



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGÍSTER EN MANUFACTURA Y DISEÑO ASISTIDOS POR
COMPUTADOR**

**TEMA: ESTUDIO DE DISEÑO DE UNA CAJA ACÚSTICA DE TIPO CAR-
AUDIO, ELABORADA A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÓDULOS ACÚSTICOS DEL
SOFTWARE ANSYS WORKBENCH.**

AUTORES:

**MUÑOZ SIGCHA, BORIS NICOLÁS
RODRÍGUEZ CONSTANTE, JUAN CARLOS**

DIRECTOR: ING. CARRIÓN MATAMOROS, LUIS MIGUEL M.Sc

SANGOLQUÍ

2020



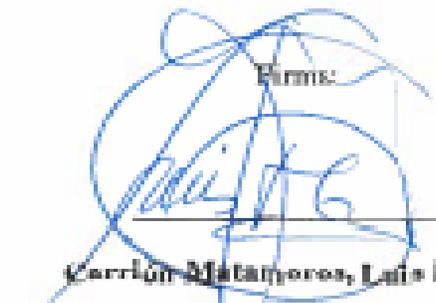
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *"ESTUDIO DE DISEÑO DE UNA CAJA ACÚSTICA DE TIPO CAR-AUDIO, ELABORADA A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÓDULOS ACÚSTICOS DEL SOFTWARE ANSYS WORKBENCH"* realizado por los señores **MUÑOZ SIGCHA, BORIS NICOLÁS** y **RODRÍGUEZ CONSTANTE JUAN CARLOS**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que los señores **MUÑOZ SIGCHA, BORIS NICOLÁS** y **RODRÍGUEZ CONSTANTE JUAN CARLOS** lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 12 de diciembre de 2019

Firma:

Carrón Matamoros, Luis Miguel
C.C. 1103574677



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS
AUTORÍA DE REPOSABILIDAD

Nosotros, MUÑOZ SIGCHA, BORIS NICOLÁS, con cédula de ciudadanía n°171716614-2 y RODRÍGUEZ CONSTANTE, JUAN CARLOS, con cédula de ciudadanía n°171647711-0, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *"ESTUDIO DE DISEÑO DE UNA CAJA ACÚSTICA DE TIPO CAR-AUDIO, ELABORADA A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÓDULOS ACÚSTICOS DEL SOFTWARE ANSYS WORKBENCH"* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Sangolquí, 12 de diciembre de 2019

Firma:

Muñoz Sigcha, Boris Nicolás

C.C: 171716614-2

Firma:

Rodríguez Constante, Juan Carlos

C.C.: 171647711-0



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSTGRADOS

AUTORIZACIÓN

Nosotros, MUÑOZ SIGCHA, BORIS NICOLÁS, con cédula de ciudadanía n°171716614-2 y RODRÍGUEZ CONSTANTE, JUAN CARLOS, con cédula de ciudadanía n°171647711-0, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *“ESTUDIO DE DISEÑO DE UNA CAJA ACÚSTICA DE TIPO CAR-AUDIO, ELABORADA A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÓDULOS ACÚSTICOS DEL SOFTWARE ANSYS WORKBENCH”* en el repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 12 de diciembre del 2019

Firma:

Muñoz Sigcha, Boris Nicolás

C.C: 171716614-2

Firma:

Rodríguez Constante, Juan Carlos

C.C.: 171647711-0

DEDICATORIA

En primer lugar, este trabajo se lo dedico a Dios por brindarme su bendición en cada paso y en cada instancia de mi vida.

A mi amada esposa Jacqueline quien es mi ayuda idónea en todo momento, cuyo apoyo incondicional me ha dado la fortaleza para culminar con este paso importante para mi vida profesional.

A mi hija Nicole Sarahí quien es mi motor y mi orgullo, gracias por ser mi amor chiquito.

A toda mi familia por siempre estar pendiente y apoyarme en cada paso que doy de forma directa e indirecta.

A mi querido amigo Juan Carlos, que desde la etapa universitaria hemos forjado una gran amistad y ahora idealizamos un proyecto que lo teníamos en mente.

BORIS NICOLÁS MUÑOZ SIGCHA

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado Dios por guiar mi camino en cada instancia de mi vida.

A mí amada familia por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, impulsándome a culminar con este paso importante para mi vida profesional.

A todos mis familiares que han dejado este mundo y que con sus vivencias, consejos y enseñanzas de legaron la responsabilidad de cumplir los objetivos que me he propuesto

A mi querido amigo Boris Muñoz, que desde la etapa universitaria hemos forjado una gran amistad y ahora idealizamos un proyecto que lo teníamos en mente.

JUAN CARLOS RODRÍGUEZ CONSTANTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, salud y bendiciones que ha derramado sobre mí en el transcurso de este transitar por la tierra, por no permitirme desmayar en los momentos difíciles.

A mi esposa Jacqueline y mi hija Nicole Sarahí, por comprender y soportar varios fines de semana sin su esposo y padre, por brindarme todo su apoyo en los buenos y malos momentos y poder culminar este paso en mi vida profesional.

A mi familia por siempre estar pendientes de mi crecimiento personal y profesional.

A los queridos profesores de la maestría por su tiempo y dedicación al momento de impartir sus conocimientos para con nosotros.

A mi asesor el Ing. Luis Carrión por brindarnos su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Fernando Olmedo por estar siempre pendiente del desarrollo de este trabajo de titulación y su apoyo moral que es muy importante.

A mi amigo Juan Carlos, por ser el compañero de fórmula, que con su apoyo hemos podido culminar este trabajo.

BORIS NICOLÁS MUÑOZ SIGCHA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, salud y bendiciones que ha derramado sobre mí en el transcurso de este transitar por la tierra, por no permitirme desmayar en los momentos difíciles.

A mi esposa y a mi hijo, por comprender y soportar varios fines de semana sin su esposo y padre, por brindarme todo su apoyo en los buenos y malos momentos y poder culminar este paso en mi vida profesional.

A mi familia por siempre estar pendientes de mi crecimiento personal y profesional.

A los queridos profesores de la maestría por su tiempo y dedicación al momento de impartir sus conocimientos para con nosotros.

A mi asesor el Ing. Luis Carrión por brindarnos su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Fernando Olmedo por estar siempre pendiente del desarrollo de este trabajo de titulación y su apoyo moral que es muy importante.

A mi amigo Boris Muñoz, por ser el compañero de fórmula, que con su apoyo hemos podido culminar este trabajo

JUAN CARLOS RODRÍGUEZ CONSTANTE

ÍNDICE CONTENIDOS

| | |
|--|-------------|
| CARÁTULA | i |
| CERTIFICACIÓN | ii |
| AUTORÍA DE REONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xvi |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | xx |
| RESUMEN | xxi |
| ABSTRACT | xxii |
| CAPÍTULO I | |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | |
| 1.1.Situación problemática | 1 |
| 1.1.1.Definición del problema | 1 |
| 1.1.2.Planteamiento del problema | 2 |
| 1.1.3.Formulación del problema a resolver | 2 |
| 1.2.Justificación e importancia | 2 |
| 1.2.1.Objeto y Campo de Acción | 3 |
| 1.2.2.Objeto | 3 |

| | |
|--|---|
| 1.2.3.Campo de acción | 3 |
| 1.2.4.Objetivos | 3 |
| 1.2.5.Objetivo General | 3 |
| 1.2.6.Objetivos Específicos | 4 |
| 1.3.Hipótesis o Interrogante | 4 |
| 1.4.Metodología de investigación | 4 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| 2.1.Materiales compuestos | 6 |
| 2.2.La matriz | 7 |
| 2.2.1.Tipos de Matriz | 8 |
| 2.3.El refuerzo | 9 |
| 2.3.1.Refuerzo Particulado | 10 |
| 2.4.Cajas acústicas..... | 12 |
| 2.5.Tipo de cajas..... | 13 |
| 2.5.1.Caja Cerrada..... | 13 |
| 2.5.2.Caja Bass-Reflex | 13 |
| 2.5.3.Caja Paso Banda..... | 14 |
| 2.6.Características de los materiales utilizados en la fabricación de cajas acústicas | 15 |
| 2.7.Tipos de materiales utilizados en la fabricación de cajas de resonancia..... | 16 |
| 2.8.Normas utilizadas para características y propiedades de trabajo del material | 18 |
| 2.8.1.Norma ASTM C127 – 15 | 18 |
| 2.8.2.Densidad..... | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.8.3.Peso específico | 19 |
| 2.8.4.Norma ASTM A370-17a..... | 19 |
| 2.8.5.Módulo de Young..... | 19 |
| 2.9.Sistema de audio..... | 20 |
| 2.9.1.Fuentes de sonido o elementos de recepción y/o reproducción. | 20 |
| 2.9.2.Elementos de amplificación y ajuste | 20 |
| 2.9.3.Elementos de generación de sonido | 21 |
| 2.9.4.Cableado y conexiones..... | 21 |
| 2.9.5.Radio | 21 |
| 2.9.6.Amplificador | 22 |
| 2.9.7.Características técnicas de los amplificadores | 22 |
| 2.10.Altavoz | 26 |
| 2.10.1.Principios fundamentales de los altavoces | 26 |
| 2.10.2.Significado y medición de parámetros Thiele-Small. | 29 |
| 2.10.3.Características técnicas de los altavoces | 30 |
| 2.10.4.Sensibilidad | 30 |
| 2.10.5.Potencia | 30 |
| 2.10.6.Impedancia | 30 |
| 2.10.7.Ángulo de cobertura | 31 |
| 2.10.8.Rendimiento | 31 |
| 2.10.9.Distorsión | 32 |
| 2.11.Tipos de altavoces | 32 |
| 2.11.1.Altavoz electrodinámico o de bobina móvil | 32 |

| | |
|---|----|
| 2.11.2. Altavoz electrostático o de condensador..... | 32 |
| 2.11.3. Altavoz piezoeléctrico..... | 32 |
| 2.12. Tipos de altavoces en función del acoplamiento al medio de radiación..... | 32 |
| 2.12.1. Radiación directa..... | 32 |
| 2.12.2. Radiación indirecta..... | 33 |
| 2.13. Tipos de altavoces en función del margen de frecuencias..... | 33 |
| 2.13.1. Altavoces de graves Woofer..... | 33 |
| 2.13.2. Altavoces de medios Squawker..... | 33 |
| 2.13.3. Altavoces de agudos Tweeter..... | 33 |

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

| | |
|---|----|
| 3.1. Obtención y caracterización del material compuesto..... | 34 |
| 3.1.1. Fibra de coco..... | 34 |
| 3.1.1.1. Proceso de extracción de la fibra de coco..... | 35 |
| 3.1.1.2. Procesamiento de la fibra de coco para la creación del material..... | 35 |
| 3.1.1.3. Extracción de la fibra de coco..... | 36 |
| 3.1.1.4. Etapa de secado de la fibra coco..... | 37 |
| 3.1.1.5. Proceso de molido de la fibra de coco..... | 37 |
| 3.1.1.6. Creación del material..... | 38 |
| 3.1.1.7. Mezcla de los materiales..... | 38 |
| 3.1.1.8. Pruebas de muestras efectuadas..... | 38 |
| 3.1.1.9. Muestra 1..... | 39 |
| 3.1.1.10. Muestra 2..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1.11.Muestra 3..... | 40 |
| 3.1.2.Análisis del material..... | 41 |
| 3.1.2.1.Polvo de Balsa..... | 42 |
| 3.1.2.2.Proceso de fabricación | 43 |
| 3.1.2.3.Trabajo con polvo de balsa..... | 46 |
| 3.1.2.4.Aerosil o Cabosil..... | 47 |

CAPÍTULO IV

MODELADO Y SIMULACIÓN

| | |
|--|----|
| 4.1.Diseño y elaboración del prototipo de la caracterización de la caja acústica | 56 |
| 4.2.Diseño de la caja y estudio realizado en SolidWorks | 57 |
| 4.3.Construcción de la estructura de la caja | 57 |
| 4.3.1.Elección del material para la estructura de la caja | 58 |
| 4.4.Trazado de líneas de corte en el MDF..... | 58 |
| 4.4.1.Cortado del MDF | 59 |
| 4.5.Proceso de sellado de la caja con polvo de balsa en fibra de vidrio y fibra de coco..... | 59 |
| 4.5.1.Colocación de polvo de balsa (1ra caja)..... | 59 |
| 4.5.2.Colocación del material compuesto de fibra de coco (2da caja)..... | 60 |
| 4.6.Métodos de elementos Finitos..... | 61 |
| 4.7.Simulación mediante ANSYS WORKBENCH utilizando los módulos acústicos | 67 |
| 4.7.1.Proceso de simulación | 68 |
| 4.8.Análisis Comparativo de las cajas acústicas | 80 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES 89

5.2.RECOMENDACIONES 91

BIBLIOGRAFÍA 92

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. <i>Materiales</i> | 38 |
| Tabla 2. <i>Propiedades de la resina</i> | 44 |
| Tabla 3. <i>Propiedades mecánicas de la resina</i> | 44 |
| Tabla 4. <i>Mezcla promovida</i> | 45 |
| Tabla 5. <i>Propiedades mecánicas</i> | 46 |
| Tabla 6. <i>Mezclas de componentes</i> | 47 |
| Tabla 7. <i>Resultados muestra 1</i> | 48 |
| Tabla 8. <i>Resultados muestra 2</i> | 49 |
| Tabla 9. <i>Resultados muestra 3</i> | 49 |
| Tabla 10. <i>Características muestra 1</i> | 50 |
| Tabla 11. <i>Características muestra 2</i> | 51 |
| Tabla 12. <i>Características muestra 3</i> | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Caja Acústica Madera..... | 1 |
| <i>Figura 2.</i> Partes del material compuesto | 7 |
| <i>Figura 3.</i> Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo..... | 9 |
| <i>Figura 4.</i> Caja cerrada | 13 |
| <i>Figura 5.</i> Caja Bass-reflex..... | 14 |
| <i>Figura 6.</i> Caja Paso-banda..... | 15 |
| <i>Figura 7.</i> Amplificadores..... | 22 |
| <i>Figura 8.</i> Potencia de salida | 23 |
| <i>Figura 9.</i> Relación señal-ruido | 24 |
| <i>Figura 10.</i> Impedancia..... | 25 |
| <i>Figura 11.</i> Diafonía | 26 |
| <i>Figura 12.</i> Altavoces con radiación directa..... | 27 |
| <i>Figura 13.</i> Líneas de fuerza magnética | 28 |
| <i>Figura 14.</i> Movimiento de la bobina..... | 28 |
| <i>Figura 15.</i> CEMF (Counter Electromagnetic Field) | 29 |
| <i>Figura 16.</i> Impedancia..... | 31 |
| <i>Figura 17.</i> Ángulo de cobertura | 31 |
| <i>Figura 18.</i> Fibra de coco..... | 34 |
| <i>Figura 19.</i> Coco partido..... | 35 |
| <i>Figura 20.</i> Cáscara de coco | 36 |
| <i>Figura 21.</i> Extracción fibra de coco | 36 |
| <i>Figura 22.</i> Proceso de secado de fibra de coco | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Molido de fibra de coco..... | 37 |
| Figura 24. Muestra N°1..... | 39 |
| Figura 25. Muestra N°2..... | 40 |
| Figura 26. Muestra N°3..... | 40 |
| Figura 27. Análisis del material | 41 |
| Figura 28. Gráfica esfuerzo-deformación | 42 |
| Figura 29. Características físicas del material..... | 42 |
| Figura 30. Proceso de mezclado..... | 45 |
| Figura 31. Mezcla de componentes..... | 47 |
| Figura 32. Probetas con polvo de balsa..... | 48 |
| Figura 33. Estructura y diseño de la caja acústica | 56 |
| Figura 34. Ensamble de caja | 57 |
| Figura 35. Estudio de diseño..... | 57 |
| Figura 36. Plancha de MDF para la base | 58 |
| Figura 37. Trazado de corte MDF..... | 58 |
| Figura 38. Corte MDF..... | 59 |
| Figura 39. Colocación de vibra de vidrio con polvo de balsa..... | 60 |
| Figura 40. Colocación de material compuesto de fibra de coco | 61 |
| Figura 41. Relación recomendada entre dimensión de un recinto rectangular | 63 |
| Figura 42. Elementos finitos acústicos rectangulares de 8 nodos..... | 66 |
| Figura 43. Entorno de trabajo de la caja acústica..... | 68 |
| Figura 44. Selección de materiales en el software | 69 |
| Figura45. Enlaces de análisis | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 46. Selección del método de mallado | 70 |
| Figura 47. Frecuencias naturales del sistema..... | 71 |
| Figura 48. Frecuencias naturales de la caja acústica..... | 71 |
| Figura 49. Fuerzas generadas por el parlante..... | 72 |
| Figura 50. Respuesta de frecuencia en el parlante | 72 |
| Figura 51. Respuesta de frecuencia con relación a la velocidad..... | 73 |
| Figura 52. Gráfico de respuesta a la frecuencia respecto al desplazamiento | 73 |
| Figura 53. Deformación total de una repuesta armónica | 74 |
| Figura 54. Modelo para la simulación del Harmonic Acoustic | 75 |
| Figura 55. Generación de malla del entorno | 75 |
| Figura 56. Refinado de malla..... | 76 |
| Figura 57. Importación de datos del análisis modal..... | 76 |
| Figura 58. Rangos de velocidades..... | 77 |
| Figura 59. Selección de límites de radiación | 77 |
| Figura 60. Solución generada..... | 78 |
| Figura 61. Niveles de presión de sonido | 78 |
| Figura 62. Resultado de zonas de presión sonora | 79 |
| Figura 63. Simulación de SPL | 79 |
| Figura 64. Estudios comparativos:..... | 80 |
| Figura 65. Estudio comparativo del análisis modal | 81 |
| Figura 66. Análisis de repuesta armónica por cada material | 82 |
| Figura 67. Respuesta armónica con respecto al desplazamiento de la caja de madera..... | 83 |
| Figura 68. Respuesta armónica al desplazamiento de la caja de fibra de vidrio de balsa..... | 83 |

| | |
|---|----|
| Figura 69. Respuesta armónica con respecto al desplazamiento de la caja de fibra de coco..... | 84 |
| Figura 70. Respuesta armónica con respecto a la aceleración de la caja de madera..... | 84 |
| Figura 71. Respuesta armónica aceleración de la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa | 85 |
| Figura 72. Respuesta armónica con respecto a la aceleración de la caja de fibra de coco | 85 |
| Figura 73. Análisis Harmonic Acoustic de las cajas acústicas | 86 |
| Figura 74. SPL caja de madera | 87 |
| Figura 75. SPL caja de fibra de vidrio con polvo de balsa | 87 |
| Figura 76. SPL Caja de fibra de coco | 88 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Regla de la mezcla..... | 10 |
| Ecuación 2. Relación de carga que soporta la matriz y la que soporta el refuerzo | 11 |
| Ecuación 3. Densidad | 19 |
| Ecuación 4. Peso específico | 19 |
| Ecuación 5. Fórmula MAS..... | 61 |
| Ecuación 6. Ecuación de onda sin dispersión en el medio..... | 62 |
| Ecuación 7. Fórmula de Raileigh | 62 |
| Ecuación 8. Fórmula de Schoroeder..... | 63 |
| Ecuación 9. Ecuación de Navier-Stokes..... | 64 |
| Ecuación 10. Ecuación de Continuidad..... | 65 |
| Ecuación 11. Ecuación de Cantidad de Movimiento | 65 |
| Ecuación 12. Velocidad del fluido en un medio | 65 |
| Ecuación 13. Variación lineal de la presión acústica | 66 |
| Ecuación 14. Ecuación de Helmholtz en 3D | 66 |
| Ecuación 15. Ecuación del movimiento para un sistema acústico | 67 |
| Ecuación 16. Ecuación del desplazamiento | 67 |

RESUMEN

El estudio de nuevos materiales utilizados en el campo de la acústica, en especial el desarrollo de materiales compuestos nos permitió desarrollar el proyecto con el fin de determinar los elementos, la matriz y el refuerzo más idóneos, verificando las propiedades mecánicas de los diferentes materiales, para el desarrollo se utilizó fibras naturales (fibras de coco) y sintéticas (fibra de vidrio), así como también analizamos la influencia de la matriz con sus cargas y semicargas (polvo de balsa), con el fin de que este nuevo material pueda reemplazar a los materiales comúnmente utilizados. Para la verificación de estos parámetros y su estudio, se utilizó el programa ANSYS WORKBENCH.

El diseño de la caja acústica utilizada en este estudio nos permite optimizar espacio y alcanzar un mejor desempeño, para este fin se fabricaron dos cajas similares, la primera se elaboró a base de fibra de coco y resina, la segunda se conforma de fibra de vidrio, polvo de balsa y resina, las dos cajas cuentan con una distribución laminar tipo sándwich, que permite obtener características específicas en los diferentes niveles dando como resultado un elemento compuesto que se asemeje a los tradicionales, que presentan buenas características mecánicas y excelentes características acústicas.

Con la ayuda del programa CAD se modeló la caja acústica, para ser utilizada en las simulaciones, se generaron tres estudios el primero un estudio modal que nos permitió verificar las frecuencias naturales a las cuales trabajan estos modelos, el segundo un estudio de respuesta armónica con la cual obtuvimos las gráficas de respuesta armónica al desplazamiento y a la aceleración, por último se generó un estudio armónico acústico para determinar la relación entre la caja acústica y el ambiente que le rodea, se simuló una prueba de presión sonora (SPL) misma que es utilizada en los concursos de CAR AUDIO.

PALABRAS CLAVES

- **MATERIALES COMPUESTOS,**
- **ACÚSTICA,**
- **ANSYS WORKBENCH,**
- **RESPUESTA ARMÓNICA,**
- **ANÁLISIS MODAL,**
- **SPL,**
- **CAD**

ABSTRACT

The study of new materials used in the field of acoustics, especially the development of composite materials allowed us to develop the project in order to determine the most suitable elements, matrix and reinforcement, verifying the mechanical properties of the different materials, For the development, natural fibers (coconut fibers) and synthetic fibers (fiberglass) were used, as well as we analyzed the influence of the matrix with its loads and half-loads (raft powder), with the purpose that this new material can replace to commonly used materials. For the verification of these parameters and their study, the ANSYS WORKBENCH program was used.

The design of the acoustic box used in this study allows us to optimize space and achieve better performance, for this purpose two similar boxes were manufactured, the first one was made based on coconut fiber and resin, the second is made of fiberglass, raft powder and resin, the two boxes have a sandwich-type laminar distribution, which allows to obtain specific characteristics at different levels resulting in a composite element that resembles the traditional ones, which have favorable mechanical characteristics and distinguishable acoustic characteristics.

With the help of the CAD program, the acoustic box was modeled, to be used in the simulations, three studies were generated, the first a modal study that allowed us to verify the natural frequencies at which these models work, the second a harmonic response study with which it was obtained the graphs of harmonic response to displacement and acceleration, finally a harmonic acoustic study was generated to determine the relationship between the acoustic box and the surrounding environment, a sound pressure test (SPL) was simulated which is used in CAR AUDIO contests.

KEYWORDS

- **COMPOSITE MATERIALS,**
- **ACOUSTICS,**
- **ANSYS WORKBENCH,**
- **HARMONIC RESPONSE,**
- **MODAL**
- **ANSYS,**
- **SPL,**
- **CAD**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

1.1.1. Definición del problema

En el Ecuador, el diseño y construcción de cajas acústicas para competencias de car-audio se lo realiza de manera artesanal, aplicando conocimientos empíricos; suelen ser elaborados con materiales tradicionales como la madera puesto que presenta buenas características mecánicas y excelentes características acústicas, sin embargo, poseen limitantes como su masa lo que conlleva a un peso excesivo y difícil moldeo para obtener formas complejas que permitan un mejor rebote de las ondas acústicas.



Figura 1. Caja Acústica Madera

Fuente: (cajasacusticas.net, s.f.).

Partiendo de esta premisa, se ve la necesidad de obtener materiales compuestos con refuerzos de fibras naturales o sintéticas, así como la modificación de su matriz, que permitan tener las mismas o mejores características mecánicas y acústicas, a la vez disminuya su masa y aumente la capacidad de moldeo.

