



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

**“DESARROLLO, ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN
MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE MATERIALES
RECICLADOS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS
DESTINADOS A MAMPOSTERIAS CON PROPIEDADES DE
AISLAMIENTO ACÚSTICO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

JUAN CARLOS GAIBOR VACA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DESARROLLO, ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN
MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE MATERIALES
RECICLADOS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS
DESTINADOS A MAMPOSTERIAS CON PROPIEDADES DE
AISLAMIENTO ACÚSTICO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: JUAN CARLOS GAIBOR VACA

DIRECTOR: ING. FABIÁN EDUARDO BASTIDAS ALARCÓN

Riobamba – Ecuador

2021

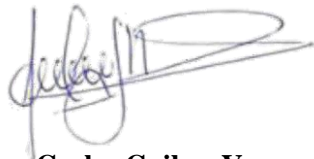
©2021, Juan Carlos Gaibor Vaca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JUAN CARLOS GAIBOR VACA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 15 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Gaibor Vaca', with a large, stylized flourish extending to the right.

Juan Carlos Gaibor Vaca

180447159-5

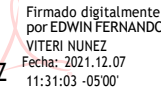
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Trabajo Experimental, “**DESARROLLO, ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE MATERIALES RECICLADOS PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS DESTINADOS A MAMPOSTERIAS CON PROPIEDADES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO**” realizado por el señor **JUAN CARLOS GAIBOR VACA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EDWIN
FERNANDO
VITERI NUNEZ

Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ
Fecha: 2021.12.07 11:31:03 -05'00'

2021-09-15

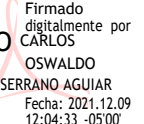
Ing. Fabián Eduardo Bastidas Alarcón
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

FABIAN
EDUARDO
BASTIDAS
ALARCON

Firmado digitalmente por FABIAN EDUARDO BASTIDAS ALARCON
Fecha: 2021.12.09 10:12:01 -05'00'

2021-09-15

Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CARLOS
OSWALDO
SERRANO
AGUIAR

Firmado digitalmente por CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR
Fecha: 2021.12.09 12:04:33 -05'00'

2021-09-15

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser proveedor de lo necesario tanto material como espiritualmente para lograr llegar hasta este punto.

A mi familia, en especial a mi madre, que ha sido pilar y soporte en todo mi camino académico y de crecimiento personal.

Juan Carlos Gaibor Vaca

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por ser guía y sendero para lograr esta meta. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, su cuerpo docente y personal administrativo por abrirme las puertas para ser parte de la institución e impartirme los conocimientos que me comprometen a servir con calidad a la sociedad.

Juan Carlos Gaibor Vaca

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
<i>1.1. Materiales compuestos.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2. Material matriz.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3. Agregados para mejorar el coeficiente de absorción acústica.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1. Agregado de PET.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2. Agregado caucho reciclado de neumáticos de automóviles.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.3. Aglutinante.....</i>	<i>6</i>
<i>1.4. Proceso de fabricación de ladrillos cerámicos para mampostería.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5. Materiales que se consideran como aislantes acústicos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.1. Características a tener en cuenta en la selección de materiales para aislamiento acústico.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2.1. Caucho de los neumáticos de automóviles.....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.2.2. PET.....</i>	<i>9</i>
<i>1.6. Fenómeno del Sonido.....</i>	<i>10</i>
<i>1.6.1. Reflexión del sonido.....</i>	<i>10</i>
<i>1.6.2. Refracción del sonido.....</i>	<i>11</i>
<i>1.6.3. Aislamiento acústico.....</i>	<i>12</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	17
<i>2.1. Obtención de agregados.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.1. PET.....</i>	<i>17</i>

2.1.2.	<i>Caucho</i>	19
2.2.	Elaboración del material compuesto para la fabricación del ladrillo	20
2.2.1.	<i>Materias primas</i>	20
2.2.2.	<i>Proporciones en la mezcla por considerar en la experimentación</i>	21
2.2.3.	<i>Procedimiento para realizar la mezcla</i>	21
2.3.	Elaboración del ladrillo	21
2.4.	Ensayos	22
2.4.1.	<i>Densidad</i>	22
2.4.2.	<i>Porosidad</i>	23
2.4.3.	<i>Ensayo de flexión</i>	24
2.4.4.	<i>Módulo de Young</i>	25
2.4.5.	<i>Velocidad del sonido</i>	26
2.4.6.	<i>Simulación del comportamiento acústico de un ambiente con las propiedades obtenidas de cada una de las mezclas propuestas</i>	26

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
3.1.	Resultados obtenidos de ensayos	30
3.2.	Simulación para obtener el coeficiente de absorción acústica (α)	33
3.2.1.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla 1</i>	34
3.2.3.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla 3</i>	39
3.2.4.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla 4</i>	42
3.2.5.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla 5</i>	44
3.2.6.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla N1</i>	47
3.2.7.	<i>Resultados de la simulación para la Mezcla N2</i>	49
3.3.	<i>Análisis y Discusión de los datos obtenidos</i>	52
	CONCLUSIONES	54
	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Propiedades por evaluar en el nuevo material que conforma el ladrillo	8
Tabla 2-1: Coeficientes de absorción acústica.....	14
Tabla 1-2: Proporciones para la mezcla de las materias primas	21
Tabla 1-3: Proporción de agregados en cada mezcla.....	30
Tabla 2-3: Resultados de las medidas de densidad.....	31
Tabla 3-3: Resultados de las medidas de porosidad	32
Tabla 4-3: Características mecánicas del ladrillo	33
Tabla 5-3: Resumen de los resultados obtenidos.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Caucho en los neumáticos de automóviles.....	9
Figura 2-1: Codificación del polietileno tereftalato.....	10
Figura 3-1: Fenómeno de reflexión.....	11
Figura 4-1: Fenómeno de la refracción o difracción.....	12
Figura 5-1. Comportamiento de las ondas de sonido al impactar una superficie	12
Figura 6-1: Reflexión y refracción de una onda. Ley de Snell	15
Figura 7-1: Entorno de COMSOL Multiphysics.....	16
Figura 1-2: Símbolo de reciclaje del Polietileno Tereftalato	17
Figura 2-2: Trituradora casera de PET a base de una amoladora.....	19
Figura 3-2: a) Medición del peso b) Medición del volumen.....	23
Figura 4-2: a) Horno de secado. b) Probetas sumergidas en agua destilada	24
Figura 5-2: a) Señalización de probetas. b) Montaje ensayo de flexión en 3 puntos	24
Figura 6-2: Área transversal del ladrillo	25
Figura 7-2: Mallado propuesto para las simulaciones realizadas.....	29
Figura 1-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 1.....	34
Figura 2-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 2.....	37
Figura 3-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 3.....	40
Figura 4-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 4.....	42
Figura 5-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 5.....	45
Figura 6-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla N1	47
Figura 7-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla N2.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Diagrama de barras de los resultados del ensayo de densidad	31
Gráfico 2-3: Diagrama de barras de los resultados del ensayo de porosidad	32
Gráfico 3-3: Diagrama de barras de los resultados de la velocidad del sonido.....	33
Gráfico 4-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 1	35
Gráfico 5-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 1	36
Gráfico 6-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 1	36
Gráfico 7-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 2	38
Gráfico 8-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 2	38
Gráfico 9-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 2	39
Gráfico 10-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 3	40
Gráfico 11-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 3	41
Gráfico 12-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 3	41
Gráfico 13-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 4	43
Gráfico 14-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 4	43
Gráfico 15-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 4	44
Gráfico 16-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 5	45
Gráfico 17-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 5	46
Gráfico 18-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 5	46
Gráfico 19-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla N1	48
Gráfico 20-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla N1	48
Gráfico 21-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla N1	49
Gráfico 22-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla N2	50
Gráfico 23-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla N2	51
Gráfico 24-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla N2	51

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Fotografías de elaboración de los ladrillos

ANEXO B: Fotografías de realización de ensayos

ANEXO C: Resumen informe de simulación acústica

RESUMEN

La suma de esfuerzos por desarrollar nuevos materiales que eviten explotar excesivamente los recursos naturales ha permitido optar por reciclar o reutilizar materiales, sin afectar negativamente a las propiedades de los elementos constructivos que generalmente son utilizados. En ese afán el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar, elaborar y caracterizar un material compuesto de base de materiales reciclados para la fabricación de ladrillos destinados a mamposterías con propiedades de aislamiento acústico, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica que permitió plantear cinco posibles mezclas que varían en los porcentajes de arcilla, agua, PET y caucho (los últimos dos obtenidos de reciclaje) que prometen comportarse como aislantes acústicos. Para lograr caracterizar cada uno de los materiales de las muestras se realizaron ensayos físicos y mecánicos tales como: determinación de la densidad y porosidad; y, ensayo de flexión, respectivamente. Además, se realizó simulaciones con el software Comsol Multiphysics versión 5.6 para determinar el coeficiente de absorción acústica lo que permitió determinar la muestra con mejor comportamiento para aislante acústico. Como resultado se obtuvo la densidad, porosidad, módulo de Young, velocidad del sonido y coeficiente de absorción acústica para cada mezcla. Lo que permitió concluir que de las cinco mezclas estudiadas la más favorable es la que posee 20% de caucho como agregado con un coeficiente de absorción acústica de 0.7 lo que representa 200% del valor de una muestra estándar ensayada sin comprometer sus otras propiedades. Se recomienda no considerar el PET en futuros estudios ya que no presenta un comportamiento adecuado para mejorar el coeficiente de absorción acústica en la fabricación de ladrillos.

Palabras clave: < LADRILLO>, <SONIDO>, <AGREGADO RECICLADO>, <AISLAMIENTO ACÚSTICO>



Firmado
electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

2096-DBRA-UPT-2021

2021-11-15

SUMMARY

The present research work aimed to develop, elaborate, and characterize a composite material based on recycled materials for the manufacture of bricks for masonry with acoustic insulation properties. For which a bibliographic review was carried out that allowed to propose five possible mixtures that vary in the percentages of clay, water, PET, and rubber (the last two obtained from recycling) that promise to behave as acoustic insulators. To characterize each one of the materials in the samples, physical and mechanical tests were carried out such as: determination of density and porosity; and bending test, respectively. In addition, simulations were performed with the Comsol Multiphysics software version 5.6 to determine the acoustic absorption coefficient, which let determine the sample with the best acoustic insulation performance. As a result, the density, porosity, Young's modulus, sound speed, and acoustic absorption coefficient were obtained for each mixture. It was concluded that of the five mixtures studied, the most favorable is the one with 20% rubber as aggregate with an acoustic absorption coefficient of 0.7, which represents 200% of the value of a standard sample tested without compromising its other properties. It is recommended not to consider PET in future studies as it does not show adequate behavior to improve the acoustic absorption coefficient in the manufacture of bricks.

Keywords: <BRICK MANUFACTURING>, <RECYCLED AGGREGATE>, <SOUND INSULATION>, <COMSOL MULTIPHYSICS (SOFTWARE)>, <ABSORPTION COEFFICIENT>.

**LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA** Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2021.12.06
10:01:01 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Las nuevas tendencias ecológicas para la construcción y los niveles de contaminación en aumento han desembocado en la suma de esfuerzos por desarrollar nuevos materiales con mejores o iguales cualidades y propiedades que los materiales tradicionales pero que incorporen materiales reciclados. Según (Infante & Valderrama, 2019: pp.25-36). se ha logrado incorporar con éxito porcentajes de PET y caucho en la elaboración de hormigones. En las cuáles se ha evidenciado que al sustituir hasta el 15% del peso en triturados de 1 cm² de área no se altera la resistencia del hormigón siempre y sea utilizado en espesores de al menos 15 cm (muros, pisos, etc).

Según (Gaibor et all, 2019). se ha incorporado PET en la fabricación de planchas de Eternit, logrando que la resistencia de las planchas no se disminuya al variar el tamaño de grano del agregado (PET). Mediante la incorporación de agregados PET de diferentes granulometrías se determinó que el grano ASTM#8 es el que permite incorporar en mayor porcentaje el agregado sin comprometer la resistencia. Además, que el agregado disminuye el peso mojado de la plancha de Eternit pues funciona como impermeabilizante.

Por su parte, (Contreras et all, 2012: pp.1-12). menciona que se ha fabricado paneles que actúan como aislante acústico y térmico a base del reciclaje de botellas PET. Los autores apuestan a paneles que pueden se fabricados netamente a base de productos reciclados debidamente procesados que serán destinados a recubrimientos para habitaciones y que evitan el eco y la libre propagación de las ondas sonoras entre ambientes diferentes. A la par evitan que el calor de las habitaciones se disipe hacia el entorno.

Según (Valea et all, 2008: pp- 6-11). las aleaciones del PP, PET y caucho presentan características adecuadas que sugieren una posible mejora en las propiedades de materiales matrices siempre y cuando sean incorporados adecuadamente. Los autores definen que hay dos consideraciones importantes a tomar en cuenta para que la incorporación de los agregados sea efectiva: características del agregado y procedimiento para incorporarlo. Además, sugieren que a manera de lo posible y cuando se use materiales matriciales los agregados deberían poseer similar granulometría que la matriz dónde se los incorpora para lograr un comportamiento homogéneo. Para (Arines et all, 2017: p.23). la incorporación de agregados reciclados ha evolucionado, ya que se ha logrado elaborar cerámicas y ladrillos de igual o superior propiedades físicas que los elementos convencionales. Logrando reducir la cantidad de desechos depositados directamente en el ambiente y utilizándolos para diferentes objetivos. En el caso de los autores, se ha incorporado PET en la capa final de las cerámicos logrando un barniz más resistente.

Por su parte (Amado et al, 2011: pp. 53-61). menciona que existen ladrillos en base a caucho que muestran una mejora en la resistencia mecánica de dicho elemento. El problema que presenta al realizar ladrillos únicamente a base de caucho son su menor rigidez y la dificultad que representa recubrir las paredes. Por ello el procedimiento descrito se usa principalmente para baldosas para pisos sometidos que soportan impactos y grandes pesos, tales como gimnasios, parques, pistas. Etc.

Con base a dichos estudios, en esta propuesta se pretende incorporar cantidades de PET y caucho reciclados en ladrillos de arcilla para analizar el cambio de su comportamiento acústico. Los ladrillos de mampostería compuestos por arcilla, PET y caucho que se proponen, prometen poseer un mejor índice de absorción acústica, dado las cualidades de los agregados (Domingo, 2014). Contribuyendo a la reducción de la contaminación sonora, pues según un estudio realizado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2018) la libre propagación del ruido es uno de los cuatro tipos de contaminaciones con más frecuencia. Además, según la (ONU, 2020) la tasa de crecimiento poblacional mundial es del 28,7% por lo que cada vez las construcciones industriales o domiciliarias son menos distantes entre sí. Con lo dicho, y mediante este estudio se pretende hallar un nuevo material para ladrillos compuesto de arcilla, PET y/o caucho reciclado con dos fines: reducir la contaminación sonora y la contaminación que causan los desechos sólidos elaborados de PET y/o caucho.

Planteamiento del problema

Descripción del problema

La contaminación acústica es cada vez un problema más recurrente, pues la sobrepoblación y la concentración de la población en las zonas urbanas ha causado que las construcciones civiles domiciliarias o industriales cada vez estén más juntas. Por ello se ha visto la necesidad de mejorar la capacidad de absorción acústica de los ladrillos destinados a la mampostería mediante la inclusión de agregados reciclados del PET y el caucho, con el fin de lograr aislar acústicamente los espacios y evitar complicaciones en la salud psicológica y fisiológica de los habitantes de los inmuebles.

Elementos del problema

La presente investigación pretende incluir agregados reciclados de PET y caucho a la matriz de arcilla en la fabricación de ladrillos destinados a la mampostería para lograr alcanzar un mayor coeficiente de absorción acústica que permita aislar un espacio de otro y evitar la libre

propagación del sonido. Se trabajará en resolver la incógnita: ¿Cuál es el porcentaje adecuado de agregado de PET y/o caucho que mejore la capacidad de absorción acústica sin comprometer la resistencia mecánica del ladrillo?

Formulación del problema

Actualmente no existe un elemento constructivo con propiedades acústicas mejoradas, el trabajo investigativo pretende evaluar el comportamiento acústico que puede presentar un nuevo material compuesto que ha sido desarrollado como material de construcción, con el motivo de evitar el uso de materiales de revestimiento costosos que ayudan en el control de los niveles sonoros en espacios expuestos a concentraciones de ruido.

Justificación del problema

Al realizar las construcciones domiciliarias o industriales en general no se toma en cuenta el control de contaminación acústica, lo que provoca que exista un ambiente contaminado por ruido, especialmente en las industrias cuyos procesos generan ruidos superiores a los 80 dB por períodos de tiempo superiores a una hora y en los domicilios o departamentos que son contiguos, generalmente en edificios o conjuntos habitacionales, siendo el límite máximo permisible de 70 dB en zonas industriales, es decir, considerando el máximo ruido. (Ministerio del Ambiente, 2015). Lo que genera molestias y daños psicológicos y fisiológicos a los ocupantes de dichos inmuebles.

Para ello en la presente investigación se propone desarrollar, elaborar y caracterizar un material compuesto, que sea económico con base en materiales reciclados que será utilizado en la fabricación de ladrillos para mampostería que supere la capacidad de absorber las vibraciones del sonido en comparación con los ladrillos convencionales y de esta manera reducir la contaminación acústica y por desechos sólidos.

Objetivos

- **Objetivo general**

Desarrollar, elaborar y caracterizar un material compuesto de base de materiales reciclados para la fabricación de ladrillos destinados a mamposterías con propiedades de aislamiento acústico.

- **Objetivos específicos**

- Recolectar y analizar material bibliográfico de materiales compuestos existentes, proceso de fabricación de ladrillos para mampostería y aislamiento acústico.

- Elaborar las probetas de ladrillos con tres proporciones diferentes de PET y caucho para evaluar la variación en la capacidad de absorción acústica en comparación a los ladrillos convencionales.
- Realizar los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del ladrillo bajo los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y normas establecidas por el INEN.
- Simular el comportamiento acústico del material mediante el software Comsol Multiphysic para obtener el coeficiente de absorción acústica.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Materiales compuestos

Para que se considere un material compuesto es necesario que existan varios componentes o materias que se consoliden de tal forma que se comporten como un solo material, por ello es muy importante analizar el procedimiento y tamaño adecuado para añadir componentes de tal forma que cumpla las condiciones antes mencionadas (Miravete, 2003).

Generalmente se usa un material matriz en el que albergará los materiales agregados que son los que modifican las propiedades de la mezcla y los aglutinantes que son sustancias que aumentan las fuerzas de cohesión entre las partículas que conforman el material (Miravete, 2003).

A continuación, se detalla los materiales que serán utilizados como matriz, agregados y aglutinantes para la elaboración del nuevo material compuesto y las consideraciones a tomar en cuenta para lograr una incorporación efectiva:

1.2. Material matriz

En este caso, como material matriz se usará la arcilla amarilla tomando en cuenta que es la arcilla disponible en nuestro territorio nacional. Esta arcilla no necesita mucha preparación a más de una trituración adecuada. Es importante mencionar que esta arcilla se cuece entre los 850 y 1000°C.

1.3. Agregados para mejorar el coeficiente de absorción acústica

Como se menciona anteriormente, se consideran dos materiales aptos para su uso como agregados, estos son el PET obtenido a partir de botellas plásticas desechadas y el caucho obtenido a partir de los neumáticos de automóviles desechados, con las características que se detalla a continuación:

1.3.1. Agregado de PET

Para que el PET pueda ser incorporado como agregado en el proceso de elaboración de los ladrillos debe ser triturado de tal forma que pase entre los tamices ASTM# 8, es decir que los gránulos alcancen un diámetro promedio de 2.36mm. Esto asegura que el agregado se consolide eficazmente. (Gaibor et al., 2019).

1.3.2. Agregado caucho reciclado de neumáticos de automóviles

Para este fin se verifica que el caucho esté separado principalmente del acero que conforma el neumático, triturado a temperatura ambiente y que el polvo cumpla con una granulometría del tamiz ASTM #7 es decir 2,8 mm con esto se asegura que el agregado se consolide con la mezcla (Carpio Ñauta & Medina Samaniego, 2013).

1.3.3. Aglutinante

Para este caso se debe usar un aglutinante no alcalino en una proporción constante del 5% del peso total de las materias primas.

1.4. Proceso de fabricación de ladrillos cerámicos para mampostería

A diferencia de las placas para aislamiento acústico, por el origen del material se pretende que el precio final para el consumidor sea mucho menor al establecido actualmente para aislar acústicamente un espacio del exterior, contribuyendo así a la salud de los usuarios, ya que reduce el estrés que genera la contaminación sonora (AMADO et al., 2011: pp. 53-61).

Según (Rougeron, 1977) para la fabricación de los ladrillos cerámicos, existen muchas formas para realizar el proceso, sin embargo todas deben cumplir los siguientes puntos:

- i. Selección de la materia prima: Se extrae y se prepara cada una de las materias primas, además se mide que las propiedades se encuentren dentro del rango aceptable.
- ii. Maduración: Es la etapa en la que se prepara todos los materiales para ser incorporados a una mesa homogénea, entre ellos: trituración, homogeneización y reposo. Mediante esta etapa se asegura que una distribución homogénea del material por ende de sus propiedades.
- iii. Tratamiento mecánico previo: Son operaciones que permiten refinar la calidad de la materia prima antes de formar la mezcla final, entre ellos tenemos:
 - a. Tamizaje: Asegura que todos los gránulos de los materiales se incorporen en tamaños iguales para una mezcla homogénea.
 - b. Triturador: Los materiales que no pasaron de la prueba anterior deben ser triturados para que cumplan el tamaño requerido.
 - c. Laminador refinador: Se trituran los últimos nódulos que puedan estar en el interior del material.
- iv. Depósito de materia prima procesada: Se deposita el material en silos especiales y techados donde el material se homogeniza definitivamente tanto física como químicamente.
- v. Humidificación: Se retira la arcilla de los silos y se transporta a un laminador refinador para posteriormente mover a un mezclador humedecedor, en el cual se agrega agua para obtener la humedad precisa.

- vi. Moldeado: Consiste en darle forma a la arcilla ya humidificada y aplicarle presión y temperatura para que el material quede compacto.
- vii. Secado: Una vez fabricado el ladrillo se debe dejar reposar para que se elimine toda el agua agregada en el proceso anterior. De este proceso depende gran parte del éxito del procedimiento.
- viii. Cocción: Para esto se utiliza hornos con temperaturas entre 900°C y 1000°C. Durante este proceso se produce la sinterización, lo que determina la resistencia del ladrillo.
- ix. Almacenaje: Una vez frío el producto final, es recomendable apilarlo sobre palet para que faciliten su carga, descarga y transporte.

1.5. Materiales que se consideran como aislantes acústicos

Un material se considera aislante acústico cuando, debido a ciertas propiedades o disposición de sus partículas interatómicas es capaz de disipar o atenuar la energía acústica a lo largo de un espesor. Es decir, actúa como un amortiguador de las ondas del sonido. (Hamme, 2006).

Para mejorar la capacidad de absorción de ondas sonoras en un material se debe añadir componentes que por su naturaleza prometan aumentar la capacidad de absorción acústica, en este caso específico se debe cuidar también que no se comprometan las propiedades mecánicas del ladrillo (Del Rey et al., 2017).

1.5.1. Características a tener en cuenta en la selección de materiales para aislamiento acústico.

Para que un material absorba adecuadamente las ondas sonoras y se comporte como un aislante acústico sus enlaces interatómicos deben ser fuertes. Para ello se consideran las siguientes propiedades de los materiales:

- Porosidad esta propiedad relaciona el volumen vacío y el volumen lleno de material en un espacio determinado. Para este caso de estudio es importante que la porosidad sea baja, pues por los vacíos viaja mejor el sonido.
- Densidad, relaciona la masa y el volumen de un cuerpo. Esta propiedad permite controlar que no se aumente excesivamente el peso muerto en nuestras construcciones.
- Punto de inflamabilidad que define la presión y temperatura necesaria para que el material se combustione con facilidad. Es importante considerar este punto pues al fabricar el ladrillo será sometido a un proceso de cocción que puede comprometer los materiales.
- Resistencia, propiedad mecánica de los materiales que determina la carga que soporta el material sin romperse o deformarse plásticamente. Para este caso en particular es importante esta propiedad pues el material será sometido a esfuerzos y tensiones.

- Rigidez, propiedad mecánica que analiza la deformación que se produce en el material al aplicar cargas para asegurar el fin del diseño.

El objetivo de controlar estas propiedades es lograr que las ondas del sonido no se reflejen ni se refracten al impactar en los ladrillos, sino más bien que se disipe a lo largo de todo el material propuesto (Contreras, Owen et al., 2012: pp. 1-12).

Por lo tanto, estas propiedades deben ser consideradas al elegir los agregados para la base del material compuesto. Y estas mismas propiedades son las que se evaluarán y se medirán en el nuevo material compuesto que se propone para la elaboración de los ladrillos. Tal como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 1-1: Propiedades por evaluar en el nuevo material que conforma el ladrillo

Propiedad	Norma para medirla	Parámetro que determinar
Porosidad	NTE INEN 296	Porcentaje de porosidad total
Densidad	NTE INEN 857	Densidad
Resistencia mecánica	NTE INEN 295 y NTE INEN 294	Esfuerzo último

Fuente: (Chiquillo,2009)

En base a estas características se propone dos materiales que serán utilizados como agregados en la elaboración del nuevo material compuesto, estos son: caucho reciclado de las llantas de automóviles y Polietileno Tereftalato (PET) presentes en la mayoría de los envases plásticos no retornables. Residuos que además significan un trabajo extra para deshacerse o tratarlos adecuadamente de tal forma que no contaminen o comprometan el medio ambiente en los que se los deposita (Del Rey et al., 2017).

Es importante analizar las características y propiedades de los materiales mencionados pues permiten predecir si transformará al material compuesto en un mayor o menor aislante acústico.

