

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Modelado vibromecánico de ecocomposites textiles para aislamiento acústico”

TRABAJO FINAL DE MASTER

Autor/a:
Lorena González Loeda

Tutor/es:
Jesús Alba Fernández
Romina Del Rey Tormos

GANDIA, Julio 2017

Resumen

El presente trabajo se ubica en el contexto de la investigación acústica en la edificación. Las normativas acústicas en este ámbito, hacen que empresas y particulares propongan nuevos materiales.

Este estudio está asociado al proyecto nacional BIAEFIREMAT “Desarrollo de nuevos materiales ecológicos y soluciones constructivas sostenibles para edificación basado en el uso de residuos y materias primas renovables” [1], en el cuál se están desarrollando nuevos materiales biocomposites que son sustitutos sostenibles de elementos ligeros usados en edificación.

La principal aportación del trabajo es el estudio vibroacústico de placas de tejidos naturales y resinas biodegradables, permitiendo la investigación del modelado mecánico de estos, para conseguir nuevas soluciones en aislamiento acústico. En él se calcula el módulo de Young mediante tres métodos diferentes para poder ofrecer una comparativa entre ellos y determinar un valor. Se calcula también el factor de pérdidas y se hará una predicción del aislamiento acústico con los parámetros mecánicos obtenidos.

Con este estudio se pretende mostrar que existe una alternativa viable de aislamiento utilizando materiales biodegradables, con el valor añadido de su ayuda al medioambiente

Palabra clave: Parámetros mecánicos, Módulo de Young, Factor de Pérdidas, Aislamiento acústico, biocomposites

Abstract

This work is located in the context of the acoustic investigation in the building. The acoustics rules in this area, cause companies and individuals proposed new materials.

This study is associated with the national project BIAEFIREMAT “Development of new eco-materials and sustainable constructive solutions based on the use of waste and renewable raw materials in building acoustics” [1], in which new composite materials are being developed. These are sustainable substitutes for light elements used in building.

The main contribution of the work is the vibroacoustic study of natural tissue plates and biodegradable resins, allowing the investigation of the mechanical modeling of these, to achieve new solutions in acoustic insulation. Young's modulus is calculated by three different methods to provide a comparison between them and to determine a value. The loss factor is also calculated and a prediction of acoustic insulation will be made with the mechanical parameters obtained.

This study aims to show that there is a viable alternative isolation using biodegradable materials, with the advantage that it helps the environment

Keywords: Mechanical parameters, Young's modulus, Loss factor, Sound insulation, biocomposites

Índice

Capítulo 1. Introducción y Objetivos	5
1.1 Introducción	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Contenido	7
Capítulo 2. Procedimientos de ensayos	8
2.1 Norma ASTM E756-05(2010)	8
2.2 Método general de una viga en voladizo	12
2.3 Método estático	14
Capítulo 3 .Desarrollo	16
3.1 Materiales estudiados	16
3.1.1. Fibra de Lino Biaxial	16
3.1.2. Fibra de Residuo Textil (Borra)	17
3.1.3. Fibra de Yute	18
3.1.4. Fibra de Coco	19
3.2 Caracterización de Materiales Eco-composites. Montajes	20
3.2.1 Norma ASTM E756-05(2010)	21
3.2.2 Viga en voladizo	25
3.2.3 Método estático	25
3.3 Proceso analítico	27
3.3.1 Norma ATSM E756-05(2010) y método de la viga en voladizo	27
3.3.2 Método estático	30
Capítulo 4. Resultados	32
4.1 Módulo de Young	32
4.1.1 Error asociado	46
4.2 Factor de pérdidas	50
4.3 Aislamiento	51
Capítulo 5. Conclusiones y Líneas futuras de trabajo	54
5.1 Conclusiones	54
5.2 Líneas futuras de trabajo	55
Es de bien nacidos ser agradecidos ...	57
Bibliografía	58
Anexo 1. Código Matlab	60

Capítulo 1. Introducción y Objetivos

En este documento se describe el proyecto Fin de Máster:

“Modelado vibromecánico de ecompositos textiles para aislamiento acústico”

En este capítulo se hará una pequeña introducción, se explicaran los objetivos que queremos alcanzar y ya por último se resume el contenido de cada capítulo.

1.1 Introducción

Se entiende por ruido todo aquel sonido de carácter desagradable que puede originar determinados efectos en el hombre, son muy variados y van desde una simple molestia como puede ser el enmascaramiento de una conversación, hasta efectos fisiológicos o psicológicos sobre la vida de las personas como puede ser pérdida de audición, el insomnio, el estrés, la agresividad, la histeria, la fatiga y el aislamiento social. Es decir, hay muchos efectos no auditivos producidos por el sonido no deseado o ruido.

Hasta no hace mucho tiempo no había supuesto un problema en la vida del hombre. Pero a lo largo de los años, debido sobre todo a la actividad humana y a la evolución tecnológica el ruido ha ido aumentando principalmente porque las fuentes de ruido cada vez son más numerosas y poseen un nivel mayor de ruido, ya sea dentro o fuera de los edificios. Las principales causas de los ruidos producidos por actividades domésticas llevadas a cabo por los vecinos son:

- Ruido producido por los aparatos de música, televisión, ordenadores, etc.
- Ruido de impacto como la caída de objetos, saltar sobre el piso, uso del taladro, etc.
- Ruido proveniente de los electrodomésticos como la lavadora, el microondas, etc.
- Ruido producido por las instalaciones de calefacción y aire acondicionado.
- Ruido originado al abrir puertas, tocar timbres, etc.

En los edificios el ruido adquiere una gran importancia al ser un ambiente en donde el hombre pasa la mayor parte del tiempo.