Se considera que debido a la forma que se quiere obtener en el diseño de la caja acústica se utiliza software CAD para el Modelado y ANSYS WORKBENCH, su módulo acústico para determinar la simulación computacional.

1.1.2. Planteamiento del problema

La falta de estudio en el diseño de cajas acústicas para car-audio, se ha convertido en un limitante para el desarrollo de materiales compuestos que se asemeje al material tradicional utilizado, igualando o mejorando sus características mecánicas y acústicas, la cual permita elevar los niveles de fidelidad al momento de competencias.

1.1.3. Formulación del problema a resolver

¿Cuáles son las variables más importantes para realizar un estudio de diseño de una caja acústica de tipo car-audio, elaborada a partir de materiales compuestos mediante la utilización de módulos acústicos del software Ansys Workbench?

1.2. Justificación e importancia

El desarrollo de la industria nacional ha sufrido cambios en los últimos años debido al mejoramiento de la matriz productiva, sin embargo, muchas de las empresas son de tipo artesanal y no utilizan materiales alternativos.

Mediante la validación de las propiedades mecánicas y acústicas de los materiales compuestos se podría reemplazar el uso de materiales tradicionales (maderas) con el fin de mejorar la fabricación de cajas acústicas permitiéndole tomar formas complejas y reducir su masa.

El estudio de los materiales compuestos utilizados en el campo de la acústica, mediante el proceso de laminado, pretende ser aprovechado en este proyecto para verificar las propiedades mecánicas de los diferentes materiales, utilizando refuerzos como las fibras naturales y sintéticas, así como la mejora de sus propiedades acústicas al momento de mejorar la matriz con cargas y semicargas, que pueden reemplazar a los materiales convencionales. Para la verificación de estos parámetros y su estudio respectivamente se utilizará el módulo acústico de Ansys Workbench.

1.2.1. Objeto y Campo de Acción

1.2.2. Objeto

Elaboración de una caja acústica tipo car audio a partir de materiales compuestos

1.2.3. Campo de acción

Estudio de diseño y utilización de módulos acústicos del software ANSYS WORKBENCH.

1.2.4. Objetivos

1.2.5. Objetivo General

Analizar el diseño de una caja acústica de tipo car-audio, elaborada a partir de materiales compuestos mediante la utilización de los módulos acústicos del software Ansys Workbench para validar los parámetros de funcionamiento.

1.2.6. Objetivos Específicos

- Definir el estado actual de los materiales compuestos y de sus aplicaciones en el campo de la acústica enfocado en el diseño de cajas acústicas tipo car-audio.
- Determinar parámetros requeridos para la formulación de la matriz con relación a las cargas y semicargas más apropiado para la obtención de materiales compuestos que puedan simular las características mecánicas y acústicas de las maderas.
- Ejecutar ensayos mecánicos con el fin de seleccionar el material compuesto que se adapte a las características que posee la madera
- Obtener un modelo virtual de una caja acústica mediante programas CAD/CAE
- Analizar el desempeño de los prototipos mediante la el uso de Ansys Workbench utilizando el módulo acústico para determinar si las propiedades se igualan o mejoran con respecto a cajas acústicas convencionales.

1.3. Hipótesis o Interrogante

Es posible efectuar un estudio de diseño para mejorar las características constructivas de las cajas acústicas tradicionales de madera, mediante la utilización de materiales compuestos que permiten reducir la masa de la misma, así como aumentar la facilidad de tomar formas complejas optimizando el espacio donde van a ser montadas.

1.4. Metodología de investigación

HISTÓRICO – LÓGICO. - Este método se lo utilizara para la determinación del estado del arte de materiales compuestos que pueden suplir a la madera, así como las leyes que rigen en el

campo acústico para poder establecer el camino más idóneo en la obtención del nuevo material compuesto.

EXPERIMENTACIÓN. - Mediante este método nos ayudaremos para la obtención del material compuesto que más se apegue a los requerimientos del proyecto.

MODELACIÓN. - Permitirá establecer un modelo computacional que permita evaluar los flujos que se producen al interior de las cajas acústicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Materiales compuestos

Este proyecto busca encontrar un material compuesto que cumpla con las expectativas del mercado permitiendo elaborar cajas de resonancia enfocadas a la calidad de sonido, trabajando en la matriz del material compuesto para asemejar las propiedades que brindan las maderas macizas, al tratarse de un material de fácil conformado permitirá tomar formas más complejas, y comportarse como un solo cuerpo evitando problemas de uniones.

Por definición un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las de sus constituyentes (Dávila, y otros, 2011), las partes que componen un material compuesto se denominan matriz y refuerzo, mientras que la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz. Además, existe la posibilidad de que se adicionen agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, siendo su principal objetivo mejorar la superficie de la interfaz del compuesto, de tal forma que las propiedades del material se magnifiquen en lugar de verse afectadas. A continuación, se presenta una imagen que ilustra las partes que constituyen un material compuesto utilizado en la industria aeroespacial y automotriz, además se suele usar en las placas de circuitos electrónicos, en la imagen se puede apreciar un material plástico reforzado con fibras, teniendo como matriz una resina epoxi

resistente al calor. El refuerzo son fibras de carbono, las mismas que absorben los esfuerzos generados en el material.



Figura 2. Partes del material compuesto

Fuente: Science Photo Lybray. "Science Photo Lybray", [Noviembre, 2011]. [Online].
["http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_plastic,_SEM-SPL.jpg"](http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_plastic,_SEM-SPL.jpg)

2.2. La matriz

El papel que cumple la matriz dentro de un material compuesto es la fase continua, la cual engloba y sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material, permitiéndole de esta manera transferir las cargas aplicadas sobre la matriz encaminándolas al refuerzo del material, por tal motivo el material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto, por ejemplo: en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración utilizada.

El modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, en el caso de las propiedades eléctricas, la matriz puede dotar al material de una capacidad aislante o conductora. En lo referente a las propiedades químicas, estas son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a la acción del medio ambiente (Dávila, y otros, 2011).

2.2.1. Tipos de Matriz

Existen tres tipos de matrices: las cerámicas, las metálicas y las poliméricas; este proyecto se lo realizara enfocados en materiales compuestos de matriz polimérica debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas. Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas. Las matrices termoplásticas pasan al estado líquido cuando son calentadas. Este ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es el responsable de su aptitud para el reciclaje. Algunos ejemplos de matrices termoplásticas son el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y polietilen-tereftalato (PET). También, se tienen polímeros termoplásticos de origen natural, como el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxibutirato (PHB), los cuales presentan propiedades muy similares al PE, PP y demás polímeros termoplásticos derivados del petróleo.

Las matrices termoestables tienen múltiples enlaces entrecruzados en una estructura de red tridimensional. Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es reversible. No son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar, lo que hace difícil su reciclaje. Los termoestables no funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son: resina poliéster, epoxy y fenólicos.

Las matrices elastoméricas tienen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos. Tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices (Dávila, y otros, 2011).

2.3. El refuerzo

Por otro lado, el principal papel del refuerzo es mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el componente del material compuesto que soporta la carga y que también puede aportar con propiedades al material compuesto, por ejemplo, características de conductividad eléctrica o aislamiento, estabilidad térmica, propiedades estructurales, etc. Los refuerzos pueden ser partículas, fibras o elementos estructurales. (Dávila, y otros, 2011), con esto podemos clasificación a los materiales por su refuerzo en: materiales compuestos reforzados con partículas, reforzados con fibras y compuestos estructurales, en la siguiente imagen se puede apreciar en detalle esta clasificación.

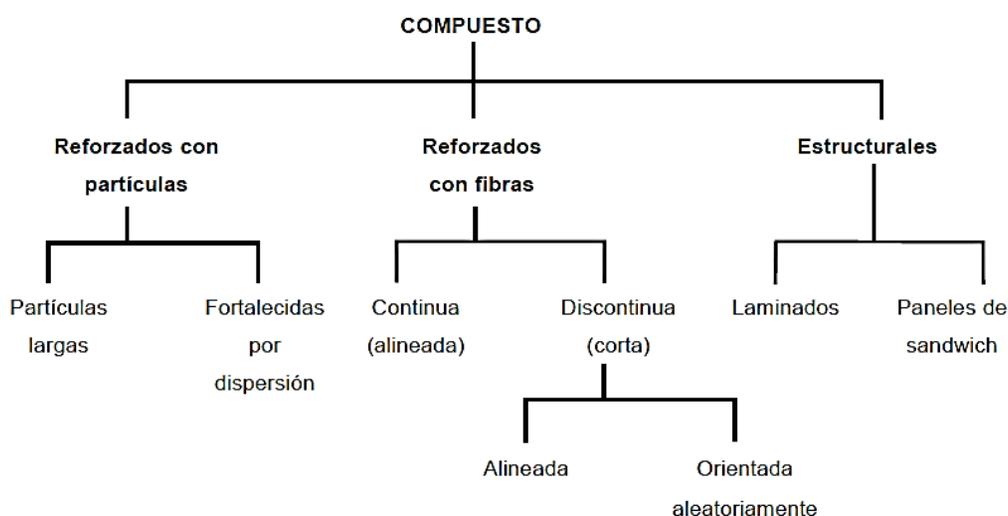


Figura 3. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo
Fuente: (Callister, 2007).

2.3.1. Refuerzo Particulado

Para mejorar las condiciones acústicas de este material, generalmente, se utilizan refuerzos particulados para mantener las buenas propiedades a altas temperaturas y por largos períodos de tiempo. Además, las partículas ayudan a reducir la contracción que sufren los materiales luego de un proceso de moldeo, asimismo, pueden elevar la dureza e incrementar la resistencia a la compresión. Por otro lado, si las partículas son relativamente suaves, se puede mejorar la lubricidad y la resistencia al desgaste. Es importante saber que usualmente las partículas tienen baja solubilidad en la matriz y además no deben ocurrir reacciones químicas entre los constituyentes. Cabe señalar que la introducción de las partículas a la matriz es efectuada con un proceso mecánico, (Larson, 2011).

Para un mayor reforzamiento es preferible que las partículas sean pequeñas y estén bien distribuidas en la matriz. Para relacionar a las propiedades mecánicas del material compuesto, con sus constituyentes y su fracción volumétrica en la mezcla se tienen dos ecuaciones que se la conoce como la “regla de las mezclas” y estas ecuaciones predicen el comportamiento elástico del material.

$$E_{c(\mu)} = E_m * V_m + E_p * V_p$$

$$E_{c(l)} = \frac{E_m * E_p}{V_m * E_p - V_p * E_m}$$

(1).

Donde:

$E_{f(\mu)}$ = Modulo elasticol compuesto maximo

$E_{f(l)}$ = Modulo elasticol compuesto minimo

E_p = Modulo elastico de las particulas

E_m = Modulo elastico de la matriz

V_p = Volumen de las particulas

V_m = Volumen de la Matriz

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f * V_f}{E_m * V_m}$$

(2.)

Donde:

F_f = Carga de la Fibra

F_m = Carga de la matriz

E_f = Modulo elastico de la fibra

E_m = Modulo elastico de la matriz

V_f = Volumen de la fibra

V_m = Volumen de la Matriz

Como se ve, a mayor cantidad de fibra, mayor resistencia.

En la práctica solo es posible alcanzar hasta un 65%, porque superado este valor, la matriz ya no cubre a la fibra (Callister, 2007).

Para la elaboración de las cajas de resonancia el refuerzo utilizado es fibra de vidrio, pero para mejorar las condiciones de este material compuesto a la matriz se le agrega partículas (polvo de balsa) permitiendo de esta forma obtener características semejantes a las de las maderas sólidas.

2.4. Cajas acústicas

El altavoz necesita estar en una caja para su correcto funcionamiento ya que la membrana del altavoz está formada por dos lados el interior y el exterior, al momento que el lado exterior genera una onda, el lado del interior genera otra onda igual pero opuesta, esto quiere decir es una fase inversa, los sonidos generados principalmente los graves crean y mueven una cantidad de aire, por lo que el lado del exterior realiza la acción de empujar y el lado del interior tira, al crearse presiones altas en el lado exterior e interior se crea la contraposición y se logra dar la cancelación del movimiento y de la presión del aire. A este fenómeno se lo llama cortocircuito acústico, al colocar el altavoz en una caja se acaba este problema, pero se genera otro pequeño, que la onda generada en el interior se refleja en el fondo de la caja y puede encontrarse con la onda creada de la parte exterior, esta suma de ondas en distintas fases genera una onda distorsionada, y no es la onda que deseamos que se reproduzca.

La solución para esto es que el fondo del altavoz no debe ser paralelo a la frontal para que al crearse la onda reflejada no se unan de forma automática con la onda inicial, también al fabricar la caja se coloca materiales absorbentes para que absorban la onda del interior.

2.5. Tipo de cajas

2.5.1. Caja Cerrada

Esta caja está construida con material absorbente, en esta caja depende del sellado para que esta tenga una buena calidad de sonido, a esto se le considera un volumen de aire cerrado porque la f_b (frecuencia de sintonía, frecuencia de resonancia del altavoz dentro de la caja) está siempre va ser mayor que f_s (frecuencia de resonancia de una altavoz sin caja) por lo que es factible utilizar altavoces de f_s baja, por esta razón los proporciona una ventaja que es su tamaño moderno y el resultado temporal es muy bueno, la desventaja que tiene es que la frecuencia de corte no es muy baja, con una caja de tamaño normal, también el aire generado en la caja a un nivel grande de SPL (Sound Pressure Level) (Nivel de presión sonora), trabaja como un muelle y genera un nivel alto de distorsión.

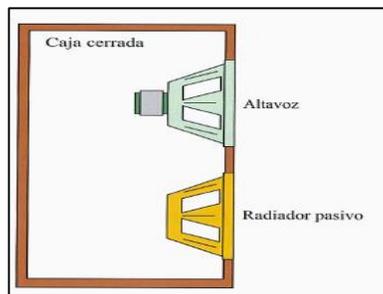


Figura 4. Caja cerrada

Fuente: (Stanamir, 2001).

2.5.2. Caja Bass-Reflex

Esta caja está parcialmente construida de material absorbente, y también conformado con un tubo que tiene salida al exterior, el tubo cumple la función de dar una resistencia entre el aire del interior con el aire del exterior, esto sirve para reforzar las bajas frecuencias.

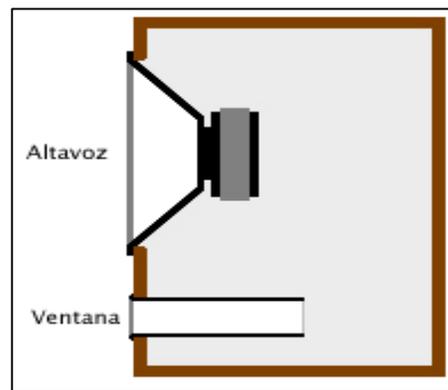


Figura 5. Caja Bass-reflex
Fuente: (Stanamir, 2001).

La ventaja importante que tiene esta caja es su buen rendimiento en grave, pero también tiene defectos que cuando la caja se desempeña en su función con una frecuencia baja de corte, el aire que está en el interior de la caja y del tubo ya no actúa como resistencia, por lo que el altavoz es como si estuviera trabajando al aire libre, y la respuesta temporal no es buena.

2.5.3. Caja Paso Banda

Esta caja tiene una pared interior donde se encuentra el altavoz, este tiene dos lados y en uno tiene una sub-caja bass-reflex y en el otro lado puede tener un bass- réflex (caja de 6° orden) o sino una caja sellada de 4° orden se han hecho muy conocidas en la actualidad, sobre todo en los sistemas cine en casa estas cajas deben estar bien fabricadas ya que tiene que soportar grandes presiones, este tipo de cajas dan la impresión de solo escuchar una frecuencia.

Tiene la ventaja que el aire contenido en la sub-caja cumple la función como una masa móvil, que ayuda a bajar la frecuencia de sintonía, y esto da una extensión importante en los graves, como desventaja es la pésima respuesta temporal y la eficacia no es buena, y estos problemas hacen que se cree retrasos en la señal muy elevados.

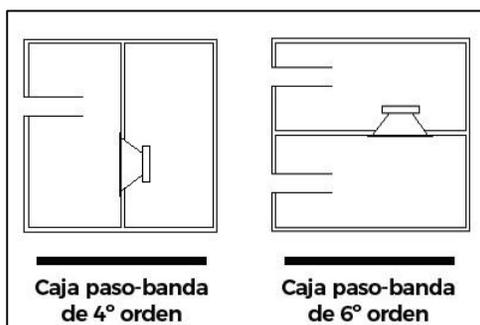


Figura 6. Caja Paso-banda
Fuente: (Puertas, 2003).

2.6. Características de los materiales utilizados en la fabricación de cajas acústicas

En el mercado tenemos una gran variedad de cajas de resonancia de distintos materiales, las cajas de gama alta suelen estar hechas de madera maciza o laminada, teniendo en cuenta su precio y su densidad, que, a pesar de ser una característica positiva, es mucho más pesadas, pero de una mejor calidad de sonido fina, a continuación, se detallan algunos de los materiales utilizados para la construcción de cajas acústicas y sus principales características

Para la construcción de cajas de audio las características que debe cumplir el material son:

- Densidad, que significa una alta relación masa/volumen, un sistema construido con materiales de alta densidad pesará más y por lo tanto tendrá un comportamiento más estable disminuyendo las vibraciones, además de esto permite direccionar el sonido por donde se quiere sin tener pérdidas lo que aumenta la eficiencia de la caja.
- Resistencia, esta característica permitirá a la caja soportar deformaciones y golpes ocasionadas sobre todo tratándose de sistemas que van a ser frecuentemente transportados y con mucho uso en exteriores.

- Dureza, un material duro tiene una oposición a ser deformado y por lo tanto un mejor comportamiento frente a vibraciones, las mismas que deben ser altas ya que estos elementos son los que soportaran la presión sonora generada por los equipos de audio.

Además de construir una caja sólida y firme uno de los principales objetivos es tratar de conseguir que el material que utilicemos no aporte ningún tipo de coloración, como esto es imposible se pretende que al menos sea una coloración natural y no disonante. En parte esto es debido a algunos materiales absorben algunas frecuencias y pueden llegar a reforzar otras, produciendo todo este tipo de coloraciones, lo mismo ocurre con las dimensiones de la caja y la forma (Martínez Varela, 2014).

2.7. Tipos de materiales utilizados en la fabricación de cajas de resonancia

El aglomerado: es un tipo de madera (mezcla encolada de virutas de madera) difícil de trabajar, con una densidad relativamente baja por lo que es utilizada en cajas de gama baja e intermedia, el precio de este material por ser bajo permite la utilización para la fabricación de cajas resonantes de baja calidad. No tienen resistencia, las uniones entre piezas no quedan bien selladas y no resisten inclemencias meteorológicas. Existen aglomerados de 20 y 30 cm que están contruidos con colas más resistentes y que por lo tanto aportan una mayor dureza y densidad, pero se hace difícil muchas veces trabajar con maderas de este grosor.

MDF o madera: de densidad media también se compone de virutas muy finas de madera encolada y muy prensada en todas las direcciones. Las propiedades mecánicas de este material son muy buenas además de su gran estabilidad en todas sus direcciones, su densidad es baja lo que nos obliga a utilizar espesores más grandes si queremos un buen aislamiento. Otro inconveniente, es

que como todas las maderas su comportamiento no es perfectamente homogéneo y lineal respecto a la frecuencia. Tiende a resonar o a reducir su absorción del sonido alrededor de 200-400 Hz. Muchas cajas sufren este problema, ya que esas frecuencias no se atenúan con los materiales que se usan habitualmente (lanas, fibra de vidrio).

El MDF es el material más utilizado en el mercado de las cajas de audio para vehículos, al no tratarse de una madera el costo de este producto es bajo, sumado a su fácil ensamblaje es el elemento que mejor se adapta a las necesidades del medio, muchos constructores de cajas coinciden en que las construcciones con MDF dejan el rango de los 300Hz desatendido. Gran parte del cuerpo del sonido se encuentra en esta frecuencia lo que produce una falta expresividad y firmeza en el sonido final, motivo por el cual no son recomendadas para sistemas con calidad de sonido.

Madera: es uno de los materiales más utilizados en el campo debido a que existe una gran variedad de ellas, cada una con sus características específicas, permitiéndolas ser utilizadas en diferentes instrumentos musicales para alcanzar el mejor desempeño de esto logrando así calidad de sonido, la madera maciza en general aporta una densidad mucho más elevada en comparación con el MDF y el resto de maderas laminadas además de una gran dureza. No existe una regla común a las maderas macizas ya que todo depende del tipo de madera que estemos utilizando. Algunas de las maderas más densas son el laurel, el ébano, el cerezo No obstante el precio de las planchas de madera es muchas veces excesivamente caro en comparación con algunas de las mejoras que pueden aportar respecto a otros materiales.

Por otra parte, una de las principales características de la madera maciza es que va asentándose y amoldándose una vez construida la caja, lo que puede aportar mayor estabilidad y

robustez a la caja ya que las piezas quedan fuertemente unidas, esto se debe que la madera maciza es más maleable que el MDF o el laminado.

Laminados tienen mayor densidad que todos los aglomerados y conglomerados y que algunas maderas, gran resistencia a las adversidades meteorológicas, gran dureza y una casi ausencia de coloración y disminución de las vibraciones. Esto es debido a que está laminado y cada una de sus capas está en una dirección disminuyendo vibraciones y aportando rigidez. En aquellas frecuencias que presenta algo de coloración se puede disminuir con materiales absorbentes. Su precio es mayor al de todos los conglomerados y aglomerados, pero mucho menor que las maderas macizas de su misma densidad y dureza.

2.8. Normas utilizadas para características y propiedades de trabajo del material

2.8.1. Norma ASTM C127 – 15

En esta norma se utiliza el siguiente método para obtener información del material, se realiza una probeta del material con dimensiones ya establecidas, esta muestra del material va hacer sumergida en agua por un tiempo de 24(+,-)4 horas esto se lo realiza con el fin de llenar los poros del material, después se procede a retirar del agua se realiza el secado de la superficie del material y se determina su masa, y también el volumen de la probeta con la ayuda del método de desplazamiento del agua, después se realiza el secado de la muestra pero de una manera más efectiva utilizando un horno y se determina la masa de la probeta, con todos estos datos obtenidos de puede calcular y obtener la densidad, peso específico, y el porcentaje de absorción de agua del material.

2.8.2. Densidad

La densidad es la masa de una sustancia, esto se obtiene dividiendo la masa por el volumen (ATPP, 2008).

$$p = \frac{m}{v} = \frac{Kgrs}{m^3}$$

(3.)

2.8.3. Peso específico

Es el peso de una sustancia esta tiene su unidad que es el volumen para obtener el peso específico de divide el peso por el volumen (ATPP, 2008).

$$\delta = \frac{P}{V} = \frac{N}{m^3}$$

(4.)

2.8.4. Norma ASTM A370-17a

Esta norma utiliza un método para extraer la información del material realizando un ensayo de tracción de la probeta utilizando una maquina con tenazas para someterle al material a diferentes pruebas para obtener datos y calcular, para así obtener información del material como: su elasticidad o llamado módulo de Young, su resistencia a una carga, esta norma se le aplica más para materiales metálicos.

2.8.5. Módulo de Young

Este módulo los da la información de cuanto es la elasticidad del material hasta su punto de fractura, esto los proporciona la fuerza y la deformación del material.

2.9. Sistema de audio

Según (Martinez, 2002)El sistema de audio del vehículo es un sistema que crea un entorno de conducción agradable, como otros accesorios el aire acondicionado o la calefacción que dan comodidades que son colocados en los vehículos para que el conductor este cómodo.

Según (automoviles, 2006)Todos los vehículos tienen un sistema de audio que cuentan con un conjunto de partes comunes, alguno con variantes las cuales se diferencian de otros vehículos. Las partes de un sistema de sonido se reúnen en cuatro grupos:

2.9.1. Fuentes de sonido o elementos de recepción y/o reproducción.

En estos dispositivos se crea la señal que se convierte en ondas de sonido, en el vehículo la parte más común del sistema de sonido que realiza este trabajo es el radio, los lectores de CD, DVD, y dispositivos de almacenamiento (flash, tarjetas de memoria) también hay otros dispositivos como los teléfonos móviles, dispositivos bluetooth, y otro como emisoras de radio y micrófonos de autobuses reproduciendo el sonido que se genera.