1.5.2. Materiales reciclados con características adecuadas para absorción acústica

1.5.2.1. Caucho de los neumáticos de automóviles

Se considera trabajar con caucho debido a las propiedades que se detallan posteriormente pero además porque una fuente para obtener caucho son los neumáticos utilizados que se convierten en una problemática ambiental por la disposición final de dichos residuos sólidos.

Se estima que el porcentaje de neumáticos que se desecha cada año en el mundo es de mil millones (1 000 000 000), de los cuales dos puntos cuatro millones (2 400 000) pertenecen al Ecuador. (Tamara, Pineda & Bohórquez, 2014).



Figura 1-1: Caucho en los neumáticos de automóviles

Fuente: (Hankook, 2018)

Respecto a sus propiedades se puede mencionar que el coeficiente de absorción acústica es de 2.2 a 4mm. Por lo tanto, la energía que absorbe y las ondas sonoras no representan mucha contaminación, su porosidad depende de la granulometría del caucho pero varía entre el 85% y 95%, su punto de inflamabilidad es 450 grados Fahrenheit, la resistencia es otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta puesto que ésta permite saber hasta qué punto se puede hacer la comprensión al caucho de los neumáticos de automóviles sin que estos se rompan y cuyos valores representan 218.45 Kg/cm² y 212.33 Kg/cm² a 5% y 10% de caucho, respectivamente. El caucho presenta una rigidez es de 190 kg/cm² (Montejano, 2004).

1.5.2.2. PET

El polietileno tereftalato o PET por sus siglas en inglés es un material muy utilizado en la elaboración de envases no retornables para contener sustancias líquidas. Se estima que cada año se producen alrededor de 500 mil millones de PET que se depositan en los basureros de todo el mundo y que se convierte en una problemática mundial, por el tratamiento y desecho de estos residuos sólidos (Contreras, Owen et al., 2012).



Figura 2-1: Codificación del polietileno tereftalato

Fuente: (Ecoplas, 2013)

Presentando entre sus propiedades un coeficiente de absorción acústica entre 7 a 9 mm, mismo que según estudios de la ciencia y del ámbito mecánico se puede decir que a mayor cantidad de frecuencia menor cantidad de absorción.

El PET tiene su porosidad representada en una cantidad entre 5 a 20,000 micrones. Por otro lado, se puede mencionar que su punto de inflexión es resistente ya que este se manifiesta desde 120 hasta 150 grados centígrados. La resistencia es otro punto importante ya que permite analizar hasta qué punto este plástico puede responder de forma positiva al cambio, representando así una resistencia de 4.500 Kg/cm. Se puede mencionar que la rigidez del plástico depende de su textura ya que puede ser muy rígido o semirrígido soportando así hasta temperaturas de 50 grados centígrados en el caso de tener mayor rigidez y 40 grados centígrados en el caso de tener menor rigidez. (Valea, Juanes, Miguez, & González, 2008: pp. 6-10).

1.6. Fenómeno del Sonido

El sonido es un fenómeno físico-mecánico que describe el comportamiento de una onda causada por la vibración de un cuerpo, que perturba y se propaga por un medio sólido, líquido o gaseoso (Jaramillo, 2007).

Existen dos fenómenos importantes que explican la propagación y comportamiento de las ondas sonoras en un medio: la reflexión y refracción del sonido. Y que permiten abordar el campo del aislamiento acústico, por lo que se propone a continuación ambos fenómenos:

1.6.1. Reflexión del sonido

Es el fenómeno físico cuando las ondas del sonido chocan contra una superficie y cambia su dirección. El cambio dependerá del ángulo de impacto de la onda incidente y del material contra

el cuál impacta las ondas del sonido. Es decir, el sonido retorna luego de impactarse con un obstáculo.

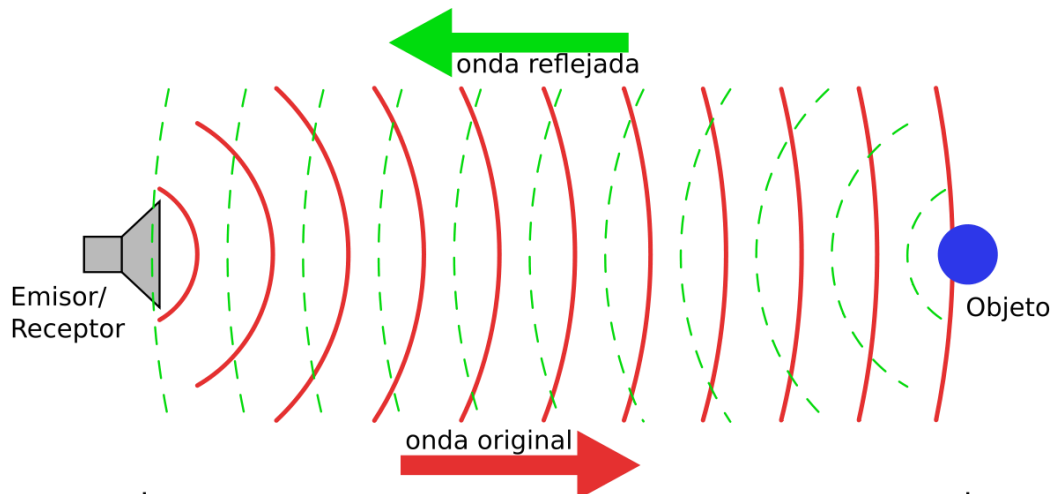


Figura 3-1: Fenómeno de reflexión.

Fuente: (Miyara, 2003: p.45).

Generalmente este tipo de fenómeno físico del sonido genera eco, por lo que una reflexión excesiva de sonido genera malestar para los individuos que se encuentran dentro de la habitación. Dicho esto, se debe controlar y minimizar este efecto (Miyara, 2003: p. 45).

1.6.2. Refracción del sonido

Este fenómeno físico también conocido como difracción describe el comportamiento de las ondas del sonido que al impactar en una superficie cambia su dirección y se transmite a través del material sobre el cuál impacta y lo traspasa. La intensidad y distorsión con la cual se percibe las ondas luego de su refracción depende principalmente del ángulo de incidencia y del material del objeto con el que se impacta.

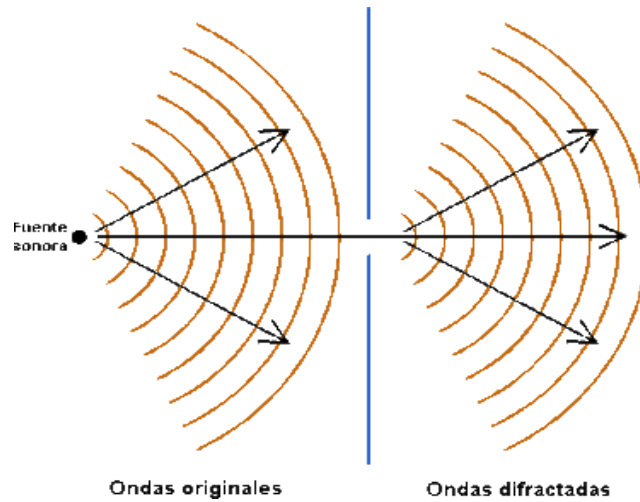


Figura 4-1: Fenómeno de la refracción o difracción.

Fuente: (Miyara, 2003: p. 45).

Este fenómeno físico es el que explica el traspaso de sonido por medio de las paredes, y es el que debemos evitar para que se provoque el aislamiento acústico de un entorno con otro. Para ello se debe elegir adecuadamente el material para que sea capaz de absorber las vibraciones y disiparlas en lugar de transmitir las. (Miyara, 2003: p. 45).

1.6.3. Aislamiento acústico

La industria del aislamiento acústico trabaja en definir los materiales, técnicas, procedimientos y tecnologías que permitan disminuir o eliminar la transmisión del sonido del interior al exterior o viceversa de un espacio cerrado, mediante la absorción o reflexión de las ondas de sonido (Rougeron, 1977)

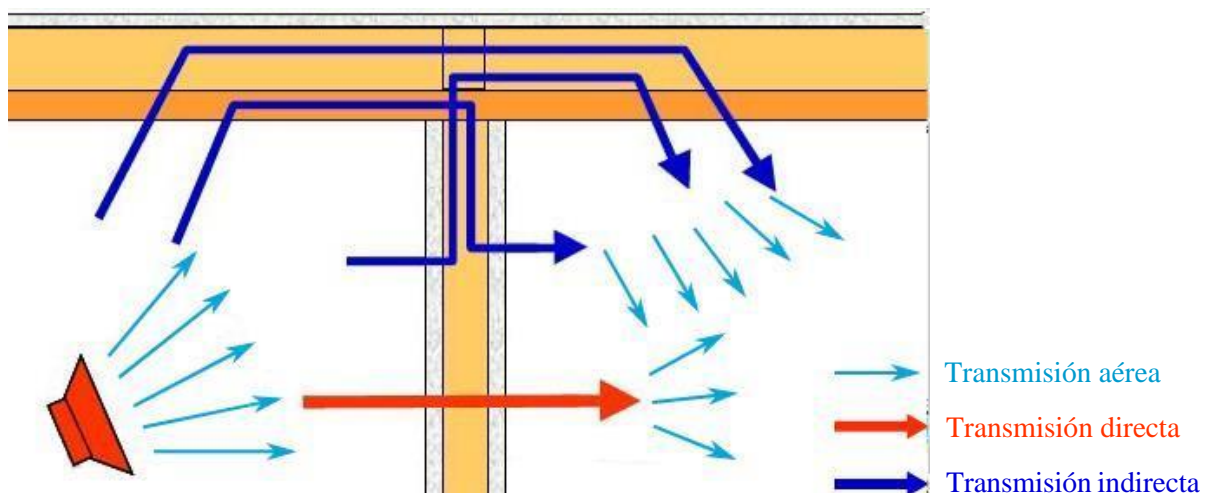


Figura 5-1. Comportamiento de las ondas de sonido al impactar una superficie.

Fuente: (Miyara, 2003: p. 45).

El objetivo del aislamiento acústico es lograr que las ondas no se propaguen a ambientes no deseados, logrando una delimitación del lugar en donde las ondas sonoras actúan o pueden ser percibidas por los seres humanos (Miyara, 2003: p. 45).

1.7. Coeficiente de absorción

Este coeficiente determina la capacidad de mitigar la propagación de las ondas del sonido en un material. Para nuestro caso de estudio, este parámetro será calculado mediante la simulación del comportamiento acústico con el software Comsol Multiphysic versión 5.6.

En el documento de ayuda al usuario se establece el modelo matemático de Johnson Champoux Allard (JCA) para determinar el coeficiente de absorción acústica (COMSOL, 2021):

$$\nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho_c} (\nabla \rho_t - q_d) \right) - \frac{k_{eq}^2 \cdot \rho_t}{\rho_c} = Q \quad [\text{Ec. 1-1}]$$

Dónde:

∇ : Diferencial de los niveles de presión sonora

ρ_c : Densidad del cuerpo

q_d : Densidad del material del poro (aire)

k_{eq} : Constante equivalente

Q : Cantidad de energía acústica disipada

Además, para lograr completar el modelo se debe recurrir a ecuaciones secundarias que permiten hallar ciertos parámetros para completar los datos necesarios para el modelo, es así que tenemos:

$$\rho_t = \rho + \rho_b \quad [\text{Ec. 2-1}]$$

Dónde:

ρ_t : Densidad total

ρ : Densidad real del material

ρ_b : Densidad aparente del volumen de control

Se debe recurrir también a la ecuación que permitirá hallar k equivalente, que se detalla en la siguiente expresión matemática:

$$k_{eq}^2 = \left(\frac{\omega}{C_c} \right)^2 - k_z^2 \quad [\text{Ec. 3-1}]$$

Dónde:

ω : velocidad angular de la onda en estudio

C_c : Constante de amortiguación. Autoseleccionado en la simulación de acuerdo con la frecuencia.

k_z^2 : Constante de propagación del modelo. Depende del ángulo de incidencia y porosidad del material.

En la siguiente tabla se muestran los coeficientes de absorción acústica de los materiales a utilizar, en base a la frecuencia:

Tabla 2-1: Coeficientes de absorción acústica

Coeficiente de absorción acústica							
Material	Bandas de frecuencia [Hz]						
	125	250	500	1000	2000	4000	NCR
Ladrillo visto	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,4
Ladrillo recubierto	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	0,5
Láminas de PET	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8
Láminas de caucho	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9	0,85

Fuente: (Lancón, 2012)

1.8. Reflexión

1.8.1. Ley de Snell

Describe el cambio de dirección que se genera en una onda al atravesar una superficie. A través de esta ley se puede entender los dos tipos de reflexión que existen. Cuando la ley de Snell se cumple se produce una reflexión regular, es decir, el ángulo de la onda incidente es igual al ángulo de onda reflejado, ocurre cuando la textura e irregularidades de la superficie son menores a la longitud de onda del sonido que incide en ella.

Por otra parte, una reflexión difusa se da cuando esta ley no se cumple, este fenómeno se produce cuando la superficie en la que incide la longitud de onda es relativamente rugosa a ésta, el sonido reflejado toma direcciones aleatorias. (Domingo, 2014).

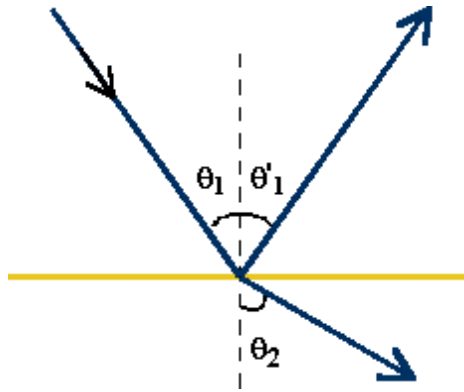


Figura 6-1: Reflexión y refracción de una onda. Ley de Snell

Fuente: (Domingo, 2014)

1.9. Simulación acústica mediante software

La predicción en el comportamiento de los fenómenos físicos en la vida real ha tomado una nueva dirección, la potenciación de la informática y el desarrollo de software para el análisis de casos físicos específicos ha facilitado la experimentación, que si bien es cierto no se obtienen datos exactos, el error es claramente despreciable siempre y cuando se interprete y considere adecuadamente las condiciones necesarias requeridas para la simulación del entorno (Bernal et al., 2013: pp. 2840-2847).

En este caso específico se utiliza software que permiten el análisis del comportamiento físico del sonido, específicamente la propagación y concentración de las ondas acústicas a lo largo del nuevo material compuesto que ha sido desarrollado, esta simulación permite predecir la reflexión y refracción de la onda acústica y analizar su comportamiento como aislante, mediante la determinación de un porcentaje de mejora en comparación con materiales ya existentes en el mercado.

1.9.1. Software Comsol Multiphysics

Es una herramienta científica para la creación y simulación de modelos físicos en entornos virtuales, mediante el método de análisis por elementos finitos. Además, permite modelar fenómenos mediante ecuaciones diferenciales parciales de la mayoría de los fenómenos físicos estudiados por la Ingeniería Mecánica. (COMSOL team, 2018)

Las prestaciones del software permiten simular entornos sometidos a varios fenómenos físicos simultáneos disminuyendo el error en la simulación. Estos fenómenos pueden ser definidos a

través de las aplicaciones predeterminadas o a través de ecuaciones diferenciales parciales de ser necesario, por lo que su posibilidad de uso es infinita (Comsol Team, 2020).

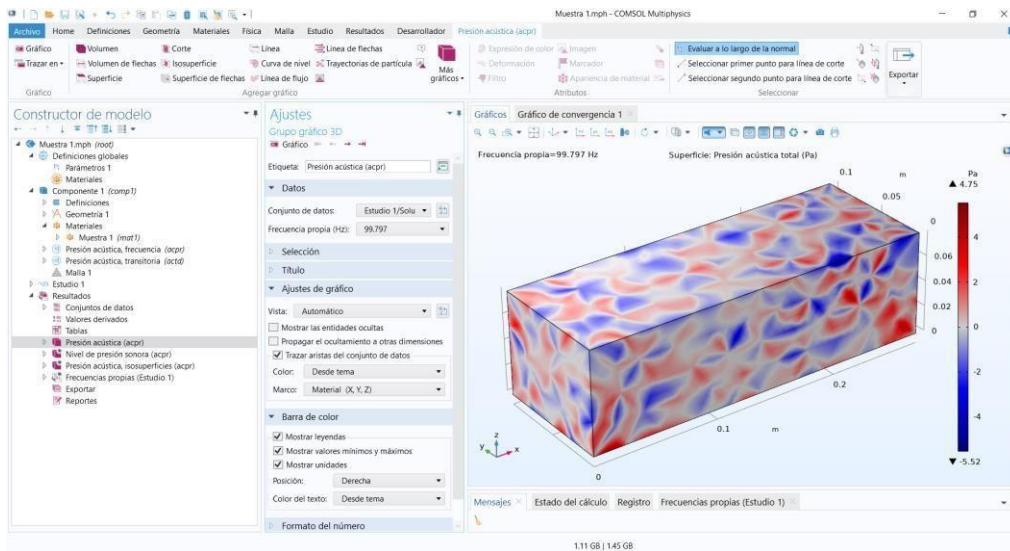


Figura 7-1: Entorno de COMSOL Multiphysics

Fuente: (Autor, 2021)

Entre los fenómenos físicos más relevantes que el software es capaz de simular se encuentra: acústica, dispositivos conductores, propagación de ondas, mecánica de estructuras, reacciones químicas y modelado de componentes. Todos ellos que se adaptan perfectamente a la necesidad del estudio propuesto (Santandrea & Le Bihan, 2010).

Mediante estas herramientas científicas se analiza el comportamiento de un entorno cerrado limitado, para lo cual se simula un ladrillo generado con el nuevo material compuesto. Además, que se podrá incluir varias consideraciones o condiciones que, de acuerdo con investigaciones y experimentación realizada, serán importantes en la obtención de los resultados esperados, es decir un material que ayude a solventar problemas de aislamiento acústico.

Los datos de las propiedades físicas y mecánicas del nuevo material desarrollado son usados como características de este y estos parámetros servirán para la simulación a realizarse en el software elegido, considerando que estos valores obtenidos son experimentales. El uso de la normativa y procedimientos son importantes en este tipo de ensayos, puesto que, se asegura que la simulación se realice de una manera adecuada, con la obtención de datos y condiciones casi reales que se puedan validar, con la finalidad de obtener resultados confiables.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se analizan los métodos necesarios para obtener, procesar y ensayar el material. Además, se describen algunas consideraciones necesarias para el desarrollo eficaz del presente trabajo.

2.1. Obtención de agregados

Dentro de los planteamientos de este estudio y por precautelar la conservación del medio ambiente, los agregados que se considerarán deberán ser obtenidos a base de reciclaje. Esto compromete en gran parte la calidad y la homogeneidad de la materia prima que se usará. Por ello es importante limitar los productos a utilizar, de tal forma que se pueda definir adecuadamente las características de las nuevas mezclas obtenidas y además se las pueda reproducir sin que se esto implique una variación abrupta de las características del material reportadas en esta investigación.

Para lograrlo es indispensable definir el proceso que se empleará para la recolección, trituración e incorporación del PET y el caucho a las matrices de arcilla para la elaboración de los ladrillos, procesos que se describen a continuación:

2.1.1. PET

Para esta aplicación se utilizará Polietileno tereftalato (PET) presente en botellas de bebidas no retornables, sin importar la marca. Es importante verificar que el envase esté fabricado de PET para lo cual se debe evidenciar que el envase tenga el símbolo de la Figura 9.



Figura 1-2: Símbolo de reciclaje del Polietileno Tereftalato

Fuente: (Ecoplas, 2013).

Para el proceso de recolección y tomando en cuenta lo que manifiesta (Bermeo et all, 2018: p. 8) que el reciclaje es una industria con al menos 15000 puntos de acopio y que va en crecimiento en el Ecuador.

Se recurrirá a obtener el PET recolectado y clasificado de un centro de acopio, de tal forma que se pueda garantizar que el material corresponda al requerido y además que tenga una preparación que permita trabajar mejor el material para conseguir el agregado adecuado.

Para el presente caso de estudio, se ha obtenido el PET de la empresa “Recicladora Punto Verde” ubicado en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Santa Rosa, Barrio Bellavista Bajo por ser la empresa más cercana que cumple con las Normas NTE INEN 2841 y NTE INEN 2266 que estandarizan y regulan el proceso de recolección, clasificación y almacenamiento temporal de residuos plásticos para el reciclaje o reuso de los desechos (INEN 2841, 2014; INEN 2266, 2013).

Si bien, la adquisición del material para el agregado de PET en un punto de recolección autorizado y que cumpla las Normas establecidas facilita en gran parte asegurar la cantidad adecuada de PET, esto no asegura que el triturado tenga el tamaño adecuado. Ya que la empresa oferta triturado de un único tamaño con trozos de PET de geometría irregular con un área promedio aproximada de 1 cm². Por lo que es necesario someterlo a un proceso de trituración extra que permita obtener el tamaño del agregado adecuado que según (Gaibor et al, 2019) permite que el agregado pueda ser incorporado a la arcilla sin que represente la disminución de las propiedades del ladrillo, principalmente su resistencia. Por ello a continuación se detalla el proceso que se llevó a cabo.

Proceso de trituración de los envases fabricados de PET

Para incorporar el PET a la materia prima del ladrillo es importante, triturar los envases de bebidas hasta conseguir que los gránulos pasen por el tamiz ASME #8 definidos en la Norma ASME E11 (ASME E11, 1987), para lograrlo se aplicará el siguiente proceso:

- a) Se debe realizar una inspección visual para verificar que el material a triturar corresponda únicamente a PET. Para ello se debe tomar en cuenta que los envases fabricados de PET son transparentes, lo que facilita identificar si existe algún otro material fácilmente por el color.
- b) Se recomienda lavar el material a triturar de tal forma que se pueda asegurar que no existe residuos de bebidas, grasas y otras sustancias que contaminen el material que se desea obtener y que modifiquen las propiedades o alteren los resultados de la mezcla final que se desea obtener.
- c) Triturar el material hasta alcanzar el tamaño y cantidad necesario para cada una de las mezclas. Para ello se ha construido una trituradora casera que permite facilitar el proceso de trituración y que se muestra en la Figura 2-2.



Figura 2-2: Trituradora casera de PET a base de una amoladora

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021

- d) Se debe asegurar que el tamaño del gránulo es correcto haciendo que el triturado obtenido pase por el tamiz ASME #8, en caso de no ser el correcto repetir la trituración hasta obtener el gránulo adecuado lo que permitirá que el agregado se comporte adecuadamente.
- e) Una vez se obtenga la cantidad necesaria para la elaboración de todas las mezclas que incluyen PET, que es alrededor de 1,8 Kg del agregado. Se recomienda lavar el triturado para eliminar impurezas que puedan alterar el resultado y dejarlo secar para evitar que en la mezcla se aporte más agua de la necesaria y se pueda llevar un control adecuado de las cantidades de cada componente de la mezcla.

2.1.2. Caucho

Si bien existen empresas que se dedican a extraer caucho granular que es el necesario para el estudio que se está llevando a cabo, la empresa más cercana se encuentra en Guayaquil y sus volúmenes de venta empiezan en 500 Kg. Cantidad muy alejada de la que se necesita por lo que los costos aumentarían considerablemente. Por otro lado, este caucho no proviene únicamente de los neumáticos, sino es una mezcla de varios orígenes ya que se destina principalmente a la elaboración de planchas de caucho que se las conoce como baldosas de caucho.

Por las razones anotadas anteriormente y para el estudio se realizará un proceso manual, tomando en cuenta que la cantidad que se requiere no responde al volumen mínimo que se puede obtener en el mercado y además que no se puede asegurar el origen del caucho. Para lograrlo se ha anotado el procedimiento que se llevó a cabo:

- a) Recolectar neumáticos usados, estos se los puede encontrar principalmente en los tecnicentros dónde se realizan los cambios de neumáticos. Para ello no se ha clasificado ni definido una marca

en específico, pues se considera que las propiedades del caucho de todas las marcas de neumáticos son similares. Además, en la práctica complicaría clasificar neumáticos de acuerdo con su fábrica de origen.

- b) Se debe realizar una inspección visual, limpiar y desengrasar la superficie del neumático, este proceso garantiza que el material no esté contaminado y que sea adecuado para el uso que se desea darle.
- c) Triturar el neumático mediante un rallador metálico hasta alcanzar el diámetro adecuado, evitando que se incluyan residuos o restos de metal de los alambres que constituyen los neumáticos.
- d) Verificar que los gránulos obtenidos sean del diámetro que del tamiz ASME #8 (ASME E11, 1987). En caso contrario separar los gránulos de mayor tamaño para evitar complicaciones al momento de mezclar el agregado con la arcilla.
- e) Lavar nuevamente los triturados para evitar que existan impurezas o sustancias no deseadas que alteren la composición final de la mezcla y dejarlos secar.

2.2. Elaboración del material compuesto para la fabricación del ladrillo

Se deben considerar ciertos parámetros y características de la materia prima a utilizarse en la elaboración del ladrillo para asegurar un material homogéneo con las características deseadas. Para ello se definen los siguientes puntos:

2.2.1. Materias primas

En cuanto a materias primas se considera 3 elementos principales, de los cuáles estará conformada la mezcla para la elaboración de los ladrillos cerámicos. A diferencia de las materias primas que se definen en la Norma (INEN 297, 2005) que es arcilla y agua esencialmente, se considerará el PET y caucho obtenido por procesos de reciclajes que serán añadidos en forma de agregados. De la siguiente manera:

- a) Arcilla roja de las minas del cantón Chambo: se comportará como la matriz principal del material.
- b) Agregados: PET y caucho, pretende mejorar el coeficiente de absorción acústico obtenidos como se describe previamente.
- c) Agua: será usado en el proceso de humificación y facilitará el aglutinamiento del material.