Debido a este incremento de fuentes de ruido, se desarrolla y publica el Reglamento de la Ley del Ruido y el Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (DB-HR) [1], esto permite regularizar los niveles de ruido permitidos mejorando así la calidad de vida de las personas.

Actualmente una mejor calidad de vida desde el punto de vista acústico está relacionada, entre otras cosas, con una mejor calidad acústica en la edificación. Las nuevas exigencias del DB-HR [1] junto con el programa marco de la UE para la investigación y la innovación (H2020) invita a abrir líneas de investigación sobre nuevos materiales para el aislamiento acústico en la edificación, ya que es uno de los grandes problemas en edificación.

Esto justifica nuestro trabajo que se centra en la investigación de materiales eco-composites con los cuales se pretende dar una alternativa viable de aislamiento y además pueden llegar a ser una herramienta para mejorar el medio ambiente, ya que uno de los retos del H2020 es la utilización de materiales amigables con el medio ambiente, la reutilización de residuos y la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo final de máster es el modelado vibromecánico de eco-composites textiles.

Se estudian los siguientes materiales:

- Fibra de Lino Biaxial
- Fibra de Residuo Textil (Borra)
- Fibra de Yute
- Fibra de Coco

Los parámetros mecánicos de los materiales, son muy útiles para la predicción del comportamiento acústico, tanto en el terreno de acondicionamiento acústico como en el de aislamiento acústico

Algunos de estos parámetros son el módulo de Young, el factor de pérdidas, el módulo de cizallamiento y el coeficiente de Poisson.

En este trabajo nos centramos solamente en dos de ellos, que son:

- Módulo de Young(E)
- Factor de pérdidas(η)

Se determina el módulo de Young mediante diferentes métodos para realizar una comparativa entre ellos y determinar el módulo más preciso posible.

El desarrollo del estudio requiere dos fases, una experimental en la que excitaremos las muestras y analizaremos su respuesta y otra analítica mediante el diseño de funciones que calculen los parámetros mecánicos deseados.

Una vez obtenidos los parámetros mecánicos de los materiales se hará una predicción de aislamiento acústico. Con esto obtendremos su comportamiento acústico y podrán ser usados como sustitutos de elementos ligeros en la edificación para mejorar el aislamiento acústico.

1.3 Contenido

El desarrollo de esta investigación se plantea en cinco capítulos.

En el **capítulo I**, se hace una pequeña introducción y se relata el objetivo del trabajo.

En el **capítulo II**, se redactan los diferentes procedimientos de ensayo que se usaron para obtener los parámetros mecánicos

En el **capítulo III**, se describe los materiales estudiados, el montaje experimental de cada método con la instrumentación utilizada y el tratamiento de los datos.

En el **capítulo IV**, se analiza los resultados obtenidos.

En el **capítulo V**, se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos en este trabajo y las posibles líneas futuras.

Capítulo 2. Procedimientos de ensayos

En este capítulo explicaremos los diferentes procedimientos de ensayos utilizados en este proyecto para la obtención del Módulo de Young y el factor de pérdidas de diferentes materiales eco-composites. Los procedimientos estudiados son:

- Ensayo mediante la norma americana ASTM E-756-05(2010).
- Método general de una viga en voladizo.
- Método estático.

2.1 Norma ASTM E756-05(2010)

La normativa Americana ASTM/E 756-05(2010) “Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials” [3], permite determinar experimentalmente el factor de pérdidas η , módulo de Young E y módulo de Cizalladura G de los materiales, siempre que el rango frecuencial vaya desde 50 a 5000Hz y en el rango de temperatura útil del material. Con este procedimiento caracterizamos los materiales como rígidos y flexibles.

Esta norma se basa en la obtención de la Función de Respuesta de Frecuencia (FRF) mediante el uso de una barra empotrada-libre y dos transductores, uno para aplicar una fuerza de excitación que haga vibrar la barra y otro para medir la respuesta de la fuerza aplicada en la barra.

La configuración de las barras de muestra se selecciona en función del tipo del material a ensayar y las propiedades mecánicas que se desean obtener. En la siguiente figura se muestran las cuatro diferentes muestras de ensayo de la normativa.

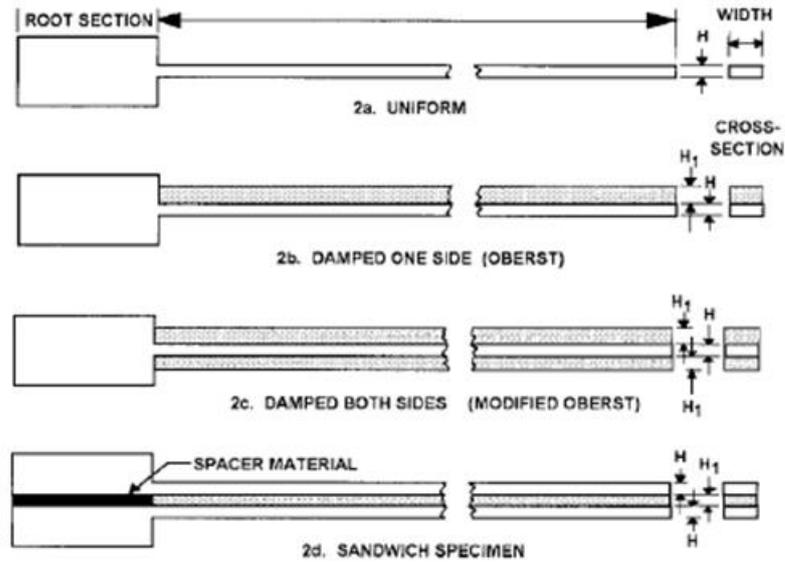


Figura 1. Barras de ensayo según la norma ASTM E756-05

La configuración de barra uniforme se utiliza para caracterización de materiales rígidos. Para determinar el factor de pérdidas y el módulo de Young de materiales absorbentes flexibles se utilizara la segunda y tercera configuración que se muestra en la figura, se trata de una viga amortiguada o viga Oberst o una viga amortiguada por ambos lado o viga de Oberst modificada. Por último, la configuración tipo sándwich se utiliza para determinar el módulo de cizalladura de materiales flexibles.