2.9.2. Elementos de amplificación y ajuste

Las partes de recepción y reproducción generan una señal que muchas veces no tiene la suficiente potencia para que los altavoces reproduzcan el sonido generado por lo que es importante potenciar con la ayuda de amplificadores.

En algunos sistemas de sonido de los vehículos que son sencillos tiene solo un solo amplificador incorporado en el grupo de elementos que conforma dicho sistema, pero los otros más complejos y de máxima potencia requieren más de una y estas son instaladas en el exterior por el tamaño y por la refrigeración que necesita.

2.9.3. Elementos de generación de sonido

Los elementos captan la señal creada por las partes de producción y maximizada y filtrada por los elementos de amplificación y ajuste y generan las ondas que forman el sonido para esto se emplea los altavoces del conjunto de partes del sistema de sonido.

2.9.4. Cableado y conexiones

Estos cumplen la función de transmitir las señales eléctricas a todas las partes del sistema y los provee de energía eléctrica para su funcionamiento. Al realizar mejoras para intensificar el desempeño de los equipos de audio se necesita hacer correcciones en el diseño, en las dimensiones del cable y en las conexiones esto es lo principal para el correcto desempeño de la instalación del sistema.

2.9.5. Radio

Este es un aparato con tecnología electrónica que con la ayuda de una antena atrae las ondas de radio reproducida desde una emisora radial y transfórmale en una señal de sonido y transmitirla al amplificador para que después se reproduzca en el exterior.

En la actualidad la totalidad de radios instalados en los automóviles tiene la capacidad de captar emisoras de am/fm estos aparatos tecnológicos han evolucionado y tiene otros aditamentos adicionales que le da más confort a la persona que utiliza el automóvil.

2.9.6. Amplificador

Un amplificador cumple la operación de maximizar la señal comenzando inicialmente del radio, reproductor de cd, USB, auxiliar y la transmite a los altavoces del sistema para que estos salgan y cumplan la función de reproducir el sonido.



Figura 7. Amplificadores

Fuente: (Stanamir, 2001).

2.9.7. Características técnicas de los amplificadores

- **Ganancia**

Esta característica es la relación que existe entre la potencia de salida y de entrada de la señal y casi siempre se simboliza en dB.

- **Potencia de salida**

Esta potencia de salida del amplificador determina toda la potencia eléctrica que se puede suministrar a los altavoces sin producir ningún tipo de distorsión a la señal y tampoco sin que sufra ningún desperfecto el equipo.

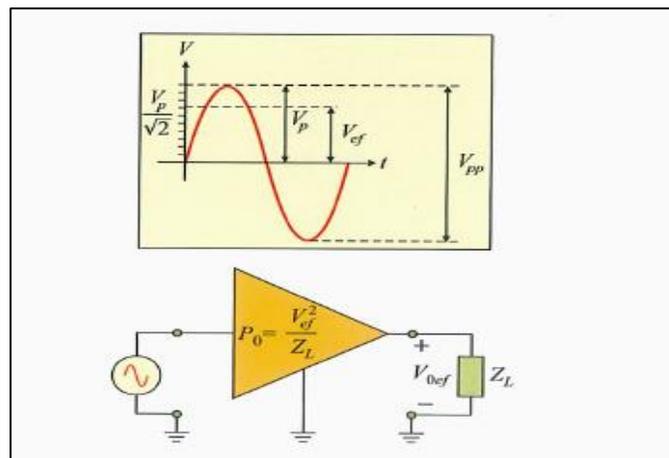


Figura 8. Potencia de salida
Fuente: (Stanamir, 2001).

- **Respuesta en frecuencia**

Esta característica técnica muestra el vínculo que existe entre el equipo de señal de entrada con el de salida para el grupo de frecuencias de funcionalidad del amplificador, mientras más plana es la respuesta de frecuencia en el límite de la banda audible, el amplificador tendrá mejores características técnicas.

Por otro lado, si la respuesta de frecuencia del amplificador no es lineal se genera una distorsión de amplitud. Por eso la ganancia del amplificador es distinta para cada frecuencia, a esta distorsión se la llama distorsión lineal.

- **Distorsión**

La distorsión se utiliza como un parámetro que los ayuda a evaluar los niveles de señales no requeridas, y encontradas a la salida del amplificador con respecto a las señales de entrada.

- **Tipos de distorsión**

Distorsión armónica total.: Esta distorsión armónica se genera en la salida del amplificador ya que aparte de la señal de entrada amplificada, se hacen presentes algunos de sus armónicos los cuales son de un valor pequeño, pero estos afectan a la señal y la distorsionan.

Distorsión de intermodulación.: Esta distorsión de intermodulación se presenta en la entrada de un amplificador cuando aparecen señales de diferente frecuencia.

- **Relación señal ruido**

Es la desigualdad de dB entre el nivel de señal de salida y el de ruido mientras más se el nivel menor va a ser la proporción de ruido que va a tener el amplificador y por lo que el resultado va hacer una mejor calidad de sonido reproducido por el amplificador.

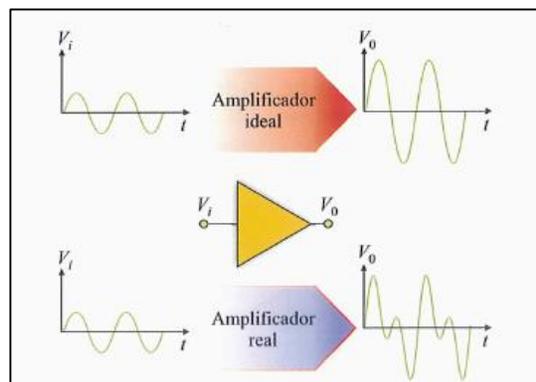


Figura 9. Relación señal-ruido

Fuente: (Stanamir, 2001).

- **Sensibilidad**

La señal muestra el nivel mínimo de la señal colocada en la entrada suficiente para generar la máxima potencia de salida que pasa la carga dicha por las especificaciones del fabricante.

- **Impedancia**

Los parámetros más importantes para una precisa adaptación entre los equipos que conforman el sonido es la impedancia de entrada y de salida del amplificador.

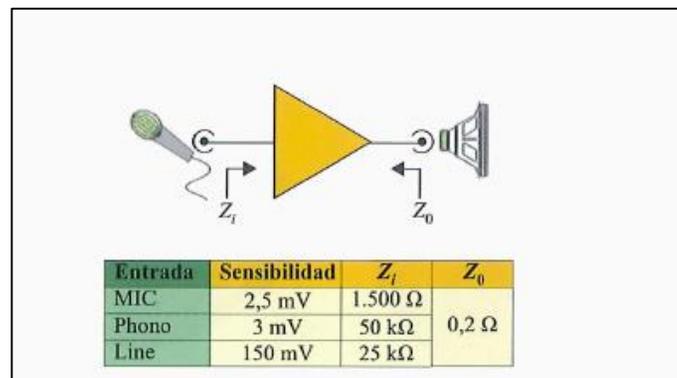


Figura 10. Impedancia

Fuente: (Stanamir, 2001).

- **Impedancia de entrada**

La impedancia de entrada de un amplificador tiene que ser de un nivel alto para que haya una correcta adaptación de tensión entre la fuente de sonido con el amplificador.

- **Impedancia de salida**

Un amplificador tiene una potencia máxima y esta se determina por la impedancia de la carga mínima que tiene que conectarse al amplificador del sistema.

- **Diafonía**

Esta característica tiene los sistemas que realizan la amplificación de más de un canal de sonido.

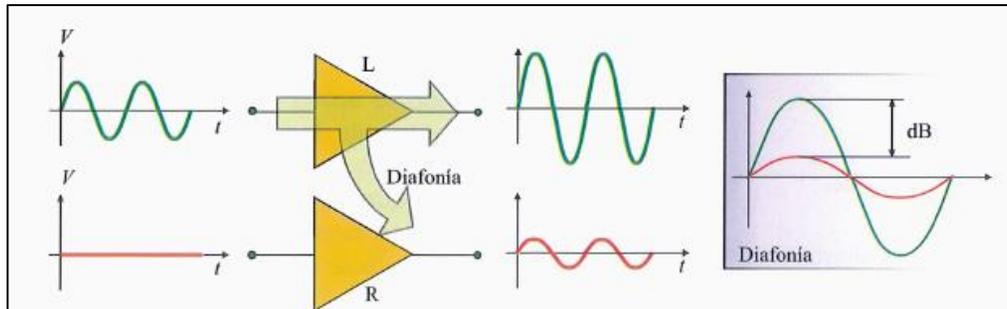


Figura 11. Diafonía
Fuente: (Esteller, 2012).

2.10. Altavoz

Un altavoz convierte la señal eléctrica maximizada con la ayuda del amplificador convierte en vibraciones de aire que es el sonido, un requisito para oír al sonido tiene que existir por lo menos 2 altavoces.

2.10.1. Principios fundamentales de los altavoces

Según (Basantes, 2009) el altavoz es el encargado de transformar la señal eléctrica, inicialmente de entrada y finalizar con una señal acústica de salida, esto genera una calidad de audio que se calcula con la fidelidad que tiene en el momento de la transformación de señales.

Un altavoz en un ambiente libre tiene un inconveniente, que cuando al realizar su función se genera un desfase con las ondas radiadas en la zona delantera del altavoz y las ondas reproducidas por la zona trasera, a este fenómeno se lo llama corto “circuito acústico”.

El diafragma y la parte de la bobina estos forman la masa mecánica del altavoz, al igual que el imán permanente conforma el conjunto de movimiento. La compliancia mecánica está conformada por las suspensiones de perímetro y las centrales con estas suspensiones le da al sistema una elasticidad requerida, todas estas suspensiones y partes están contenidas en un armazón metálico.

La parte del cono está adherido a un cilindro y en este se encuentra envuelta la bobina por donde ingresa la señal eléctrica que actúa en conjunto con el campo magnético que se crea en la parte del entrehierro o gap.

Todo esto lo se pueda observar de mejor manera en la figura del altavoz

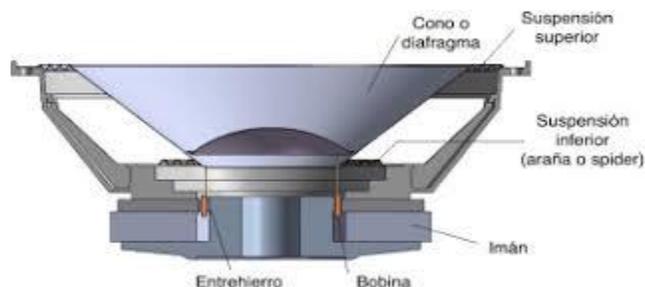


Figura 12. Altavoces con radiación directa

Fuente: (Basantes, 2009).

Las líneas de fuerza magnética se mueven siempre de norte a sur, la bobina parte perpendicularmente las líneas eso hace que se genere una actuación dinámica con la intervención del campo magnético.

La fuerza electromotriz que se genera de esa manera y es la que da movimiento a la bobina la que realiza su variación de dirección en cada semi-ciclo de la onda alterna de alimentación lo cual crea una acción de compresión y expansión esto sucede en el cono.

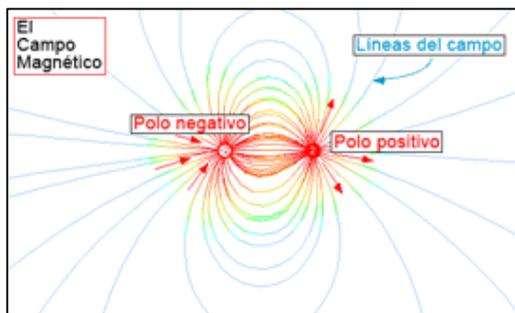


Figura 13. Líneas de fuerza magnética
Fuente: (Santiago, 2016).

El campo magnético permanente se queda constante y ubicado en el entrehierro esto hace que circule de norte a sur, esta señal que se genera en este campo magnético cambiante en la bobina esto hace que haya zonas para cada uno de los semi-ciclos que se unen o se quitan con este campo estacionario como se mira en la imagen.

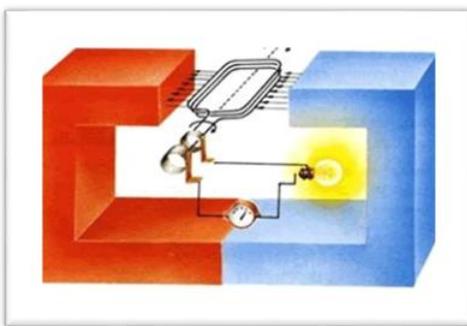


Figura 14. Movimiento de la bobina
Fuente: (Stanamir, 2001).

La bobina realiza un movimiento sobre el campo magnético permanente el cual produce voltaje inducido en la bobina que es el contrario al voltaje de alimentación de una bobina y es generado por el campo electromagnético en contra (counter electric megetic field)

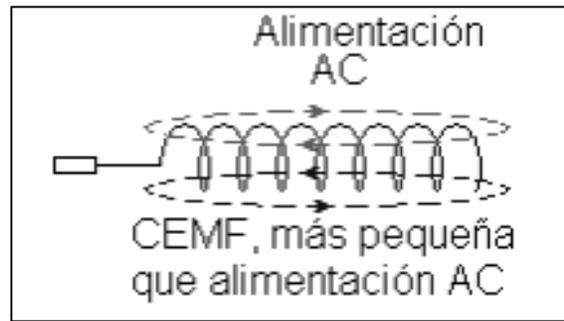


Figura 15. CEMF (Counter Electromagnetic Field)
Fuente: (Basantes, 2009).

En el CEMF se genera una mínima reducción del movimiento en la bobina por ser contraria a la señal de origen. La razón de causar este proceso es crear una oposición cambiante a la corriente de la bobina llamada también como reactancia inductiva.

Para la fabricación del cono de un altavoz el material se ha ido mejorando al inicio se utilizaba papel de cartón y en la actualidad se utiliza el polipropileno, el kevlar, el poli kevlar, (el kevlar está cubierta de resina mezclada con unas micro esferas de silicona) y para el acabado está conformado por un aerogel de un nivel alto de definición (esto está compuesto por un gel de polímeros de acrílico con otros componentes de fibra de carbón estos se mezclan con kevlar) estos materiales se caracterizan por tener un grado alto de rigidez y su estructura con menor masa.

2.10.2. Significado y medición de parámetros Thiele-Small.

Según (Basantes, 2009) la función de los parámetros Thiele-Small contribuye a definir los requisitos que debe tener el diseño de una caja acústica según el altavoz lo requiera, ya que con esto se va a lograr alcanzar el máximo volumen de la caja diseñada y también se va a obtener otros parámetros de forma teórica.

2.10.3. Características técnicas de los altavoces

2.10.4. Sensibilidad

Esta característica de sensibilidad del altavoz nos muestra el nivel de presión sonora que produce un altavoz a una distancia de un metro de su eje cuando este es alimentado con 1w de potencia, por lo que su unidad de medida es dBWm.

2.10.5. Potencia

Esta característica técnica de potencia del altavoz muestra la cantidad de energía por unidad de tiempo, y esta se la expresa en vatios, esta potencia es aplicada al altavoz sin que cause una distorsión o el daño del altavoz.

Potencia nominal: Esta es la potencia continua con la que funciona el altavoz esta es la potencia que soporta el altavoz sin causar daños al mismo.

Potencia de pico máxima: La potencia de pico máximo esta es la potencia aceptable, pero durante un mínimo tiempo, después de ese tiempo el altavoz se puede dañar.

2.10.6. Impedancia

Esta impedancia se refiere a la resistencia que tiene el altavoz al paso de la corriente que pasa por la bobina, esta resistencia se la mide en ohmios y nos da el valor de la carga que tiene el amplificador.

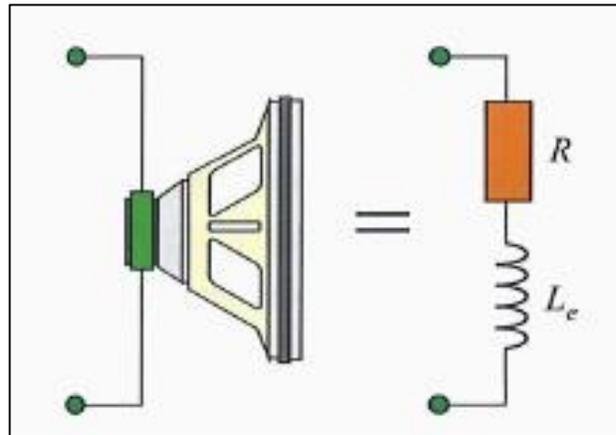


Figura 16. Impedancia
Fuente: (Basantes, 2009).

2.10.7. Ángulo de cobertura

En este ángulo de cobertura es donde la sensibilidad decae 6Db en vinculación al eje del altavoz.

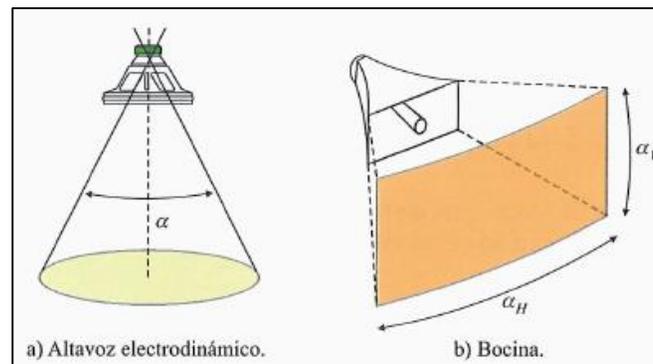


Figura 17. Ángulo de cobertura
Fuente: (Puertas, 2003).

2.10.8. Rendimiento

El rendimiento nos muestra la vinculación que existe entre la potencia acústica irradiada y la potencia eléctrica de entrada ocupada por un altavoz.

2.10.9. Distorsión

La distorsión indica la diferencia que hay con las señales aplicadas al altavoz y las que realmente son reproducidas.

2.11. Tipos de altavoces

2.11.1. Altavoz electrodinámico o de bobina móvil

Son altavoces de bobina móvil la cual genera movimiento de la membrana esto se efectúa dentro de un campo magnético que es generado por el imán permanente del altavoz.

2.11.2. Altavoz electrostático o de condensador.

El altavoz electrostático está conformado por tres placas la placa móvil es la central y esta se encuentra dentro del campo eléctrico, que fue creado por las 2 placas, la placa que está en el centro se encuentra cargada eléctricamente y cumple la función de diafragma, esta se logra mover por la fuerza electroacústica que se crea al cambiar la carga de las 2 placas entre las que está.

2.11.3. Altavoz piezoeléctrico

Estos altavoces piezoeléctricos están contruidos con material piezoeléctrico como la cerámica, el poliéster, estos materiales al ser colocados una señal eléctrica generan vibración.

2.12. Tipos de altavoces en función del acoplamiento al medio de radiación

2.12.1. Radiación directa

El altavoz tiene un diafragma que cumple la función de radiar directamente el aire generado por el altavoz.

2.12.2. Radiación indirecta.

Se coloca un dispositivo en el medio del diafragma y el aire con el propósito de que se puedan acoplar la impedancia de los dos.

2.13. Tipos de altavoces en función del margen de frecuencias

2.13.1. Altavoces de graves Woofer

Los altavoces woofer se ocupan para reproducir los tonos más graves por lo que tiene una resonancia baja que oscila entre los 20Hz y 150Hz.

2.13.2. Altavoces de medios Squawker.

Los altavoces squawker son los que reproducen frecuencias medias dentro del margen auditivo estos altavoces tienen una frecuencia de resonancia entre los 200Hz a 400Hz.

2.13.3. Altavoces de agudos Tweeter.

Los altavoces llamados tweeter son los que reproducen altas frecuencias dentro de un margen auditivo de 20Khz y su respuesta es muy poca a frecuencias bajas.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

3.1. Obtención y caracterización del material compuesto

3.1.1. Fibra de coco

Esta fibra es de procedencia natural porque es extraída del fruto de la palmera de cocos, este fruto llamado coco están envuelto de fibras que tiene una longitud de 20 a 30 cm de largo este fruto tiene una forma ovoide y tiene un peso de 2.5 kilogramos. Esta fibra de coco posee un gran nivel de lignina y un bajo de celulosa esto hace que las fibras tengan las características de ser más resistentes, fuertes y muy duraderas.

Las fibras de coco son duras y estas tienen un nivel bajo de conductividad y tiene la ventaja de ser resistente a la humedad y a las bacterias.



Figura 18. Fibra de coco

El coco está formado del 35% de cáscara con fibra, y con un 12% de casco la parte dura del coco, 28% de albumen o carne y finalmente con un 25% de agua. Estos porcentajes varían de acuerdo al tamaño y a la maduración que se encuentre el coco. La fibra de coco tiene un aroma agradable propio del nombre que lleva, esta fibra tiene la característica de que cuando se seca adquiere un color café, también la longitud de esta fibra varía entre un rango de 15 a 25 cm.



Figura 19. Coco partido

3.1.1.1. Proceso de extracción de la fibra de coco

La fibra de coco se localiza bien adherida a las otras partes del coco por la razón que al desprender la fibra hay que hacerlo con mucho cuidado para que las fibras no se rompan. Para el proceso de desprendimiento de la fibra existen diferentes métodos como: mecánicos, biológicos y químicos pero estos procesos se deben elegir el más óptimo según el material que se está realizando y para la utilidad que se la va dar al material.

3.1.1.2. Procesamiento de la fibra de coco para la creación del material.

Para el procesamiento de la fibra de coco todo inicio desde la recopilación de los cocos que fueron traídos desde un local comercial donde utilizan el coco para vender sus partes comestibles

del coco y la cascara la desechan de ahí se obtuvo la materia prima para procesarla, todos los procesos se realizó manualmente, efectuando diferentes etapas con la fibra de coco hasta obtener la fibra de coco ya procesada para el uso de la creación del material, todo estos procesos fueron analizados para obtener la fibra de coco en base a nuestra necesidad.



Figura 20. Cáscara de coco

3.1.1.3. Extracción de la fibra de coco

La extracción de la fibra de coco se lo realizo manualmente procediendo a romper el coco en la mitad para luego realizar el desprendimiento de la fibra del coco utilizando las manos, esta fibra fue extraída de la cascara de coco.



Figura 21. Extracción fibra de coco

3.1.1.4. Etapa de secado de la fibra coco

En esta etapa se realizará el secado de la fibra de coco, primero ejecuto el secado de la fibra con la ayuda del sol de forma natural, pero no se obtuvo los resultados requeridos, luego se procedió hacer este proceso con la ayuda de un horno a gas, en donde se colocó la fibra a cierta temperatura para que la fibra se secase y eliminara toda el agua que tiene en su estructura.



Figura 22. Proceso de secado de fibra de coco

3.1.1.5. Proceso de molido de la fibra de coco

En este proceso se finalizó realizando el molido de la fibra de coco utilizando un molino manual para lo cual se colocó la fibra en la parte superior del molino donde se coloca el material que se va a moler luego se procedió a mover el brazo del molino para que el mecanismo del molino comience a realizar su función de moler la fibra y con un recipiente se recopiló toda la fibra molida.



Figura 23. Molido de fibra de coco

3.1.1.6. Creación del material

Para la creación del material primero se realizó diferentes pruebas de mezcla de la fibra de coco con los demás materiales químicos para, obtener la mejor mezcla y obtener un material con las características requeridas y cumplan su función en la caja acústica.

3.1.1.7. Mezcla de los materiales

Para efectuar la mezcla de los materiales se lo realizo de manera manual utilizando los mismos materiales que se utiliza cuando se trabaja con la fibra de vidrio.

Tabla 1

Materiales

| Materiales | |
|------------|---------------|
| 1) | Fibra de coco |
| 2) | Resina |
| 3) | Cobalto |
| 4) | Mek |
| 5) | Recipiente |

3.1.1.8. Pruebas de muestras efectuadas

Se realizaron pruebas de pequeñas cantidades de los elementos, creando muestras de la mezcla de los materiales para encontrar la mejor manera de ejecutar la mezcla y proceder a crear el material para realizar los análisis necesarios para conocer las características del material creado.