2.2.2. Proporciones en la mezcla por considerar en la experimentación

Para el desarrollo de este trabajo experimental se consideran las siguientes proporciones en peso, como se indica en la tabla que se muestra en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Proporciones para la mezcla de las materias primas

	Arcilla	PET	Caucho	Agua
Mezcla 1	50%	20%	0%	30%
Mezcla 2	40%	20%	10%	30%
Mezcla 3	40%	10%	20%	30%
Mezcla 4	40%	15%	15%	30%
Mezcla 5	50%	0%	20%	30%

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

2.2.3. Procedimiento para realizar la mezcla

- Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción se debe triturar, homogeneizar y dejar en reposo al aire libre con la finalidad de obtener una adecuada consistencia, secado tangente y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.
- Una vez que se ha logrado una arcilla inerte, se incorpora los agregados a la arcilla en las proporciones descritas en la Tabla 1-2, de acuerdo con cada una de las mezclas que se experimentará. Pesando en una balanza cada una de las materias primas. Tomando en cuenta que se necesita aproximadamente 60 Kg para elaborar 10 ladrillos.
- La mezcla de la arcilla y los agregados (PET y caucho) deben ser sometido a un tratamiento mecánico previo: tamizaje, triturador y laminador refinador.
- El material será depositado en un silo homogeneizador durante 24 horas que garantiza su homogenización fisicoquímica.
- Se debe realizar una inspección visual del material en busca de grumos. De no existir deben ser separados de la mezcla, caso contrario la mezcla está lista para ser utilizada en la elaboración del ladrillo.

2.3. Elaboración del ladrillo

Para la elaboración se debe estimar el tipo de ladrillo que se obtendrá, pues de ello depende en gran parte los detalles a considerar para su elaboración. Por ello y dada la aplicación final del ladrillo se considera necesario obtener como producto final un ladrillo Tipo B (ladrillo cerámico artesanal) que para su fabricación se utilizará el procedimiento que se describe a continuación lo que permitirá asegurar cumplir los requerimientos que establece la Norma NTE INEN 297 (INEN 297, 2005).

Para ello se debe considerar los siguientes pasos:

- a) Humedecer la mezcla con la porción de agua correspondiente al 30% del total del peso. Sin embargo, se puede tener un error de $\pm 7\%$ de agua de tal forma que se consiga una mezcla homogénea y con una humedad total entre 28 y 35% que permite obtener la plasticidad adecuada de la mezcla.
- b) Se procede a depositar la mezcla en el molde tomando en cuenta las recomendaciones de la Norma (INEN 293, 2014) Ladrillos Cerámicos. Definiciones. Clasificación y Características Generales: considerando que es ladrillo macizo y represado se tiene un largo de 29 cm, ancho de 19 cm y alto de 9 cm (se aceptan variaciones de acuerdo a la disponibilidad del mercado). Para luego prensarlo a una presión de 45 MPa por un tiempo total de 2 minutos.
- c) Se deja reposar, la mezcla en el molde por cinco días. Posteriormente se debe desprender del molde y asegurar su medida retirando el material excedente y, finalmente depositarlos en los secaderos, donde se debe esperar a que la mezcla alcance una humedad máxima del 1%.
- d) Se deposita en un horno donde, según la Norma (INEN 293, 2014) Ladrillos Cerámicos. Definiciones. Clasificación y características generales, debe alcanzar una temperatura mínima de 800°C y máxima de 950°C hasta que el material alcance una masa homogénea y un color rojizo (proceso que dura alrededor de tres días). Luego se deja enfriar al ambiente (proceso que dura alrededor de 6 días).
- e) Finalmente, los ladrillos se almacenan de tal forma que se evite su desplome.

Es importante mencionar que en ninguna circunstancia se debe enfriar el ladrillo con agua u otro elemento para acelerar el proceso de enfriado. Dado que esto afecta gravemente la resistencia final del ladrillo. Además, es importante controlar que al momento que los ladrillos entren al horno estén completamente secos (humedad máxima del 1%) caso contrario la mezcla se deforma al entrar en contacto con el calor.

2.4. Ensayos

Para validar el cambio del material es necesario tomar algunos datos por medio de experimentación, para finalmente evaluar su comportamiento mediante software para ello se ha planteado los ensayos que se muestran a continuación:

2.4.1. Densidad

Para determinar la densidad de las probetas se observó las consideraciones de la Norma NTE INEN 857:2010, cuyos pasos se enlistan a continuación:

- a) Encerar la balanza electrónica, pesar el objeto y registrar el dato.
- b) Buscar un recipiente adecuado para el tamaño del ladrillo de tal forma que al sumergirlo

- desplace inmediatamente el volumen de agua, medir el volumen que le entra totalmente lleno.
- Cubrir el ladrillo con una película impermeabilizante fina (peso y volumen despreciables) y sumergir totalmente el ladrillo en el recipiente.
 - Sacar el cuerpo con cuidado, sin derramar más agua del recipiente.
 - Medir el volumen de agua en el recipiente.
 - La diferencia entre el volumen inicial y el volumen final en el recipiente será el volumen del ladrillo.
 - La densidad será la relación de la medida del peso en kilogramos con el volumen en metros cúbicos.

Es importante mencionar que para realizar el ensayo se recomienda el uso de una balanza analítica con precisión de al menos 0,1g.



(a)



(b)

Figura 3-2: a) Medición del peso b) Medición del volumen

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

2.4.2. Porosidad

Para determinar la porosidad del material se aplicará las consideraciones y procedimiento de la Norma NTE INEN 296, cuyos pasos se resumen y explican a continuación:

- Marcar adecuadamente las probetas.
- Introducir las probetas a la estufa de secado por 24 ± 4 horas a flujo constante y temperatura de 110 ± 5 °C. Pesar la muestra, ingresarla 30 minutos más y verificar que el peso sea constante. De no ser constante repetir la medición cada 30 min hasta obtener peso constante.
- Registrar los pesos y sumergirlo en agua destilada por al menos 24 horas. Sacarlos del agua y pesarlos.
- La relación de pesos entre el peso en mojado y seco, representa el porcentaje de la porosidad

del material.



Figura 4-2: a) Horno de secado. b) Probetas sumergidas en agua destilada

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

2.4.3. *Ensayo de flexión*

Para realizar el ensayo se considera las recomendaciones de la Norma INEN 295 Ladrillos Cerámicos.

Determinación de la resistencia a flexión, que menciona las siguientes consideraciones:

- a) Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15 cm entre apoyos.
- b) Hacer descender el punto de contacto de la máquina universal hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz.
- c) Se debe verificar que las tres líneas de contacto se mantengan siempre paralelas. Para asegurar una adecuada distribución de las fuerzas y un fallo prematuro del ladrillo.
- d) Aplicar la carga a una velocidad no mayor de 1,5 mm por minuto, hasta la rotura. Se anota los datos de fuerza y deformación.



Figura 5-2: a) Señalización de probetas. b) Montaje ensayo de flexión en 3 puntos.

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

2.4.4. Módulo de Young

Para obtener el módulo de Young, según (Gonzales et al, 2008) y (Ramírez et al, 2014) se puede partir de los datos obtenidos en el ensayo de flexión relacionándolos mediante la ecuación 1-2.

$$E = \frac{l^3 \Delta F}{48 I \Delta w} \quad [\text{Ec. 1-2}]$$

Dónde:

E = Módulo de Young [Pa]

l^3 = distancia entre apoyos [mm]

ΔF = Incremento de la carga

I = Inercia del área transversal en [mm⁴]

Δw = Deformación ocasionada por ΔF

De esta forma se puede hallar el módulo de Young que permitirá posteriormente calcular la velocidad del sonido en cada una de las cinco muestras que se estudian, dicho parámetro será utilizado en la simulación acústica mediante el software.

Además, en la ecuación 1-2 se requiere calcular la inercia del área transversal. Para ello, según (Mott & Cárdenas, 1996) se de aplicar la ecuación 2-2 tomando en cuenta que el área transversal del elemento en estudio es un rectángulo. Se debe anotar también que dado que el requerimiento es en mm⁴ por lo que se debe considerar una base de 80 mm y una altura de 10mm.

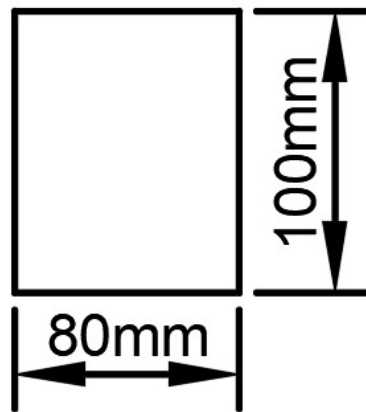


Figura 6-2: Área transversal del ladrillo.

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad [\text{Ec. 2-2}]$$

Dónde:

b : Medida de la base del rectángulo

h : Medida de la altura del rectángulo

2.4.5. Velocidad del sonido

Como se mencionó anteriormente, el fin último de los cálculos es hallar la velocidad del sonido en cada una de las muestras en estudio. Según (Becerra et al, 2011: p. 169-174) para determinar la velocidad del sonido en cada una de las mezclas establecidas se puede partir del módulo de Young mediante la relación que se establece en la ecuación 3-2.

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [\text{Ec. 3-2}]$$

Dónde:

v_s : Velocidad del sonido

E : Módulo de Young

ρ : Densidad

2.4.6. Simulación del comportamiento acústico de un ambiente con las propiedades obtenidas de cada una de las mezclas propuestas

En el interfaz principal de Comsol Multiphysics, seleccionar la opción asistente de modelo.

1. En la ventana que se despliega, seleccionar 2D.
2. En la ventana seleccionar física: dentro de la pestaña acústica desplegamos las opciones de presión acústica y seleccionamos Presión acústica, frecuencia (acpr) con doble click.
3. Seleccionar la flecha estudio y seleccionar, dentro de estudios generales Dominio de la frecuencia.
4. Click en Hecho.

Una vez generado el archivo en blanco, en la parte izquierda en la ventana constructor de modelo se debe ir configurando cada una de las pestañas que se muestran dentro de la ventana, de la siguiente forma:

Definiciones globales:

Parámetros

Se debe definir los parámetros para la simulación para esto es importante en la pestaña Parámetros 1, en el ícono cargar desde archivo seleccionar el archivo porous_absorber_parameters.txt que contiene los parámetros predeterminados para realizar la simulación correctamente.

Dentro de parámetros se deben definir los valores de W y H que son los valores para generar el área de la cara incidente del ladrillo por ello será: 27.5 y 10 cm respectivamente. Además, se desprecian

bordes de 0.5cm que se los debe definir en Hp y Hpml.

Componente 1:

Definiciones:

En este apartado se define los campos para las variables y las operaciones para que el estudio se desarrolle con normalidad, así tenemos que se debe seguir los siguientes pasos:

1. En la barra de inicio, dentro del casillero definiciones en la pestaña de variables seleccionamos la opción variable local.
2. En la ventana, seleccionamos la opción cargar desde archivo.
3. En el buscador, en las librerías de Comsol, seleccionamos el “archivo porous_absorber_variables.txt” que permite que el software genere la matriz de memoria en donde se van almacenando los resultados de la transición de la simulación.
4. Repetimos los pasos 1,2 y 3 pero con el archivo “porous_absorber_analytical.txt” que permite que el software genere la linealización del comportamiento acústico y se pueda definir con mayor facilidad el coeficiente acústico.
5. Además, es necesario agregar las operaciones para ello en la pestaña de definiciones, en el apartado acoplamiento no locales se debe agregar dos integrales: una que parta del punto superior y otra del inferior de la geometría.
6. Finalmente, se debe agregar con los descritos en el numeral cinco una operación promedio que permitirá linealizar el comportamiento acústico.

Geometría:

La geometría para analizar es sencilla, pues la cara que incide se un rectángulo, que para construirlo se debe seguir los siguientes pasos:

1. Dentro de la pestaña componente 1, en la opción geometría damos click derecho y seleccionamos rectángulo.
2. A la derecha se nos habilita la ventana ajustes, donde definimos altura y ancho.
3. En la ventana de constructor de modelo, click derecho sobre geometría y construir todo.

Materiales:

Para este caso se usará dos tipos de materiales el aire cuyas datos y propiedades serán extraídos de la librería de Comsol Multiphysics y cada una de las muestras con sus respectivas proporciones, para ello se debe realizar lo siguiente:

1. En la barra de tareas en el menú Inicio, click en Agregar Material.
2. En la ventana que se genera, en la biblioteca buscar aire.
3. Click en añadir material.

4. Luego, en la barra de inicio en la pestaña de materiales. Click en añadir material en blanco.
5. En el constructor de modelo, en la pestaña de definiciones globales, seleccionamos el material establecido.
6. En la pestaña de ajustes, en propiedades del material. Seleccionamos los datos del módulo de acústica, y llenamos los datos de densidad, porosidad y c (velocidad del sonido).
7. En la barra de inicio, en la pestaña de definiciones, seleccionamos la opción capas perfectamente ajustadas para suponer un comportamiento homogéneo.

Presión Acústica, Frecuencia Dominante (acpr)

1. En el Constructor de modelo, en la pestaña de presión acústica seleccionar Background Pressure Field 1.
2. En la ventana de ajustes que se abre a la derecha, Seleccionar el dominio la cara mayor.
3. En la barra de tareas, en la pestaña de física, en la opción de dominios seleccionar poroacústica.
4. En la ventana de ajustes que se despliega, en la pestaña modelo de poroacústica, seleccionar el modelo Johnson-Champoux-Allard (JCA).
5. En la misma ventana, pero en la pestaña Propiedades de la matriz porosa, seleccionar el material de la muestra en estudio.
6. En la barra de tareas, en la pestaña de inicio, seleccionar la opción contornos. Seleccionar tres, el área mayor y las áreas a despreciar.

Mallado

El mallado definirá el punto de convergencia de la simulación, por ello es importante su selección. Para conseguir el resultado adecuado se ha recurrido al constructor de mallado de la física en estudio. Para ello se sugiere un mallado triangular de calidad media de 0.927 con 1186 triángulos sobre su superficie. Con un tamaño máximo del elemento de 0.0102 m y un tamaño mínimo de 3.44×10^{-5} m. Considerándose un mallado fino. Para ello se describe los pasos llevados a cabo.

1. En el constructor de modelo, seleccionamos la pestaña de Mesh 1.
2. En la pestaña de ajustes de la malla, seleccionamos Malla controlada por la física
3. Luego en Tamaño del elemento, seleccionamos Fina.
4. Click derecho sobre mesh, y seleccionamos construir todo.

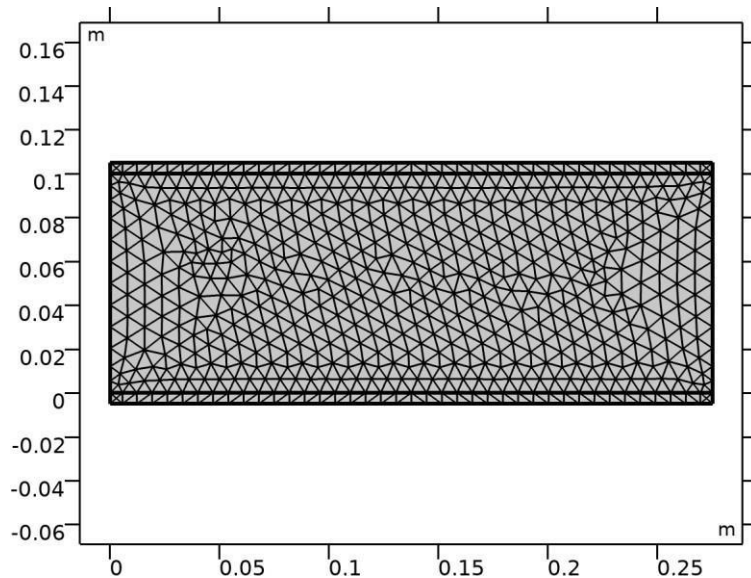


Figura 7-2: Mallado propuesto para las simulaciones realizadas

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

Estudio 1

Aquí, se definirán las condiciones para la simulación. Para ello se debe considerar los siguientes pasos:

Dominio de la frecuencia

1. En el constructor de modelo, click en la pestaña de Estudio 1, en Paso 1: Frequency Domain
2. En la ventana de ajustes, en la pestaña de configuración del estudio frente a frecuencias. Click en el botón intervalo.
3. En la ventana que se habilita, en método de entrada seleccionamos Frecuencias ISO preferenciales. En frecuencia de inicio: 10. Frecuencia final: 10000. Y en intervalo seleccionamos 1/24 octava.
4. Click en reemplazar.

Barrido Paramétrico

Permite configurar los ángulos de incidencia para ello es importante seguir los siguientes pasos:

1. En el constructor de modelo, click en la pestaña de Estudio 1, en Parametric Sweep
2. En la ventana de ajustes que se abre, click en añadir, para que aparezca la tabla.
3. Llenamos la table en parameter name: theta0 y en parameter value list 0 [deg] 45 [deg].
4. Click en compute.

Para simular es necesario dar click derecho sobre Estudio 1, calcular.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestra los datos obtenidos para cada una de las muestras tanto en los ensayos como en las simulaciones. Seguidamente se analiza el comportamiento de cada uno en cuanto a la presión sonora que es capaz de absorber.

3.1. Resultados obtenidos de ensayos

3.1.1. Fabricación del ladrillo

Los ladrillos fueron fabricados artesanalmente en el cantón Chambo, de acuerdo con las proporciones que se muestra en la Tabla 1-3. Se elaboraron 10 ladrillos de cada mezcla que permitieron realizar los ensayos pertinentes.

Tabla 1-3: Proporción de agregados en cada mezcla

	Arcilla	PET	Caucho	Agua
Mezcla 1	50%	20%	0%	30%
Mezcla 2	40%	20%	10%	30%
Mezcla 3	40%	10%	20%	30%
Mezcla 4	40%	15%	15%	30%
Mezcla 5	50%	0%	20%	30%

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

Además, para los ensayos se consideró dos ladrillos de fábricas diferentes, que son consideradas muestras estándar a las cuales se les denominará N1 y N2. Y permitirá valorar el cambio del comportamiento.

3.1.2. Ensayo de densidad

Para obtener los datos de densidad que se muestran en la Tabla 2-3 se tomó en cuenta cuatro probetas obtenidas del ladrillo con dimensiones de 50x50mm. Su masa fue medida con una balanza electrónica con precisión del 0,1 g. Y el volumen en un caso de precipitación de precisión 10 ml. La muestra fue recubierta de papel Film de cocina para evitar que el ladrillo absorba agua y dañe la medida de volumen tomada.

Tabla 2-3: Resultados de las medidas de densidad

	DENSIDAD [Kg/m ³]				Promedio
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	
Muestra 1	1297,3	1350,2	1315,1	1345,1	1326,93
Muestra 2	1320,3	1300,3	1340,5	1324,3	1321,35
Muestra 3	1305,7	1296,5	1329,8	1315,5	1311,88
Muestra 4	1309,1	1306,2	1305,3	1310,3	1307,73
Muestra 5	1289,5	1298,3	1303,7	1297,1	1297,15
Muestra N1	1387	1385,9	1390,5	1386,3	1387,43
Muestra N2	1401,4	1405,7	1399,2	1400,4	1401,68

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados obtenidos del ensayo de densidad se muestran mediante diagramas de barras en el Gráfico 1-3.

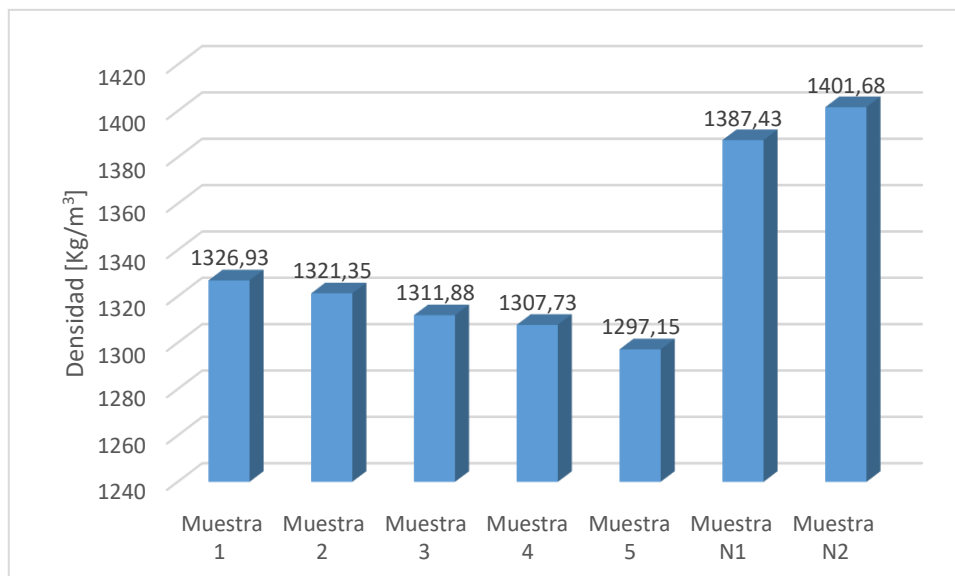


Gráfico 1-3: Diagrama de barras de los resultados del ensayo de densidad

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

3.1.3. Ensayo de Porosidad

Para obtener los datos que se muestran en la Tabla 3-3, las probetas ingresaron en la estufa de secado hasta obtener un peso constante en un total de 26 horas. Luego fueron sumergidas en agua destilada por 32 horas tiempo en el cual su peso fue constante.

Tabla 3-3: Resultados de las medidas de porosidad

	PESO [g]		[%]
	En seco	En mojado	Porosidad
Muestra 1	2517,3	3138,7	19,80
Muestra 2	2625,2	3205,2	18,10
Muestra 3	2710,5	3304,8	17,98
Muestra 4	2781,2	3310,5	15,99
Muestra 5	2811,1	3203,1	12,24
Muestra N1	2617,4	3017,2	13,25
Muestra N2	2534,2	3124,7	18,90

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

El Gráfico 2-3 indica los resultados obtenidos del ensayo de porosidad mediante diagramas de barras.

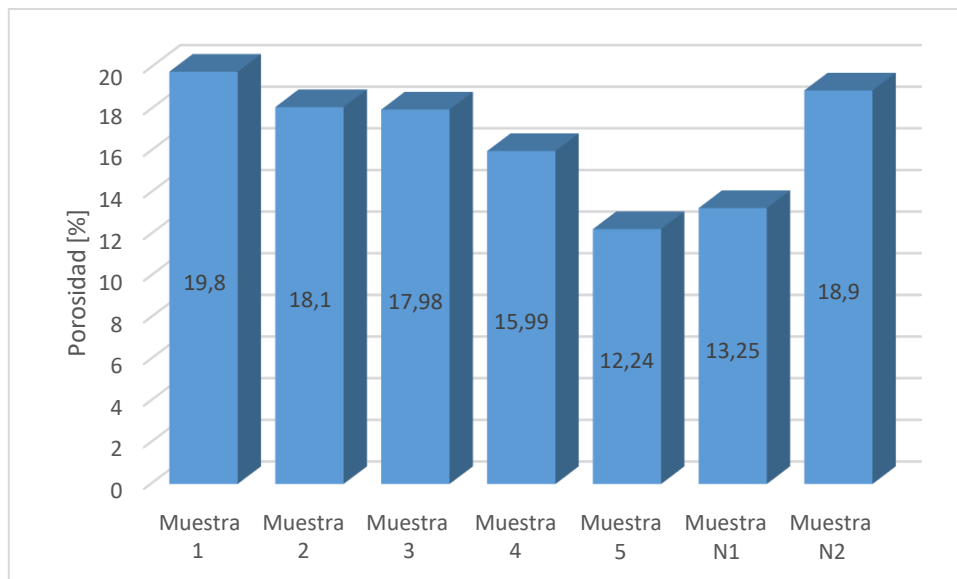


Gráfico 2-3: Diagrama de barras de los resultados del ensayo de porosidad

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

3.1.4. *Ensayo resistencia mecánica*

Para obtener los datos que se muestran en la Tabla 4-3, se recurrió al ensayo de flexión en donde se obtuvo los datos de esfuerzo y deformación que fueron utilizados para hallar el módulo de Young (Ecu 1-2) y posteriormente la velocidad del sonido.

Tabla 4-3: Características mecánicas del ladrillo

	[kgf]	[N]	[mm]	[Pa]	[m/s]
	Fuerza máxima	Δw	Módulo de Young	Vel sonido	
Muestra 1	103	1010,43	0,5	2131,38	1,27
Muestra 2	102	1000,62	0,6	1758,90	1,15
Muestra 3	237	2324,97	0,4	6130,29	2,16
Muestra 4	302	2962,62	0,5	6249,28	2,19
Muestra 5	450	4414,5	0,5	9311,84	2,68
Muestra N1	336	3296,16	0,5	6952,84	2,24
Muestra N2	398	3904,38	0,4	10294,75	2,71

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados obtenidos de las velocidades de sonido para cada muestra se indican mediante diagramas de barras en el Gráfico 3-3.