Una vez seleccionada la configuración de la viga y esté preparada la barra de ensayo, se fija por un extremo y se coloca dentro de una cámara ambiental. En la medida se usan dos transductores, uno es el que aplica la fuerza de excitación en la barra para hacerla vibrar, y el otro mide la respuesta de la barra a la fuerza aplicada. Al usar cámara aclimatada se puede investigar sobre los efectos de la temperatura en el material.

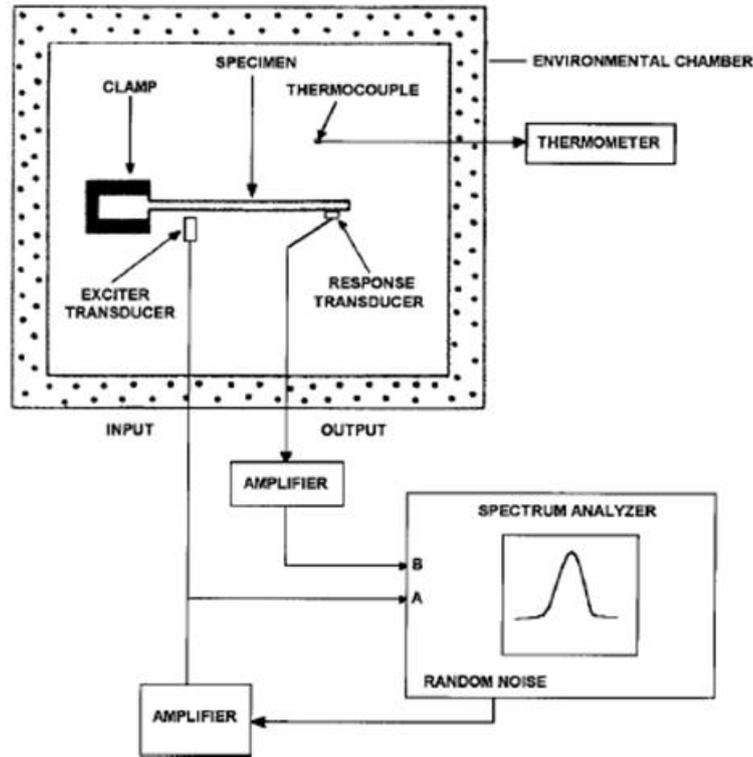


Figura 2. Diagrama de bloques de la configuración experimental usando un analizador de espectros de dos canales y una señal de ruido aleatorio.

Como podemos observar en la figura, la normativa nos sugiere el sistema de montaje, en el cual la viga a estudio deberá quedar fijada correctamente. El mecanismo cuenta de una fijación rígida para mantener la barra del test, una cámara aclimatada que controla la temperatura, dos transductores de vibración y los instrumentos necesarios para generar y medir la señal de excitación

Nos propone como sistema de fijación una pinza para el borde de la barra. Todas las muestras tendrán una buena sujeción, para eso la sección de la barra anclada ha de tener una longitud de 25 a 40mm, también es recomendable el uso de transductores sin contacto.

Nos centraremos en la configuración experimental de la barra uniforme que se utiliza para la caracterización de materiales rígidos.

La ecuación de la norma para el cálculo del Módulo de Young E, es:

$$E = \frac{12\rho L^4 f_n^2}{HC_n^2} \quad (1)$$

Dónde:

ρ = densidad del material, Kg/m³

L = longitud de la barra, m

f_n = frecuencia de resonancia del modo n, Hz

H = espesor de la barra en la dirección de la vibración, m

C_n = coeficiente para el modo n

n = número de modo: 1,2,3 ...

Los valores de los coeficientes C_n , utilizados en la ecuación, son los siguientes:

$$C_1 = 0.5595$$

$$C_2 = 3.5069$$

$$C_3 = 9.8194$$

$$C_n = \left(\frac{\pi}{2}\right)(n - 0.5)^2 \text{ para } n >$$

La ecuación utilizada para el del factor de pérdidas η , es:

$$\eta = \frac{\Delta f_n}{f_n} \quad (2)$$

Dónde:

n = número de modo: 1,2,3 ...

Δf_n = Es la diferencia de niveles para las cuales el nivel cae 3dB respecto al nivel correspondiente máximo

En la siguiente figura se muestra el cálculo gráfico del factor de pérdidas.