3.1.1.9. Muestra 1

En esta muestra creada se realizó con la mezcla de resina, cobalto, mek, y la fibra de coco, pero esta fibra de coco no fue procesada, se aplicó la fibra de coco directamente. Primero se colocó la fibra de coco y después la mezcla de la resina con el cobalto y el mek, y luego se procedió a dejar que el material se secase a temperatura ambiente.



Figura 24. Muestra N°1

En esta muestra del material creado, se analizó y se pudo concluir que esta no era la mejor mezcla ya que al colocar la mezcla de resina con el cobalto y el mek no ocupaba bien todos los espacios del material, creando burbujas de aire, por lo que el material no se mezclaba con la fibra de coco y como resultado se obtuvo un material no compacto.

3.1.1.10. Muestra 2

En este caso la muestra del material se creó con la fibra de coco ya procesada, realizando la mezcla con los mismos materiales, colocando primero la fibra de coco procesada y sobre ella se colocó la mezcla de resina, cobalto y el mek, y se dejó secar a temperatura ambiente la muestra creada.



Figura 25. Muestra N°2

En el resultado de esta muestra se analizó que la mezcla fue más óptima por la ayuda de la fibra procesada ya que la fibra de coco se mezcló bien con los otros materiales, porque su tamaño que se redujo, pero en la parte inferior del material obtenido se pudo observar que la mezcla de la resina no se mezcló muy bien como en la parte superior, también se determinó que este material fue más compacto que el anterior.

3.1.1.11. Muestra 3

En esta muestra se utilizó fibra de coco procesado, pero en esta muestra el proceso de creación del material se modificó realizándolo de la siguiente manera: primero se mezcló la resina con el cobalto, luego se colocó la fibra procesada de coco y finalmente se colocó el mek, y se dejó que se secase a temperatura ambiente la muestra.



Figura 26. Muestra N°3

Esta muestra creada dio como resultado la fórmula más efectiva de realizar la mezcla ya que al analizar esta muestra, se pudo observar que el material se mezcló de una manera más efectiva y al revisar el material ya procesado se observó que el material estaba compacto y sin burbujas de aire obtenido así el material requerido para las cajas acústicas.

3.1.2. Análisis del material

Para analizar el material creado se realizaron ensayos y pruebas al material para saber sus características físicas y de funcionamiento esto se lo realizó en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional.

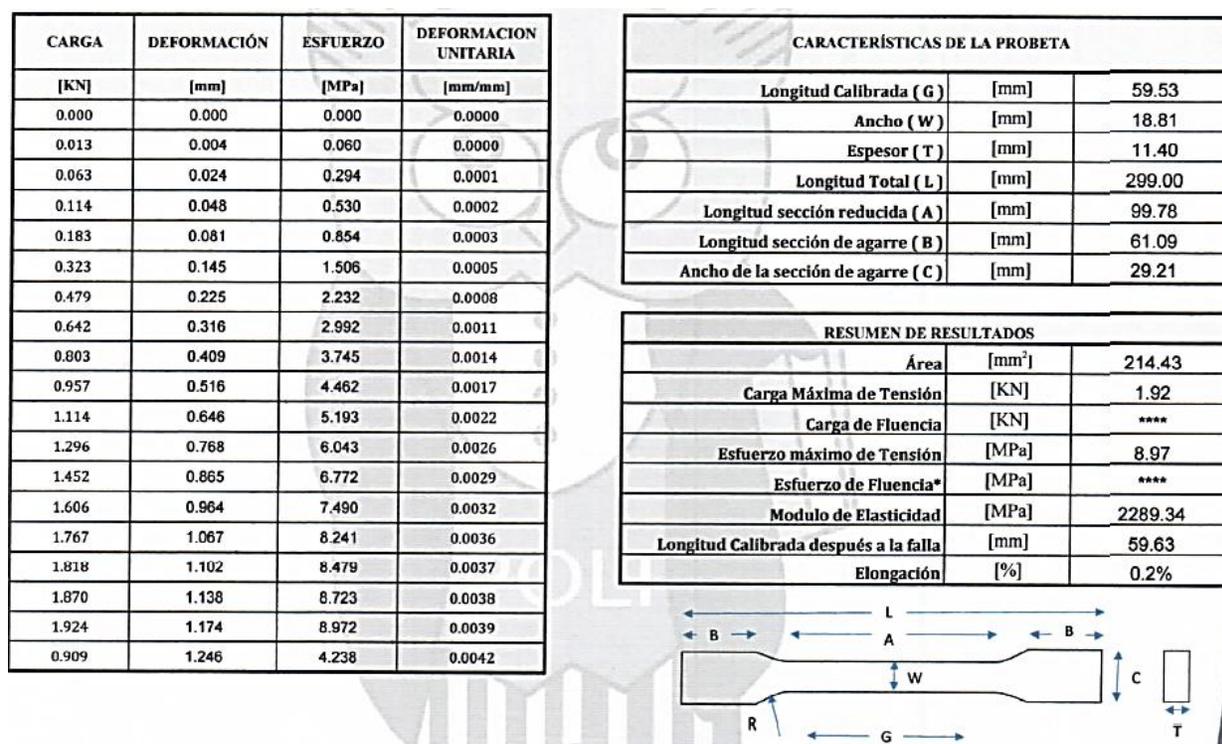


Figura 27. Análisis del material
Fuente: (Laboratorio de materiales, EPN)

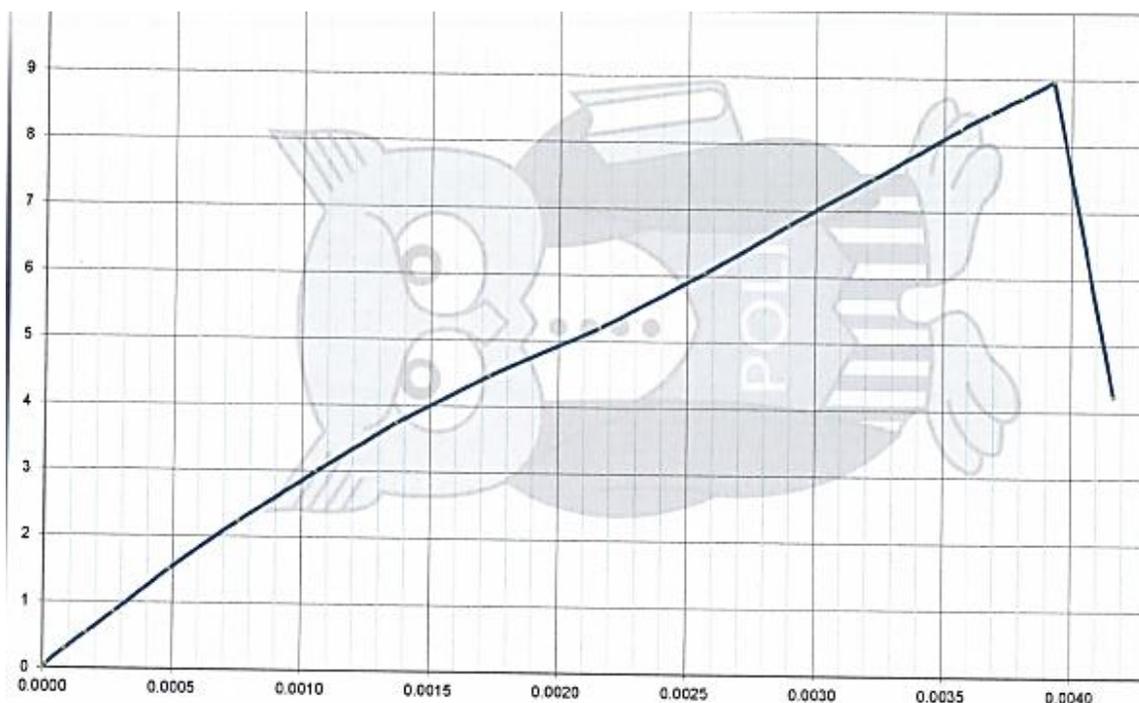


Figura 28. Gráfica esfuerzo-deformación

Fuente: (Laboratorio de materiales, EPN)

| MUESTRA | | 173-02 |
|--------------------------|--------------------|--------|
| PESO ESPECÍFICO | gr/cm ³ | 1.048 |
| PESO ESPECÍFICO S.S.S. | gr/cm ³ | 1.065 |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE | gr/cm ³ | 1.067 |
| ABSORCION DE AGUA | % | 1.674 |

Figura 29. Características físicas del material

Fuente: (Laboratorio de materiales, EPN)

3.1.2.1. Polvo de Balsa

Para el desarrollo del prototipo de caja acústica se procederá mediante una técnica de laminado con el fin de garantizar las propiedades analizadas en el capítulo anterior mismas que son:

- ✓ La primera capa debe poseer una porosidad que permita re direccionar las ondas acústicas impidiendo que estas choquen bruscamente con las paredes de la caja, dicha porosidad debe estar conectada formando una cierta capilaridad para permitir que la presión que ejerce el bajo sea direccionada a la conveniencia del fabricante ya sea hacia un porto en cajas abiertas o para reducir el golpe seco en cajas cerradas mismos que generan distorsión.
- ✓ La segunda capa se la debe construir con una mayor resistencia y densidad para que soporte la presión acústica ejercida por el bajo, con la particularidad que esta capa será la parte estructural de la caja, en este caso se busca la mayor resistencia y menor peso permitiendo así cumplir uno de los objetivos planteados.
- ✓ La última capa es la de sellado y afinado de superficie, teniendo en cuenta que al diseñar una caja acústica de tipo cerrada para obtener la mejor calidad de sonido en todas las frecuencias se requiere de un sello hermético de la misma sello que en la segunda capa se obtiene, pero no por completo por tal motivo en esta capa se utilizaran elementos que me permitan cerrar todos los poros y dar un mejor acabado.

3.1.2.2. Proceso de fabricación

Para la fabricación de la caja acústica se realiza un proceso de estratificación manual ya que es una técnica simple y antigua para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable.

En esta técnica las resinas termoestables por encontrarse en forma líquida permiten un fácil procesamiento y una buena impregnación de refuerzos en forma de fibra y una excelente portabilidad de cargas.

La matriz a utilizar es de resina poliéster, dicha resina por su alta viscosidad no se puede utilizar directamente para lo cual utilizaremos un monómero reactivo, generalmente estireno, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de diluir y dar la viscosidad adecuada a la resina.

Las propiedades de la resina de poliéster sin reforzar a destacar son:

Tabla 2

Propiedades de la resina

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Densidad (g/cm³) | 1,1 – 1,2 |
| Viscosidad 25° C (cP) | 150 - 750 |
| Dureza Barcol | 30-55 |

Tabla 3

Propiedades mecánicas de la resina

| | |
|-----------------------------------|----------------|
| Resistencia Tracción (Mpa) | 50 – 75 |
| Resistencia Flexión (Mpa) | 80 – 150 |
| Módulo Flexión (Mpa) | 3500 – 4500 |

Para que ocurra la reticulación (curado) se adiciona un iniciador, que es el encargado de desencadenar la reacción en la resina poliéster, frecuentemente usada por su bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador se utiliza generalmente octeto de cobalto.

Los tres elementos la resina, el estireno y el octeto de cobalto forman la llamada resina promovida que será la base todas las mezclas a ser ensayadas, para nuestro estudio se realizó la siguiente formulación en porcentaje de peso.

Tabla 4
Mezcla promovida

| Mezcla promovida | |
|-------------------|------------|
| Material | Porcentaje |
| Resina poliéster | 74.7% |
| Estireno | 24.9% |
| Octeto de Cobalto | 0.2% |
| MEKP | 0,20% |

Partiendo de esta mezcla se añaden las cargas y semi cargas para lograr encontrar un material que me asegure una porosidad y capilaridad adecuada para el estudio utilizamos los siguientes elementos:



Figura 30. Proceso de mezclado

3.1.2.3. Trabajo con polvo de balsa

Se integra este material particulado en la resina promovida con el fin de generar porosidad y capilaridad, aprovechando su naturaleza, como madera, un excelente aislador acústico, además de su baja densidad 150 kg/m³ considerado como una madera ligera de dureza 0,2 que la encasilla como una madera muy blanda, con una tendencia a curvarse pequeña, permite asociar estas características a la primera capa de nuestra caja acústica, sus propiedades mecánicas son:

Tabla 5

Propiedades mecánicas

| Esfuerzos | | kg/cm ² |
|---|-----------------------------|--------------------|
|  | Resistencia a la flexión | 190 |
|  | Resistencia a la compresión | 100 |
|  | Resistencia a la tracción | 26 |
|  | Módulo de elasticidad | 26800 |

Fuente: <http://normadera.tknika.net/es/content/ficha/balsa>

3.1.2.4. Aerosil o Cabosil

Es una sílica pirogénica, que se utiliza para espesar la resina con el fin de reducir el drenaje, especialmente en superficies verticales. Tiene una buena compatibilidad con resinas poliéster.

Para que la mezcla se catalice se utiliza el peróxido de metiletil cetona (MEKP, por sus siglas en inglés).

Para la determinación de la mezcla ideal entre resina promovida, polvo de balsa y cabosil no existe un proceso pre establecido, ni una fórmula que determine la proporción adecuada de los componentes, por lo que se tomara como referencia el siguiente cuadro de mezclas para poder generar las probetas para ser ensayadas.

Tabla 6

Mezclas de componentes

| ELEMENTOS | MEZCLA 1 | MEZCLA 2 | MEZCLA3 |
|-------------------------|----------|----------|---------|
| RESINA PROMOVIDA | 94% | 94% | 94% |
| POLVO DE BALSA | 2% | 3% | 4% |
| CABOSIL | 4% | 3% | 2% |



Figura 31. Mezcla de componentes

Se realizan seis probetas por cada mezcla dando un total de dieciocho probetas ensayadas, con las medidas y especificaciones de la norma ASTM C127-15 que permite identificar el peso específico y el porcentaje de absorción de agua, obteniendo los siguientes resultados.



Figura 32. Probetas con polvo de balsa

Para la mezcla 1 que en su composición cuenta 2% de polvo de balsa, 4% de cabosil y un 94% de resina en peso se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 7

Resultados muestra 1

| Muestra 1 | |
|---------------------------------|------|
| Peso específico | 1,12 |
| Peso específico S.S.S | 1,14 |
| Peso específico aparente | 1,14 |
| Absorción de agua | 1,02 |

Para la mezcla 2 que en su composición cuenta con porcentajes iguales en peso de polvo de balsa y cabosil de 3 % cada una y un 94% de resina se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 8*Resultados muestra 2*

| Muestra 2 | |
|---------------------------------|------|
| Peso específico | 1,17 |
| Peso específico S.S.S | 1,18 |
| Peso específico aparente | 1,18 |
| Absorción de agua | 1,21 |

Para la mezcla 3 que en su composición cuenta 4% de polvo de balsa, 2% de cabosil y un 94% de resina en peso se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 9*Resultados muestra 3*

| Muestra 3 | |
|---------------------------------|------|
| Peso específico | 1,18 |
| Peso específico S.S.S | 1,19 |
| Peso específico aparente | 1,2 |
| Absorción de agua | 1,26 |

Por otra parte, se ensayan 4 probetas a tracción de cada mezcla respetando la normativa y dimensiones, cabe recalcar que para poder realizar la prueba se tuvo que reforzar las mezclas con fibra de vidrio al 10%, obteniendo los siguientes datos.

En la curva esfuerzo vs deformación se puede apreciar el esfuerzo máximo a la tensión de 7.12MPa con una mínima deformación antes de romperse debido al refuerzo de fibra de vidrio, a los espacios que dejan el polvo de balsa y el cabosil esto debilitan los lazos que forman la matriz con el refuerzo.

Tabla 3.10.
Características muestra 1

| CARACTERÍSTICAS | MUESTRA 1 |
|--|-----------|
| Área | 213,21 |
| Carga Máxima de Tensión | 1,85 |
| Carga de fluencia | |
| Esfuerzo máximo a la Tensión | 7,12 |
| Módulo de Elasticidad | 2288,12 |
| Longitud Calibrada después de la falla | 60,75 |
| Elongación | 0,20% |

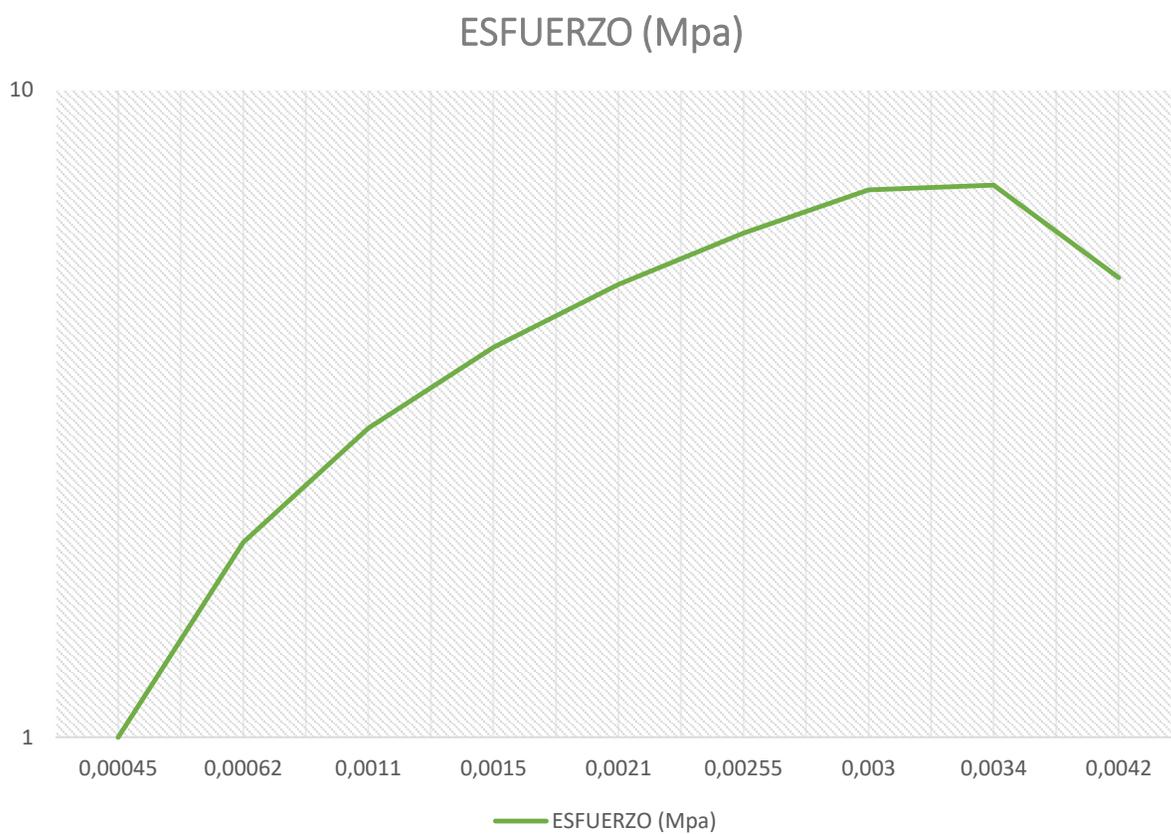


Gráfico 1. Esfuerzo deformación muestra 1

En la muestra dos al llevar el mismo porcentaje de cargas la mezcla se estabiliza obteniendo un mejor resultado en el esfuerzo máximo a la tensión con 7,45MPa.

Tabla 11

Características muestra 2

| CARACTERÍSTICAS | MUESTRA 2 |
|--|-----------|
| Área | 216,25 |
| Carga Máxima de Tensión | 1,93 |
| Esfuerzo máximo a la Tensión | 7,45 |
| Esfuerzo de fluencia | |
| Módulo de Elasticidad | 2294,35 |
| Longitud Calibrada después de la falla | 61,36 |
| Elongación | 0,20% |

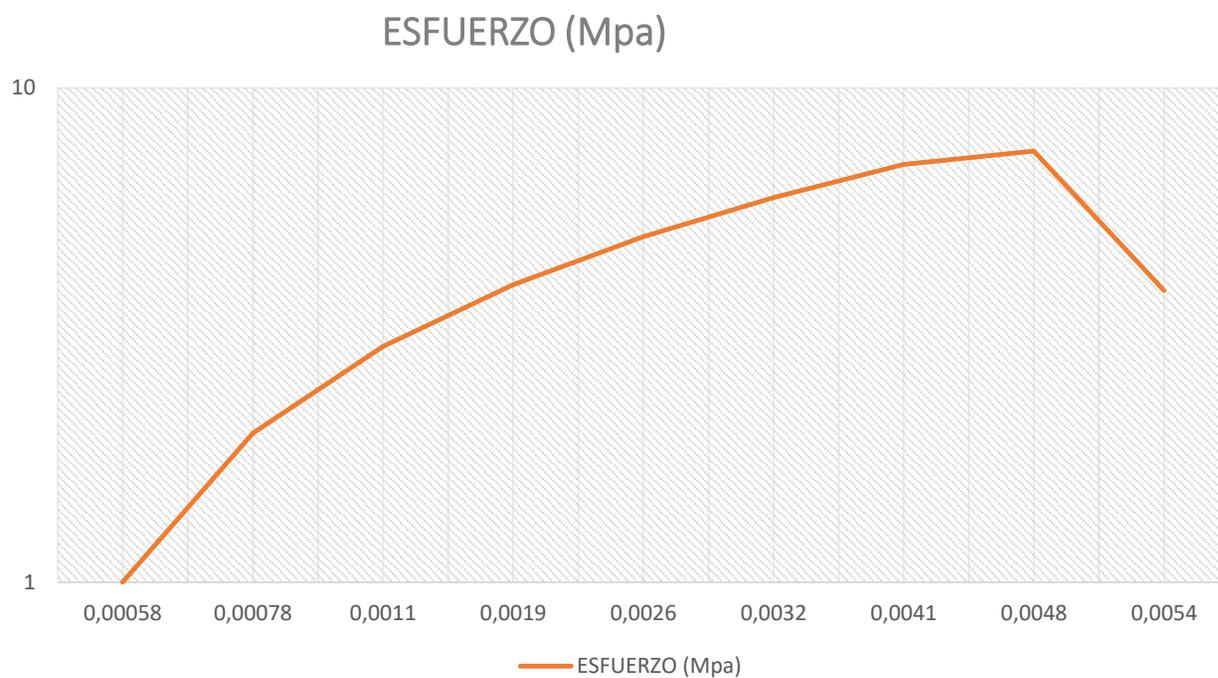


Gráfico 2. Esfuerzo deformación muestra 2

En la tercera mezcla se aprecia una disminución en el esfuerzo último a la tensión por tener mayor porcentaje de cargas que impiden la unión correcta entre la matriz y el refuerzo

Tabla 12

Características muestra 3

| CARACTERÍSTICAS | MUESTRA 3 |
|--|-----------|
| Área | 215,34 |
| Carga Máxima de Tensión | 1,73 |
| Esfuerzo máximo a la Tensión | 6,85 |
| Módulo de Elasticidad | 2293,56 |
| Longitud Calibrada después de la falla | 61,12 |
| Elongación | 0,20% |

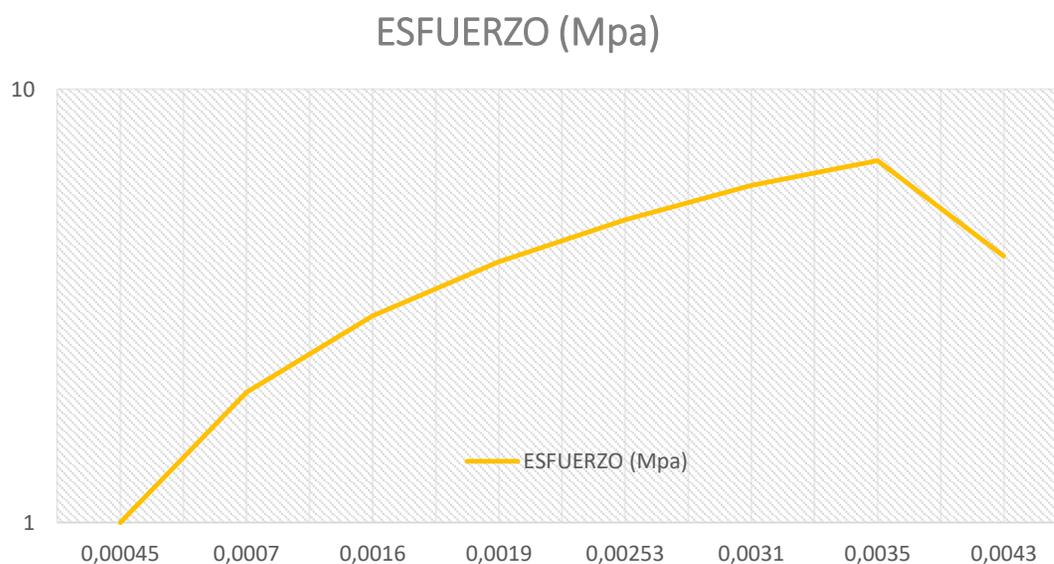


Gráfico 3. Esfuerzo deformación muestra 3

Al revisar los datos nos podemos percatar que la muestra 2 presenta las propiedades más altas de esfuerzo máximo a la tensión y modulo elástico a medida que se aumentan más cargas a la mezcla (polvo de balsa) sus propiedades mecánicas disminuyen.