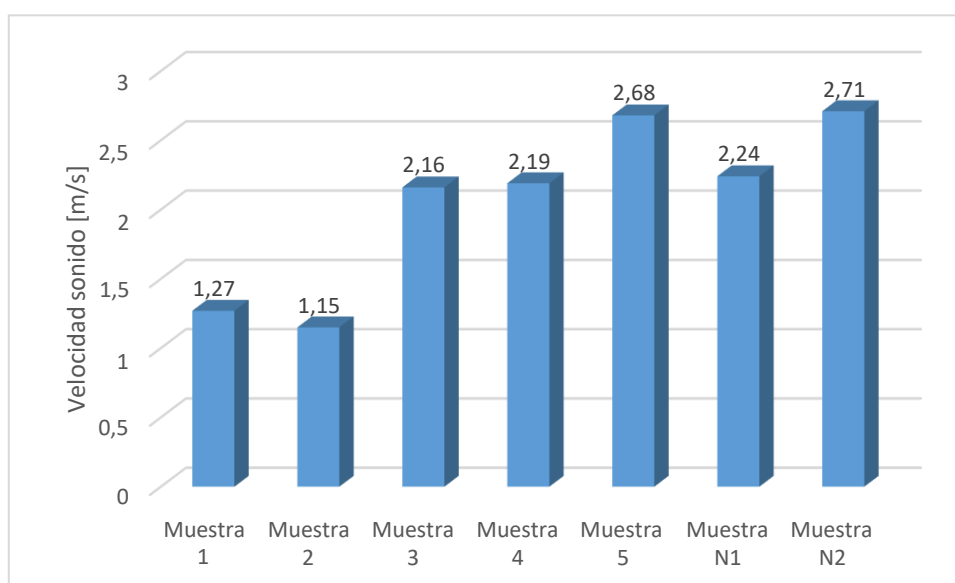


Gráfico 3-3: Diagrama de barras de los resultados de la velocidad del sonido

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Estos valores son importantes tomando en cuenta que forman parte de la caracterización del material, y permitirán desarrollar la simulación del comportamiento acústico para cada una de las mezclas propuestas. Por ello los ensayos se realizaron en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias y en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.2. Simulación para obtener el coeficiente de absorción acústica (α)

Para obtener los datos que se describen a continuación se cumplió el procedimiento descrito en el numeral 2.4.4. del marco metodológico para cada una de las mezclas planteadas para el estudio, obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

Se debe anotar que los análisis fueron simulados una frecuencia inicial de 10 Hz y una final de 10KHz. Con pasos 1/24 de octava. Con ello las gráficas de interés que se obtienen son:

- Presión sonora vs la Frecuencia
- Impedancia vs Frecuencia
- Coeficiente de absorción vs Frecuencia

Las mismas que se obtienen de la simulación en 2D aplicada a la cara donde incide directamente el sonido. Además, de una simulación en 3D donde se muestra la distribución del nivel de la presión sonora.

3.2.1. Resultados de la simulación para la Mezcla 1

En la simulación 3D de la que se obtiene un esquema de la distribución del nivel de presión sonora en el ladrillo, se observa que posee un comportamiento uniforme, que se puede observar con los colores rojo y amarillo de la muestra simulada. Además, el valor de la frecuencia que entra en resonancia el ladrillo es relativamente alto de 99.88 Hz. Se identifica que la mayor parte del área de incidencia de la presión sonora es de 80 dB (40%), seguida de la de 90 dB (30%). La Figura 1-3 indica el fenómeno descrito de una forma gráfica mediante la barra de colores.

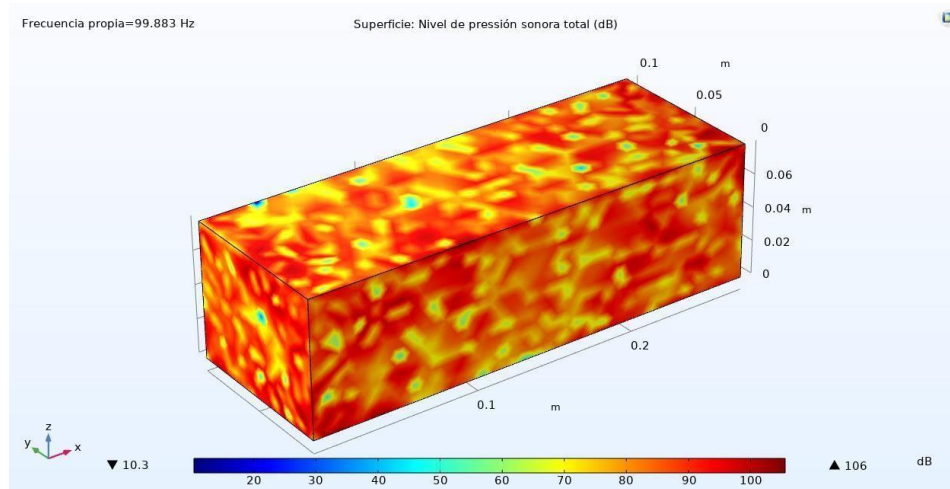


Figura 1-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 1

Realizado por: Gaibor, Juan, 2021.

Para la obtención del coeficiente de absorción acústica se realiza la simulación en 2D en la cara frontal del ladrillo considerando que este elemento será parte de una mampostería y por tanto la incidencia de la onda del sonido se dará de forma directa.

Del resultado de esta simulación se obtienen los siguientes gráficos que serán interpretados con el objetivo de definir cuál de las mezclas es la que mejor comportamiento acústico presenta y por ende ser considerado como aislante.

a) Presión sonora vs la Frecuencia

En el Gráfico 4-3, se puede observar que la presión máxima se produce a una frecuencia de 170Hz con un valor de presión sonora de 3.8 Pa y ocurre para las frecuencias con un ángulo de inclinación a 45°. Mientras que para el ángulo de incidencia de 0° la Presión máxima es 2 Pa y presenta una variación mínima hasta una frecuencia de 100 Hz, luego empieza a decrecer.

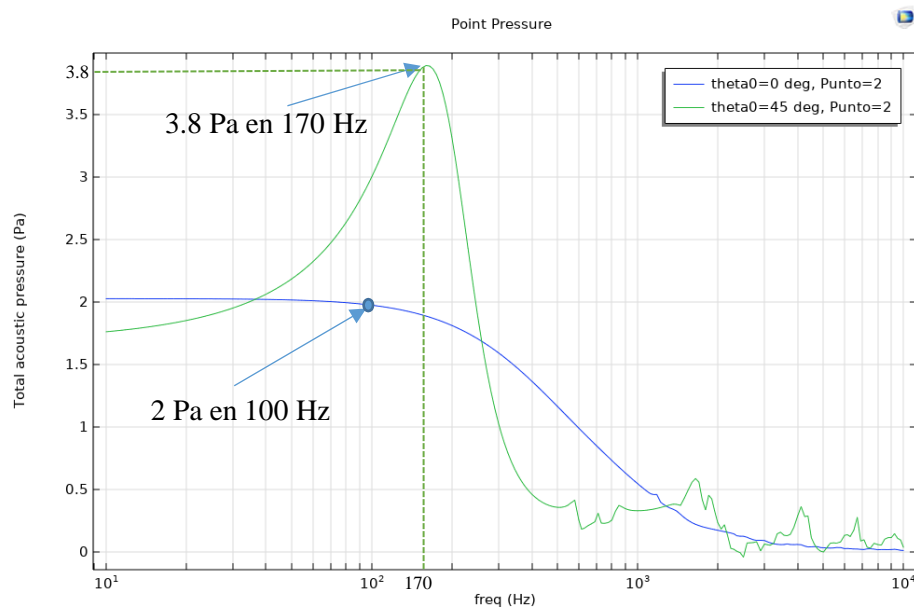


Gráfico 4-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Del Gráfico 4-3 se puede observar que el ángulo de incidencia más crítico es el de 45°.

b) Impedancia vs Frecuencia

En el Gráfico 5-3 se puede observar que la impedancia presenta el primer fallo crítico a la frecuencia de 600 Hz para la curva que representa el comportamiento de la impedancia a 45°. Se aprecia, en la curva analítica para 45° que el valor máximo es de $Z=0.115$ en 8.5 KHz.

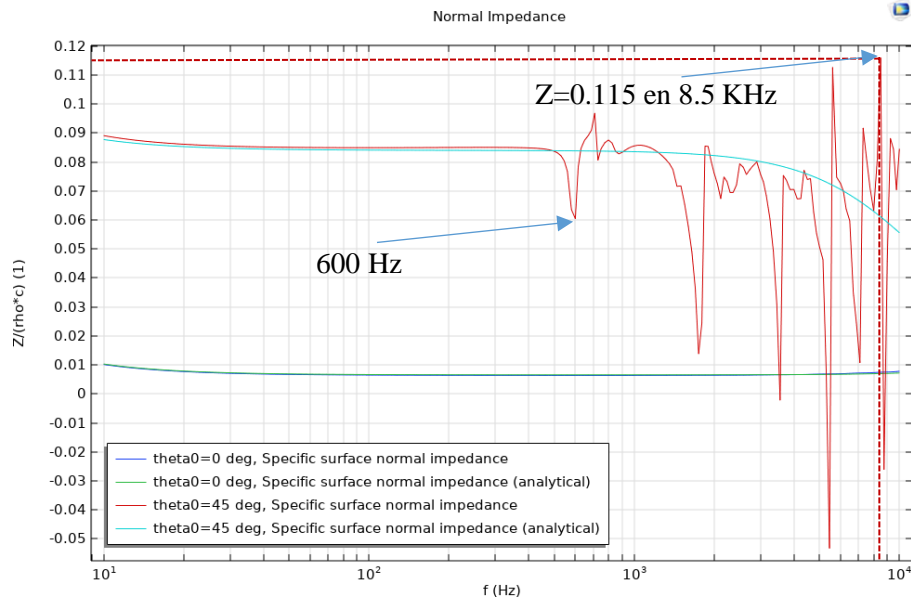


Gráfico 5-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Se puede observar que la curva con un ángulo de incidencia de 0° presenta un comportamiento constante, caso contrario la onda a 45° presenta una variabilidad en sus valores de impedancia.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

Tomando en cuenta que este parámetro es indispensable para determinar el material que mejor se comporte como aislante acústico se tomará en cuenta varios aspectos a analizar. Tanto a 0° como a 45° de inclinación en la incidencia de las ondas sonoras sobre el material.

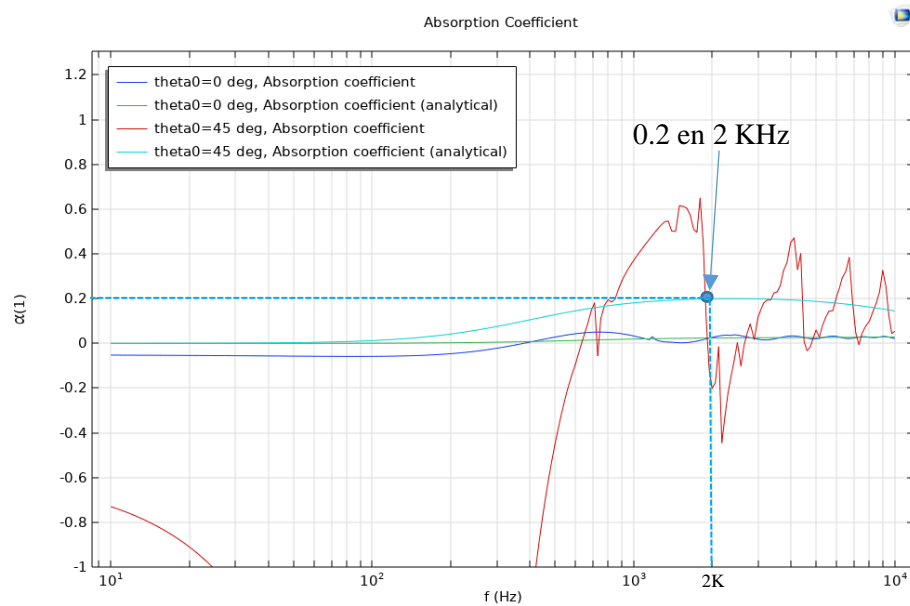


Gráfico 6-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

En el Gráfico 6-3, se observa cuatro ondas. Relacionadas de dos en dos, un par para el ángulo de incidencia de 0° y el otro para el de 45° . La onda de sonido a 45° que corresponde al coeficiente de absorción analítico (línea cian), describe la linealización de la onda de sonido a 45° del coeficiente de absorción (línea roja). Y ambas responden a la variación de α en función de la frecuencia con un ángulo de incidencia de 45° . El coeficiente de absorción seleccionado tiene un valor de 0.2 a la frecuencia de 2 KHz, mostrado en la curva del ángulo de inclinación a 45° analítica.

3.2.2. Resultados de la simulación para la Mezcla 2

En la Figura 2-3 se observa el resultado de la simulación 3D que indica la distribución del nivel de la presión sonora. Se evidencia que la distribución es uniforme y de valores que se concentran principalmente alrededor de los 75 dB. Además, el valor de la frecuencia que entra en resonancia el ladrillo es relativamente alto de 99.878 Hz.

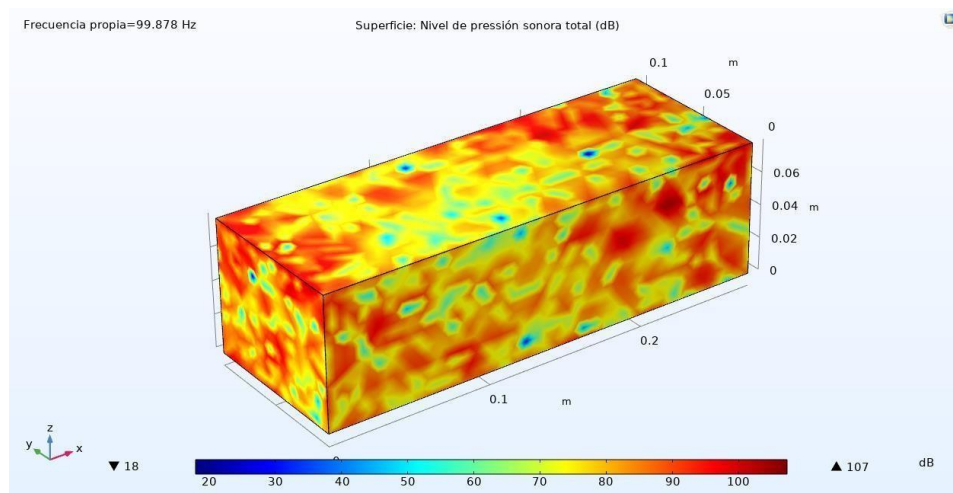


Figura 2-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

a) Presión sonora vs la Frecuencia

En el Gráfico 7-3, se observa que la presión máxima se produce con la frecuencia de 300Hz con un valor de 2 Pa y se indica en la curva con un ángulo de incidencia con a 45° ; para la curva que representa un ángulo de incidencia de 0° se mantiene un comportamiento constante hasta la frecuencia de 300Hz, para luego empezar a decrecer.

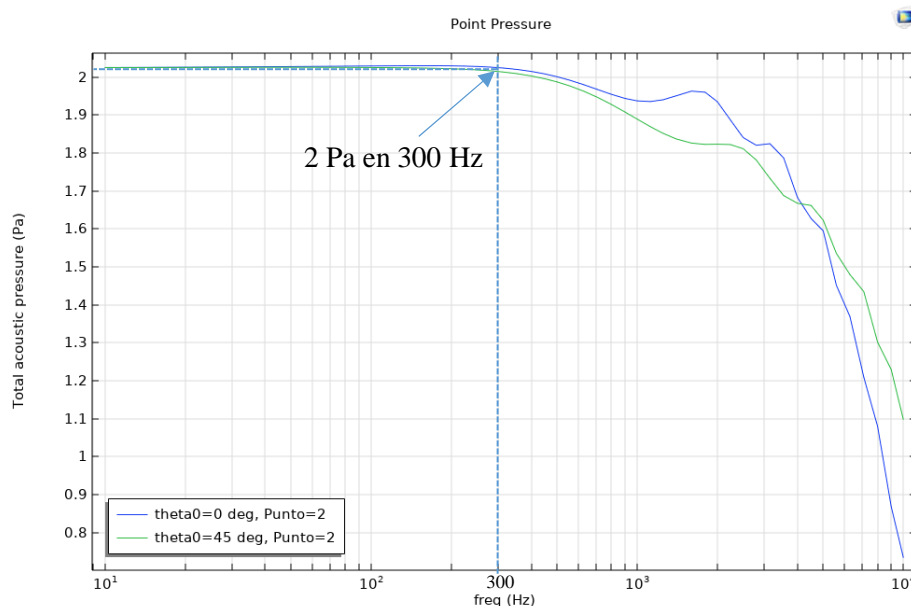


Gráfico 7-3 Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

En el Gráfico 8-3 se observa que la impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta en ambos casos, además la linealización y el comportamiento real casi no poseen variación. En este caso la impedancia o resistencia a 45° es mayor que a 0°. La impedancia máxima obtenida es de 20 hasta los 20 Hz (theta0=45 deg, Specific Surface normal impedance) y luego decrece exponencialmente.

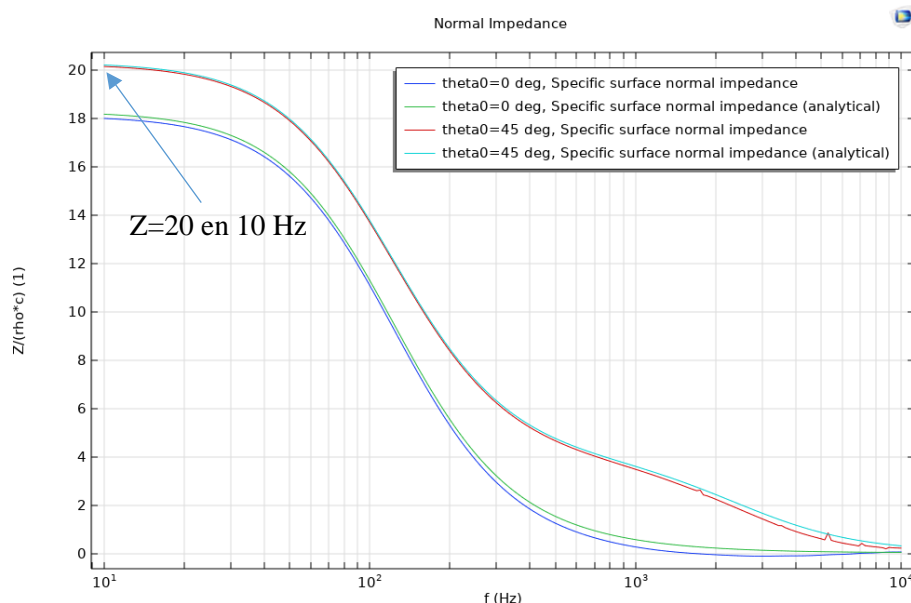


Gráfico 8-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

La mezcla M2 en comparación con la M1 presenta un comportamiento uniforme en la gráfica impedancia vs frecuencia.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

La curva seleccionada para la obtención del coeficiente de absorción es la obtenida por el ángulo de incidencia a 45° como se observa en el Gráfico 9-3, donde se indica que el coeficiente de absorción acústica máximo es de 0.35 que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° (theta0=45 deg, Absorption coefficient (analytical)) a los 10Khz. Además, se puede evidenciar que las variaciones en el comportamiento del coeficiente son menores que en el caso anterior.

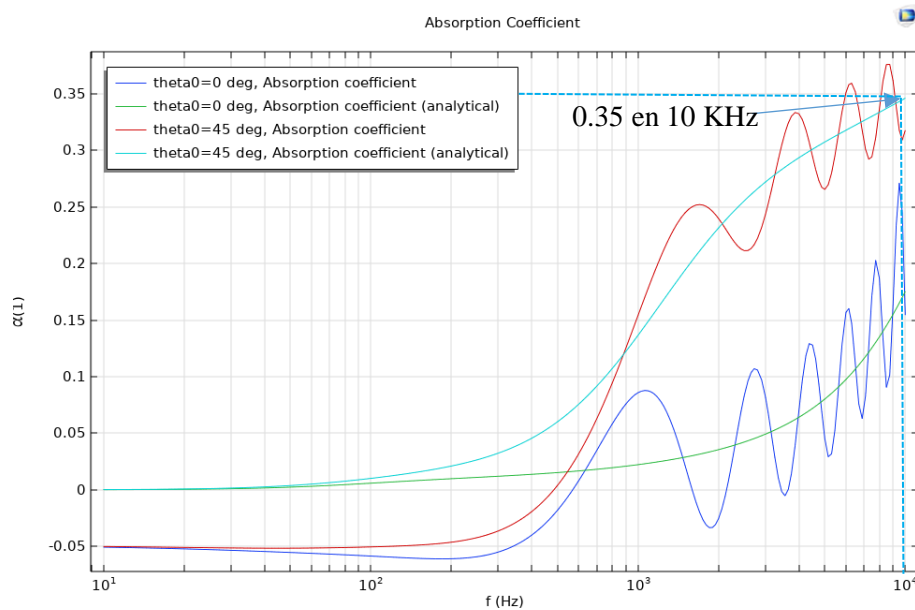


Gráfico 9-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021

3.2.3. Resultados de la simulación para la Mezcla 3

En la Figura 3-3 se observa el resultado de la simulación 3D que indica la distribución del nivel de la presión sonora para la mezcla 3. Si bien se observa una distribución uniforme se observa varias áreas cuyo nivel varía alrededor de 2 valores: 90 dB y 80dB. Además, se puede observar que la frecuencia de resonancia es de 99.696 dB, que es relativamente alta.

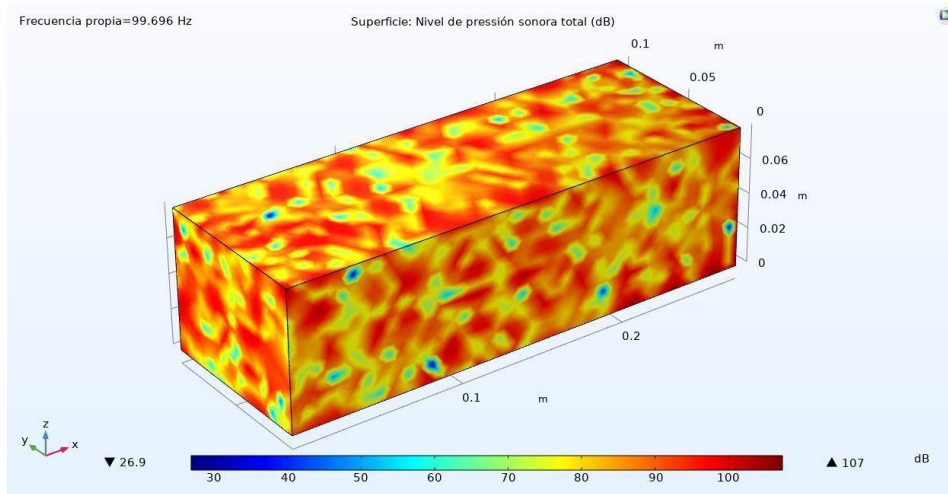


Figura 3-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 3

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados de la simulación en 2D para la mezcla 3, se muestran a continuación:

a) Presión sonora vs la Frecuencia

En el Gráfico 10-3, se indica que la presión máxima se produce a una frecuencia de 350Hz con un valor de 4.2 Pa y un ángulo de incidencia de 45°. Presenta un comportamiento irregular pues cambia drásticamente a lo largo de la variación de la frecuencia, por lo que se convierte en la crítica.

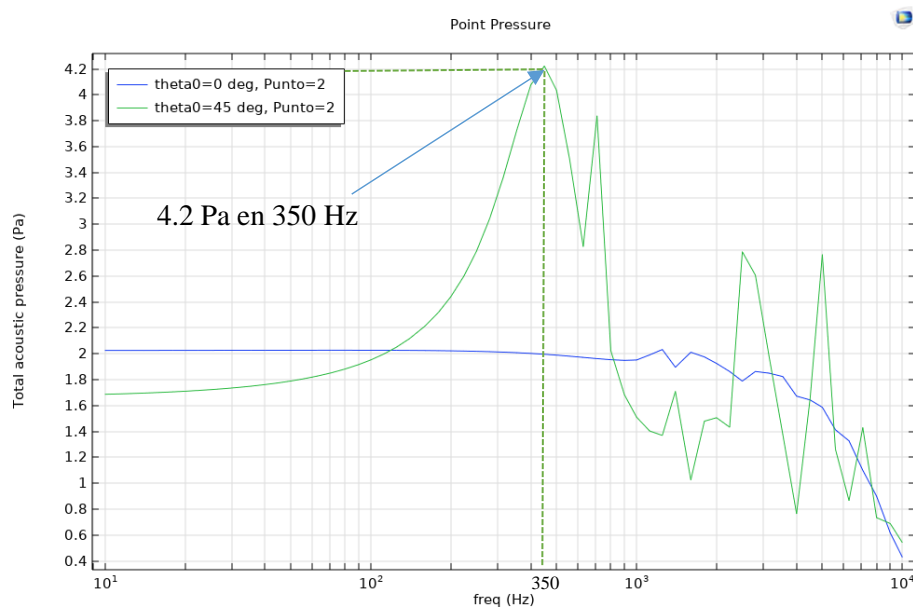


Gráfico 10-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 3

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

La impedancia decrece en el Gráfico 11-3, a medida que la frecuencia aumenta en ambos casos, se puede afirmar que la curva que representa la incidencia a 45° es la crítica (curva roja) por las

variaciones bruscas que presenta en su comportamiento y es la que mayor decrecimiento presenta. La impedancia máxima es de $Z=12$ a los 10 Hz presentando una pequeña variación hasta los 20 Hz, luego decrece.

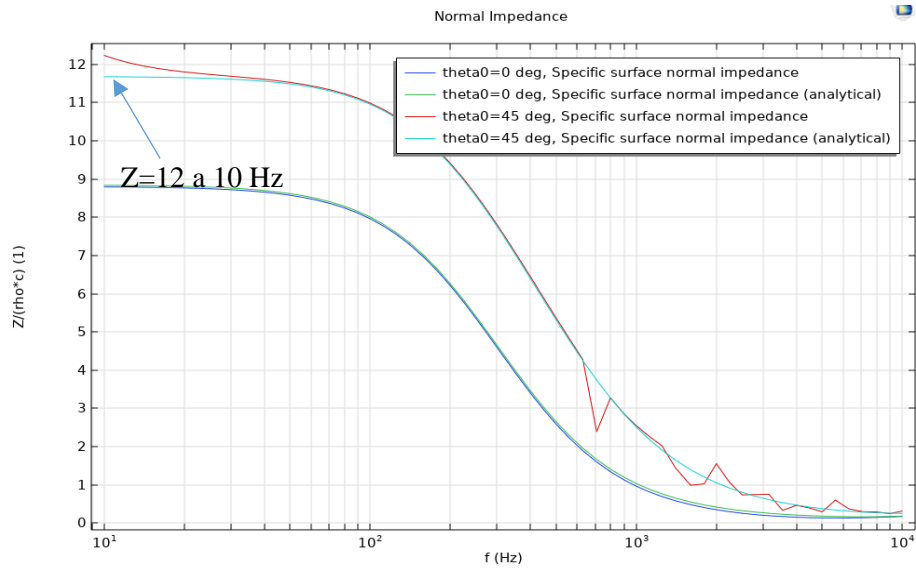


Gráfico 11-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 3

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

El comportamiento de este material es menos estable que el anterior, esto se debe por la distribución de los niveles de frecuencia en la superficie.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

En este caso en específico podemos observar que el coeficiente de absorción acústica linealizado tiene un comportamiento similar para ambos ángulos de incidencia. Sin embargo, se tomará en cuenta el que se considera crítico.