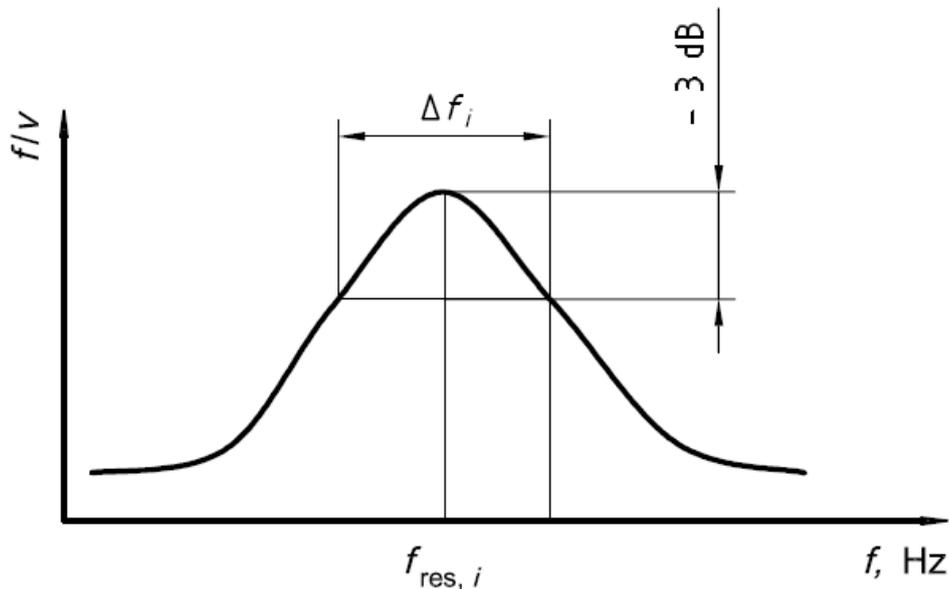


Figura 3. Ejemplo gráfico del cálculo del factor de pérdidas [4]

Como podemos ver en la figura el factor de pérdidas de cada modo de resonancia se obtiene mediante el cociente entre la frecuencia resonante y las frecuencias adyacentes donde el valor cae 3dB.

El factor de pérdidas está relacionado con el amortiguamiento, por lo que cuanto más alto sea este, mayor aislamiento acústico proporcionará el material.

2.2 Método general de una viga en voladizo

El método consiste en una viga en voladizo la cual se consigue sujetando un extremo de la barra. Una vez esté colocada, se excita el material mediante un martillo de impacto, esto hace que el material realice una vibración normal que será recogida por un acelerómetro.

Posteriormente, la señal es analizada mediante la gráfica de Función de Respuesta en Frecuencia. Los picos de esta gráfica corresponden con los valores de los diferentes modos de la frecuencia natural de vibración, con esto ya podemos calcular el módulo de Young.

La ecuación para calcular el Módulo de Young según este método está desarrollada en el proyecto fin de carrera “Vibraciones de elementos simples con condiciones de contorno dependientes del tiempo” [5], y es la siguiente:

$$E = \frac{(2\pi f_n)^2 mL^3}{C_n^2 I} \quad (3)$$

Dónde:

L = longitud de la barra, m

f_n = frecuencia de resonancia del modo n , Hz

m = masa total de la barra, m

C_n = coeficiente para el modo n

n = número de modo: 1,2,3 ...

I = momeno de inercia, m^4

$$I = \frac{bh^3}{12} \begin{cases} h: \text{espesor de la barra} \\ b: \text{ancho de la barra} \end{cases}$$

Los valores de los coeficientes C_n , utilizados en la ecuación, son los siguientes:

$$C_1 = 3.51563$$

$$C_2 = 22.03364$$

$$C_n \approx \left(\left(n - \frac{1}{2} \right) \pi \right)^2 \text{ para } \forall n$$

2.3 Método estático

Este método está descrito en el artículo “Flexión de Una Barra Delgada Empotrada en un Extremo: Aproximación para Pequeñas Pendientes” [6]. En él se expone el caso de una barra empotrada en un extremo sobre la que actúa una fuerza concentrada vertical en el extremo libre, y se analiza la flexión de la barra en voladizo en el caso particular que los desplazamientos de la barra sean pequeños.

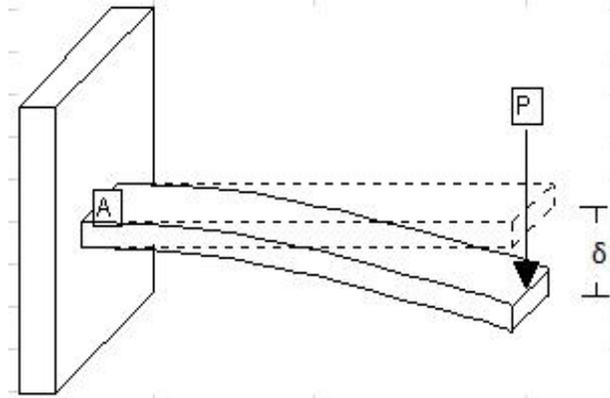


Figura 4. Barra delgada empotrada en un extremo y con una fuerza vertical concentrada en el extremo libre [7]

Para realizar este análisis lo primero que tenemos que hacer es sujetar la barra por un extremo, para conseguir que la barra esté sujeta por un lado y someterla a una fuerza por el extremo libre de la misma. En el artículo nos propone sujetar la barra con una doble nuez. A continuación, se mide el desplazamiento vertical máximo del extremo libre de la barra cuando se somete a distintas fuerzas tomando como valor de referencia la posición del extremo libre cuando no se aplica ninguna fuerza.

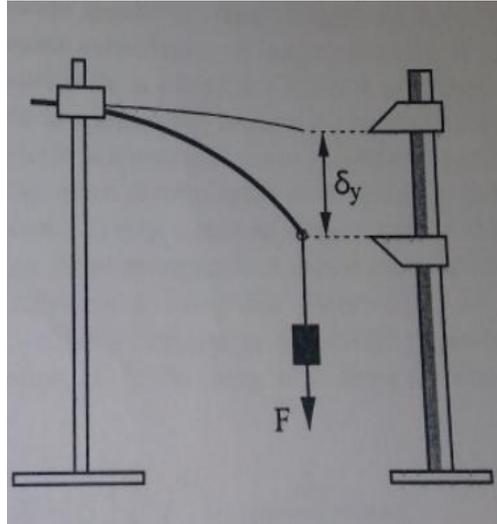


Figura 5. Determinación experimental del desplazamiento vertical en el extremo libre de la barra flexionada debido a la fuerza aplicada.