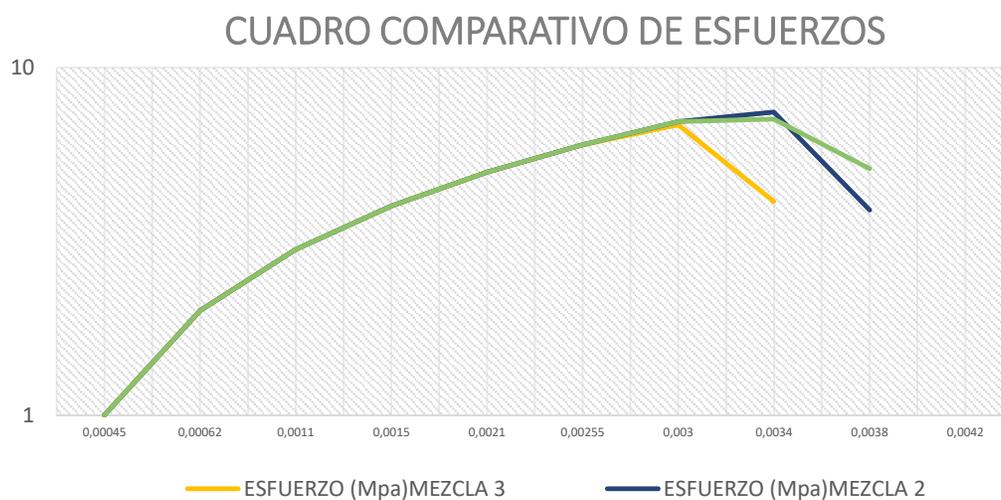


Gráfico 4. Datos comparativos de muestras

Con estos resultados realizamos un comparativo entre las tres mezclas para determinar cual tiene menor peso específico.



Gráfico 5. Comparación de peso específico

De los resultados obtenidos podemos apreciar que la mezcla uno es el menor peso específico esto se debe a que en su composición lleva más cabosil que polvo de balsa y por otra parte a medida que aumenta la concentración de polvo de balsa aumenta el peso específico.

En el siguiente gráfico se aprecia cuál de estas mezclas tiene una mejor capilaridad gracias al valor de absorción de agua.



Gráfico 6. Absorción de agua por muestra

Como resultado de este ensayo podemos advertir que la capilaridad aumenta con la elevación del porcentaje de polvo de balsa como resultado se obtiene que la muestra 3 es la de mejor capilaridad.

Basados en los resultados seleccionamos a la mezcla número tres como la mejor opción, aunque esta no tenga un esfuerzo máximo a la tensión elevado se aprecia que es el que mejor capilaridad tiene y por estar en la primera capa se sugiere la utilización de este compuesto.

En el segundo nivel de nuestra caja se requiere materiales que proporcionen resistencia a la caja evitando deformaciones y posibles rupturas de la misma, así como también forman parte estructural, debiendo llevar a los bajos, por lo que se busca formar un material reforzado con fibras, pero de bajo peso para llevar a cabo la finalidad del proyecto.

El material de refuerzo puede presentarse en forma de fibra corta, fibra continua, tejido o mat (no tejido) y es adicionado en un porcentaje en volumen del 40%. Se han observado porcentajes de espacios vacíos (burbujas de aire atrapadas) de un 15%. Las fibras a utilizar en este proyecto son, refuerzo es la fibra de vidrio esta opción se la toma debido a su bajo costo la presentación más común que se puede encontrar en el mercado es forma de mat, esto favorece a la técnica de fabricación utilizada por la facilidad de acoplarse a distintas formas de la pieza y por otro lado utilizaremos una fibra de carácter vegetal la cual está basada en fibras continuas y corta de coco en un porcentaje en volumen del 40%. , pudiendo observar porcentajes de espacios vacíos de un 15% similar a la fibra de vidrio.

Para realizar las probetas a ser ensayadas se utilizan cantidades de fibras similares y longitud parecida puesto que la fibra de vidrio que obtuvimos en el mercado es del tipo no tejido con lo que la disposición de las fibras no tiene una dirección ni un orden, en cambio la fibra de coco nos permite direccionar las fibras el inconveniente es su tamaño.

Se generaron seis probetas por material con un total de doce ensayos a tracción además de pruebas de peso específico y porcentaje de absorción.

CAPÍTULO IV

MODELADO Y SIMULACIÓN

4.1. Diseño y elaboración del prototipo de la caracterización de la caja acústica

Para la elaboración del diseño y la construcción de la estructura de la caja se utilizó un programa de diseño llamado Solidworks este programa nos facilitara realizar el diseño y la construcción de la caja virtualmente, aquí se realiza cada una de las piezas que conformaran la estructura de la caja donde se colocara el subwoofer, las borneras, los respiraderos, y cables.

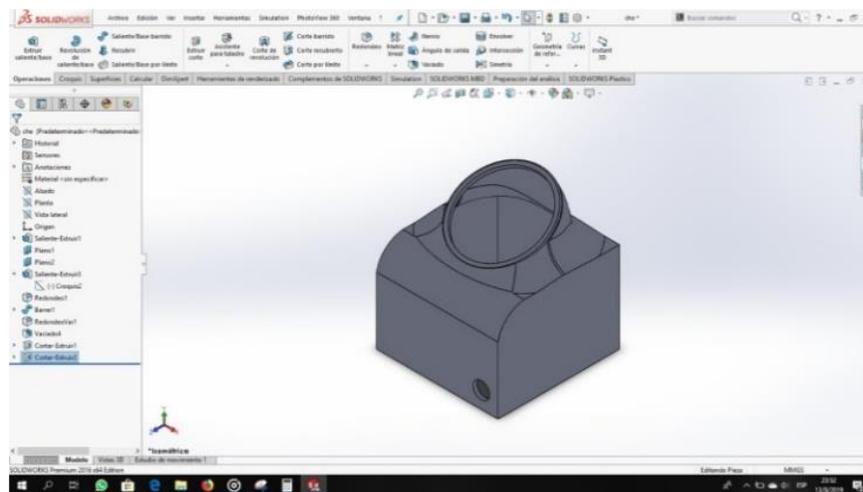


Figura 33. Estructura y diseño de la caja acústica

Utilizando el mismo programa de diseño se realizó el ensamble de nuestra caja utilizando cada pieza creada para realizar el ensamble y dar forma a la estructura de la caja, en la cual va ser instalada los demás componentes que ayudara al funcionamiento.

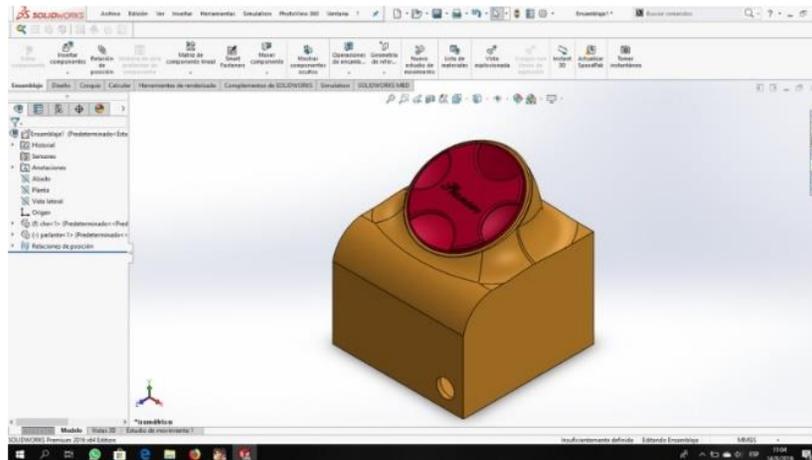


Figura 34. Ensamble de caja

4.2. Diseño de la caja y estudio realizado en SolidWorks

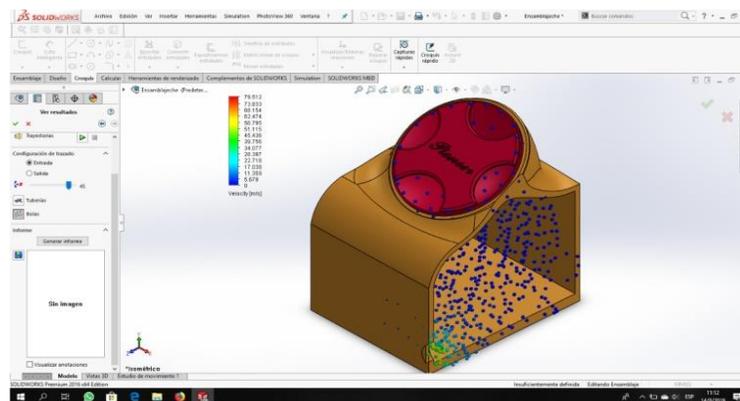


Figura 35. Estudio de diseño

4.3. Construcción de la estructura de la caja

Para realizar la construcción de la estructura de la caja se realizó el diseño en SolidWorks para guiarse con los planos realizados en el mismo programa de diseño donde se encuentran las medidas que se va a utilizar para realizar los cortes del material para ensamblar la caja y no tener ningún inconveniente.

4.3.1. Elección del material para la estructura de la caja

Al elaborar la estructura de la caja se debe hacer la elección del material con la que se va ensamblar la caja, en este proyecto la elección del material se lo ejecuto de acuerdo a la investigación realizada por lo cual se utilizó el MDF ya que es un material resistente y es el material más idóneo y utilizado para realizar este tipo de cajas acústicas.



Figura 36. Plancha de MDF para la base

4.4. Trazado de líneas de corte en el MDF

El instante que se va a realizar el corte del MDF primero se efectuó el trazado de líneas de corte ya sean rectas o circulares para guiarse por lo señalando con un lápiz, tomando en cuenta las medidas de los planos para después realizar el corte de cada pieza que va integrar la estructura de la caja.



Figura 37. Trazado de corte MDF

4.4.1. Cortado del MDF

En el proceso de cortado del MDF se usó cierras y cortadoras eléctricas de mano y de mesa para madera para obtener un corte preciso y exacto ya sea este recto o circular.



Figura 38. Corte MDF

4.5. Proceso de sellado de la caja con polvo de balsa en fibra de vidrio y fibra de coco

En este proceso se realizó el sellado de la caja acústica con fibra de vidrio y polvo de balsa en una caja y en la otra caja con fibra de coco utilizando una mezcla de elementos químicos, y siguiendo los debidos procesos para ejecutar este tipo de etapa para el sellado de la caja.

4.5.1. Colocación de polvo de balsa (1ra caja)

En este proceso se realizó la aplicación de la fibra de vidrio con polvo de balsa para esto se realizó el cortado y arrugado de la fibra de vidrio, después se procedió a colocar los pedazos de

fibra de vidrio y el polvo de balsa en cada parte del molde pegando con la misma mezcla creada para la base y con la ayuda de la brocha y nuestras manos utilizando guantes, se colocó presionando con la brocha para que la fibra de vidrio se adhiera bien al material base.



Figura 39. Colocación de vibra de vidrio con polvo de balsa

4.5.2. Colocación del material compuesto de fibra de coco (2da caja)

Para este proceso primero se preparó el material que va ser aplicado, sobre el material base para esto se utilizó un recipiente donde se colocó un poco de resina, cobalto y la fibra de coco y se efectuó la mezcla y mientras se realizó la mezcla de estos elementos se colocó el secante después que se realizó este proceso, con la ayuda de una brocha se colocó el material creado con la fibra de coco sobre el material base y se dejó secar.



Figura 40. Colocación de material compuesto de fibra de coco

4.6. Métodos de elementos Finitos

Antes de ejecutar el análisis de elementos Finitos en el software es necesario realizar una introducción sobre las ecuaciones utilizadas en el programa para el debido sustento matemático. Partiendo de la ecuación característica del Movimiento Armónico Simple (MAS) (BLELLOCH 2006).

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega_0^2 y$$

(5.)

Partiendo de un análisis dinámico de un objeto donde el desplazamiento (Y) respecto a una posición de equilibrio y la frecuencia angular (ω_0), el objeto tendrá un MAS, esta ecuación nos permite relacionar la aceleración y el desplazamiento respecto a la posición de equilibrio de un objeto (BLELLOCH 2006).

Utilizando una onda armónica, el movimiento de cada elemento del medio respecto al tiempo corresponde a un MAS, al desarrollar la fórmula, utilizando el parámetro de la Conservación de la Energía se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

(6.)

Cuando el análisis se realiza en una sola dimensión, se obtiene una relación como la indicada en la formula anterior se concluye que se trata de una onda viajando sin dispersión en el medio.

Al concentrar la energía en un punto determinado de un recinto, debido a la interacción de esta onda con el medio se puede obtener varias ondas tales como: axiales, tangenciales y/u oblicuas, dependiendo si el recinto que las contiene es de 3 dimensiones, a este fenómeno lo podemos explicar mediante el cálculo de modos de vibración para un recinto. Para un recinto de geometría regular se puede utilizar la siguiente ecuación (BLELLOCH 2006).

$$f_{k_3 m_3 n} = 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2}$$

(7.)

Esta ecuación permite determinar la frecuencia de vibración para recintos de geometría regular donde (L) representa las dimensiones del recinto en metros, (k, m y n) representan valores enteros que son denominados como Nodos Propios.

La interacción de estos nodos es inevitable y tienen relación con la longitud del recinto, para esto se utiliza la figura 45 que se muestra a continuación:

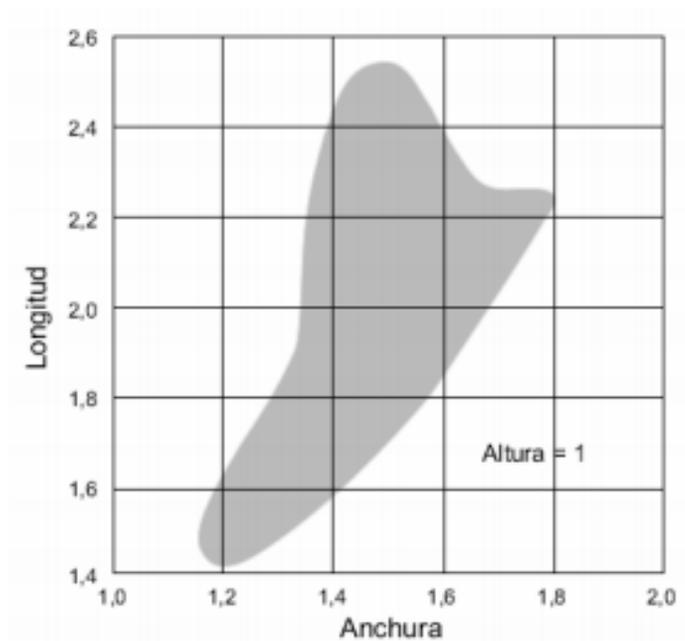


Figura 41. Relación recomendada entre dimensión de un recinto rectangular
Fuente: (Carrión Isbert, 1998).

En la figura antes mencionada se considera una altura igual a 1 para tener una interacción entre el largo y ancho recomendado por Bolt, siendo la región sombreada la representación de una distribución uniforme.

Si la densidad de los nodos propios es demasiado grande que puede ser imperceptible se puede calcular mediante la fórmula de Schoroeder.

$$f_{max} = 1849 \sqrt{\frac{RT_{mid}}{V}}$$

(8.)

Esta fórmula permite relacionar la frecuencia en la que trabaja dependiendo del volumen (V) donde se aloja y el promedio del valor del tiempo de reverberancia (RT) en un rango de 500 a 1 Hz en 1 segundo.

Utilizando el principio de Conservación Mecánica y Termodinámica se tiene un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales, mismas que describen el movimiento de un fluido cargado. La ecuación de Navier-Stokes permite calcular los niveles de presión sonora a través de un fenómeno turbulento.

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho F - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} + [2\mu(e_{ij} - \Delta\delta_{ij}/3)]$$

(9.)

De esta ecuación se puede relacionar la densidad (δ) con las componentes características de la velocidad (u_i), las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo (F_i), la presión del fluido (p), la viscosidad dinámica (μ) y la divergencia del fluido (Δ).

Existen varias condiciones de carga que se pueden aplicar a un sistema, estas pueden ser: Puntuales (presión, gravedad), Cargas térmicas, Desplazamientos forzados, flujos de calor, entre otros. El estudio de estas condiciones se facilita gracias a la utilización de un programa de elementos finitos, el cual permite la interacción de estos y otros elementos.

El modelo matemático planteado en las ecuaciones básicas de dinámica de fluidos presenta las siguientes fórmulas: Ecuación de continuidad y Ecuación de Cantidad de Movimiento.

$$\frac{\partial}{\partial t} + \bar{V} \cdot \rho \bar{V} = 0$$

(10.)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho \bar{F} \bar{M} - \bar{V} P + R + \mu (\overline{V^2 V} + \bar{V} (\bar{V} \cdot \bar{V}))$$

(11.)

De estas dos ecuaciones se desprende la densidad de fluido (ρ), la velocidad de las partículas (\bar{V}), la presión (P), la aceleración de las partículas ($\bar{F} \bar{M}$) y el coeficiente de viscosidad (μ).

Si se asume las siguientes restricciones ($\mu=0$), por tratarse de un fluido no viscoso como es el aire, la densidad varia ligeramente con el tiempo, al mantener la densidad constante de la caja y si se asume que la fuerza de gravedad y la fuerza de rozamiento es despreciable se puede concluir en la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho_0}}$$

(12.)

La velocidad del fluido depende directamente de la densidad del fluido (ρ_0).

Para el estudio que vamos a realizar, se va a utilizar la formación de matrices de ocho nudos de elementos correspondiente a 8 nodos es decir uno por cada esquina, esto permite tener una variación lineal de la presión acústica.

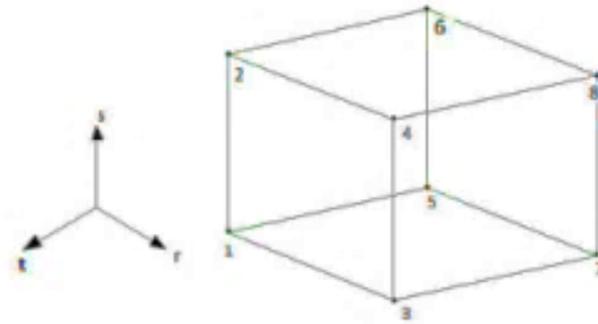


Figura 42. Elementos finitos acústicos rectangulares de 8 nodos
Fuente: (BLELLOCH 2006).

La ecuación que se presenta a continuación hace referencia a la variación lineal de la presión acústica, donde la presión se expresa en términos de los coeficientes generalizados ($\alpha_1 \dots \alpha_n$), que gobiernan la contribución de cada uno de los términos poligonales simples.

$$\rho = a_1 + a_2 r + a_3 s + a_4 t + a_5 rs + a_6 rt + a_7 st + a_8 rst \quad (13.)$$

Al relacionar los nodos individuales con la presión acústica se puede lograr un posicionado dando valores de frontera para cada presión nodal, lo cual presenta 8 ecuaciones con 8 variables que al ser resueltas nos da como resultado la ecuación de Helmholtz en 3 dimensiones.

$$\left([S] - \frac{\omega^2}{c^2} [R] \{P\} = 0 \right) \quad (14.)$$

Esta ecuación solo se puede utilizar para recintos de sección rectangular y ductos, motivo por el cual procederemos a realizar la simulación de presión acústica en un entorno rectangular.

Para la determinación de las frecuencias naturales y los nodos del sistema utilizamos un análisis MODAL, basado en la ecuación del movimiento para un sistema acústico <http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/313>.

$$(-\omega^2[M] + j\omega[C] + [K] \{p\}) = \{f\} \quad (15.)$$

De esta ecuación general obtenemos la masa (M), la matriz de amortiguamiento (C), la matriz de rigidez (K), el vector de la presión nodal (p) y la carga acústica aplicada al sistema (f) <http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/313>.

Para calcular la respuesta armónica de un sistema se utiliza un análisis armónico, mismo que puede ser calculado por 2 métodos, el primero es de la suma modal o también conocido como de superposición y el método completo.

$$\{u\} = (-\omega^2[M] + j\omega[C] + [K] \{p\})^{-1} = \{f\} \quad (16.)$$

Esta ecuación combina las matrices de amortiguamiento (C), rigidez (K), masa (M) y el vector de carga (f) para cada desplazamiento nodal (u).

4.7. Simulación mediante ANSYS WORKBENCH utilizando los módulos acústicos

Para el estudio del diseño de las cajas acústicas y su comprobación basamos el estudio en elementos finitos mediante la utilización del software Ansys Workbench.

Para el estudio de caso se presentan dos alternativas, la primera manejar un entorno esférico y la segunda manejar un entorno de tipo rectangular.

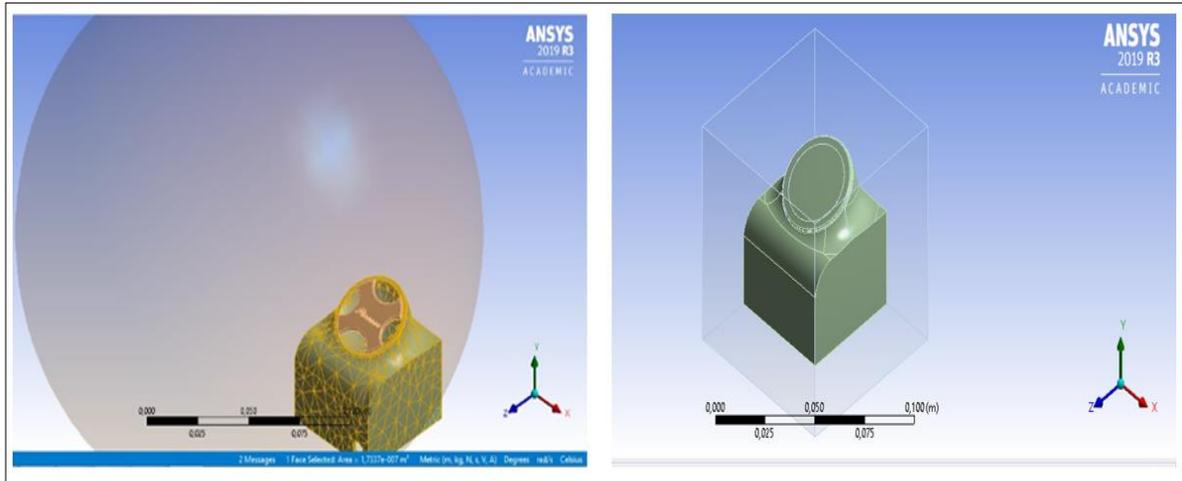


Figura 43. Entorno de trabajo de la caja acústica

Es de suma importancia definir el entorno en el cual va a trabajar nuestra caja acústica, se conoce que esta se encuentra montada en un vehículo Hyundai i10, mismo que tiene un entorno casi regular de forma rectangular, or tal motivo el estudio se lo realizará bajo estos términos.