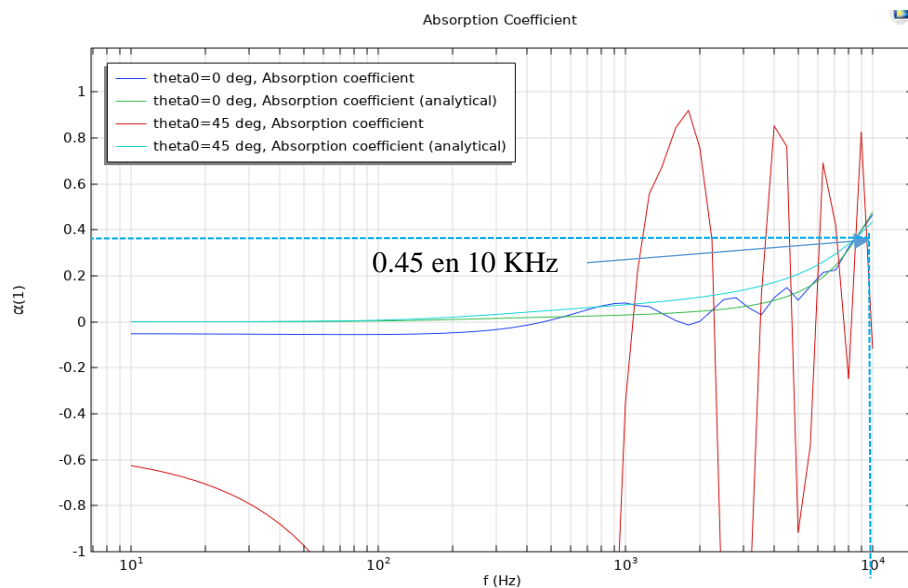


Gráfico 12-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 3

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

El coeficiente de absorción acústico máximo es de 0.45 a los 10 KHz que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° ($\theta=45 \text{ deg}$, *Absorption coefficient (analytical)*) mostrado en el Gráfico 12-3. Además, se puede indicar que existe variaciones en los valores del coeficiente con incidencia de 45° en comparación de la mezcla anterior.

3.2.4. Resultados de la simulación para la Mezcla 4

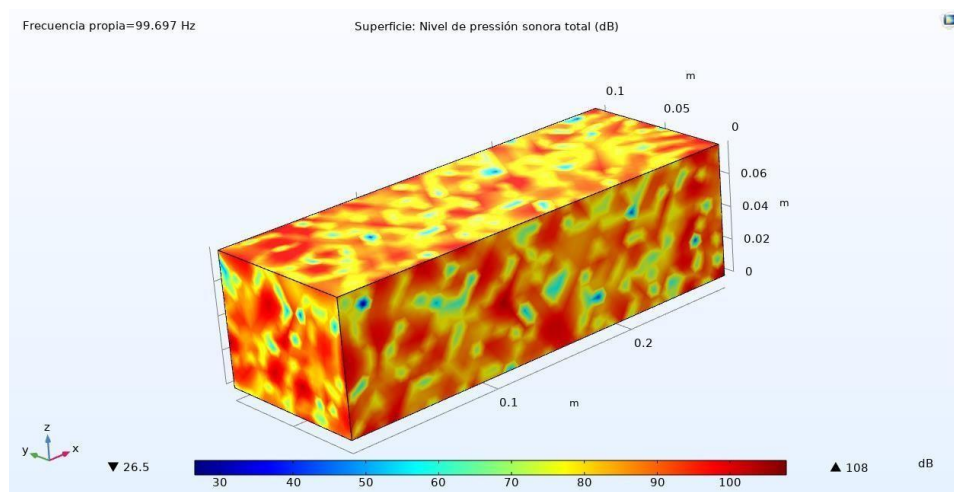


Figura 4-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 4

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

En la Figura 4-3 se observa el resultado de la simulación 3D que indica la distribución del nivel de la presión sonora para la mezcla 4. Se puede notar que los niveles sonoros sobre la superficie son uniformes y que oscilan alrededor de los 80 dB. Sin embargo, se observa áreas menores con un nivel de alrededor de 70 dB distribuidas a lo largo del ladrillo. Podemos notar además que la frecuencia propia es de 99.69 dB, que es relativamente alta.

a) Presión sonora vs la Frecuencia

La presión máxima se produce a una frecuencia de 450Hz con una presión sonora de 4.3 Pa para la curva que representa una incidencia con inclinación a 45°. Se observa que cambia drásticamente a lo largo de la variación de la frecuencia, es decir es la inclinación crítica para considerar, este fenómeno se observa en el Gráfico 13-3.

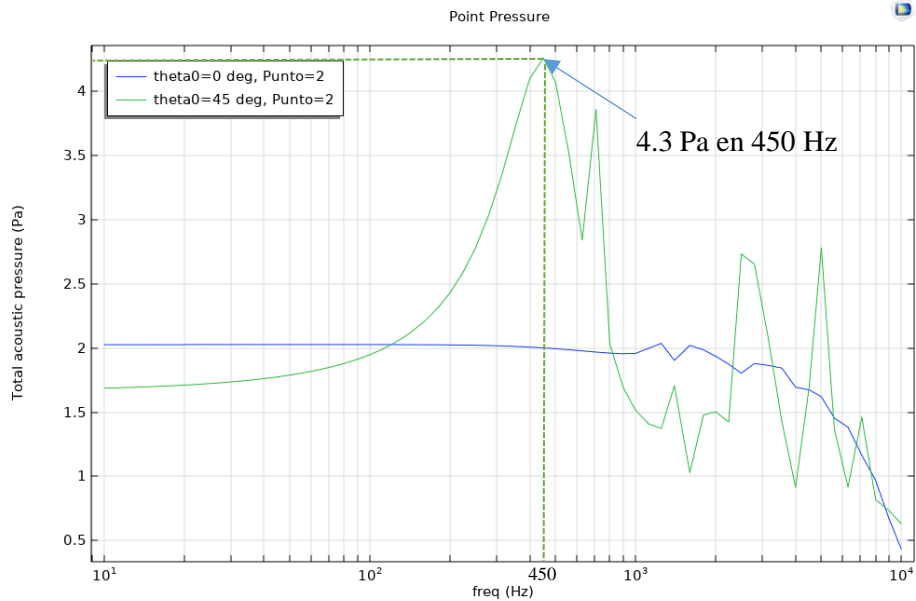


Gráfico 13-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 4

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

En el Gráfico 14-3 se muestra que la impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta en ambos casos. El gráfico nos permite afirmar una vez más que la curva que representa la incidencia a 45° es la que tiene mayor variación en comparación a la de 0°. El valor máximo de $Z=26$ en 10 Hz.

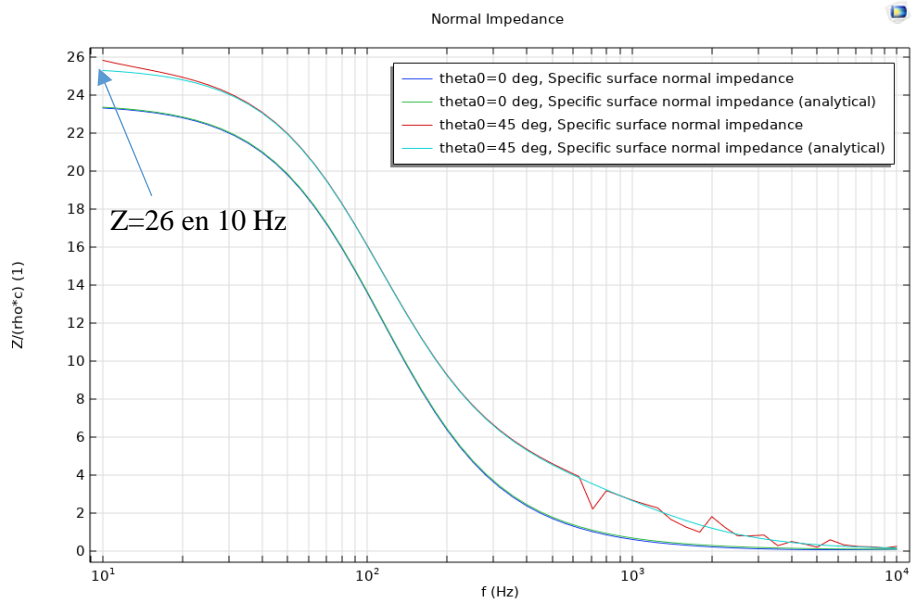


Gráfico 14-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 4

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

Este caso específico permite observar que el coeficiente de absorción acústica linealizado tiene un comportamiento similar para ambos ángulos de incidencia. Lo que es favorable para el material, sin embargo, por ser el elemento crítico se tomará en cuenta el coeficiente que se obtiene de la simulación con una incidencia a 45°.

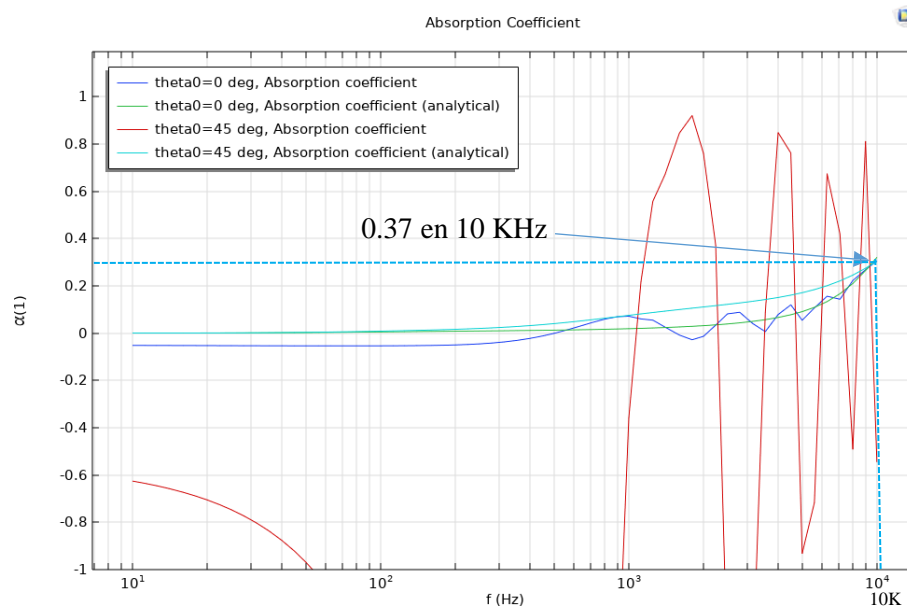


Gráfico 15-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 4

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

El coeficiente de absorción acústico máximo es de 0.37 a los 10 KHz que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° (*theta=45 deg, Absorption coefficient (analytical)*) mostrado en el Gráfico 15-3. Además, se puede indicar que existe variaciones en los valores del coeficiente de absorción con incidencia de 45° en comparación de la mezcla anterior.

3.2.5. Resultados de la simulación para la Mezcla 5

La mezcla 5 presenta el siguiente resultado de la simulación 3D, mostrada en la Figura 5-3, que indica la distribución del nivel de la presión sonora. Los niveles de presión acústica se distribuyen de manera uniforme a los 90dB, seguido por áreas con valores alrededor de 80dB que se pueden observar en la parte central del ladrillo y valores cercanos a 100dB en los extremos de la muestra. Además, mencionar que la frecuencia propia del material es 99.687dB y el nivel de presión sonora máximo que soporta es de 105dB, aunque en muy pocas regiones.

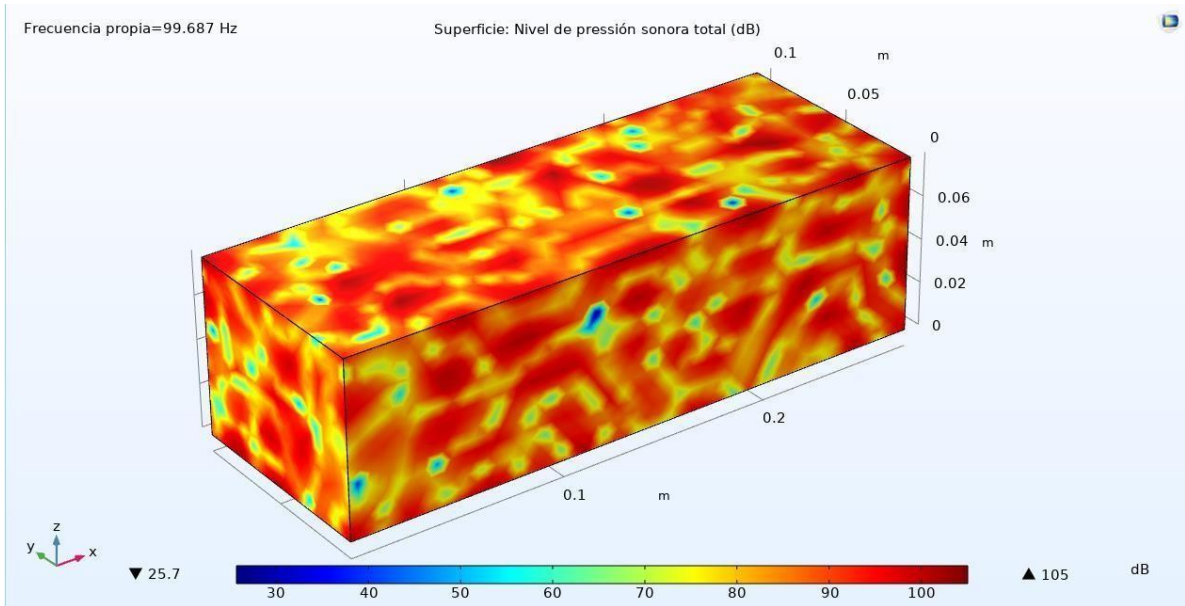


Figura 5-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla 5

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados de la simulación en 2D para la mezcla 5, se muestran a continuación:

a) Presión sonora vs la Frecuencia

El Gráfico 16-3, permite observar que la presión máxima se produce a una frecuencia de 470Hz con un valor de presión sonora de 4.2 Pa en la onda de inclinación a 45°. Su comportamiento cambia drásticamente a lo largo de la variación de la frecuencia, es decir es la inclinación crítica para considerar. Mientras que la curva que describe a la inclinación a 0° si bien presenta variaciones, esta se comporta más estable a lo largo del cambio de frecuencia permaneciendo a 2 Pa hasta una frecuencia de 400 Hz para luego decrecer moderadamente.

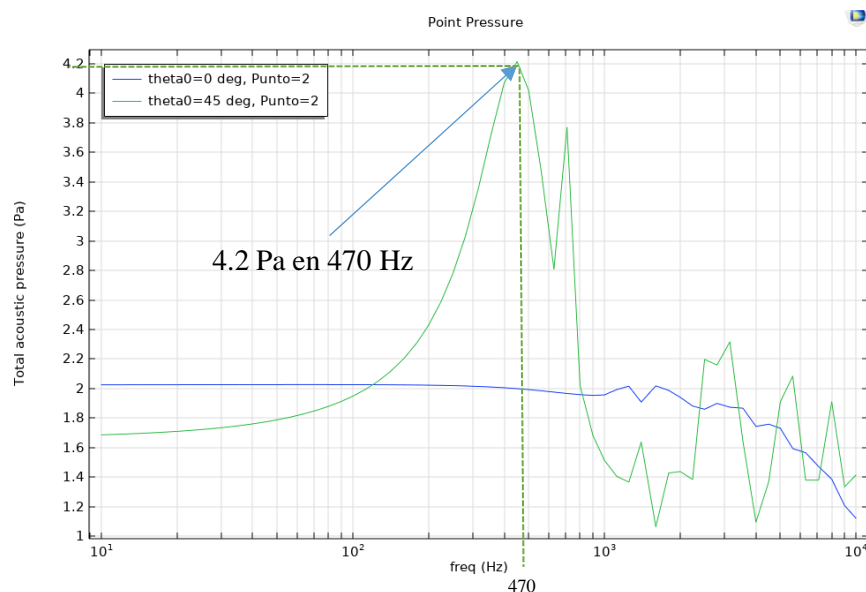


Gráfico 16-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla 5

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

La impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta en ambos casos, como se indica en el Gráfico 17-3. Se observa que la línea que representa a la impedancia del material para las ondas sonoras empieza en el valor máximo de $Z=18$ en 10 Hz y presenta un decrecimiento bajo hasta alcanzar los 100 Hz, y un decrecimiento considerable hasta los 600 Hz y luego de esto empieza un comportamiento inestable. Sin embargo, los rangos en los que cambia el comportamiento son aceptables.

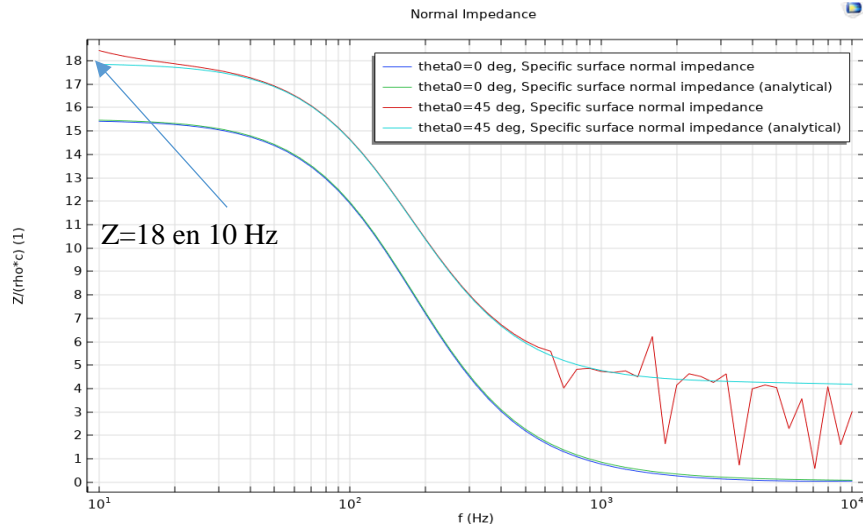


Gráfico 17-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla 5

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

Podemos observar que en el Gráfico 18-3 muestra las curvas del comportamiento del coeficiente de absorción acústica. Es de especial interés la curva con un ángulo de incidencia a 45°.

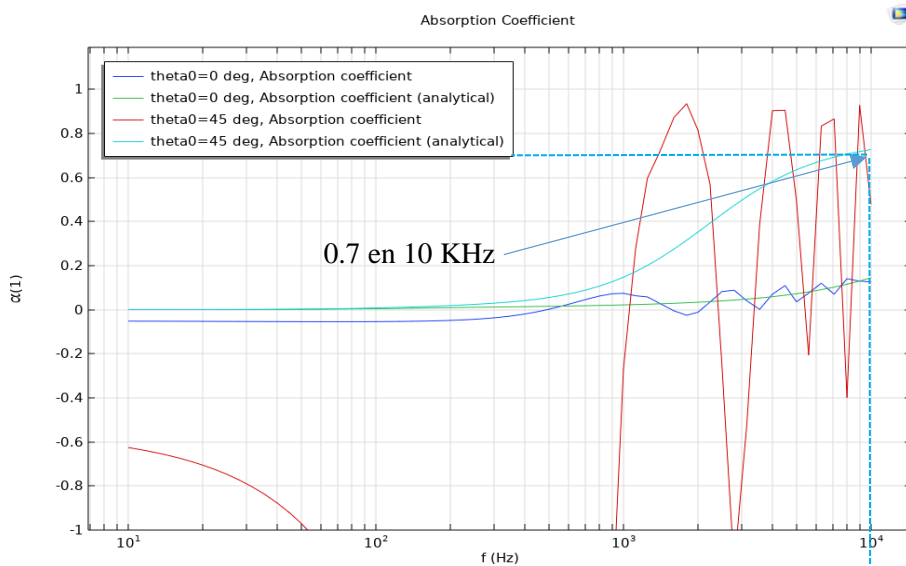


Gráfico 18-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla 5

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los valores del coeficiente de absorción para la mezcla 5 es de 0.7 que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° ($\theta=45 \text{ deg}$, *Absorption coefficient (analytical)*) y se produce a una frecuencia de 10Khz (Gráfico 18-3).

3.2.6. Resultados de la simulación para la Mezcla N1

La simulación 3D mostrada en la Figura 6-3 indica la distribución del nivel de la presión sonora para la mezcla N1. Entre los factores de interés para el análisis se identifican dos zonas de incidencia sobre el ladrillo que están entre los 70 y 90dB.

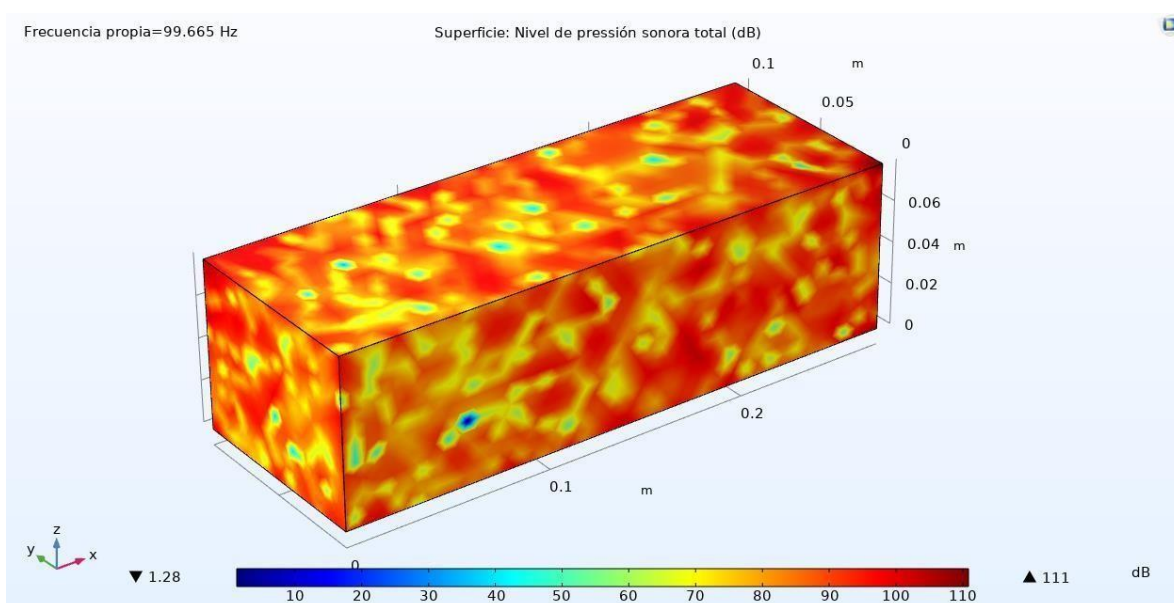


Figura 6-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla N1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados de la simulación en 2D para la mezcla N1, se muestran a continuación:

- a) Presión sonora vs la Frecuencia

En el Gráfico 19-3 el valor la presión acústica es de 4.1 Pa con una frecuencia de 350Hz y con un ángulo de incidencia de 45° de la onda, que presenta un comportamiento irregular en comparación a la curva que describe la incidencia a 0°.

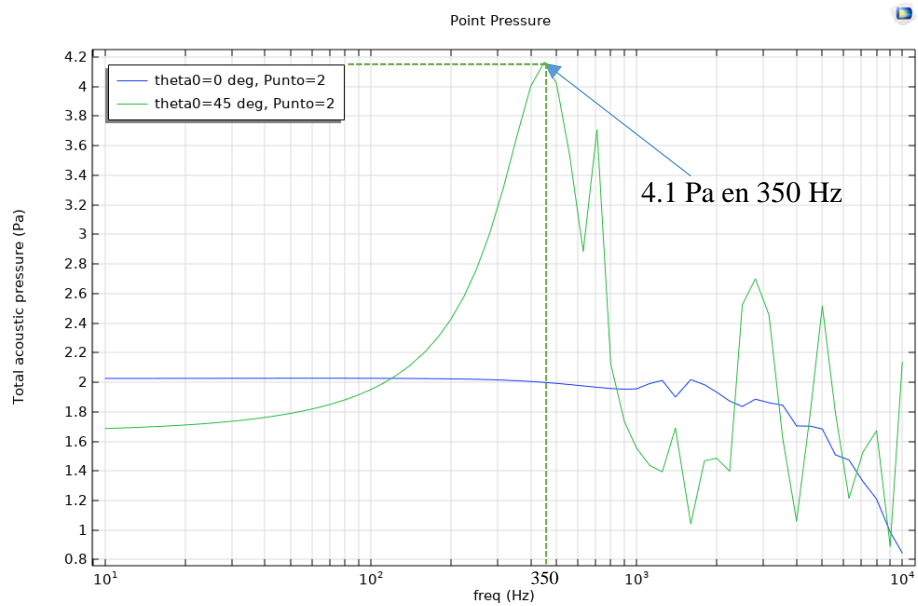


Gráfico 19-3: Presión sonora vs frecuencia para la mezcla N1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

La gráfica impedancia normal (Gráfico 20-3) muestra que la impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta en ambos casos (onda a 45° y 0°). Se observa que inicia en $Z=22$ en 10 Hz y presente un comportamiento irregular al superar la frecuencia de 400 Hz en la curva que representa a las ondas incidentes a 45°.