La pendiente se obtiene de la representación gráfica del desplazamiento (m) frente a la Fuerza(N). La ecuación de la pendiente (m), esa desarrollada en el artículo es la siguiente:

$$m = \frac{L^3}{3EI} \quad (4)$$

Dónde:

L = longitud de la barra, m

E = módulo de Young

I = momeno de inercia, m^4

Lo que nos interesa en este caso es el módulo de Young, lo podemos obtener despejándolo de la ecuación de la pendiente, quedando así la ecuación del módulo de elasticidad:

$$E = \frac{L^3}{3mI} \quad (5)$$

Capítulo 3 .Desarrollo

En este capítulo se describen los materiales estudiados, el montaje experimental de cada método y el tratamiento de los datos

3.1 Materiales estudiados

Este proyecto está asociado al proyecto nacional BIAEFIREMAT donde se están desarrollando nuevos materiales biocomposites.

A continuación se muestran las características de los materiales estudiados.

3.1.1. Fibra de Lino Biaxial

Características de la Fibra

Nombre técnico: Fibra de Lino Biaxial AmpliTex

Espesor Inicial individual: 0,8 mm

Gramaje: 350 g/m²

Disposición de la placa

Número de capas: 6 capas de fibra de lino biaxial, apiladas sin variar la orientación de sus fibras.

Dimensiones de las capas: 500x600mm

Masa de resina: 2,2kg

Resultados de la placa

Peso final: 1,56 kg.

Espesor final de la placa: 5,1 mm

Densidad del compuesto: 1,022 g/cm³

Porcentaje de peso de la fibra: 48%



Figura 6. Placa de Lino Biaxial con resina biodegradable

3.1.2. Fibra de Residuo Textil (Borra)

Características de la Fibra

Nombre técnico: Manta Textil

Espesor Inicial individual: 1,5 mm

Gramaje: 267 g/m²

Disposición de la placa

Número de capas: 5 capas de fibra textil apiladas sin variar la orientación de sus fibras.

Dimensiones de las capas: 500x600mm

Masa de resina: 1,5kg

Resultados de la placa

Peso final: 0,94 kg.

Espesor final de la placa: 4,9 mm

Densidad del compuesto 0,639 g/cm³

Porcentaje de peso de la fibra: 42%



Figura 7. Placa de fibra de residuo textil (borra) con resina biodegradable

3.1.3. Fibra de Yute

Características de la Fibra

Nombre técnico: Fibra de Yute T2728160 (Tafetán (0-90))

Espesor Inicial individual: 0,75 mm

Gramaje: 310 g/m²

Disposición de la placa

Número de capas: 6 capas apiladas sin variar la orientación de sus fibras.

Dimensiones de las capas: 500x600mm

Masa de resina: 2,2kg

Resultados de la placa

Peso final: 1,46 kg.

Espesor final de la placa: 5,2 mm

Densidad del compuesto 0,94 g/cm³

Porcentaje de peso de la fibra: 45%



Figura 8. Placa de Fibra de Yute con resina biodegradable.

3.1.4. Fibra de Coco

Características de la Fibra

Nombre técnico: Fibra de Coco S-15

Espesor Inicial individual: 6,5 mm

Gramaje: 2050 g/m²

Disposición de la placa

Número de capas: 1 capa de fibra de coco

Dimensiones de las capas: 500x600mm

Masa de resina: 2,6kg

Resultados de la placa

Peso final: 1,64 kg.

Espesor final de la placa: 5,5 mm

Densidad del compuesto 0,998 g/cm³

Porcentaje de peso de la fibra: 42%



Figura 9. Placa de Fibra de Coco con resina biodegradable

3.2 Caracterización de Materiales Ecompositos. Montajes

Los diferentes ensayos que se realizan para la caracterización de los materiales compuestos se realizan cortando barras de los diferentes materiales. Éstas tienen una anchura de 20mm y tres longitudes de barra diferentes, para así, obtener una caracterización más detallada. Con esto tenemos tres especímenes de prueba para cada material compuesto.

En la siguiente imagen se muestran las barras de prueba de los diferentes materiales compuestos.



Figura 10. Barras de ensayo

Todos los métodos que aplicamos requieren la sujeción en un extremo para conseguir una barra en voladizo, para ello, hacemos una pequeña marca en todas las muestras que nos indica el agarre en cada una de ellas.

Una vez cortadas y marcadas, serán etiquetadas para que sea más fácil trabajar con ellas y poder saber así el lado que vamos a medir, ya que se harán medidas por ambos lados.

