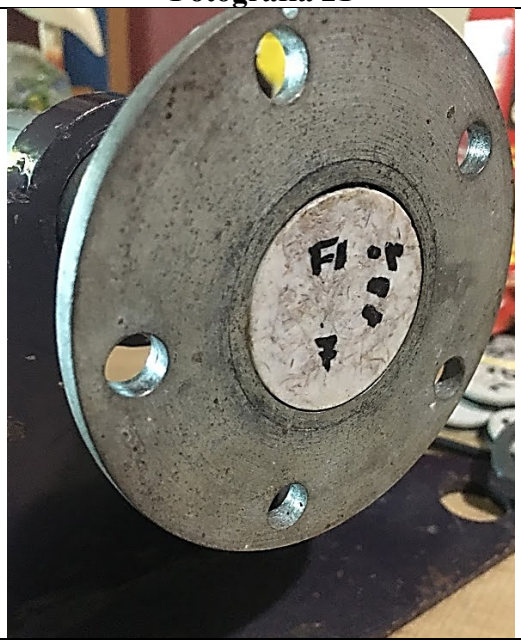
Fotografía 1	Fotografía 2
	
Obtención de las fibras de coco	Horno secador, donde se secaron las fibras de coco para obtener la densidad
Fotografía 3	**Fotografía 4**
Pesando las fibras	Obtención de densidad por el método de volúmenes

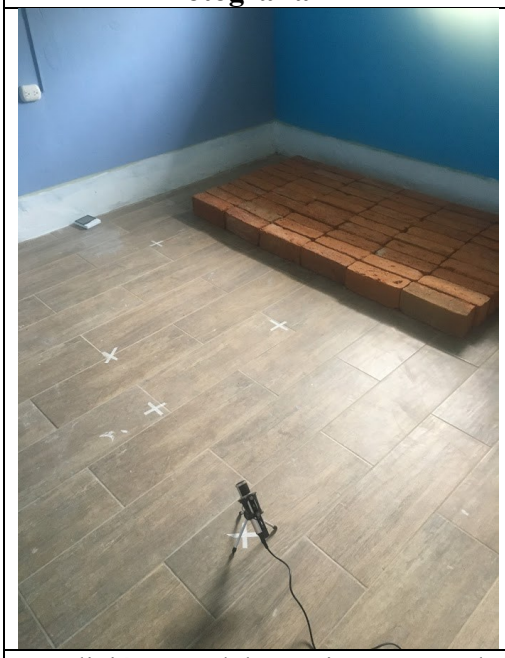
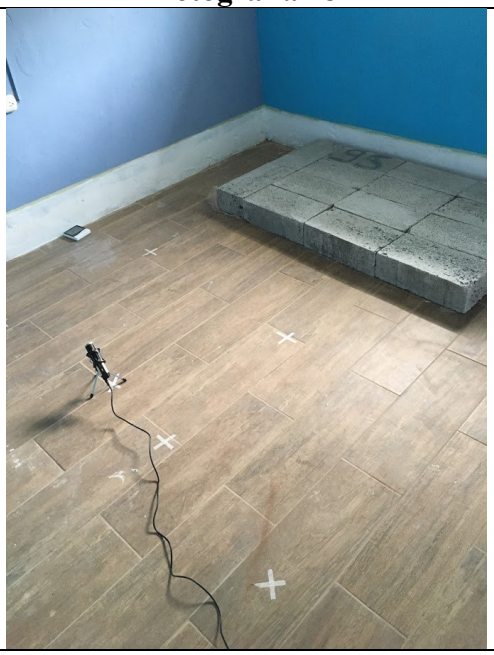
Fotografía 5	Fotografía 6
	
Obtención de densidad por el método del picnómetro	Pellets de polietileno de alta densidad
Fotografía 7	**Fotografía 8**
Pesando el hidróxido de sodio	Colocando los vasos de precipitación en la Sorbona

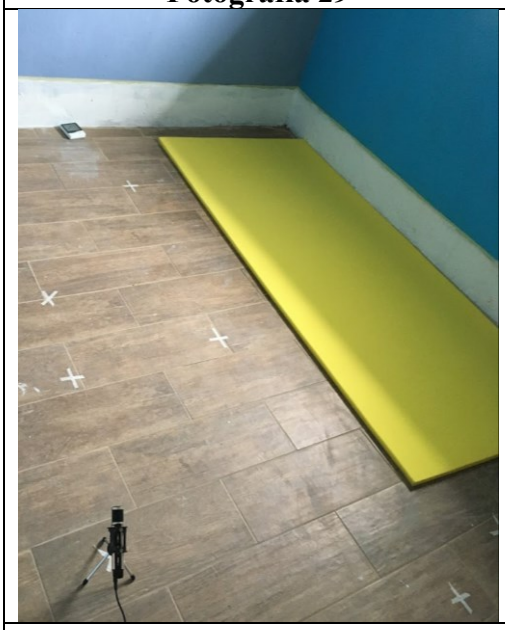
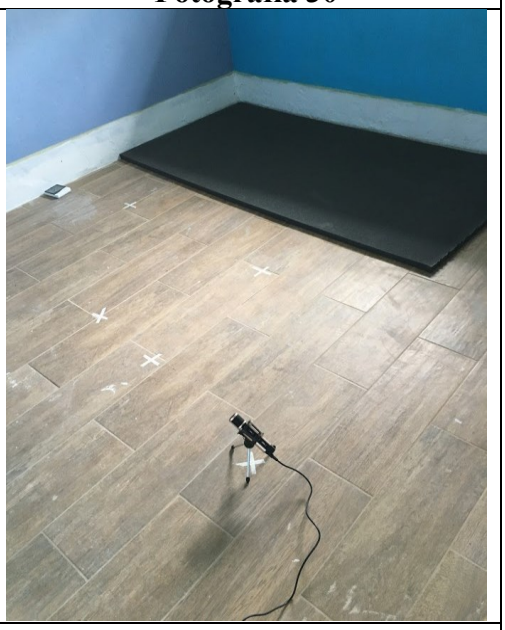
Fotografía 9	Fotografía 10
Fibras sumergidas en la solución de hidróxido de sodio	Lavando las fibras tratadas
Fotografía 11	**Fotografía 12**
Fibras secas tras el proceso de tratamiento	Materiales pesados para realizar las probetas

Fotografía 13	Fotografía 14
Materiales mezclados, antes de	
Fotografía 15	**Fotografía 16**
Probeta del 100% plástico	Probeta 75% plástico 25% fibra

Fotografía 17	Fotografía 18
Probeta 50% plástico 50% fibra	Material Black Acoustic Board
Fotografía 19	**Fotografía 20**
	
Material esponja amarilla	Material esponja negra

Fotografía 21	Fotografía 22
	
Probetas montadas en el porta-muesta	Micrófono electret, utilizado en las mediciones con el tubo de impedancia
Fotografía 23	**Fotografía 24**
Tarjeta de audio USB	Termohigrómetro digital: para la medición de la temperatura y humedad

Fotografía 25	Fotografía 26
Materiales para ensayar en la cámara reverberante	Micrófono Zealsound, usado en las mediciones en la cámara reverberante
Fotografía 27	**Fotografía 28**
	
Medición del tiempo de reverberación con el mampuesto ladrillo	Medición del tiempo de reverberación con el mampuesto bloque hueco

Fotografía 29	Fotografía 30
	
Medición del tiempo de reverberación con el material esponja amarilla	Medición del tiempo de reverberación con el material esponja negra