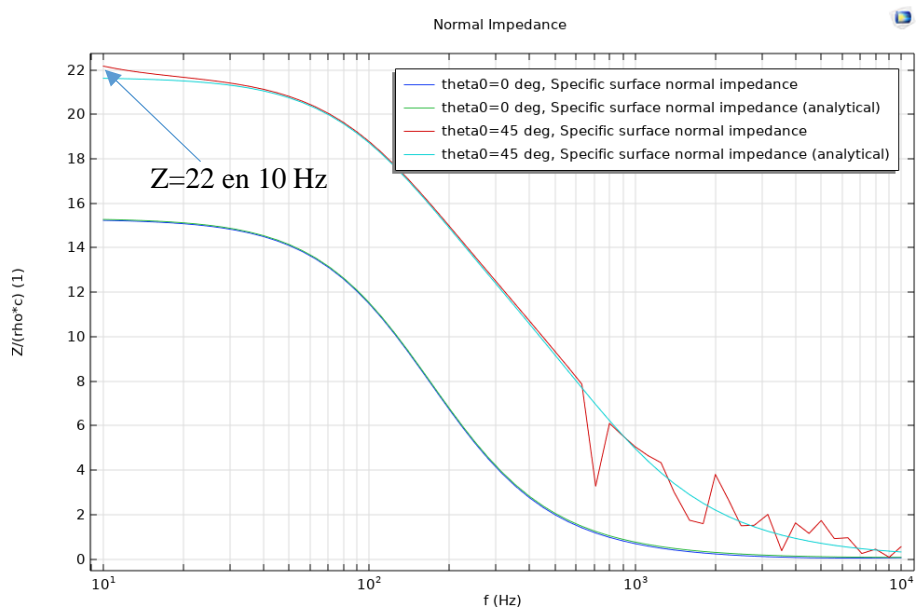


Gráfico 20-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla N1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

Se observa que en el Gráfico 21-3, el comportamiento del coeficiente de absorción acústica del primer ladrillo estándar tiene un valor de 0.30 que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° ($\theta=45^\circ$, *Absorption coefficient (analytical)*) y se produce a una frecuencia de 10Khz. Podemos ver que el comportamiento de la curva es muy variable especialmente por arriba de los 1000 Hz.

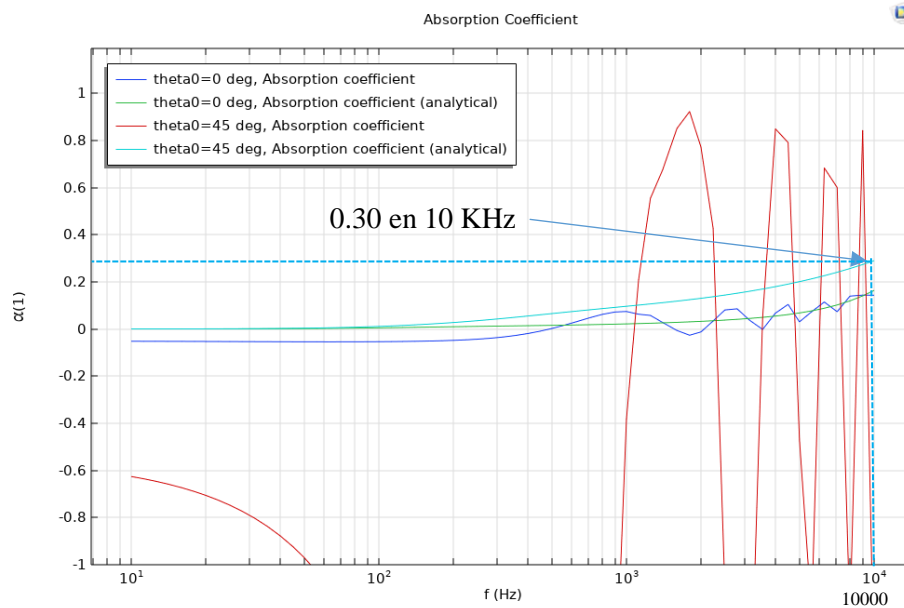


Gráfico 21-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla N1

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

3.2.7. Resultados de la simulación para la Mezcla N2

En la Figura 7-3 se observa el resultado de la simulación 3D que indica la distribución del nivel de la presión sonora para la mezcla N2. En la imagen se puede observar que existe una distribución uniforme con niveles de presión en su mayoría que están en torno a los 90dB. Seguida por aquellas áreas que se ubican alrededor de los 75dB.

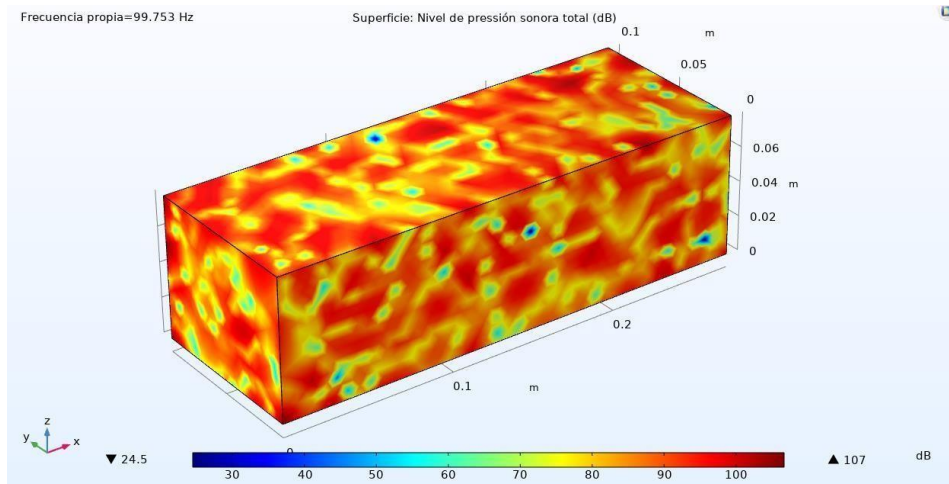


Figura 7-3: Resultado simulación del nivel de presión sonora para la mezcla N2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

Los resultados de la simulación en 2D para la mezcla N2, se muestran a continuación:

a) Presión sonora vs la Frecuencia

En el Gráfico 22-3, se observa que la presión máxima se produce a la frecuencia de 450Hz con un valor de 4.2 Pa para la curva que representa la incidencia a 45°.

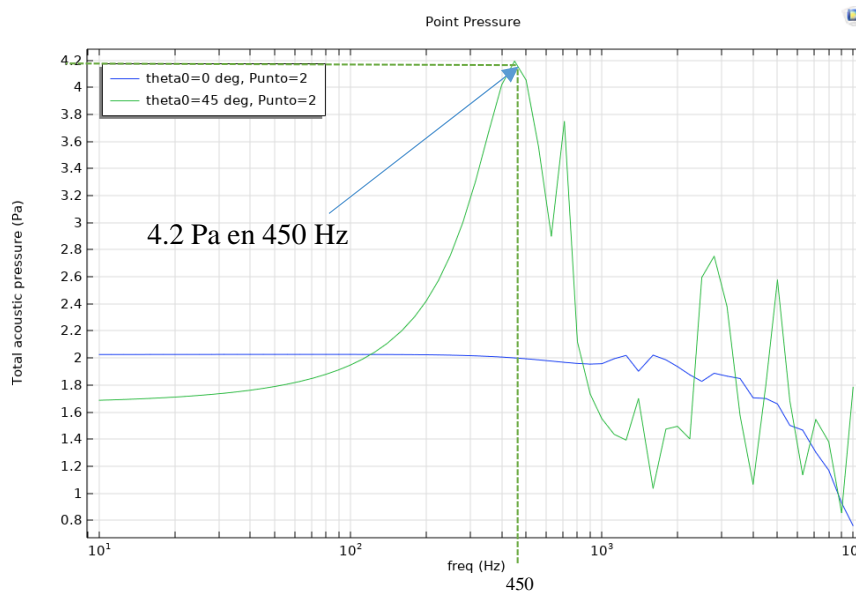


Gráfico 22-3 Presión sonora vs frecuencia para la mezcla N2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

b) Impedancia vs Frecuencia

El Gráfico 23-3 indica el valor máximo de la impedancia $Z=16.5$ a una frecuencia de 10Hz y presenta un comportamiento irregular por arriba de lo 400 Hz en la curva que representa a las ondas incidentes a 45°.

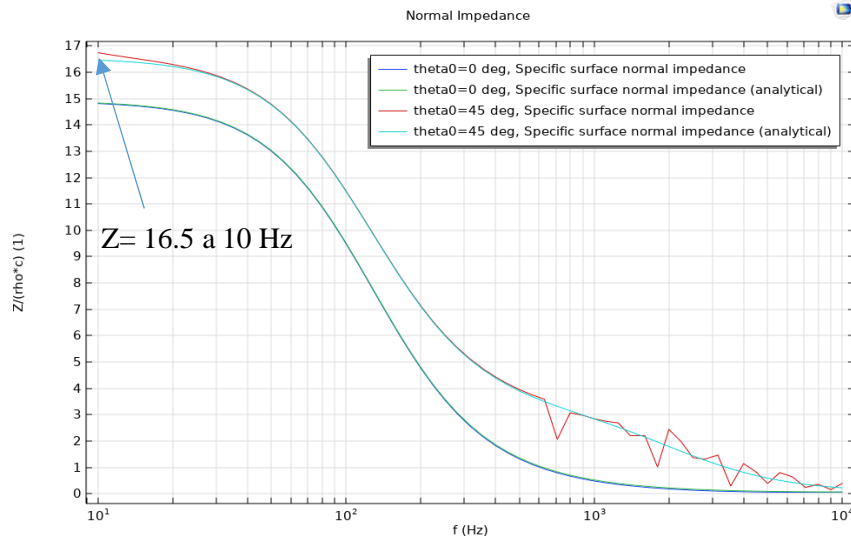


Gráfico 23-3: Impedancia vs frecuencia para la mezcla N2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

c) Coeficiente de absorción vs Frecuencia

El Gráfico 24-3 muestra el comportamiento del coeficiente de absorción acústica de la segunda probeta estándar ensayada, donde el valor es de 0.35 que corresponde a la linealización de la curva que representa al ángulo de incidencia a 45° ($\theta=45 \text{ deg}$, *Absorption coefficient (analytical)*) y se produce a una frecuencia de 10Khz.

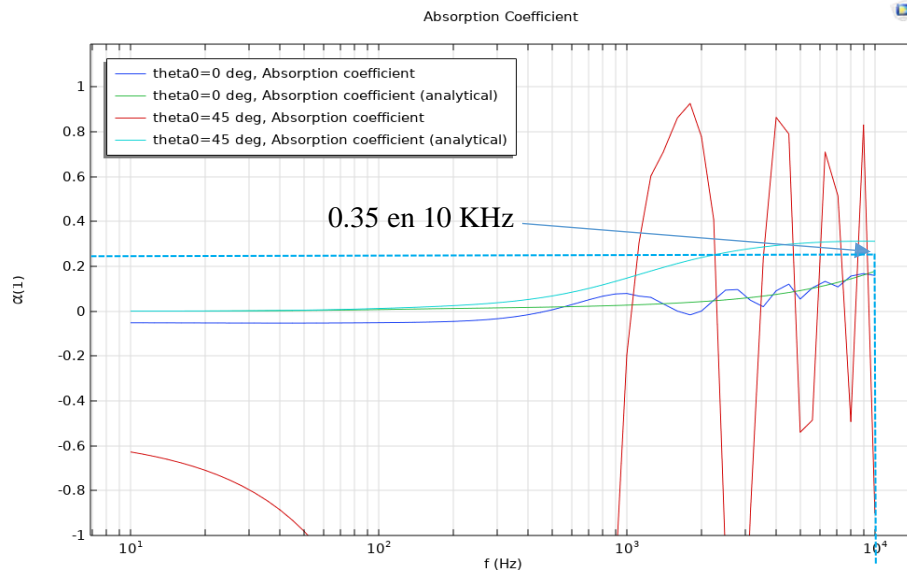


Gráfico 24-3: Coeficiente de absorción vs frecuencia para la mezcla N2

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

La Tabla 5-3 indica el valor del coeficiente de absorción acústica para cada una de las mezclas y muestras estándar analizadas en el proceso de simulación. A partir de estos resultados se podrá concluir cuál de las mezclas estudiadas presenta las mejores condiciones como aislantes acústicos.

Tabla 5-3: Resumen de los resultados obtenidos

	Densidad [Kg/m³]	Porosidad [%]	Velocidad sonido [m/s]	Presión acústica [Pa]	Impedancia acústica (Z)	Coef. Acústico (α)
Mezcla 1	1326,93	19,80	1,27	3.8	0.09	0.20
Mezcla 2	1321,35	18,10	1,15	2.0	20.0	0.35
Mezcla 3	1311,88	17,98	2,16	4.2	12.0	0.45
Mezcla 4	1307,73	15,99	2,19	4.3	26.0	0.37
Mezcla 5	1297,15	12,24	2,68	4.2	18.0	0.70
Mezcla N1	1387,43	13,25	2,24	4.1	22.0	0.30
Mezcla N2	1401,68	18,90	2,71	4.2	16.5	0.35

Elaborado por: Gaibor, Juan, 2021.

3.3. Análisis y Discusión de los datos obtenidos

Del diseño experimental y de las simulaciones realizadas se genera la siguiente discusión de resultados:

En cuanto a la densidad de cada una de las muestras se observa que las mezclas no varían considerablemente en comparación a las muestras estándar. Sin embargo, la densidad más baja es la que presenta la mezcla 5 en la que se tiene un valor de 1297 kg/m³. Lo que representa un 7,5% menos de la muestra estándar N1 y un 8,5% de la muestra N2. Esto es beneficioso pues constituye un aporte a la reducción de peso muerto en una construcción, parámetro importante a controlar especialmente en edificaciones de más de un nivel.

Al analizar los datos obtenidos del ensayo de porosidad se puede anotar que las muestras estándar poseen 13,25 y 18,90% de porosidad. Mientras que la porosidad más alta en las mezclas ensayadas corresponde a la mezcla 1 con 19,80% que es 5% más alto que el porcentaje de porosidad de las muestras estándar. Además, la mezcla 5 con el 12,24% de porosidad que representa una reducción del 8% en relación con la porosidad más baja de las muestras estándar. Se debe tener en cuenta que la porosidad no es un parámetro beneficioso para que un material se comporte como aislante acústico. Se puede evidenciar que la porosidad más baja se da con la muestra que posee únicamente caucho como agregado, y esto sucede debido a que el caucho al calentarse en el proceso de fabricación del ladrillo sella los poros mejor que el PET; estableciendo que en la muestra que se incluye sólo PET se ve una porosidad mayor a la de las muestras estándar, afectando al coeficiente de absorción acústica. Los ensayos de resistencia mecánica permitieron determinar el módulo de Young y la velocidad del sonido en el material, parámetros utilizados en las simulaciones de propagación acústica. De los datos obtenidos y por la revisión bibliográfica se sabe que un material se comportará mejor cuando la velocidad del sonido sea menor. Con estos antecedentes, la mezcla que mejor comportamiento

presenta es la mezcla 2 con una velocidad de 1,15 m/s. Mientras que las muestras N1 y N2 presentan una velocidad de 2,24 y 2,71 m/s valores relativamente superiores.

Todos los parámetros calculados son importantes en el momento de analizar las propiedades acústicas de un material. En ese sentido, estos valores permiten desarrollar las simulaciones en el software Comsol Multiphysics.

Por lo tanto, el cálculo mediante las simulaciones del coeficiente de absorción acústica permite saber cuál de las mezclas mejor se comporta como aislamiento sonoro, en consecuencia, es importante analizarlos y describirlos.

De la Tabla 5-3 podemos inferir que el elemento que presenta peor comportamiento es la mezcla 1 que posee únicamente PET por su comportamiento frente al calor que deja muchos poros lo que permite que el sonido pase con mayor facilidad. De todas las mezclas, la que mejor comportamiento presenta es la mezcla 5, que incorpora el 20% del peso total de su materia prima en caucho, esta mezcla posee un coeficiente de absorción acústica de 0.7 que es 130% mayor que la mezcla estándar N1 y 100% mayor que la mezcla estándar N2, tomando en cuenta que según la normativa para considerar a un material que posea características de recubrimiento para aislamiento acústico, el valor del coeficiente acústico debe estar entre 0.85 y 0.95. El comportamiento más estable del coeficiente de absorción acústico se da en la mezcla 2.

CONCLUSIONES

Para el caso de estudio planteado, el caucho aporta a que el material se comporte como aislante acústico, por lo que es el agregado adecuado para lograr el fin propuesto, esto se da porque al subir la temperatura en el proceso de elaboración del ladrillo se acomoda mejor en los poros, bloqueándolos e impidiendo el paso del sonido a través del material. Con un agregado del 20% de caucho del peso total de la mezcla se obtiene un coeficiente de absorción acústica de 0.7 que es el doble que el mayor valor hallado en las probetas de ladrillos estándar (sin ningún agregado) para mampostería.

Para elaborar las probetas se debe asegurar que el caucho a utilizar se comporte adecuadamente por ello se debe verificar que los neumáticos sean procesados hasta obtener caucho granular que pase por el tamiz ASTM#8 que representa un diámetro medio de grano de 2.36mm. De esta forma se asegura que la mezcla se consolide adecuadamente y no influya en la creación de más poros durante el proceso de cocción del ladrillo. Obteniendo un efecto contrario al que se desea como ocurre en el caso del PET.

De los ensayos realizados se determinó que el PET no funciona como un agregado que mejore la capacidad de absorción acústica en el ladrillo, esto es debido a que por su naturaleza y al estar en contacto con el calor produce espacios vacíos y alineados que permiten que el sonido traspase el material con mayor facilidad. Pues el aire es el medio que menor resistencia presenta para la propagación sonora, y los poros están llenos de aire.

El software Comsol Multiphysic versión 5.6 es una herramienta adecuada para la simulación acústica, siendo la mejor opción utilizar el mallado triangular fino generado por defecto por la física seleccionada, esto asegura una calidad media de 0.927 con 1186 triángulos distribuidos en toda la superficie del ladrillo en estudio, lo que se traduce en resultados confiables y estables al variar el tipo de mallado. Además, con este tipo de mallado la simulación converge en cuatro iteraciones.

En resumen, para lograr un ladrillo de fabricación artesanal con un coeficiente de absorción acústica superior se debe utilizar en proporciones de peso lo que se especifica a continuación: 50% de arcilla preparada, 20% caucho del tamaño especificado y 30% de agua. Las materias primas se las debe mezclar hasta asegurarse que el agregado esté uniformemente distribuido a lo largo de la mezcla. Una vez obtenida una mezcla homogénea, se debe cumplir los requerimientos de fabricación que se especifican en la Norma INEN 295. De esta forma se puede obtener un ladrillo cerámico para mampostería con una densidad de 1297,15 Kg/m³, una porosidad de 12,24%, un coeficiente de absorción acústica de 0.7, un nivel de presión sonora máximo de 105 dB, una presión sonora máxima

de 4.2 Pa, una impedancia acústica de 18 y una incidencia crítica a 45°. El producto final es un ladrillo que presenta propiedades superiores a las halladas en los ladrillos estándar. Además, que la frecuencia propia del material o la frecuencia de resonancia se ubica a 99.83 Hz que es una frecuencia relativamente alta, especialmente si se considera que los ladrillos serán destinados a la elaboración de paredes o mampostería de construcciones residenciales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio complementario que permita conocer la micrografía y el comportamiento del caucho granular luego de ser sometido al proceso de fabricación del ladrillo, de tal forma que se pueda entender el fenómeno y mejorar el proceso de fabricación del ladrillo de tal forma que se pueda estabilizar la curva del comportamiento del coeficiente de absorción acústica.

Se recomienda usar mezcladores automáticos para conseguir una mezcla homogénea y asegurar que las propiedades no varíen drásticamente a lo largo de la geometría del ladrillo.

Se recomienda no considerar al PET como un agregado útil para futuras investigaciones cuyo proceso de fabricación incluya temperaturas por encima de los 100°C. Ya que a altas temperaturas crea porosidades excesivas que debilitan al material.

Se recomienda estudiar la forma de obtener los agregados adecuados de forma industrial, dado que en el medio actual es difícil conseguir triturado de materiales reciclados en tamaños adecuados. Por lo que se debe realizarlo manualmente y toma demasiado tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMADO, J. D. S., VILAFRADES, P. Y. M., & TUTA, E. M. C.** "Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander". *Dyna*, n° 78 (167), (2011). pp. 53–61.
- ASTM STANDARD E1050-12.** *Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones, and a Digital Frequency Analysis System.* (2012).
- ANDRÉ, F. J., & CERDÁ, E.** *Gestión de residuos sólidos urbanos : análisis económico y políticas públicas.* September. (2015).
- ARINES, S., ESTEBAN, A., CORTÉS, A., FUENTE, M., FERNÁNDEZ, F., & TECNOLÓGICO, L. C.** "Nuevas soluciones cerámicas de altas prestaciones acústicas". *Revista Conarquitectura*, n° 23 (2017), p. 82.
- BECERRA, H. A. G., OROZCO, H., & CALLE, W. Y.** Prototipo para la determinación de la velocidad del sonido. *Scientia et technica*, n° 17(47), (2011). pp. 169-174.
- BERNAL, M. A., SIKANSI, D., CAVALCANTE, F., INCERTI, S., CHAMPION, C., IVANCHENKO, V., & FRANCIS, Z.** An atomistic geometrical model of the B-DNA configuration for DNA--radiation interaction simulations. *Computer Physics Communications*, n°12 (184), (2013). pp. 2840–2847.
- BERMEO-PAUCAR, J. B. P., REA-SÁNCHEZ, V., LÓPEZ-BERMÚDEZ, R., & PICO-YÉPEZ, M. P. Y.** El reciclaje la industria del futuro en Ecuador. *Universidad Ciencia y Tecnología*, n° 22(87), (2018). p. 8.
- CARPIO ÑAUTA, X. I., & MEDINA SAMANIEGO, R. F.** *Diseño de una línea de procesado para la obtención de polvo de caucho a base de neumáticos fuera de uso (NFU).* (2013).
- CONTRERAS, OWEN, A. A., OWEN DE C, M. E., CONTRERAS, MIRANDA, W., CLOQUELL, BALLESTER, V. A., CLOQUELL, BALLESTER, V. A., VALERO, W. S., SEGUNDO, CONTRERAS, Á., & RONDÓN, M. T.** "Elaboración De Panel Aislante Acústico Y Térmico a Partir De La Reutilización De Botellas Plásticas De Polietile No Tereftalato (Pet)". *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, (2012). pp. 1–12.

DE LA NORMA ECUATORIANA, C. E. (2011). de la Construcción. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*.

DEL REY, R., ALBA, J., CRESPO, J. E., & FONTOBA, J. "Propuesta de soluciones ligeras para aislamiento acústico a ruido aéreo basadas en lana de oveja y green composites." (2017). [En línea]. [Consulta: 13 de abril 2021]. Disponible en: http://mail.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/AED-2_008_02.pdf

DOMINGO, MARTÍN. *Apuntes de acústica*. (2014). [En línea] [Consulta: 27 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://oa.upm.es/22764/1/amd-apuntes-acustica-v2.0.pdf>

ECOPLAS. *Sistema de codificación de los materiales plásticos*. (2013). Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/42.pdf>

GAIBOR, N. Y., CHANGO, G. C., FLORES, L. M., GAIBOR, J. C., & BRITO, H. L. "Use Of Plastic Waste In The Formulation Of Prefabricated Concrete Roofing". *WASTES: Solutions, Treatments, and Opportunities, 5th International Conference*. (2019).

GONZÁLEZ, H., HELLWIG, S., & MONTOYA, J. "Resultados Del Ensayo Del Modulo De Young Y Resistencia A La Flexion De Vigas Laminadas De Guadua angustifolia KUNTH". Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica Año XIV*, 2008, n° 40, pp. 291-296. ISSN 0122-1701

HAMME, R. (2006). *Amortiguamiento de ondas*.

HANKOOK. *Estructura de las llanta*. [En línea] 2018. Disponible en: <https://www.hankooktire.com/mx/services-tips/tire-guide/structure.html>.

INEN, N. 2266: Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos. Requisitos. Quito, Ecuador.

INEN, N. 2841. Gestión ambiental. Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos. Requisitos. Quito, Ecuador. (2014).

INEN, N. 857. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito, Ecuador. (2010).

INEN, N. 296 Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad. Quito, Ecuador. (2014).

INFANTE-ALCALDE, Josefina y VALDERRAMA-ULLOA, Claudia. Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). [En línea] 2019, n° 5 (30). pp.25-36. [Consulta: 2 de abril 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500025&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>.

JARAMILLO, A. M. J. *Acústica: la ciencia del sonido*. ITM. (2007).

LANCÓN, L. *Caracterización de la absorción sonora en modelos físicos a escala*. Universidad Autónoma Metropolitana. (2012). Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/128742588.pdf>

MERINO, F. O., ZAPATA, F. O., & KULKA, A. F. Ruido laboral y su impacto en salud. *Ruido Laboral*, (2006). n° 8(20), p. 47.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Registro Oficial - Edición Especial N° 387*. Ecuador. 2015

MIRAVETE, A. *Materiales compuestos*. Reverté. n° 3 (1).

MIYARA, F. *Acústica y sistemas de sonido*. Universidad Nacional de Rosario. (2003).

MOTT, R. L., SALAS, R. N., & CÁRDENAS, J. L. Resistencia de materiales aplicada. Prentice Hall Hispanoamericana. (1996).