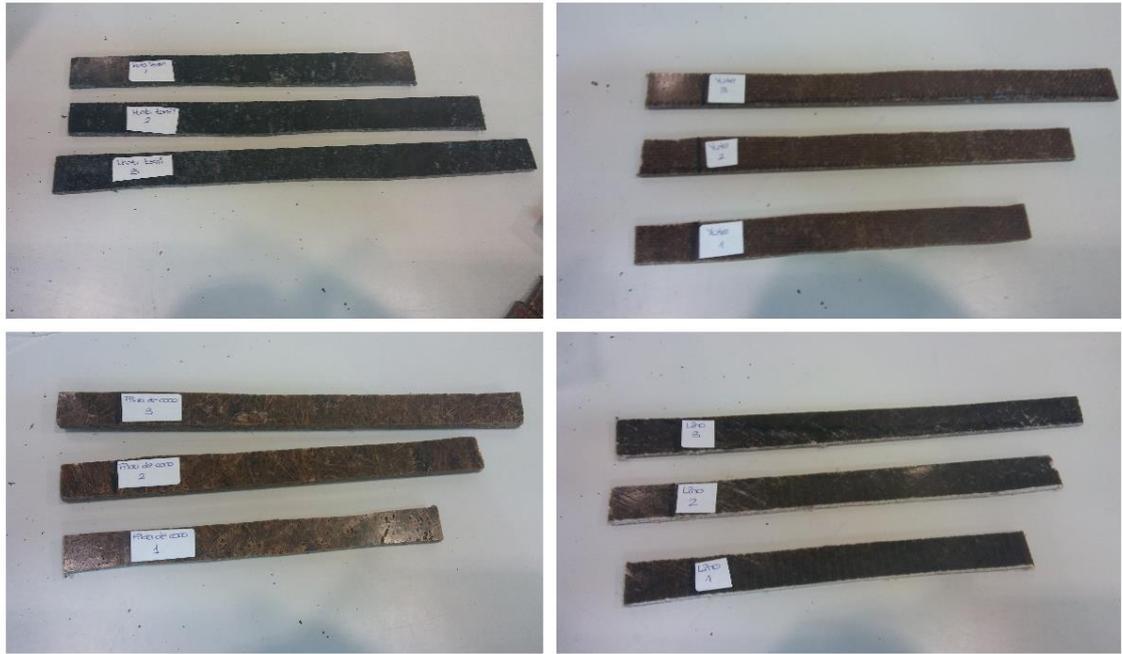


Figura 11. Barras de ensayo etiquetadas

Los métodos de caracterización son:

- El ensayo mediante la norma americana ASTM E756-05(2010)
- Método general de una viga en voladizo.
- Método estático.

Todos los ensayos se han realizado en el laboratorio B015 de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universidad Politécnica de Valencia.

3.2.1 Norma ASTM E756-05(2010)

Para desarrollar esta norma se utilizaron barras con una anchura de 10mm, una longitud entre 180 y 250 mm y una anchura de 1 a 3mm.

En cambio nosotros utilizamos una anchura de 20mm y tres longitudes: 180mm, 220mm y 250mm, el espesor variara según el material.

No se hicieron medidas con la cámara ambiental ya que los materiales estudiados no van a soportar temperaturas muy elevadas debido al tipo de resina utilizada. Nos interesa más hacer las medidas a temperatura ambiente. El objetivo es conocer si podemos utilizar la normativa para composites textiles, materiales con poca simetría de fibras a nivel microscópico.

El equipo utilizado para el montaje fue el siguiente:

- Yunque: para fijar la muestra en un extremo.



Figura 12. Yunque

- Martillo de impactos Bruel&Kjaer tipo 8206 : como transductor de excitación



Figura 13. Martillo de impacto

- Acelerómetro Bruel&Kjaer 4508-B-001 y cable: el acelerómetro como transductor de captación y el cable para conectar el acelerómetro con el sonómetro.



Figura 14. Acelerómetro y cable

- Sonómetro Bruel&Kjaer tipo 2250: para recoger las medidas. Se utilizará el modo FFT Avanzado.



Figura 15. Sonómetro

Antes de montar el sistema conectamos el acelerómetro al sonómetro y configuraremos el sonómetro para poder medir la respuesta en frecuencia del sistema.

El montaje consiste en fijar la muestra por un extremo en el yunque y colocar el acelerómetro encargado de recoger la respuesta de la barra en el extremo opuesto, lo hacemos con la ayuda de un poco de cera de abeja para que se adhiera así a la barra y no se mueva.

Se escogió el martillo de impacto como transductor de excitación para hacer vibrar la muestra. La excitación se introduce en el extremo opuesto del acelerómetro en el lugar más próximo al extremo fijado. Se intentará reproducir el mismo golpe de martillo sobre la barra en todas las muestras para tener resultados más exactos.



Figura 16. Montaje de la norma ASTM E756-05(2010)



Figura 17. Golpe de excitación en la barra

El acelerómetro es el encargado de recoger la respuesta del sistema y llevarla al sonómetro. Una vez realizadas las diferentes medidas serán volcadas al ordenador para poder procesarlas y calcular los parámetros mecánicos.

3.2.2 Viga en voladizo

Para este método se hará el mismo montaje que para la norma ASTM756-05 explicada en el punto anterior.

3.2.3 Método estático

El equipo necesario para el montaje de este método, fue el siguiente:

- Soporte y mordaza: para poder sostener la barra



Figura 18. Sujeción de la barra

- Pesos: para generar la fuerza.



Figura 19. Diferentes pesos

El montaje consiste en sujetar con la mordaza la barra por un extremo al soporte, haciendo así que la barra quede en voladizo.

Una vez tenemos colocada la barra, se marca en un papel milimetrado dónde se encuentra el extremo libre cuando no se aplica ninguna fuerza. A continuación, se medirá el desplazamiento vertical máximo del extremo libre al colgarle diferentes pesos. Se apuntarán el desplazamiento que produce cada peso y obtener así con estos datos la pendiente y con ella calcular el Módulo de Young.