4.7.1. Proceso de simulación

Una vez cargado el programa de simulación se recomienda verificar que se encuentren cargados todas las propiedades de los materiales (aire, madera, materiales compuestos de fibra de coco y fibra de vidrio con polvo de balsa), estos podemos modificarlos en la sección de Engineering Data.

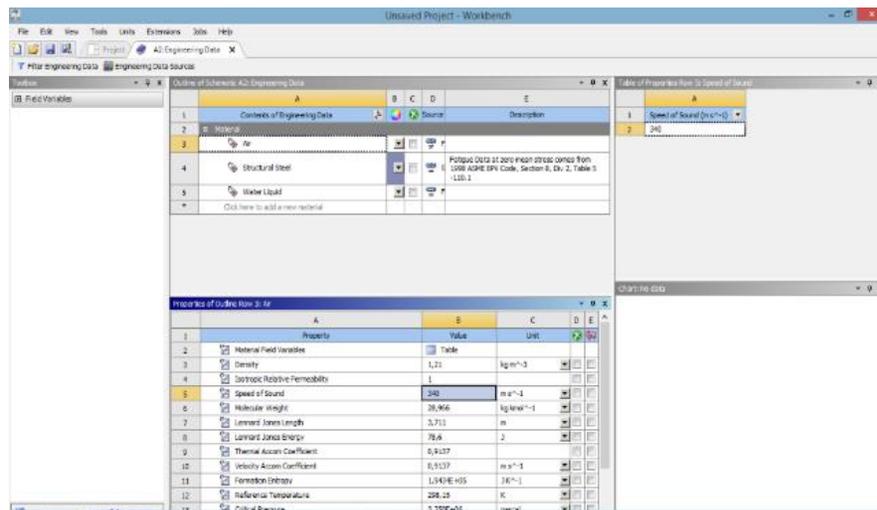


Figura 44. Selección de materiales en el software

Para la optimización de recursos computacionales, se requiere enlazar los diferentes análisis a resolver, en nuestro caso, partimos de un análisis de tipo modal, de este utilizamos la geometría, el modelo y lo derivamos a un análisis de respuesta armónica, utilizando las soluciones del modal para ser procesadas en el análisis del armónico response para posteriormente ser derivada la geometría al módulo armónico acoustic y enlazamos las soluciones del módulo anterior con el proceso de cálculos del módulo armónico acoustic.

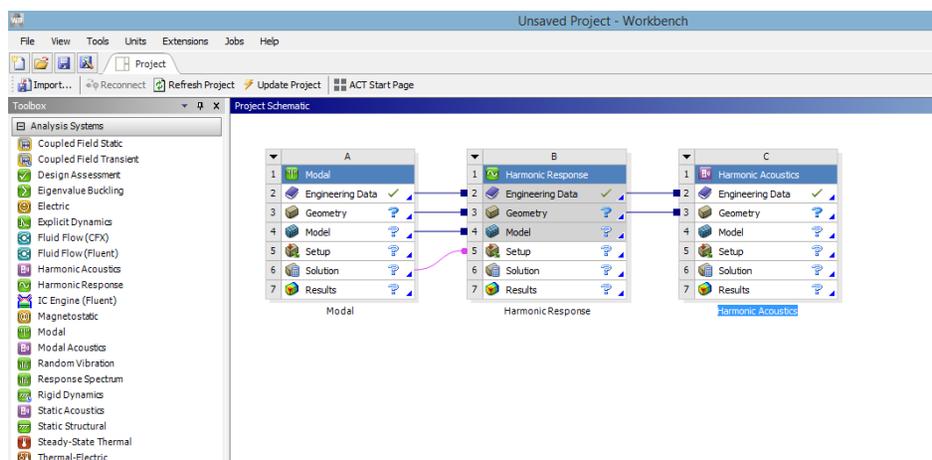


Figura 45. Enlaces de análisis

4.7.1.1. Análisis Modal

Una vez cargada la geometría, se procede a generar el mallado del sistema que va a ser analizado (Caja acústica y parlante), para este fin se debe determinar los fenómenos que interactúan en el parlante, para lo cual se utiliza un mallado de método de barrido, el cual permite generar un mallado más fino en la parte de interés, en este caso en el parlante.

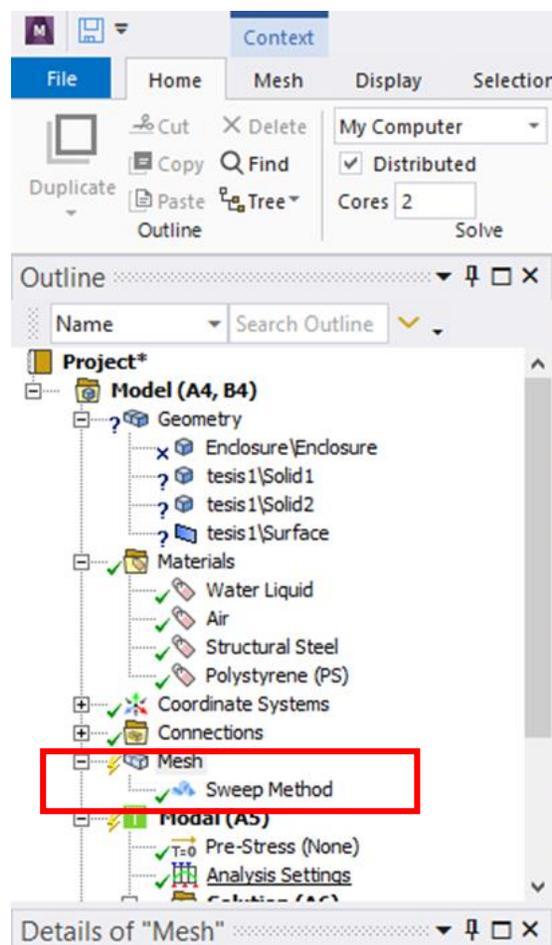


Figura 46. Selección del método de mallado

Generada la malla se debe colocar las restricciones, que, en este caso, es la fijación de la cara inferior de la caja.

A continuación, se procede a solucionar el Modal

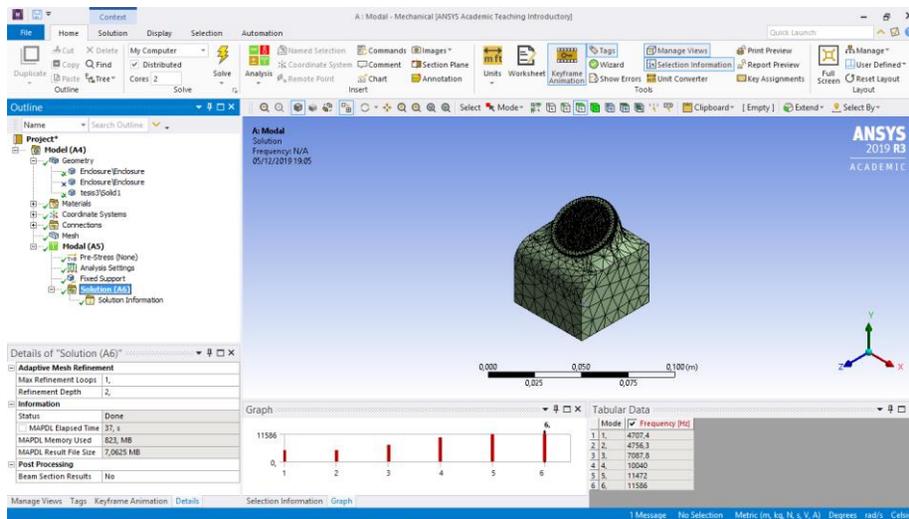


Figura 47. Frecuencias naturales del sistema

Al generar las soluciones, se obtiene las frecuencias naturales a las cuales está trabajando la caja, para obtener los diferentes efectos que las frecuencias generan en la caja, es necesario generar una solución por cada frecuencia natural.

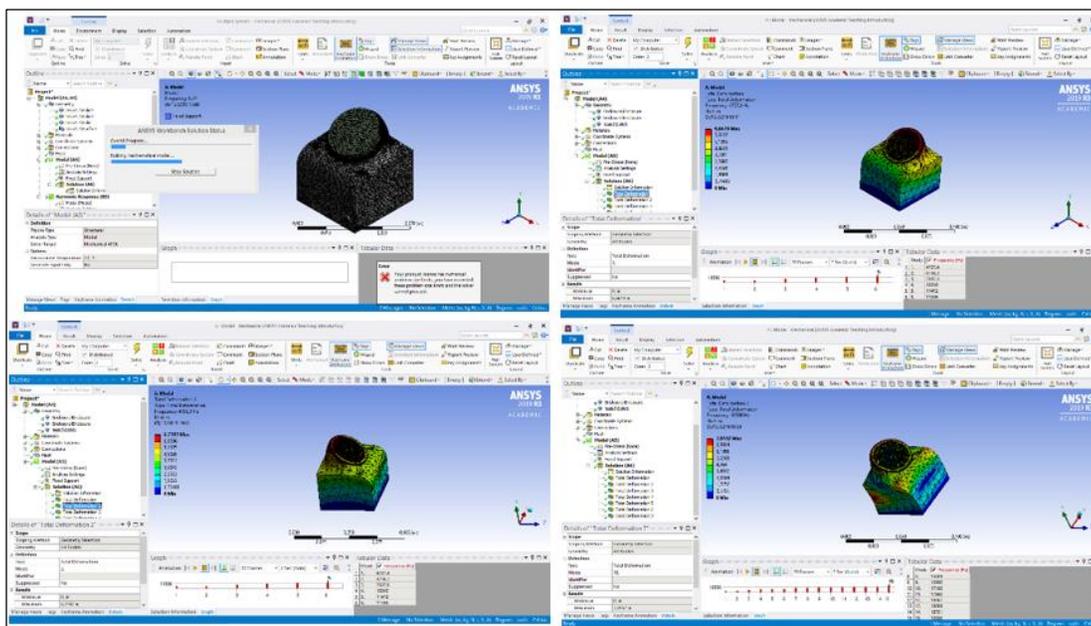


Figura 48. Frecuencias naturales de la caja acústica

4.7.1.2. Respuesta Armónica

Utilizando las soluciones obtenidas en el análisis modal, se procede a colocar cargas puntuales en el parlante (fuerzas). Es recomendable generar 2 cuerpos diferentes, el uno que hará las veces de la membrana del parlante y el otro que será el cuerpo de la caja, para este estudio se utiliza material poliéster para la membrana del parlante y para el cuerpo se utiliza madera y materiales compuestos (fibra de coco y fibra de vidrio con polvo de balsa) con sus respectivas propiedades.

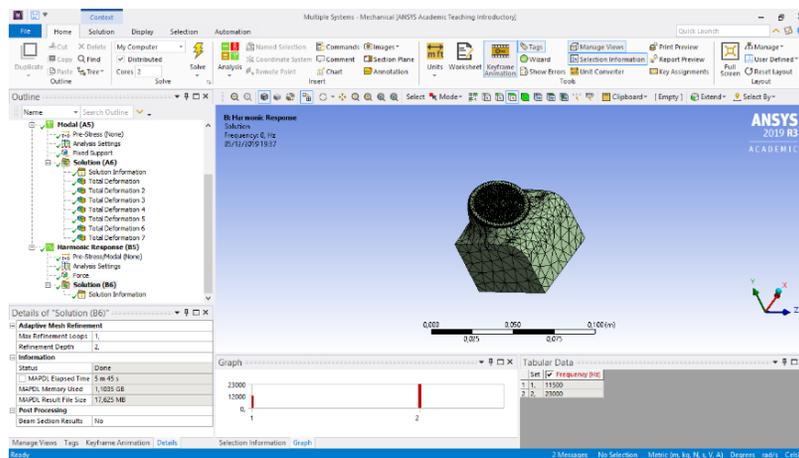


Figura 49. Fuerzas generadas por el parlante

Generada la solución, se procede a insertar una respuesta de frecuencia de deformación en la membrana del parlante.

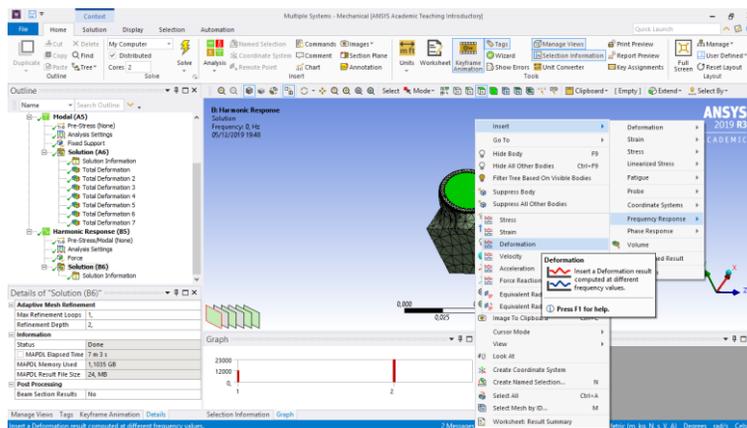


Figura 50. Respuesta de frecuencia en el parlante

En el mismo parlante se agrega una respuesta de frecuencia respecto a la velocidad.

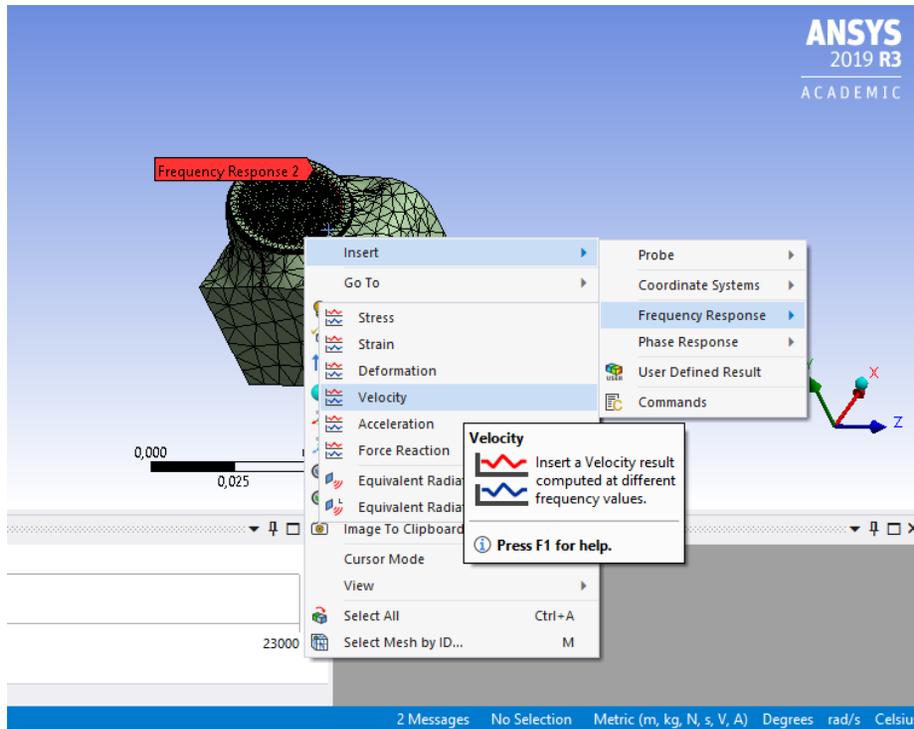


Figura 51. Respuesta de frecuencia con relación a la velocidad

Se evalúa las 2 frecuencias para obtener las gráficas de respuesta a la frecuencia de los diferentes elementos, mimos que permiten comparar el desempeño de cada uno de los materiales.



Figura 52. Gráfico de respuesta a la frecuencia respecto al desplazamiento

Por último, se inserta una solución relacionada a la deformación total producida por las 2 frecuencias anteriores, esto permite evaluar cómo afecta el funcionamiento del parlante con relación a la caja acústica.

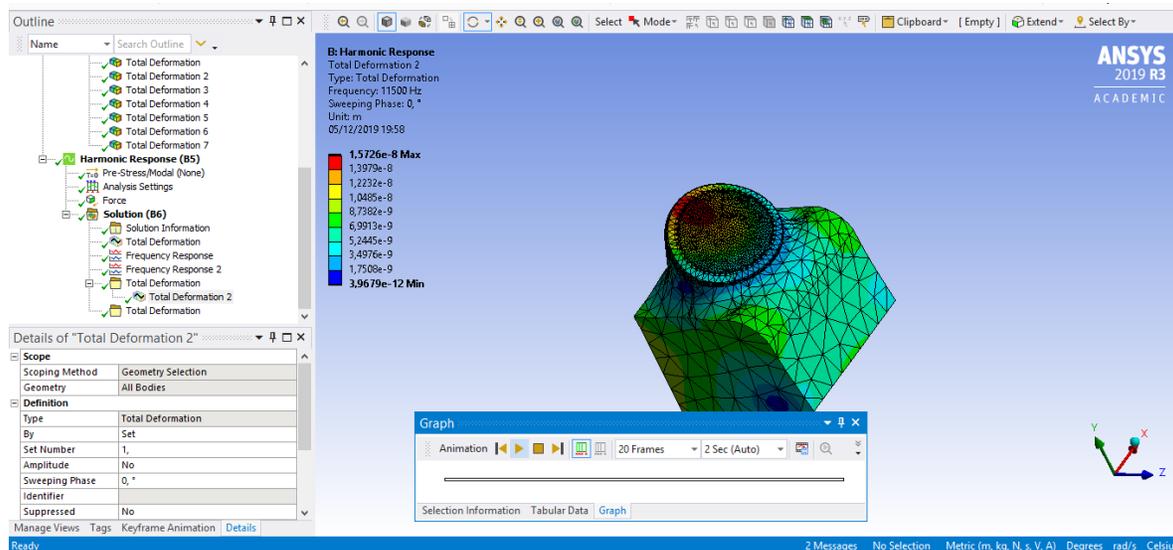


Figura 53. Deformación total de una repuesta armónica

4.7.1.3. Harmonic Acoustic

Este análisis permite determinar la respuesta armónica que se tiene entre un sistema de audio (caja acústica y el entorno), esto permite visualizar cómo interactúan las ondas acústicas en el interior de la caja y como se las envía al exterior, lo que permite determinar las zonas de influencia donde se debe reforzar la caja y cuál es el lugar más apropiado para colocar el aislamiento acústico con el cual se puede obtener una mejor calidad de sonido generando un mejor rendimiento de la caja en estudio.

Este estudio parte de la geometría analizada previamente con el análisis modal e incorpora el entorno y el medio en el cual viaja la onda, en este caso el aire.

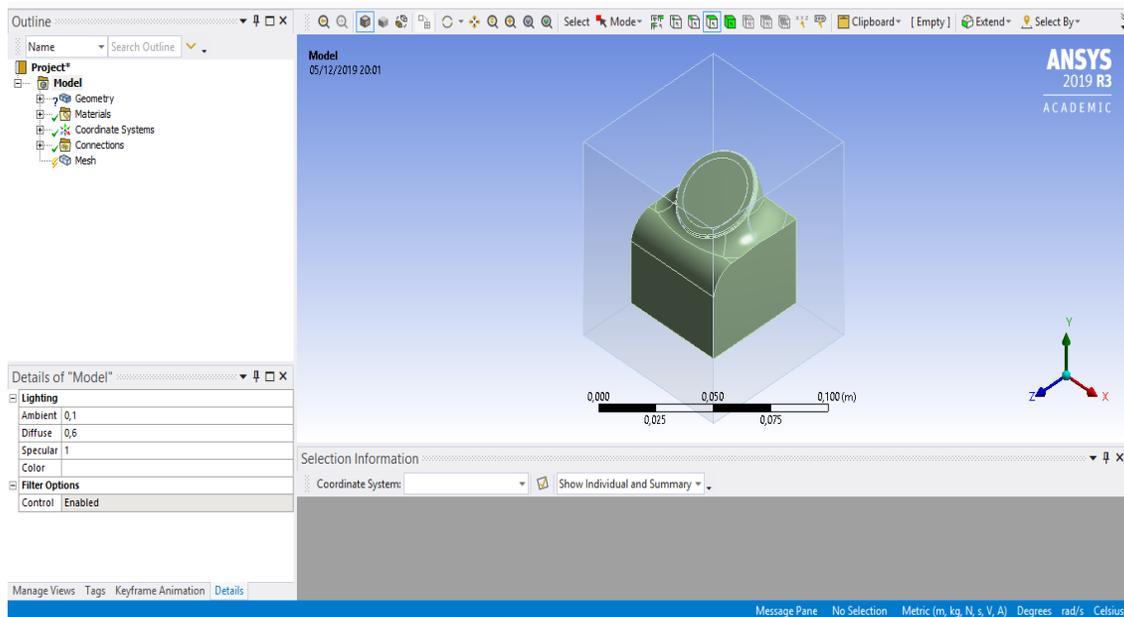


Figura 54. Modelo para la simulación del Harmonic Acoustic

El estudio parte con la premisa de que la caja ya fue analizada por lo que se hace énfasis en el medio, se procede a generar el mallado solo del entorno.

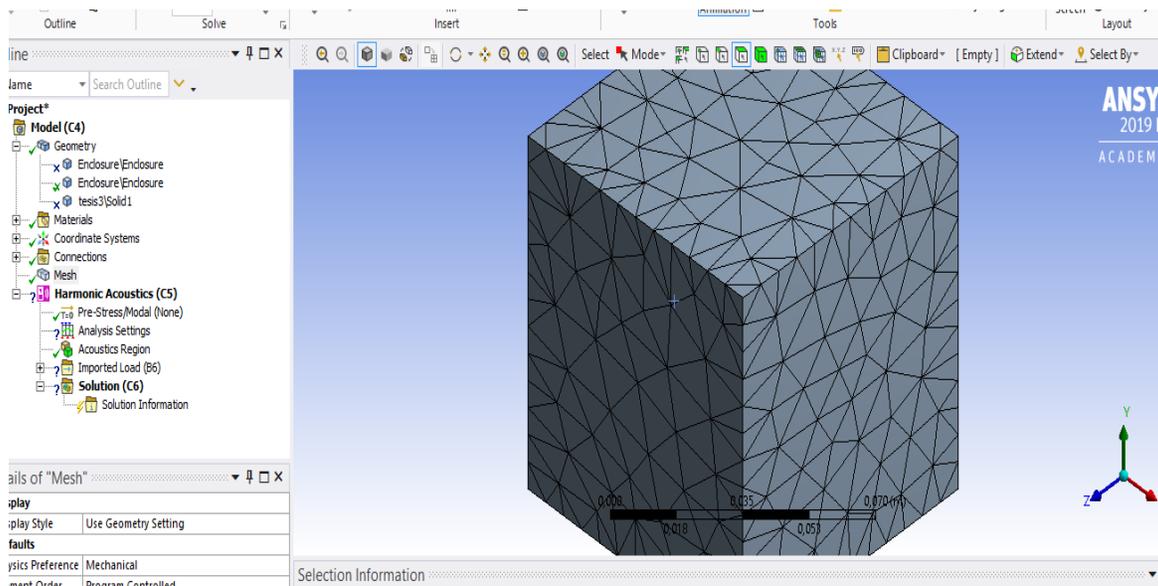


Figura 55. Generación de malla del entorno

Se recomienda realizar un afinamiento de la malla para obtener un análisis más completo, cabe recalcar que entre más fino sea el mallado se requiere mayor cantidad de recursos computacionales se necesitan.

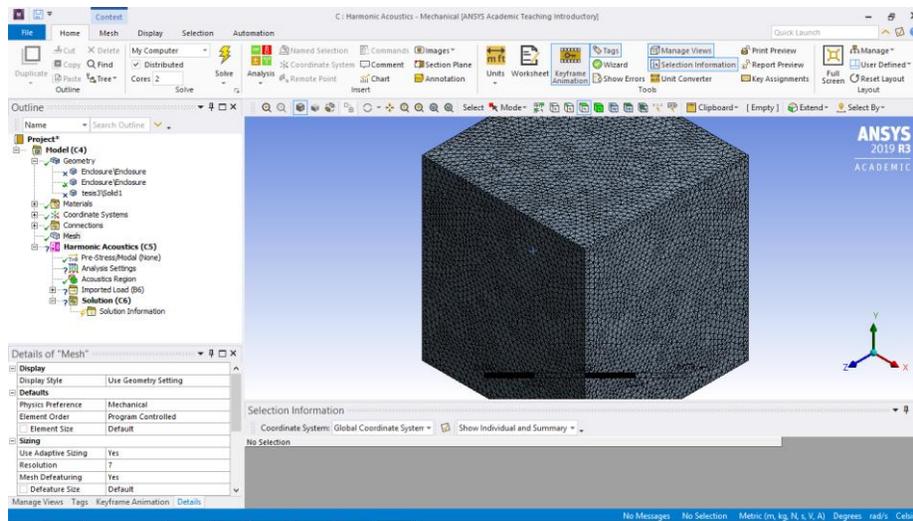


Figura 56. Refinado de malla

Para continuar con el estudio se debe importar las soluciones obtenidas en el análisis modal (frecuencias naturales a las cuales trabaja la caja).