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, O. *Una población en crecimiento*. [En línea] (2020). Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/population>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, O. (2019). *Cambio climático y salud humana*. [En línea] (2019). Disponible en: <https://www.who.int/globalchange/environment/es/>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, O. *Calidad del aire*. [En línea] (2018). Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

- RAMÍREZ, M., & SOTOMAYOR, J.** Módulos de elasticidad y de ruptura de tres maderas angiospermas mexicanas. de Cuerpos Académicos, (2014). p. 88.
- ROUGERON, C.** *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte. (1977).
- SANTANDREA, L., & LE BIHAN, Y.** Using COMSOL-multiphysics in an eddy current non-destructive testing context. *Proceedings of the COMSOL Conference*. (2010).
- TEAM, C.** *Comsol Benefits*. (2020). Disponible en: <https://www.comsol.com/products>
- ACURIO, G., ROSSIN, A., TEIXEIRA, P. F., & ZEPEDA, F.** Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. *Inter-American Development Bank*. (1997).
- SÁNCHEZ, R. A.** Contaminación sonora en los parques industriales del Ecuador.(Trabajo de titulación) (Ingeniero en gestión ambiental). UTPL. (Ecuador). (2018).
- SÁNCHEZ, A.** *Modelo de aislamiento y acondicionamiento acústico para tres de los sectores que presentan diferentes niveles de ruido en las aulas de clase del CED José Asunción Silva*. (trabajo de titulación) (Ingeniera de sonido) Universidad de San Buenaventura, Bogotá. Obtenido de Universidad de San Buenaventura. (2010). pp. 22-148.
- ARINES, S., ESTEBAN, A., CORTÉS, A., FUENTE, M. & FERNÁNDEZ, F.,** Nuevas soluciones cerámicas de altas prestaciones acústicas. *Revista Conarquitectura*. Guatemala. (2007). p. 23.
- OROZCO, J. M. R., DUARTE, C. M., & I DOMÈNECH, F. D.** Costes y Beneficios de la Implementación del Aislamiento Acústico en el Mercado Residencial de Nueva Planta en Barcelona. *Politécnica de Valencia*. (2019).
- MORENO, A., FERNÁNDEZ, M. J., COLINA, C. D. L., & SIMÓN, F.** "Modelado del aislamiento acústico de divisorios de mampuestos de ladrillos". *Latin Greater Paper*. (2008).
- ROUGERON, C.** *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. 5ta Edición. Editorial: Universidad Estatal de México, 1977.
- ASKELAND, D. R., & WRIGHT, W.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol. 3). México: International Thomson Editores. (1998).

- CORDERO, S., DEL VAL, L., MACHIMBARRENA, M., HERRÁEZ, M., & JOHANSSON, R.** *Estudio del índice alternativo de impacto para aislamiento a ruido de impacto.* (2017).
- MONTEIRO, C. R. A., MONDACA, C., MACHIMBARRENA, M., & SMITH, S.,** *Revisión de la iso 717-1-análisis comparativo de medidas de aislamiento a ruido aéreo en paredes ligeras y pesadas utilizando diferentes descriptores de aislamiento acústico.* (Tesis de pregrado). Universidad de Valencia. España. 2017.
- VALEA, A., JUANES, F. J., MIGUEZ, J. C., & GONZÁLEZ, M. L.** "Aleaciones de polipropileno (PP), polietilentereftalato (PET) y caucho reciclados y estudio de sus propiedades." [En línea]. 2008, Bilbao, n° 5 (2), pp. 6-10. Disponible en: <https://gef.es/images/publicaciones/25/10-6.pdf>
- TAMARA, A. M. C., PINEDA, H. R., & BOHORQUEZ, A. L.** "Análisis y caracterización fisicoquímica del látex de caucho especie Hevea Brasiliensis". *Revista Tumbaga.* 2014.
- PENAGOS SIERRA, M. A., & ROCHA ALONSO, N.** *El confort acústico en la mampostería estructural* (Bachelor's thesis, Universidad La Gran Colombia). 2018.
- MERINO, F. O., ZAPATA, F. O., & KULKA, A. F.** *Ruido laboral y su impacto en salud.* Ciencia & Trabajo. México DF. 2006.
- MIYARA, F.** "Acústica y sistemas de sonido". Universidad Nacional de Rosario, 2003, p.45
- MONTEJANO, R. M. R.** "Propiedades acústica del caucho granular"
(Tesis de doctorado), Universidad Politécnica de Madrid, p. 54-73.
- TABORDA, J. D. T.** *Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio.* (Tesis de doctorado), Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica, 2004.
- MULTIPHYSICS, C. O. M. S. O. L.** *Introduction to COMSOL multiphysics®.* COMSOL Multiphysics, Burlington, MA.

ANEXOS

ANEXO A: Fotografías de elaboración de los ladrillos

Fotografía 1. Agregado del caucho obtenido



Se puede observar el resultado del proceso de la obtención de los gránulos de caucho que serán utilizados como agregados.

Fotografía 2. Homogenización del barro y los agregados.



Se observa la premezcla que se realiza para luego ingresar el barro y los agregados a la mezcladora automática.

Fotografía 3. Prensado y conformación del ladrillo



En la fotografía se puede observar el proceso de desmontaje de la mezcla fresca de los moldes, luego de haber sido prensados.

Fotografía 4. Etiquetado y reposo de las muestras.



En la fotografía se puede ver las muestras reposando y deshidratándose por una semana. Antes de entrar al horno a su cocción.

ANEXO B: Fotografías de realización de ensayos

Fotografía 5. Pesaje de las probetas en la balanza analítica



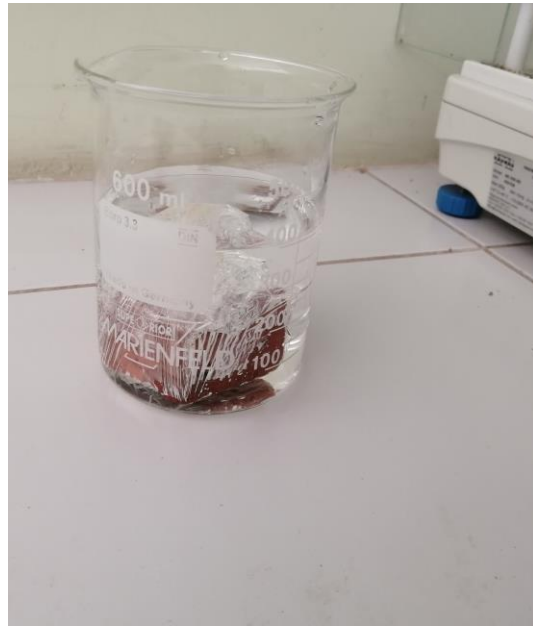
La fotografía muestra el equipo (balanza analítica) y las muestras de 50x50 mm utilizadas para medir el peso para determinar la densidad.

Fotografía 7. Estufa de secado para eliminar la humedad



Estufa de secado a 110°C por 24 horas, antes del primer pesaje.

Fotografía 6. Medida del volumen mediante vaso de precipitación



Se observa que se utilizó papel film para impermeabilizar la muestra. El instrumento utilizado es un vaso de precipitación de 600 ml.

Fotografía 8. Sumergimiento de las probetas en agua destilada



Recipiente utilizado para sumergir las probetas en agua destilada.

Fotografía 9. Pesaje de las probetas para determinar la porosidad



Se observa que para este fin se utilizó otra balanza de capacidad 5 kg y sensibilidad de 1g. Tanto para seco como para mojado.

Fotografía 10. Preparación de las probetas para ensayos mecánicos



Para poder ensayar se debe recubrir las paredes de los ladrillos con empaste para lograr una distribución uniforme de carga. Además, marcar el centro y el lugar de los apoyos.

Fotografía 11. Ensayo de los ladrillos en la máquina universal



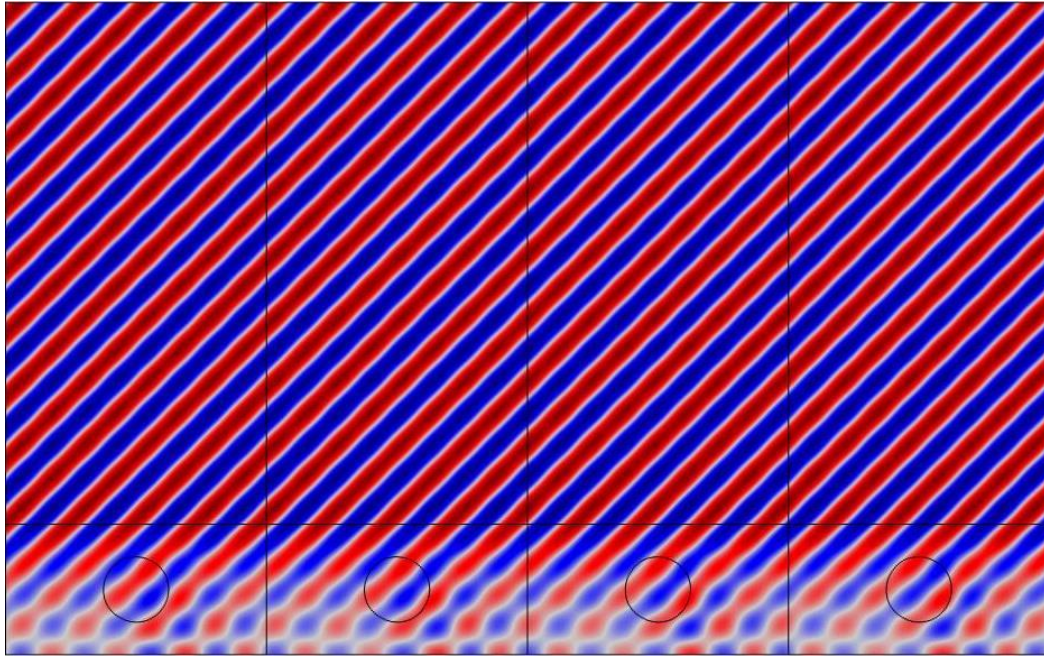
La fotografía muestra el ensayo de flexión realizado en la máquina universal. Además, el cuidado para ubicar adecuadamente las probetas

Fotografía 12. Probeta correspondiente a la mezcla 5 ensayada.



Se observa el tipo de rotura de la muestra 5 y además que de un color más oscuro en el ladrillo esto debido al porcentaje de caucho que posee.

Porous Absorber

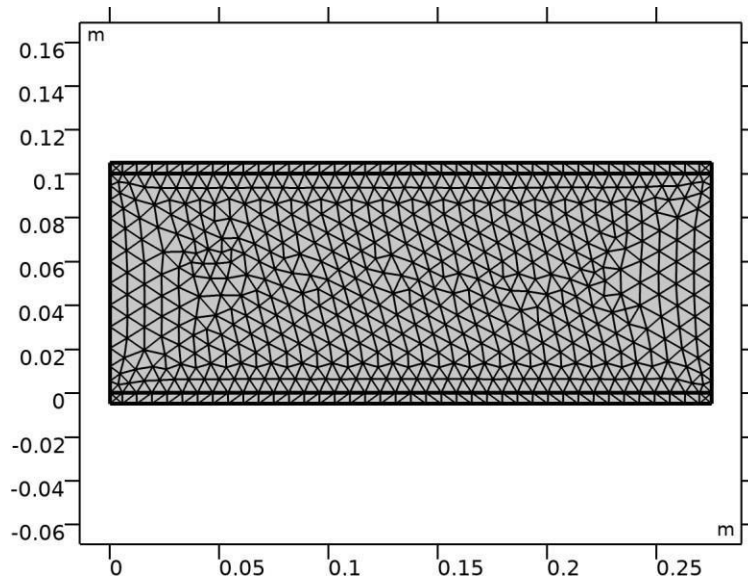


Autor	Juan Carlos Gaibor
Fecha del informe	28-jul-2021 8:50:10
Empresa	ASME ESPOCH

RESUMEN

This is a 2D model of a porous sound-absorbing wall-lining material. The absorption coefficient α and specific surface impedance Z are determined as functions of frequency for two different incidence angles. The example uses Periodic Floquet boundary conditions.

1.1. Mesh 1



Mesh 1

ESTADÍSTICAS DE MALLA

Descripción	Valor
Calidad mínima de elemento	0.6767
Calidad media de elemento	0.927
Triángulo	1186
Elemento de arista	188
Elemento de vértice	8

1.1.1. Size (size)

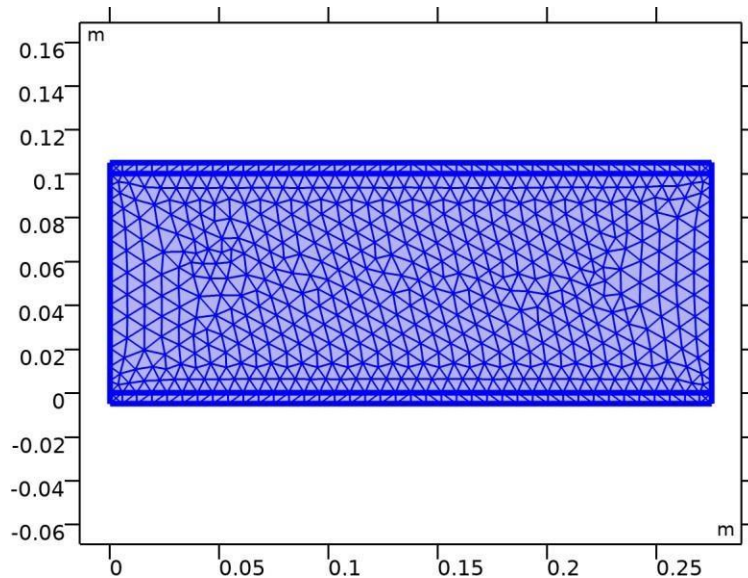
AJUSTES

Descripción	Valor
Tamaño máximo de elemento	0.0102
Tamaño mínimo de elemento	3.44E-5
Factor de curvatura	0.25
Tasa de crecimiento máxima de elemento	1.25
Tamaño predefinido	Más fina

1.1.2. Triangular libre 1 (ftri1)

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Restante



Triangular libre 1

AJUSTES

Descripción	Valor
Número de iteraciones	4
Profundidad máxima de elemento para procesar	4

2. Study 1

INFORMACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

Tiempo de computación	
-----------------------	--

2.1. Parametric Sweep

Nombre de parámetro	Lista de valores de parámetros	Unidad de los parámetros
theta0	0[deg] 45[deg]	deg

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Tipo de barrido	Combinaciones especificadas
Nombre de parámetro	theta0
Unidad	deg

PARÁMETROS

Nombre de parámetro	Lista de valores de parámetros	Unidad de los parámetros
theta0 (Incident wave angle)	0[deg] 45[deg]	deg

2.2. Frequency Domain

Frecuencias (Hz)
{10, 11.2, 12.5, 14, 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, 31.5, 35.5, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1e3, 1.12e3, 1.25e3, 1.4e3, 1.6e3, 1.8e3, 2e3, 2.24e3, 2.5e3, 2.8e3, 3.15e3, 3.55e3, 4e3, 4.5e3, 5e3, 5.6e3, 6.3e3, 7.1e3, 8e3, 9e3, 1e4}

CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO

Descripción	Valor
Incluir no linealidad geometría	Apagado

AJUSTES

Descripción	Valor
Frecuencias	{10, 11.2, 12.5, 14, 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, 31.5, 35.5, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000}

SELECCIÓN DE FÍSICAS Y VARIABLES

Interfaz de física	Discretización
Pressure Acoustics, Frequency Domain (acpr)	physics

SELECCIÓN DE MALLAS

Geometría	Malla
Geometry 1 (geom1)	mesh1

2.3. Configuraciones del resolovedor

2.3.1. Solution 1

Compilar ecuaciones: Frequency Domain (st1)

ESTUDIO Y PASO

Descripción	Valor
Utilizar estudio	Study 1
Utilizar paso de estudio	Frequency Domain

LOG

```
<---- Compilar ecuaciones: Frequency Domain en Study 1/Solution 1 (sol1) -----
Inició en 20-jul-2021 16:09:17.
Función de forma geométrica: Lagrange cuadrático
Parámetro theta0 = 0.7853981633974483 (rad).
Tiempo: 1.
Memoria física: 1.63 GB
Memoria virtual: 2 GB
Terminó en 20-jul-2021 16:09:18.
----- Compilar ecuaciones: Frequency Domain en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->
```

Variables dependientes 1 (v1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Frequency Domain

CONSTANTES DE CÓMPUTO DE VALOR INICIAL

Nombre constante	\$Fuente de valor inicial
freq	10[Hz] 11.2[Hz] 12.5[Hz] 14[Hz] 16[Hz] 18[Hz] 20[Hz] 22.4[Hz] 25[Hz] 28[Hz] 31.5[Hz] 35.5[Hz] 40[Hz] 45[Hz] 50[Hz] 56[Hz] 63[Hz] 71[Hz] 80[Hz] 90[Hz] 100[Hz] 112[Hz] 125[Hz] 140[Hz] 160[Hz] 180[Hz] 200[Hz] 224[Hz] 250[Hz] 280[Hz] 315[Hz] 355[Hz] 400[Hz] 450[Hz] 500[Hz] 560[Hz] 630[Hz] 710[Hz] 800[Hz] 900[Hz] 1e3[Hz] 1.12e3[Hz] 1.25e3[Hz] 1.4e3[Hz] 1.6e3[Hz] 1.8e3[Hz] 2e3[Hz] 2.24e3[Hz] 2.5e3[Hz] 2.8e3[Hz] 3.15e3[Hz] 3.55e3[Hz] 4e3[Hz] 4.5e3[Hz] 5e3[Hz] 5.6e3[Hz] 6.3e3[Hz] 7.1e3[Hz] 8e3[Hz] 9e3[Hz] 1e4[Hz]

LOG

```
<---- Variables dependientes 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) -----  
Inició en 20-jul-2021 16:09:18.  
Tiempo de solución: 0 s.  
Memoria física: 1.63 GB  
Memoria virtual: 2 GB  
Terminó en 20-jul-2021 16:09:18.  
----- Variables dependientes 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->
```

Presión (comp1.p) (comp1_p)

GENERAL

Descripción	Valor
Variables de campo	comp1.p

Resolvedor estacionario 1 (s1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Frequency Domain

RESULTADOS MIENTRAS RESUELVE

Descripción	Valor
Sondas	Ninguno

LOG

<---- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) -----

Inició en 20-jul-2021 16:09:18.

Resolvedor paramétrico

Resolvedor lineal

Número de grados de libertad resueltos para 2562

Parámetro freq = 10.

Se encontró matrix no simétrica.

Escala para variables dependientes:

Presión (compl.p): 1

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	1	1	1	1.2e-09	3.1e-15

Parámetro freq = 11.2.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	2	2	2	8.4e-10	3.1e-15

Parámetro freq = 12.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	3	3	3	4e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 14.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	4	4	4	1.4e-09	3e-15

Parámetro freq = 16.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	5	5	5	1.3e-09	3.1e-15

Parámetro freq = 18.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	6	6	6	7.4e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 20.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	7	7	7	2.9e-10	3.1e-15

Parámetro freq = 22.4.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	8	8	8	3.2e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 25.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	9	9	9	2.8e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 28.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	10	10	10	3e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 31.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	11	11	2.8e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 35.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	12	12	8e-11	3.2e-15

Parámetro freq = 40.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	13	13	1.2e-10	3.3e-15

Parámetro freq = 45.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	14	14	4.8e-11	3.2e-15

Parámetro freq = 50.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	15	15	4.5e-11	3.3e-15

Parámetro freq = 56.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	16	16	3.2e-11	3.3e-15

Parámetro freq = 63.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	17	17	7.4e-11	3.4e-15

Parámetro freq = 71.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	18	18	2.2e-11	3.5e-15

Parámetro freq = 80.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	19	19	1.6e-11	3.6e-15

Parámetro freq = 90.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	20	20	2.8e-11	3.8e-15

Parámetro freq = 100.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	21	21	1.8e-11	3.8e-15

Parámetro freq = 112.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	22	22	7.5e-12	3.9e-15

Parámetro freq = 125.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	23	23	23	8.2e-12 3.9e-15

Parámetro freq = 140.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	24	24	24	1.3e-11 4.1e-15

Parámetro freq = 160.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	25	25	25	2.8e-11 4.3e-15

Parámetro freq = 180.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	26	26	26	3.7e-12 4.6e-15

Parámetro freq = 200.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	27	27	27	3e-12 4.6e-15

Parámetro freq = 224.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	28	28	28	3.9e-12 5e-15

Parámetro freq = 250.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	29	29	29	7e-12 5.4e-15

Parámetro freq = 280.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	30	30	30	2.1e-12 5.9e-15

Parámetro freq = 315.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	31	31	31	1.3e-12 6.2e-15

Parámetro freq = 355.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	32	32	32	8e-13 6.9e-15

Parámetro freq = 400.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	33	33	33	1.3e-12 7.5e-15

Parámetro freq = 450.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	34	34	34	3.5e-12 7.8e-15

Parámetro freq = 500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	35	35	35	8.9e-13	7.9e-15

Parámetro freq = 560.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	36	36	36	1.1e-12	6.9e-15

Parámetro freq = 630.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	37	37	37	8.9e-13	6e-15

Parámetro freq = 710.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	38	38	38	4.7e-13	5.9e-15

Parámetro freq = 800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	39	39	39	3.2e-13	5e-15

Parámetro freq = 900.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	40	40	40	3.1e-13	4.6e-15

Parámetro freq = 1000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	41	41	41	1.5e-13	3.8e-15

Parámetro freq = 1120.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	42	42	42	7.8e-14	3.2e-15

Parámetro freq = 1250.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	43	43	43	9.1e-14	2.7e-15

Parámetro freq = 1400.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	44	44	44	3.3e-14	2.7e-15

Parámetro freq = 1600.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	45	45	45	2e-14	2.5e-15

Parámetro freq = 1800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	46	46	46	7.3e-14	2.4e-15

Parámetro freq = 2000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	47	47	1.6e-14	2.6e-15

Parámetro freq = 2240.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	48	48	4.8e-14	3e-15

Parámetro freq = 2500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	49	49	1.5e-14	4.1e-15

Parámetro freq = 2800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	50	50	3.7e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 3150.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	51	51	1e-14	4.3e-15

Parámetro freq = 3550.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	52	52	3.5e-14	3.4e-15

Parámetro freq = 4000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	53	53	3.5e-14	2.6e-15

Parámetro freq = 4500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	54	54	1.4e-14	2.4e-15

Parámetro freq = 5000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	55	55	5.4e-15	3.1e-15

Parámetro freq = 5600.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	56	56	1.1e-14	4e-15

Parámetro freq = 6300.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	57	57	6.4e-15	3.1e-15

Parámetro freq = 7100.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	58	58	1.2e-14	1.1e-14

Parámetro freq = 8000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	59	59	2.2e-14	6.5e-15

Parámetro freq = 9000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	60	60	9.4e-15	9.7e-15

Parámetro freq = 10000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000		1	61	61	8.8e-15	9.7e-15

Tiempo de solución: 4 s.

Memoria física: 1.64 GB

Memoria virtual: 2.01 GB

Terminó en 20-jul-2021 16:09:22.

----- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->

Avanzado (aDef)

AJUSTES DE ENSAMBLE

Descripción	Valor
Permitir resultados complejos de funciones con argumento real	Encendido

Paramétrico 1 (p1)

GENERAL

Descripción	Valor
Definido por paso estudio	Frequency Domain
Ejecutar la continuación de	Ningún parámetro
Reutilizar solución desde el paso anterior	Auto

PARÁMETROS

Nombre de parámetro	Lista de valores de parámetros	Unidad de los parámetros
freq	{ 10, 11.2, 12.5, 14, 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, 31.5, 35.5, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1e3, 1.12e3, 1.25e3, 1.4e3, 1.6e3, 1.8e3, 2e3, 2.24e3, 2.5e3, 2.8e3, 3.15e3, 3.55e3, 4e3, 4.5e3, 5e3, 5.6e3, 6.3e3, 7.1e3, 8e3, 9e3, 1e4 }	Hz

Completamente acoplado 1 (fc1)

GENERAL

Descripción	Valor
Resolvedor lineal	Directo

2.3 2. Parametric Solutions 1

$\theta_0=0$ (su1)

GENERAL

Descripción	Valor
Solución	theta0=0

LOG

<---- Compilar ecuaciones: Frequency Domain en Study 1/Solution 1 (sol1) -----
 Inició en 20-jul-2021 16:09:12.
 Función de forma geométrica: Lagrange cuadrático
 Se ejecuta en Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU at 1.80 GHz.
 Usando 1 socket Con 4 núcleos en total de DESKTOP-MURBKDC.
 Memoria disponible: 8.02 GB.
 Parámetro theta0 = 0.0 (rad).
 Tiempo: 1.
 Memoria física: 1.65 GB
 Memoria virtual: 1.99 GB
 Terminó en 20-jul-2021 16:09:13.
 ----->

<---- Variables dependientes 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->
 Inició en 20-jul-2021 16:09:13.
 Tiempo de solución: 0 s.
 Memoria física: 1.65 GB
 Memoria virtual: 1.99 GB
 Terminó en 20-jul-2021 16:09:13.
 ----->

<---- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->
 Inició en 20-jul-2021 16:09:13.
 Resolvedor paramétrico
 Resolvedor lineal
 Número de grados de libertad resueltos para 2562

Parámetro freq = 10.
 Se encontraron matrices simétricas.
 Escala para variables dependientes:
 Presión (comp1.p): 1
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	1	1	1	3.7e-10	3e-14

Parámetro freq = 11.2.
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	2	2	2	6.1e-10	3.3e-14

Parámetro freq = 12.5.
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	3	3	3	4.1e-10	2.6e-14

Parámetro freq = 14.
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	4	4	4	2.1e-10	2.4e-14

Parámetro freq = 16.
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	5	5	5	1.7e-10	2.7e-14

Parámetro freq = 18.
 Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	6	6	6	9.3e-11	2.5e-14

Parámetro freq = 20.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	7	7	7	3.5e-11	2e-14

Parámetro freq = 22.4.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	8	8	8	6.7e-11	1.9e-14

Parámetro freq = 25.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	9	9	9	6.2e-11	2e-14

Parámetro freq = 28.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	10	10	10	3.2e-11	2e-14

Parámetro freq = 31.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	11	11	11	2.5e-11	1.7e-14

Parámetro freq = 35.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	12	12	12	2.5e-11	1.7e-14

Parámetro freq = 40.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	13	13	13	1.3e-11	1.6e-14

Parámetro freq = 45.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	14	14	14	1e-11	1.7e-14

Parámetro freq = 50.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	15	15	15	1.4e-11	1.4e-14

Parámetro freq = 56.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	16	16	16	1.9e-12	1.4e-14

Parámetro freq = 63.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	17	17	17	1.2e-11	1.3e-14

Parámetro freq = 71.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	18	18	18	3.8e-12	1.3e-14

Parámetro freq = 80.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	19	19	19	2.5e-12	1.1e-14

Parámetro freq = 90.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	20	20	20	5.1e-12	1.2e-14

Parámetro freq = 100.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	21	21	21	2.2e-12	1e-14

Parámetro freq = 112.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	22	22	22	2.1e-12	1.2e-14

Parámetro freq = 125.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	23	23	23	2.1e-12	9.1e-15

Parámetro freq = 140.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	24	24	24	1.3e-12	8.3e-15

Parámetro freq = 160.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	25	25	25	9e-13	9.4e-15

Parámetro freq = 180.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	26	26	26	1e-12	8.9e-15

Parámetro freq = 200.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	27	27	27	9.3e-13	8.1e-15

Parámetro freq = 224.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	28	28	28	5.2e-13	7.7e-15

Parámetro freq = 250.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	29	29	29	5.3e-13	7.4e-15

Parámetro freq = 280.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	30	30	30	2.1e-13	7.2e-15

Parámetro freq = 315.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	31	31	31	8.2e-14	7.1e-15

Parámetro freq = 355.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	32	32	32	2e-13	7e-15

Parámetro freq = 400.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	33	33	33	3.1e-14	6.5e-15

Parámetro freq = 450.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	34	34	34	7.5e-14	6.3e-15

Parámetro freq = 500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	35	35	35	1.5e-13	5.9e-15

Parámetro freq = 560.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	36	36	36	6.3e-14	6e-15

Parámetro freq = 630.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	37	37	37	9.1e-14	5.8e-15

Parámetro freq = 710.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	38	38	38	4.2e-14	5.8e-15

Parámetro freq = 800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	39	39	39	3.4e-14	5.5e-15

Parámetro freq = 900.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	40	40	40	4.7e-14	5.2e-15

Parámetro freq = 1000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	41	41	41	3.8e-14	5.2e-15

Parámetro freq = 1120.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	42	42	42	6.6e-14	5.1e-15

Parámetro freq = 1250.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	43	43	43	1.2e-13	5.3e-15

Parámetro freq = 1400.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	44	44	44	7.6e-14	5.1e-15

Parámetro freq = 1600.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	45	45	45	6.4e-14	5.2e-15

Parámetro freq = 1800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	46	46	46	1.9e-14	5.1e-15

Parámetro freq = 2000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	47	47	47	2.1e-14	4.9e-15

Parámetro freq = 2240.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	48	48	48	1.9e-14	4.9e-15

Parámetro freq = 2500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	49	49	49	4e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 2800.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	50	50	50	1.5e-14	4.9e-15

Parámetro freq = 3150.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	51	51	51	1.6e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 3550.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	52	52	52	1.1e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 4000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	53	53	53	1.1e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 4500.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	54	54	54	9.5e-15	4.5e-15

Parámetro freq = 5000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	55	55	55	1e-14	4.7e-15

Parámetro freq = 5600.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	56	56	56	6.9e-15	4.5e-15

Parámetro freq = 6300.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	57	57	57	9.7e-15	5.7e-15

Parámetro freq = 7100.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	58	58	58	1e-14	1.3e-14

Parámetro freq = 8000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	59	59	59	6.9e-15	7.4e-15

Parámetro freq = 9000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	60	60	60	1.1e-14	1.6e-14

Parámetro freq = 10000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	0.99	1.0000000	0.99	61	61	61	1.3e-14	1.4e-14

Tiempo de solución: 4 s.

Memoria física: 1.64 GB

Memoria virtual: 2.01 GB

Terminó en 20-jul-2021 16:09:17.

----- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->

theta0=45 (su2)

GENERAL

Descripción	Valor
Solución	theta0=45

LOG

<---- Compilar ecuaciones: Frequency Domain en Study 1/Solution 1 (sol1) -----
Inició en 20-jul-2021 16:09:17.

Función de forma geométrica: Lagrange cuadrático
Parámetro theta0 = 0.7853981633974483 (rad).

Tiempo: 1.

Memoria física: 1.63 GB

Memoria virtual: 2 GB

Terminó en 20-jul-2021 16:09:18.

----->

<---- Variables dependientes 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) -----
Inició en 20-jul-2021 16:09:18.

Tiempo de solución: 0 s.

Memoria física: 1.63 GB

Memoria virtual: 2 GB

Terminó en 20-jul-2021 16:09:18.

----->

<---- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) -----
Inició en 20-jul-2021 16:09:18.

Resolvedor paramétrico

Resolvedor lineal

Número de grados de libertad resueltos para 2562

Parámetro freq = 10.

Se encontró matrix no simétrica.

Escala para variables dependientes:

Presión (compl.p): 1

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	1	1	1	1.2e-09	3.1e-15

Parámetro freq = 11.2.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	2	2	2	8.4e-10	3.1e-15

Parámetro freq = 12.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	3	3	3	4e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 14.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	4	4	4	1.4e-09	3e-15

Parámetro freq = 16.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	5	5	5	1.3e-09	3.1e-15

Parámetro freq = 18.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	6	6	6	7.4e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 20.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
------	--------	---------	----------	------	------	------	--------	--------

1 1 1.0000000 1 7 7 7 2.9e-10 3.1e-15

Parámetro freq = 22.4.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	8	8	8	3.2e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 25.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	9	9	9	2.8e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 28.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	10	10	10	3e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 31.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	11	11	11	2.8e-10	3.2e-15

Parámetro freq = 35.5.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	12	12	12	8e-11	3.2e-15

Parámetro freq = 40.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	13	13	13	1.2e-10	3.3e-15

Parámetro freq = 45.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	14	14	14	4.8e-11	3.2e-15

Parámetro freq = 50.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	15	15	15	4.5e-11	3.3e-15

Parámetro freq = 56.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	16	16	16	3.2e-11	3.3e-15

Parámetro freq = 63.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	17	17	17	7.4e-11	3.4e-15

Parámetro freq = 71.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	18	18	18	2.2e-11	3.5e-15

Parámetro freq = 80.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
------	--------	---------	----------	------	------	------	--------	--------

1	1	1.0000000	1	19	19	19	1.6e-11	3.6e-15
---	---	-----------	---	----	----	----	---------	---------

Parámetro freq = 90.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	20	20	20	2.8e-11	3.8e-15

Parámetro freq = 100.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	21	21	21	1.8e-11	3.8e-15

Parámetro freq = 112.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	22	22	22	7.5e-12	3.9e-15

Parámetro freq = 125.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	23	23	23	8.2e-12	3.9e-15

Parámetro freq = 140.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	24	24	24	1.3e-11	4.1e-15

Parámetro freq = 160.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	25	25	25	2.8e-11	4.3e-15

Parámetro freq = 180.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	26	26	26	3.7e-12	4.6e-15

Parámetro freq = 200.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	27	27	27	3e-12	4.6e-15

Parámetro freq = 224.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	28	28	28	3.9e-12	5e-15

Parámetro freq = 250.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	29	29	29	7e-12	5.4e-15

Parámetro freq = 280.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	30	30	30	2.1e-12	5.9e-15

Parámetro freq = 315.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
------	--------	---------	----------	------	------	------	--------	--------

1	1	1.0000000	1	31	31	31	1.3e-12	6.2e-15
---	---	-----------	---	----	----	----	---------	---------

Parámetro freq = 355.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	32	32	32	8e-13	6.9e-15

Parámetro freq = 400.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	33	33	33	1.3e-12	7.5e-15

Parámetro freq = 450.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	34	34	34	3.5e-12	7.8e-15

Parámetro freq = 500.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	35	35	35	8.9e-13	7.9e-15

Parámetro freq = 560.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	36	36	36	1.1e-12	6.9e-15

Parámetro freq = 630.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	37	37	37	8.9e-13	6e-15

Parámetro freq = 710.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	38	38	38	4.7e-13	5.9e-15

Parámetro freq = 800.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	39	39	39	3.2e-13	5e-15

Parámetro freq = 900.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	40	40	40	3.1e-13	4.6e-15

Parámetro freq = 1000.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	41	41	41	1.5e-13	3.8e-15

Parámetro freq = 1120.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	42	42	42	7.8e-14	3.2e-15

Parámetro freq = 1250.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
------	--------	---------	----------	------	------	------	--------	--------

1	1	1.0000000	1	43	43	43	9.1e-14	2.7e-15
---	---	-----------	---	----	----	----	---------	---------

Parámetro freq = 1400.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	44	44	44	3.3e-14	2.7e-15

Parámetro freq = 1600.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	45	45	45	2e-14	2.5e-15

Parámetro freq = 1800.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	46	46	46	7.3e-14	2.4e-15

Parámetro freq = 2000.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	47	47	47	1.6e-14	2.6e-15

Parámetro freq = 2240.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	48	48	48	4.8e-14	3e-15

Parámetro freq = 2500.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	49	49	49	1.5e-14	4.1e-15

Parámetro freq = 2800.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	50	50	50	3.7e-14	4.8e-15

Parámetro freq = 3150.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	51	51	51	1e-14	4.3e-15

Parámetro freq = 3550.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	52	52	52	3.5e-14	3.4e-15

Parámetro freq = 4000.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	53	53	53	3.5e-14	2.6e-15

Parámetro freq = 4500.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	54	54	54	1.4e-14	2.4e-15

Parámetro freq = 5000.
Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
------	--------	---------	----------	------	------	------	--------	--------

1 1 1.0000000 1 55 55 55 5.4e-15 3.1e-15

Parámetro freq = 5600.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	56	56	56	1.1e-14	4e-15

Parámetro freq = 6300.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	57	57	57	6.4e-15	3.1e-15

Parámetro freq = 7100.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	58	58	58	1.2e-14	1.1e-14

Parámetro freq = 8000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	59	59	59	2.2e-14	6.5e-15

Parámetro freq = 9000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	60	60	60	9.4e-15	9.7e-15

Parámetro freq = 10000.

Se empleó una función de espacio nulo explícita-Ortonormal.

Iter	SolEst	Damping	Stepsize	#Res	#Jac	#Sol	LinErr	LinRes
1	1	1.0000000	1	61	61	61	8.8e-15	9.7e-15

Tiempo de solución: 4 s.

Memoria física: 1.64 GB

Memoria virtual: 2.01 GB

Terminó en 20-jul-2021 16:09:22.

----- Resolvedor estacionario 1 en Study 1/Solution 1 (sol1) ----->

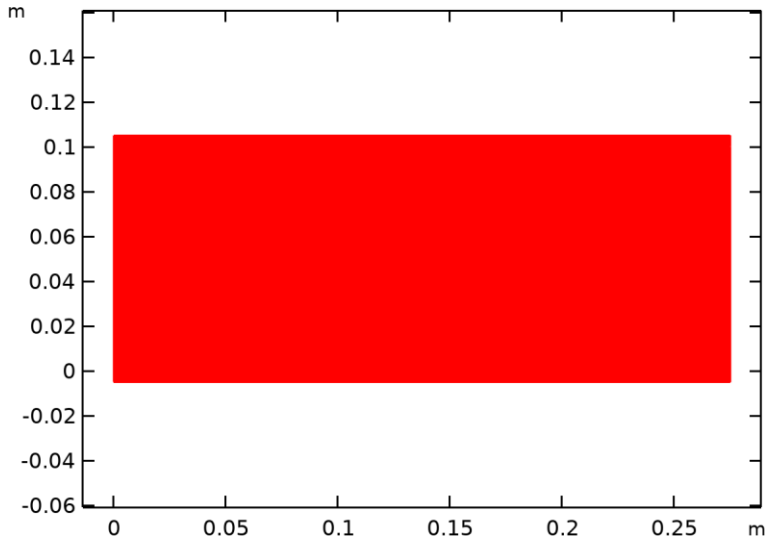
3. Results

3.1. Datasets

3.1.1. Study 1/Solution 1

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Solution 1
Componente	Component 1 (comp1)



Conjunto de datos: Study 1/Solution 1

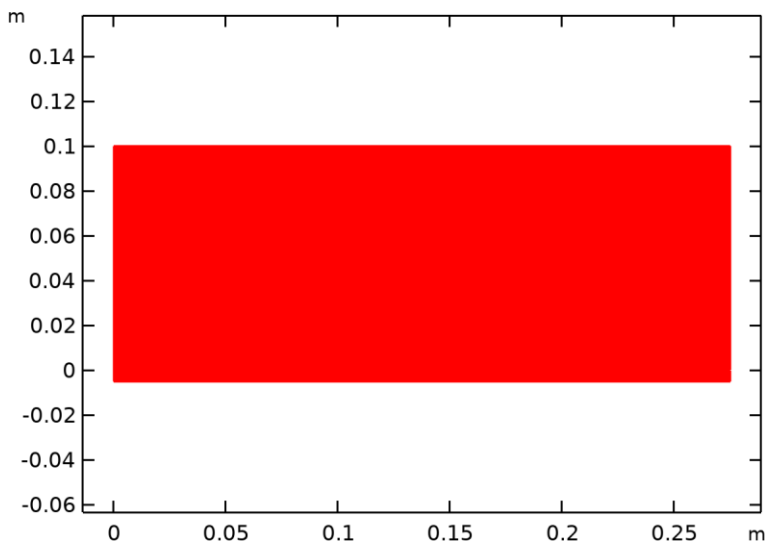
3.1.2. Study 1/Parametric Solutions 1

SELECCIÓN

Nivel de entidad geométrico	Dominio
Selección	Geometría geom1: Dimensión 2: Dominios 1-2

SOLUCIÓN

Descripción	Valor
Solución	Parametric Solutions 1
Componente	Component 1 (comp1)



Conjunto de datos: Study 1/Parametric Solutions 1

3.1.3. Array 2D 1

DATOS

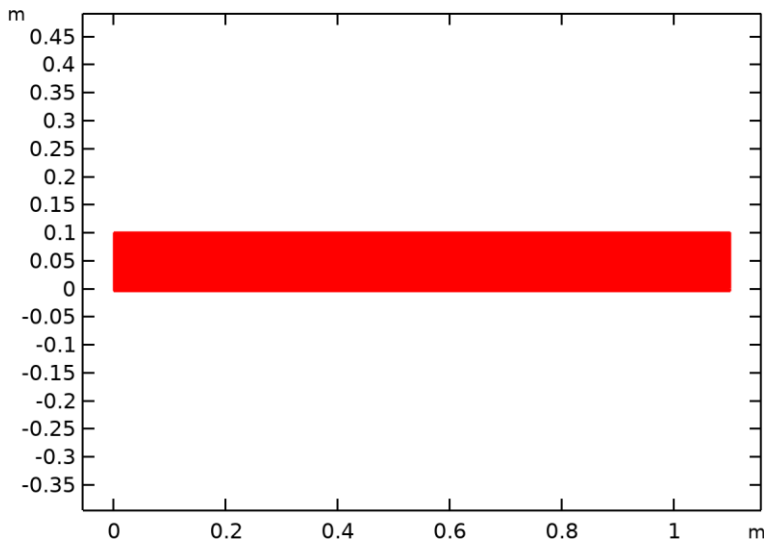
Descripción	Valor
Conjunto de datos	Study 1/Parametric Solutions 1

TAMAÑO DE ARRAY

Descripción	Valor
Tamaño	{4, 1}

AVANZADO

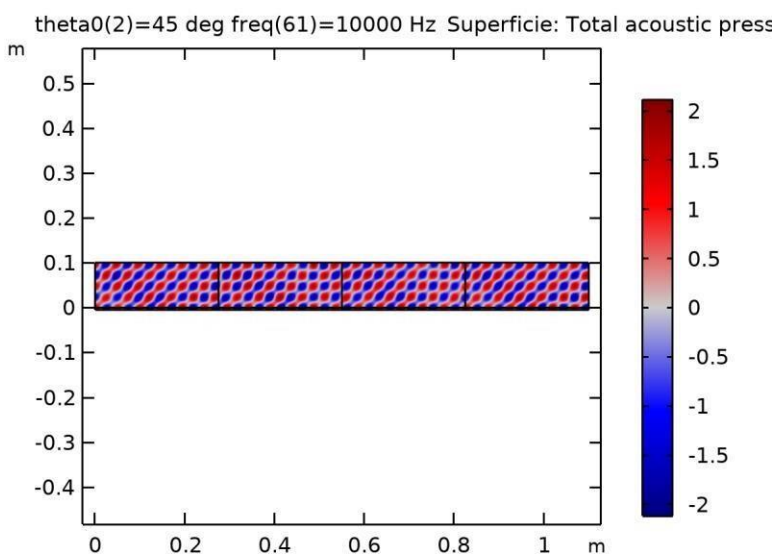
Descripción	Valor
Periodicidad de Floquet-Bloch	Encendido
Vector de onda	{kx, ky}



Conjunto de datos: Array 2D 1

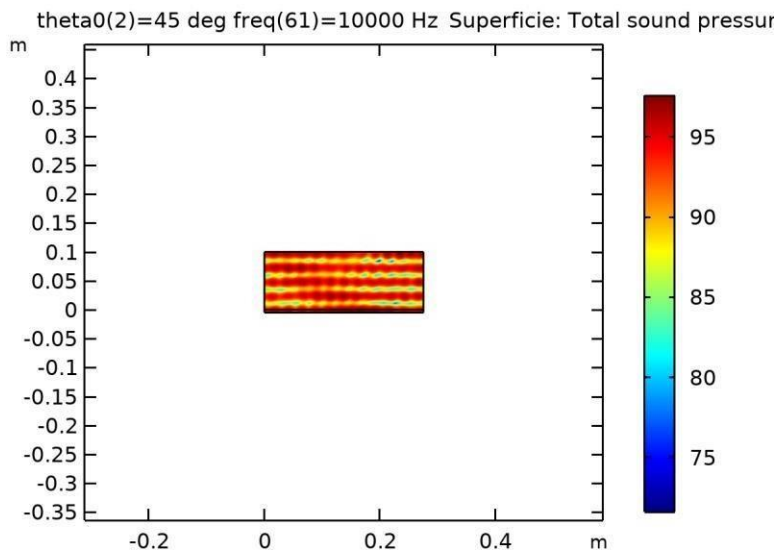
3.2. Trazar grupos

3.2.1. Total Acoustic Pressure



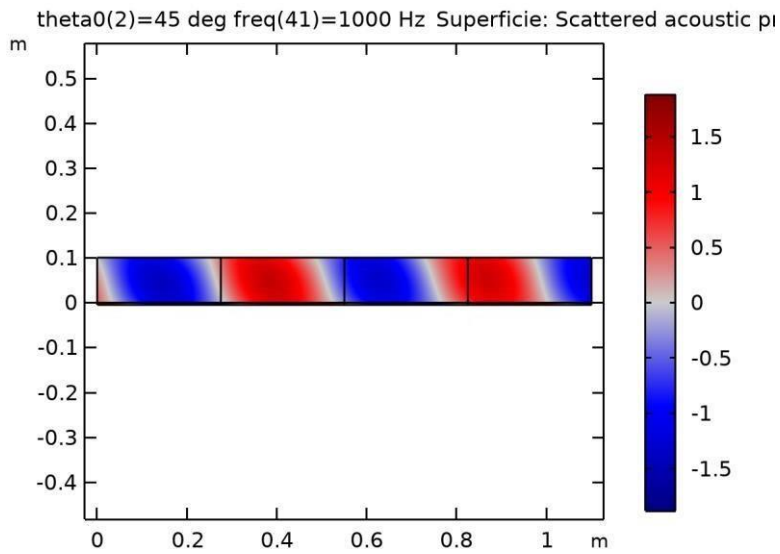
Superficie: Total acoustic pressure (Pa)

3.2.2. Sound Pressure Level (acpr)



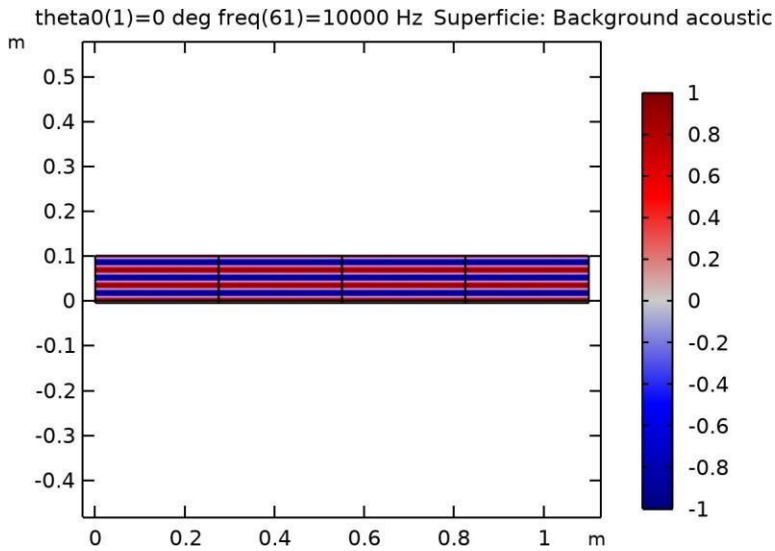
Superficie: Total sound pressure level (dB)

3.2.3. Scattered Acoustic Pressure



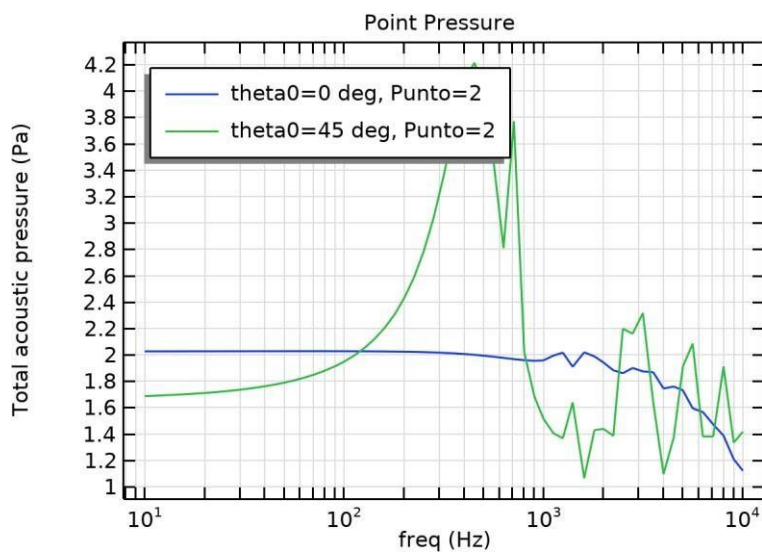
Superficie: Scattered acoustic pressure (Pa)

3.2.4. Incident Acoustic Pressure



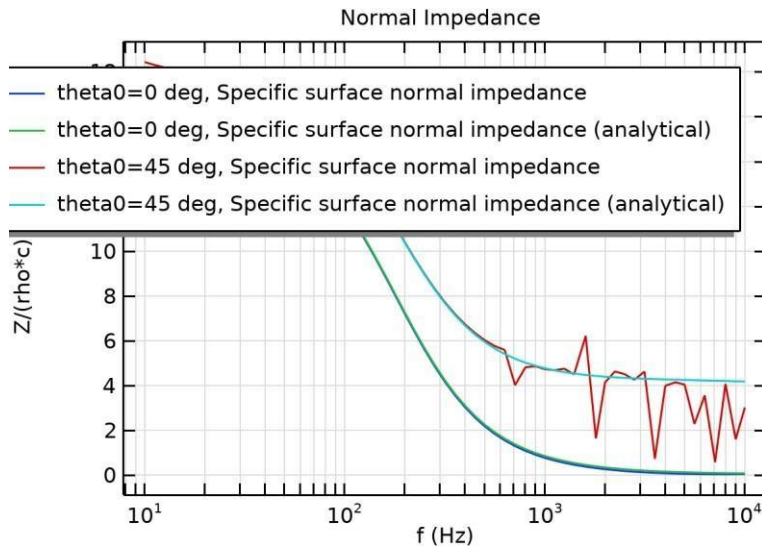
Superficie: Background acoustic pressure (Pa)

3.2.5. Point Pressure



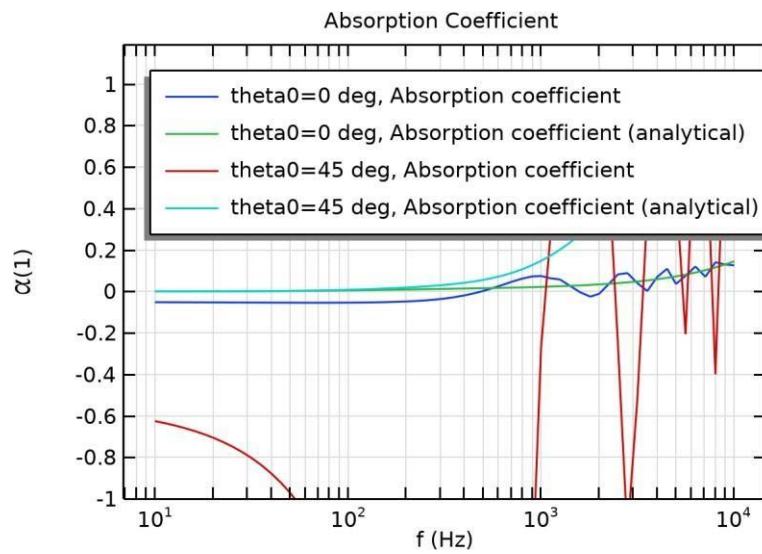
Point Pressure

3.2.6. Normal Impedance



Normal Impedance

3.2.7. Absorption Coefficient



Absorption Coefficient