Figura 20. Montaje método estático

3.3 Proceso analítico

3.3.1 Norma ATSM E756-05(2010) y método de la viga en voladizo.

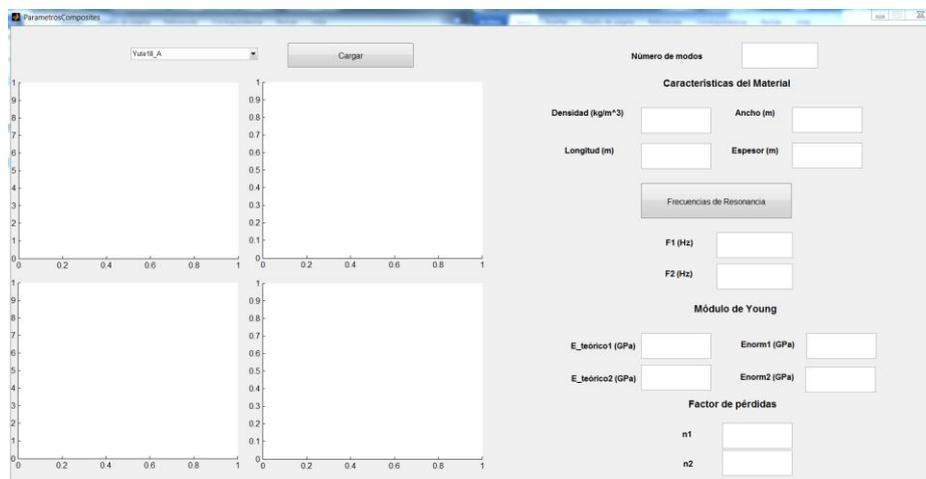
Para que el tratamiento de los datos sea lo más interactivo e intuitivo posible se hace uso de la programación en Matlab. Obteniendo así mediante el análisis modal la respuesta en frecuencia los valores de los parámetros sometidos a estudio. Esto nos lleva al diseño de una interfaz gráfica en donde se calculan los parámetros mecánicos tanto para el caso de la norma Americana E756-05, como para el método de la viga en voladizo.

La aplicación en Matlab tiene como objetivo estudiar la barra para obtener el módulo de Young y el factor de pérdidas de cada modo de vibración mediante las ecuaciones de la norma y el método de la viga en voladizo, para poder comparar los valores de los dos métodos. La aplicación muestra las gráficas de la respuesta en frecuencia y los resultados de los parámetros mecánicos (módulo de Young E y factor de pérdidas η).

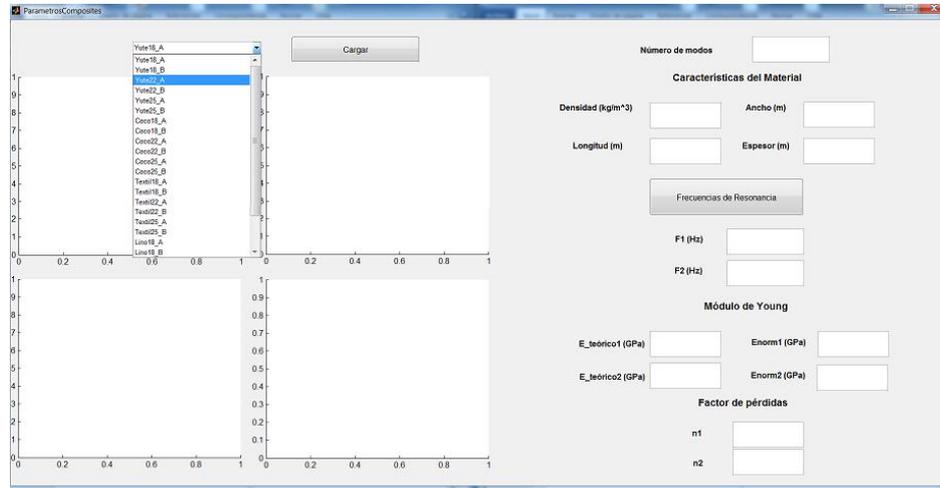
A continuación explicaremos el proceso para usar la aplicación y obtener los resultados correctamente. Nos ayudaremos de imágenes para poder comprender de una manera más sencilla la explicación.

- Ejecutamos Matlab, nos situamos en el directorio en el cuál estén los archivos de la aplicación y en la línea de comandos escribimos:
>> ParametrosComposites

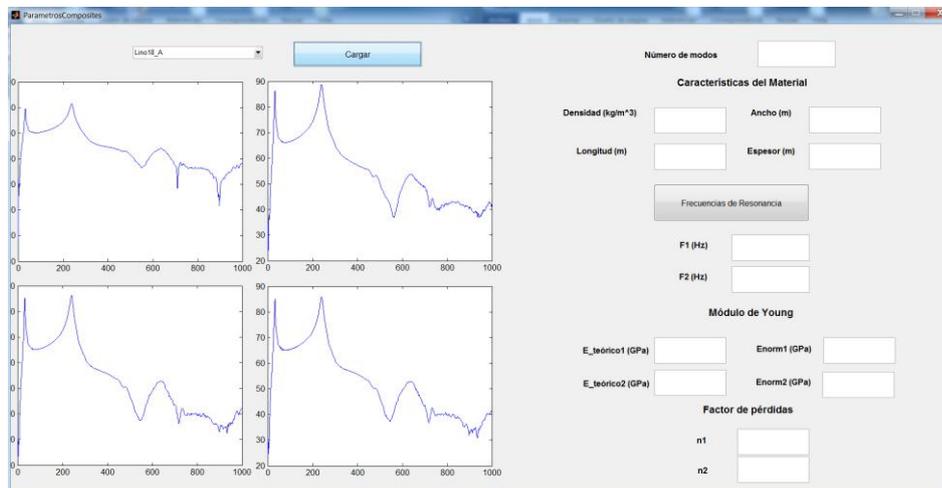
Con esto aparece en pantalla:



- Desplegamos la pestaña y escogemos el material que queremos analizar. Previamente tendremos que exportar los datos del sonómetro a un archivo .mat, formato compatible con Matlab. Cada fichero .mat contiene cuatro medidas de cada barra