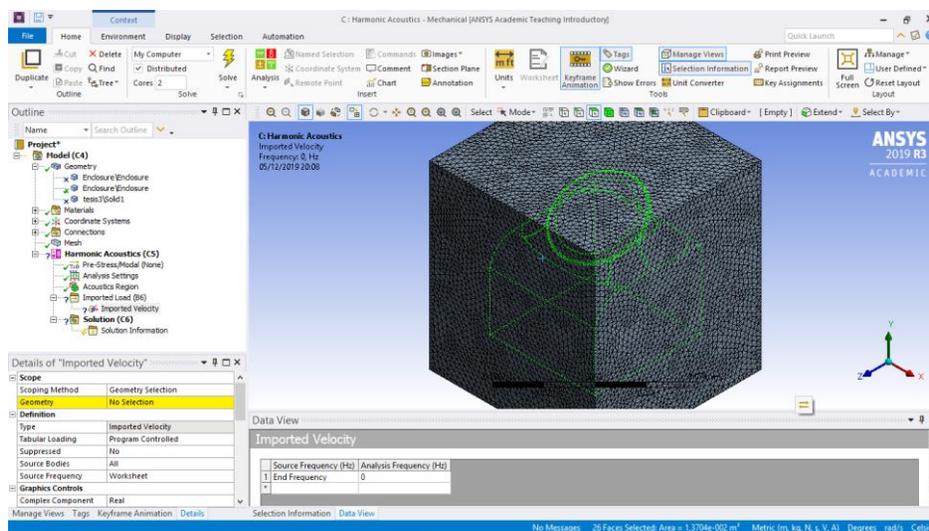


Figura 57. Importación de datos del análisis modal

Después de importar las frecuencias el software de elementos finitos, despliega el rango de velocidades a las cuales va a trabajar las ondas sonoras.

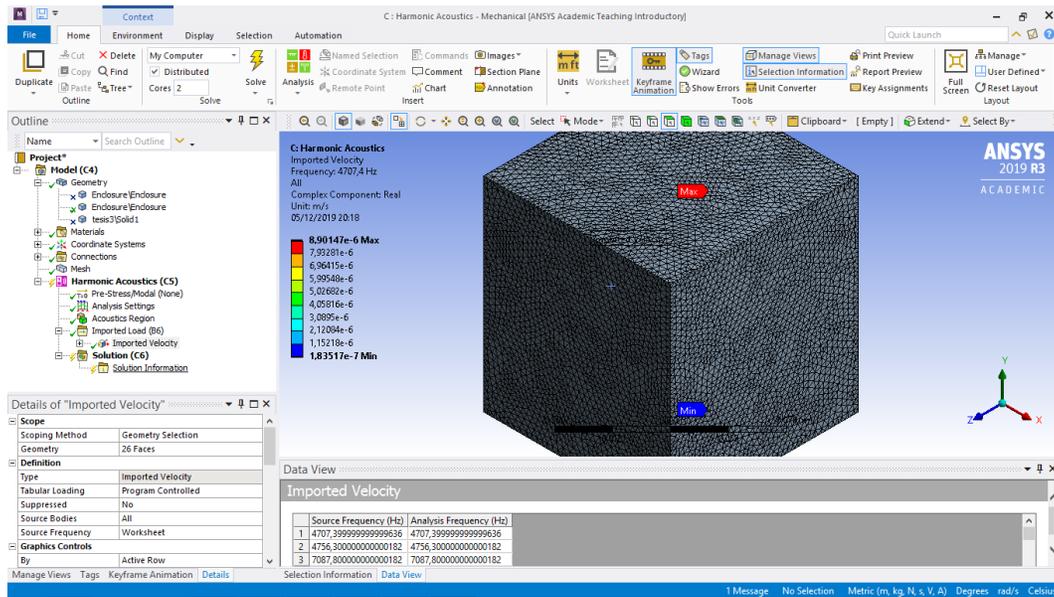


Figura 58. Rangos de velocidades

Se inserta los límites de radiación, para nuestro estudio las 6 caras del entorno.

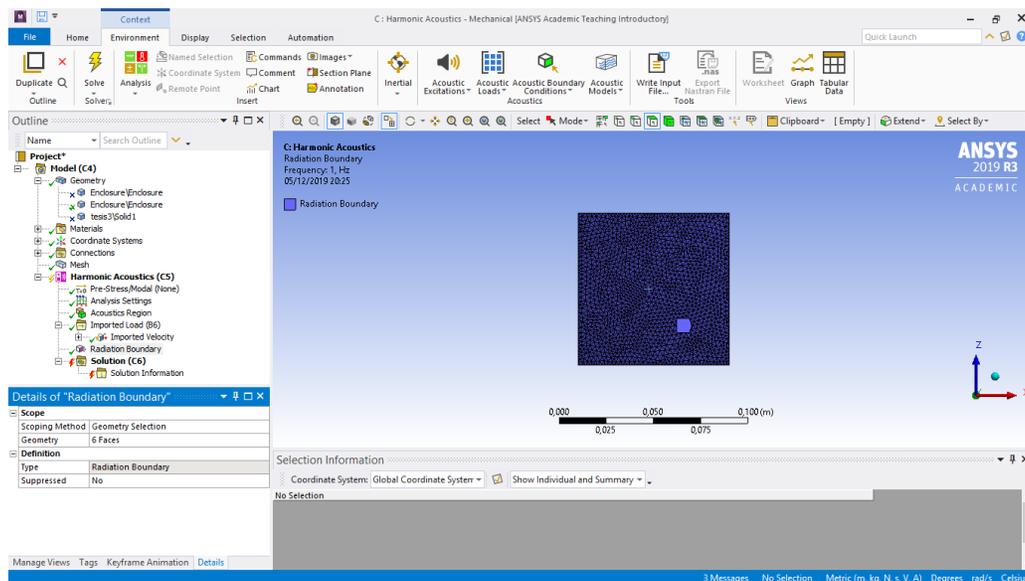


Figura 59. Selección de límites de radiación

Se genera la solución, este proceso va a depender del mallado del entorno.

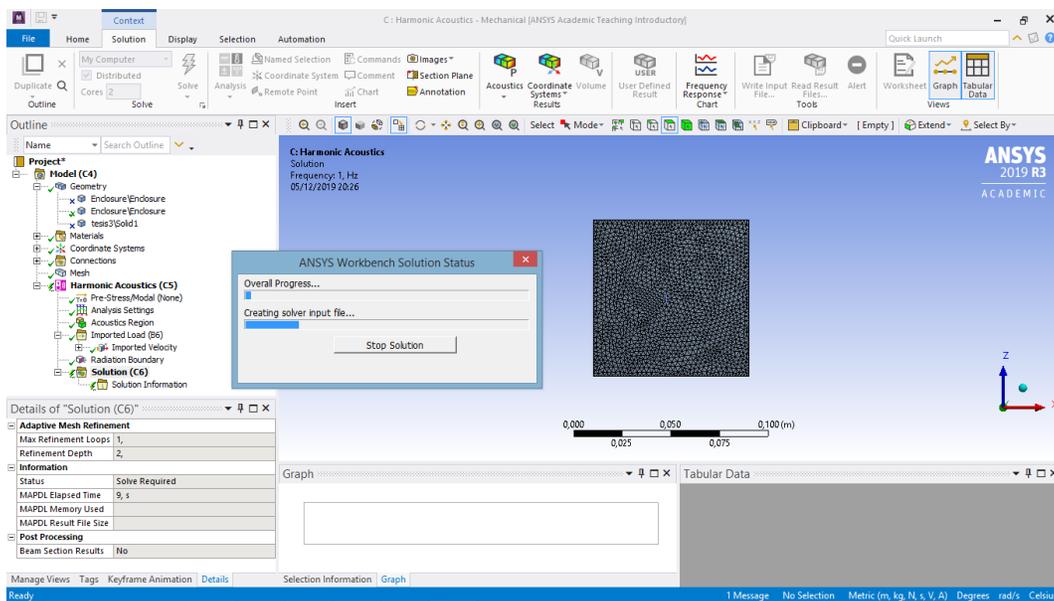


Figura 60. Solución generada

Para realizar el análisis se procede a insertar un medidor de niveles de presión de sonido ponderado.

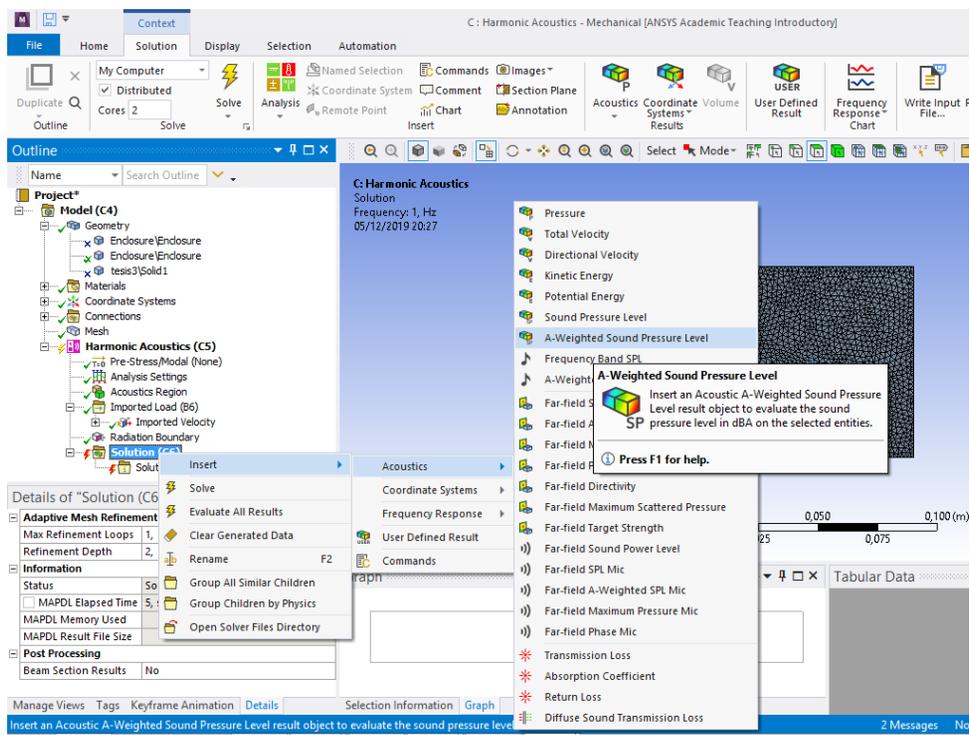


Figura 61. Niveles de presión de sonido

Una vez ejecutada la solución, el sistema despliega las zonas de mayor presión de sonido, tanto al interior como al exterior de la caja acústica, permitiendo visualizar los lugares de mayor influencia de la onda sonora, sectores a tomar en cuenta al momento de colocar los refuerzos en la caja.

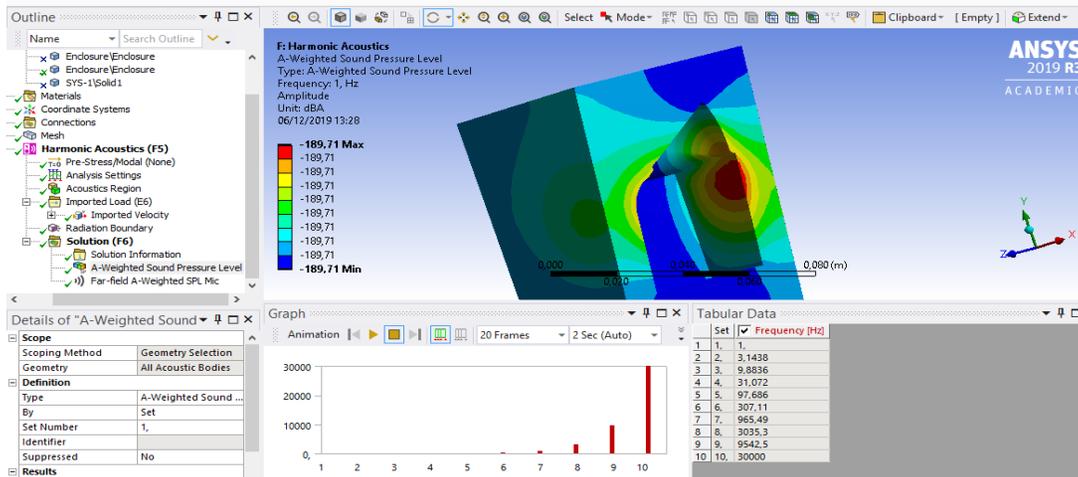


Figura 62. Resultado de zonas de presión sonora

Por último, se realiza una medición lejana de presión acústica por medio de un micrófono, este proceso simula las mediciones que se realizan en las competencias de CAR-Audio para medir la presión sonora (SPL).

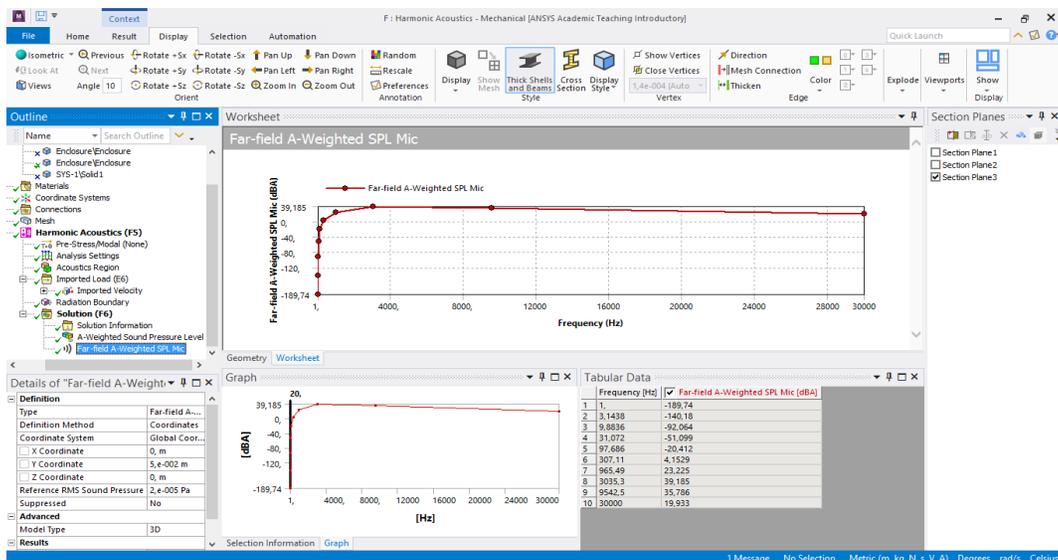


Figura 63. Simulación de SPL

4.8. Análisis Comparativo de las cajas acústicas

El presente análisis tiene por finalidad determinar el desempeño de una caja acústica tradicional elaborada netamente con madera para poder ser comparada con el desempeño de cajas acústicas utilizando materiales compuestos (fibra de coco y fibra de vidrio con polvo de balsa), para determinar cuál de estas se asemeja o mejora las características de la caja patrón.

Para poder realizar esto, se realiza un estudio con los 3 materiales tales como madera, fibra de coco y fibra de vidrio con polvo de balsa y los 3 módulos de análisis como son: Modal, Respuesta armónica y Harmonic Acoustic, tal como se muestra en la siguiente figura.

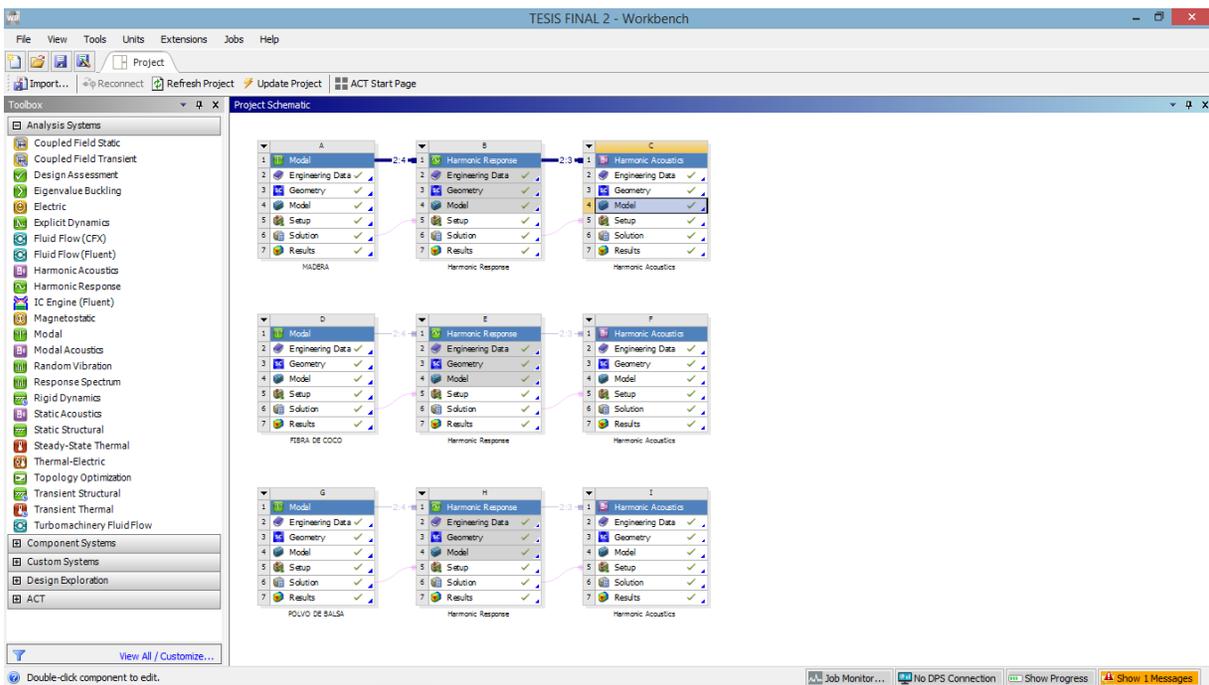


Figura 64. Estudios comparativos:

A continuación, se presentan los resultados del análisis modal de los 3 tipos de caja, teniendo como resultado la deformación total a las diferentes frecuencias típicas de cada elemento,

siendo la frecuencia de la madera 4805 Hz con una deformación total de 6,6 mm, la fibra de vidrio con polvo de balsa con una frecuencia de 4669,4 Hz, con una deformación total de 6,01mm., y la fibra de coco con una frecuencia de 5856Hz con una deformación de 6,36mm.

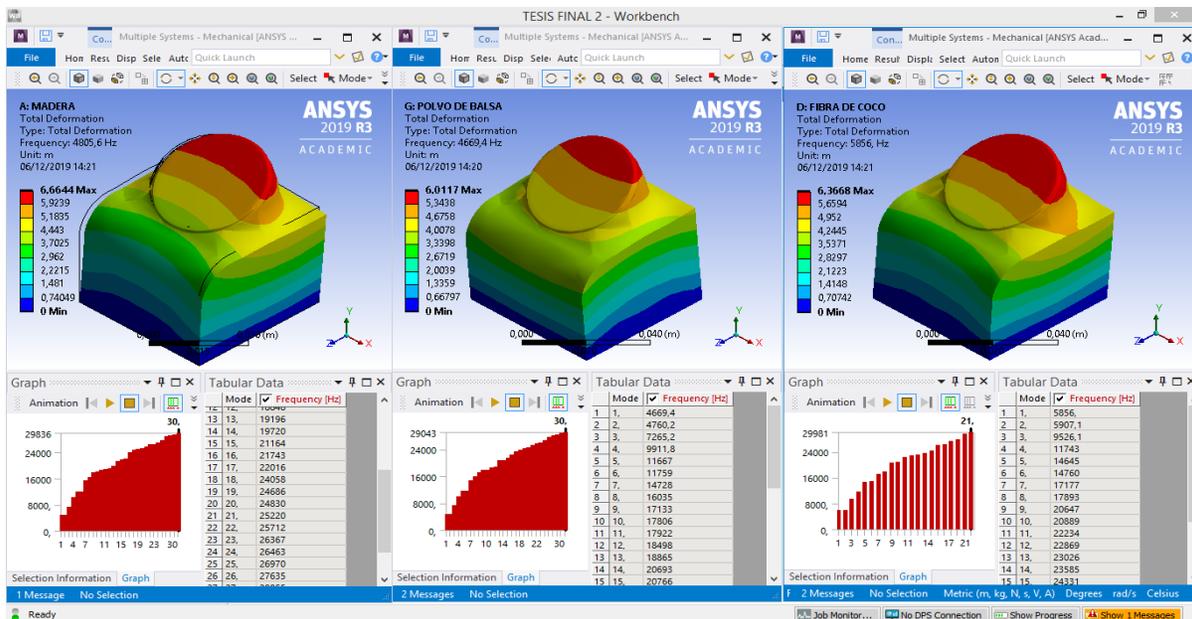


Figura 65. Estudio comparativo del análisis modal

Se puede concluir que la madera es la que mayor deformación tiene trabajando en una frecuencia intermedia, la que mejores prestaciones nos entrega es la realizada en fibra de coco, esto se debe a que tiene una deformación similar a la madera trabajando con frecuencias más elevadas respecto a la caja tradicional de madera.

El siguiente análisis hace referencia a la respuesta armónica de la membrana del parlante con relación a la caja, entre mayor deformación tenga la membrana menor calidad de sonido presentará la caja, puesto que la caja acústica absorbe más cantidad de ondas sonoras, se obtiene los siguientes resultados considerando que la frecuencia de trabajo de la membrana es de 30000 Hz.

La caja acústica de madera tiene $6,3 \times 10^{-10}$ m, la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa tiene $7,7 \times 10^{-10}$ m y la fibra de coco $4,03 \times 10^{-10}$ m

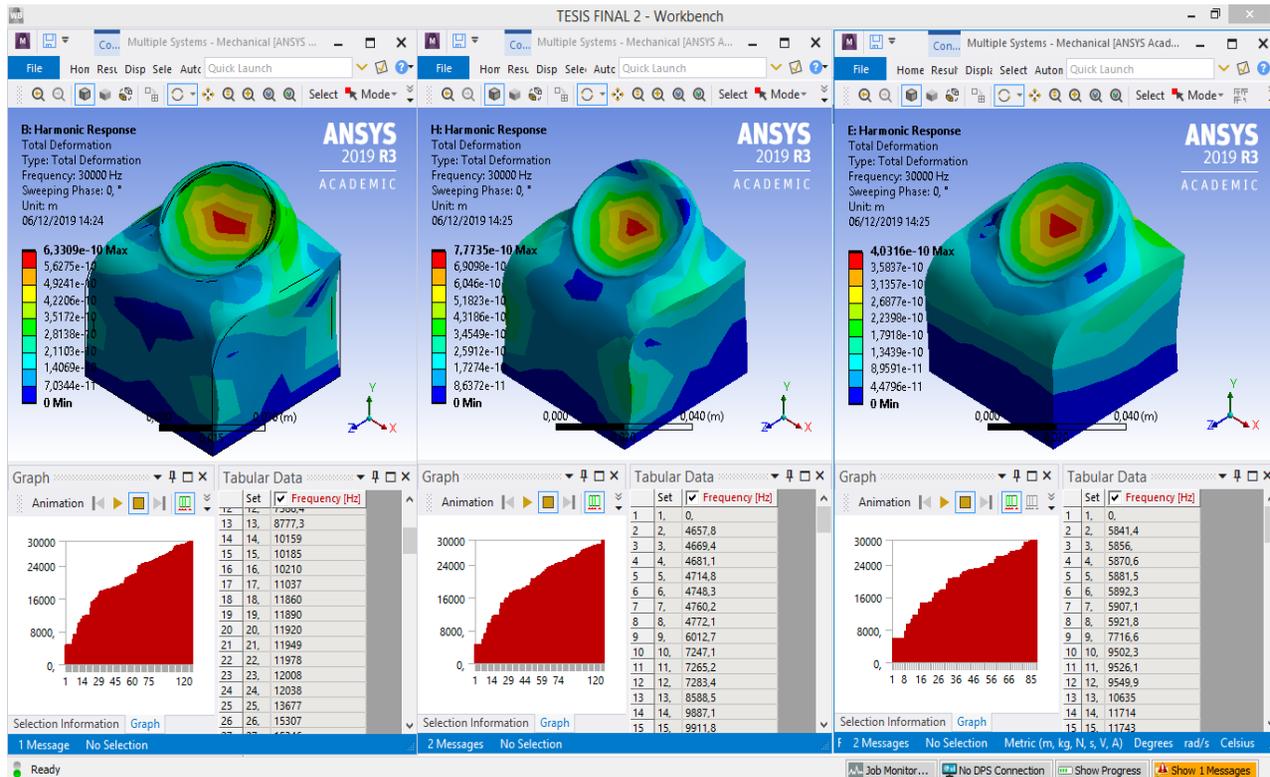


Figura 66. Análisis de respuesta armónica por cada material

De este análisis se puede sacar como conclusión que mejor desempeño tiene la caja elaborada con fibra de coco, seguida de la caja de madera y quedando en último lugar la caja elaborada con fibra de vidrio y polvo de balsa.

A continuación, se detalla los gráficos de respuesta de la respuesta armónica con relación a la deformación de los 3 elementos.



Figura 67. Respuesta armónica con respecto al desplazamiento de la caja de madera



Figura 68. Respuesta armónica al desplazamiento de la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa



Figura 69. Respuesta armónica con respecto al desplazamiento de la caja de fibra de coco

De estas tres gráficas podemos determinar el comportamiento de las cajas en los diferentes rangos de frecuencia, teniendo una gran similitud entre la caja de madera y la caja elaborada con fibra de coco, lo mismo se puede apreciar en el análisis de la respuesta armónica con respecto a la aceleración que se detalla a continuación.



Figura 70. Respuesta armónica con respecto a la aceleración de la caja de madera

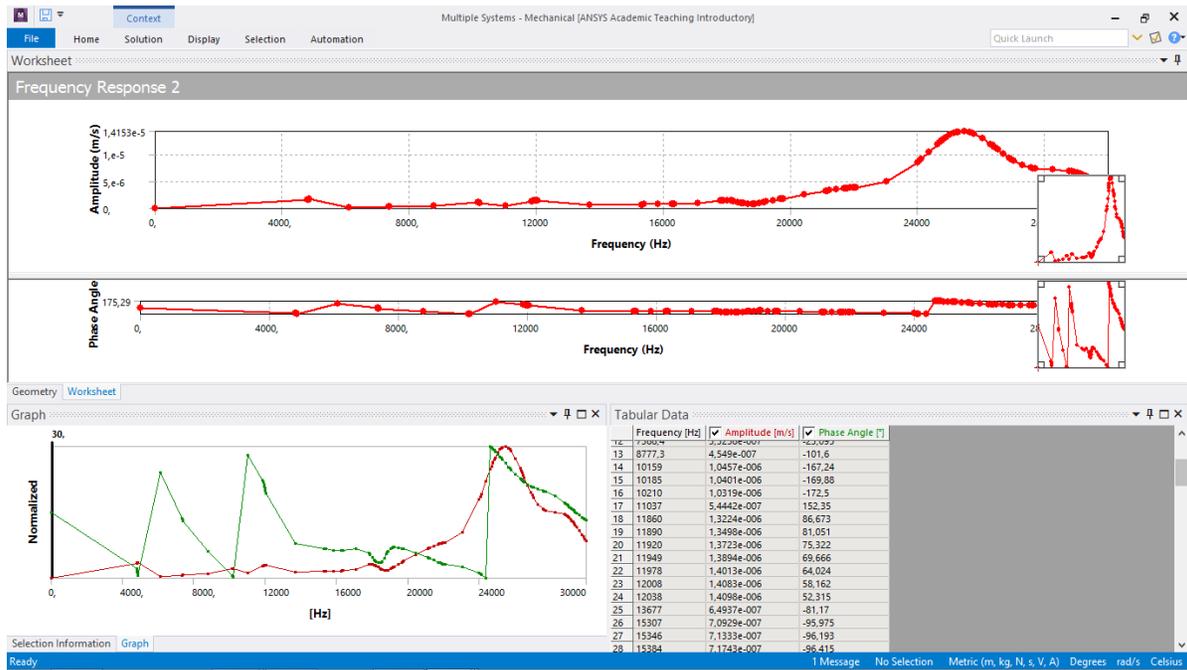


Figura 71. Respuesta armónica con respecto a la aceleración de la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa

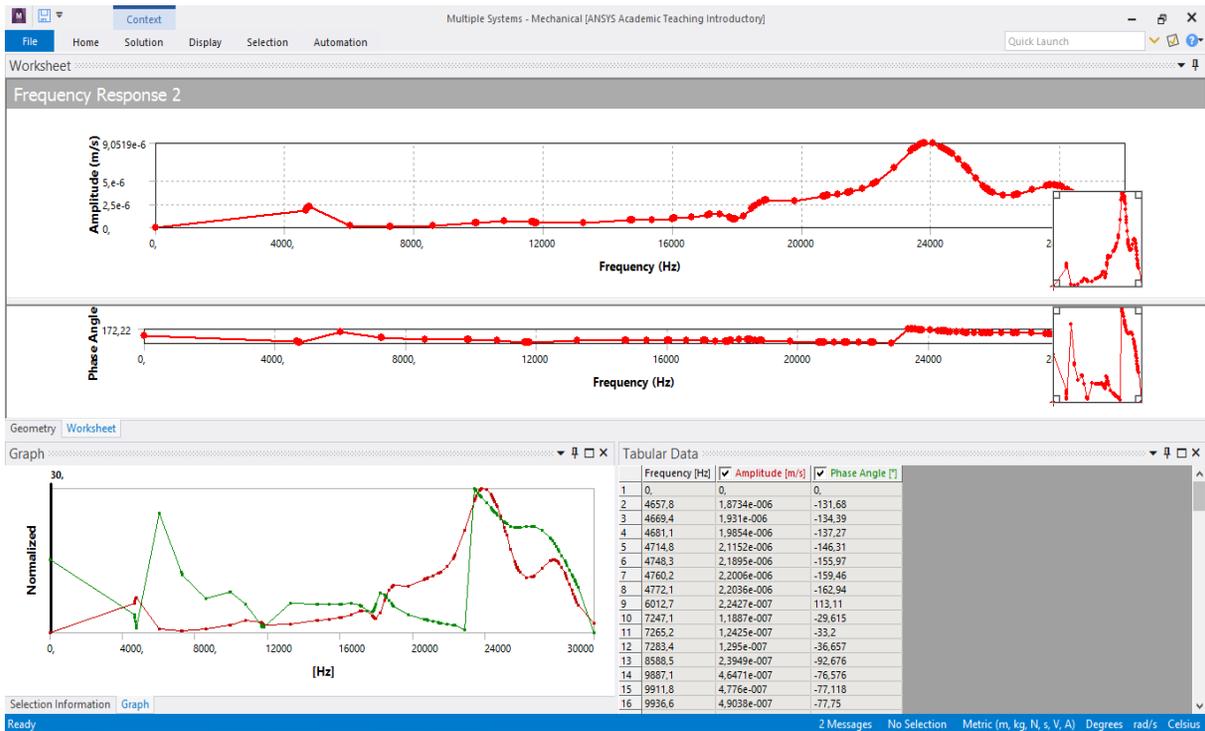


Figura 72. Respuesta armónica con respecto a la aceleración de la caja de fibra de coco

Utilizando el módulo Harmonic Acoustic permite determinar la influencia de las ondas con relación al medio y a la parte interna de la caja, teniendo como resultado una mejor propagación de onda en la caja de madera, lo que no ocurre en las dos cajas de material compuesto, en este caso las dos tienen una distribución más puntual con una ligera ventaja la caja de fibra de coco con relación a la de fibra de vidrio con polvo de balsa.

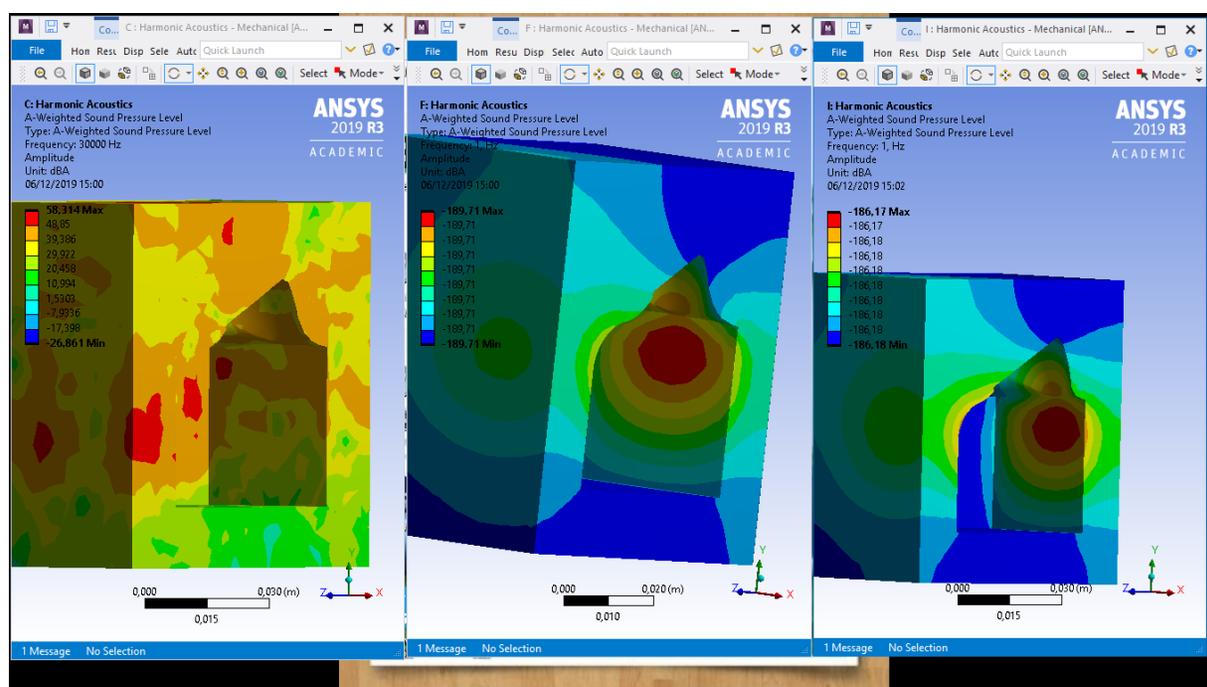


Figura 73. Análisis Harmonic Acoustic de las cajas acústicas

Se puede concluir que se obtiene una mejor propagación de ondas acústicas en la caja de madera, muy difícil de alcanzar, sin embargo, la que mejor resultados presenta es la caja hecha a base de fibra de coco esto se debe a que posee una mayor amplitud de onda, este desempeño se puede mejorar utilizando elementos de aislamiento acústico como es el caso del algodón, la esponja o del material compuesto analizado en los primeros capítulos referente al aislamiento acústico.

Finalmente se presenta un comparativo de la prueba de presión sonora (SPL), en los tres tipos de caja, teniendo como resultados 46,6 dB la caja de madera, 39,1 dB la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa y 46,5 dB, la caja de fibra de coco.

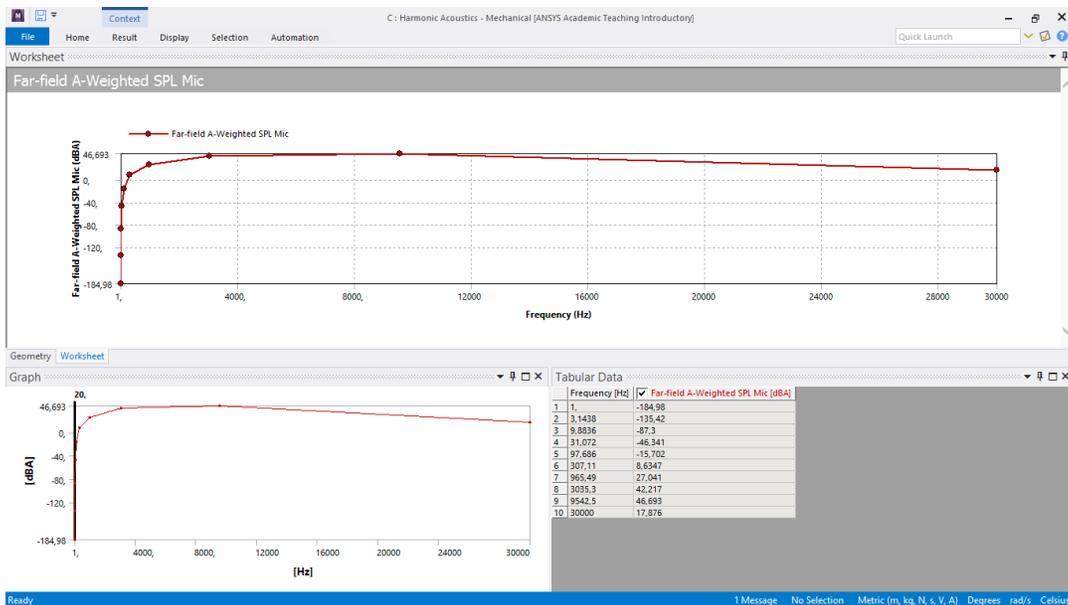


Figura 74. SPL caja de madera

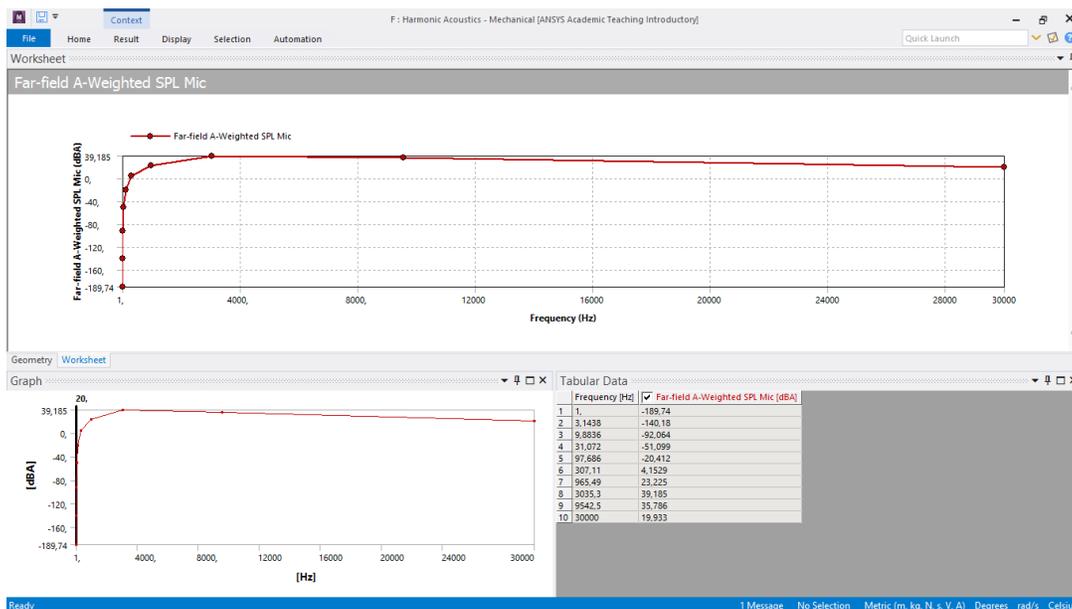


Figura 75. SPL caja de fibra de vidrio con polvo de balsa

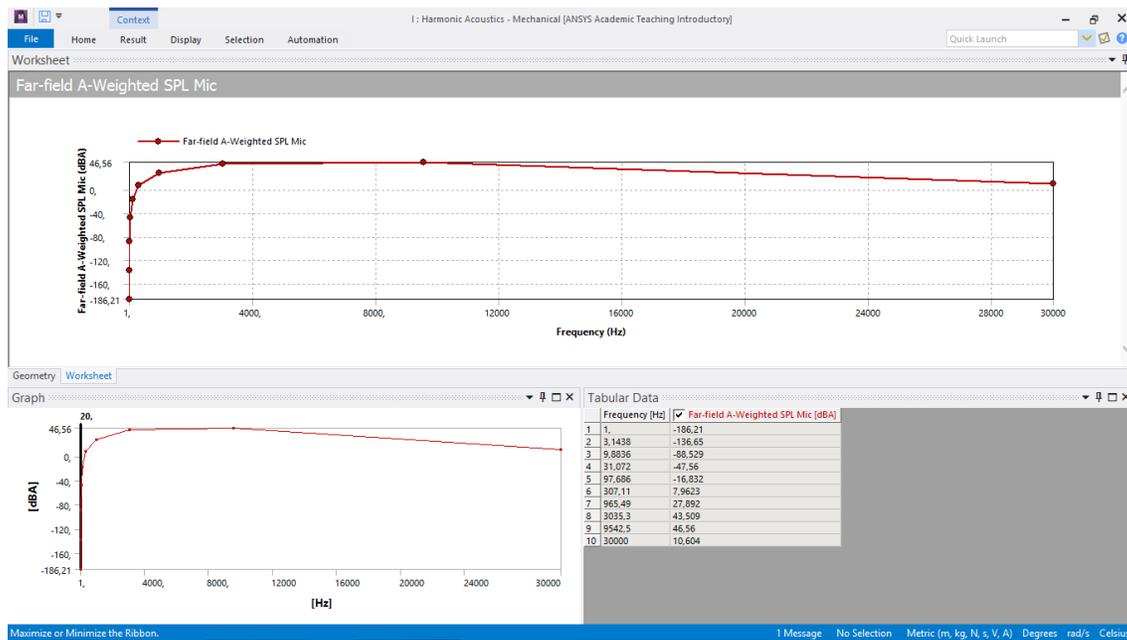


Figura 76. SPL Caja de fibra de coco

El estudio de la presión sonora muestra que la caja de madera y la caja realizada con fibra de coco trabajan casi a los mismos dB, lo que no sucede con la caja de fibra de vidrio con polvo de balsa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El gran avance que se ha tenido en la obtención de nuevos materiales compuestos permiten generar elementos que compitan con los tradicionales en áreas en las cuales llevan una gran ventaja los materiales clásicos como es el caso de la madera en el área acústica, hace algunos años atrás no se ponía a discusión el cambio de estos materiales, en la actualidad estos materiales compuestos ya generan una competencia y son más aceptados entre el público que prefiere la calidad de sonido antes que la potencia acústica.

Para determinar la matriz que mejores prestaciones entregue es importante determinar el trabajo que va a realizar este elemento, en el caso de la calidad de sonido, se requiere un elemento que tenga una buena densidad y además que tenga cierta porosidad para absorber el golpe de la onda acústica y direccionarla a conveniencia del fabricante.

Se pueden generar ensayos que colaboren con información, aunque estos no sean específicos del área acústica, para este estudio se realizaron pruebas de absorción para determinar el grado de capilaridad de cada compuesto nuevo, estos ensayos permitieron determinar el material que más se asemeja a la madera como un elemento de aislamiento acústico.

Para la obtención de nuestro modelo CAD, el manejo de programas como Solidworks permite generar un modelo semejante al original, modelo que debe tener la mayor cantidad de detalles para que los resultados obtenidos en las simulaciones sean los más cercanos a la realidad.

El uso del software de elementos finitos permite establecer parámetros que ayudan a comparar el desempeño de los diferentes prototipos, así como también, la identificación de puntos críticos y zonas a ser mejoradas.

Una vez generado el análisis del desempeño de las 3 cajas podemos concluir que existen materiales compuestos que igualan y en ocasiones superan a los parámetros determinados por la caja de madera, pero en calidad de sonido existe aún una gran diferencia entre estos elementos.

5.2. RECOMENDACIONES

Una vez identificados las zonas críticas de los elementos simulados se pueden generar las siguientes recomendaciones.

Para alcanzar un mejor desempeño de las cajas de materiales compuestos, se debe utilizar elementos adicionales que ayuden a reforzar la estructura, que entreguen un mayor grado de aislamiento acústico.

En el programa de elementos finitos Ansys con relación a los módulos de simulación acústica existen elementos que poseen las mismas características que los elementos de aislamiento acústico, se recomienda la utilización correcta de estos para generar datos aún más reales.

Este estudio basa su análisis en el material que compone cada caja, se recomienda que para estudios futuros se profundice en el entorno en el cual funcionarán estos elementos (forma más detallada de los habitáculos de los diferentes vehículos).

BIBLIOGRAFÍA

Agueda, E. (2014). Fundamentos Tecnológicos del Automóvil. España

Arthur G. Erdman, G. N. (1998). Diseño de Mecanismos . México: Pearson.

ATPP. (2008). Aplicaciones técnicas procesos productivos.

automoviles, S. d. (2006). Sistemas de audio y comunicacion en automoviles.

Basantes, F. (2009). guía para la construcción de una caja acústica.

Boutin, C., Royer, P., & Auriault, J. (1998). Acoustic absorption of porous surfacing with dual porosity. International Journal of Solids and Structures. January, vol. 35, no 34-35, 1998 (522p.), vol. 35, no 34-35, (522p.).

cajasacusticas.net. (s.f.). cajasacusticas.net.

Callister, W. (2007). Materials Science and Engineering: An introduction. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Dávila, I. J., Galeas, I. S., Víctor Hugo Guerrero, P., Pontón, I. P., Rosas, I. N., Sotomayor, I. V., & Valdivieso, I. C. (2011). Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales. Quito: imprefepp.

Arthur G. Erdman, G. N. (1998). Diseño de Mecanismos . México: Pearson.

Esteller, M. M. (2012). Instalaciones de megafonía y sonorización. Editorial Paraninfo.

Fabián, J. R. (27 de septiembre de 2012). *Issuu*. Obtenido de https://issuu.com/rioja/docs/mecanica_automotriz

Fiberglass Colombia S.A. (1995). *Notas Técnicas #2 Construcción*. División: Arquitectura Materiales acústicos – como reconocerlos. .
<<http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/notas/acustica/ntarq2.pdf>>.

Kellog, G. (19 de mayo de 2010). *Manuales de normas y procedimientos* . Obtenido de blogger: <http://archivosadminterm-aai.blogspot.com/2010/05/manuales-de-normas-y-procedimientos.html>

Larson, B. (2011). *Composite Structures*. http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite_class.htm”.

Luque, P. (2015). *Ingeniería del automóvil*. España: Paraninfo.

Martinez, J. (2011). *Tecnología avanzada del automóvil*. Madrid: Ed. Paraninfo.

Martinez. (2002). *mecanica automotriz*.

Martínez Varela, L. (2014). *Construcción y optimización de un sound system*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.

Mecanicaautomotrizdgm. (25 de marzo de 2018). *Simulador De Mecánico Automotriz*. Obtenido de <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2018/01/14>

Pueo, & Roma. (1998). *Electroacústica: altavoces y micrófonos*.

Puertas, C. G. (2003). *diseño de cajas acusticas*.

Santiago, F. E. (2016). Física.

Stanamir, T. (2001). CFGM.

Software, M. D. (13 de 09 de 2018). Deliver BIM. Obtenido de <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>

Solidworks. (10 de 09 de 2018). Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Obtenido de https://www.solidworks.com/how-to-buy/request-a-demo?mktid=8048&msclkid=2aaedb06336d1721906d80778e09281b&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=NAM-SW-Brand-Bing%20SEM&utm_term=solidworks&utm_content=RAD-Brand_2

Vera, M. d. (2012). Diseño de recursos digitales para entornos de e-learning en la enseñanza universitaria. RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 15(2), 53-74. Recuperado el 8 de 8 de 2018, de <http://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/599>

William, C. (2018). Mecanica del automovil. Brcelona: MARCOMBO, S,A.