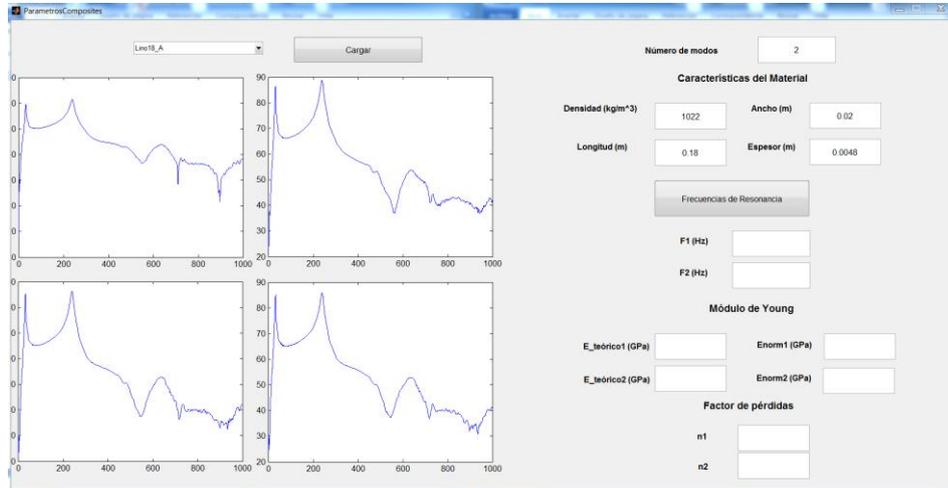


- Una vez seleccionado el material presionaremos sobre el botón cargar y nos mostrará las cuatro gráficas de la respuesta en frecuencia de las medidas realizadas.

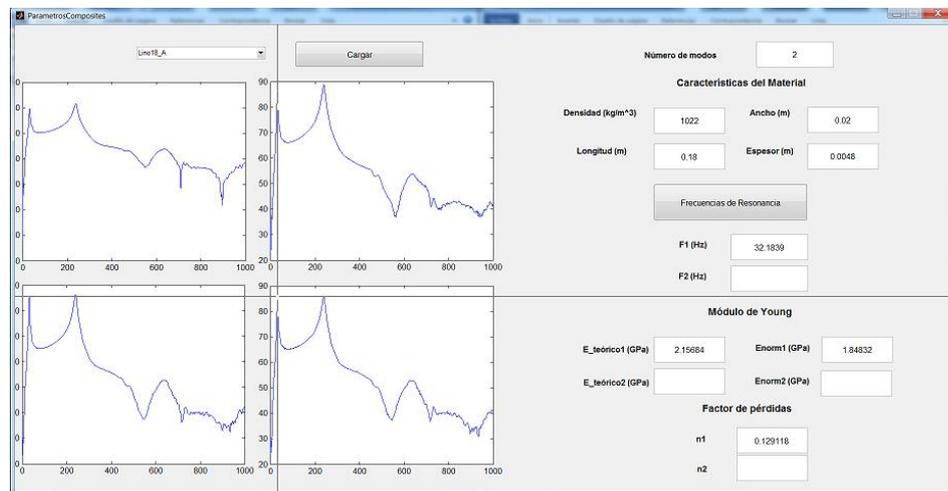


Una vez cargado el material, se pueden visualizar las gráficas de las diferentes medidas en un rango de 0 a 1000Hz. Estudiaremos los dos primeros modos de vibración, en el ejemplo se pueden diferenciar bien sus picos.

- A continuación, debemos introducir el número de modos a estudiar, en nuestro caso sólo estudiaremos los dos primeros modos de vibración. A continuación también se rellena las características (densidad, longitud, ancho y espesor) de la barra a estudiar.

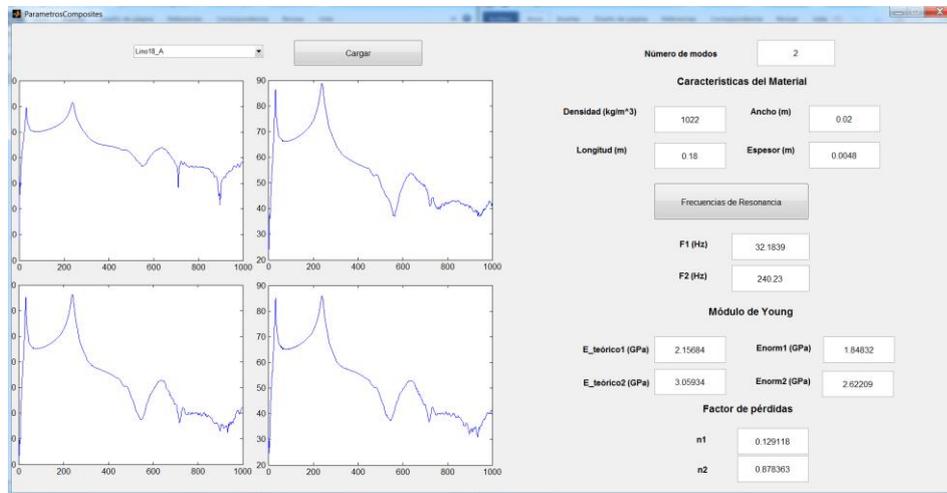


- Una vez introducidos los números de modos que queremos estudiar y los datos de la barra, pulsamos el botón Frecuencia de Resonancia. Este botón activa un puntero, con el cual tenemos que seleccionar el primer modo de vibración en las cuatro gráficas. Siempre de derecha a izquierda y de arriba abajo.



Al seleccionar los cuatro punteos el programa calcula una media de las cuatro frecuencias y nos la muestra en la pantalla, con esta frecuencia calcula el módulo de Young tanto para la norma como para el método de la viga en voladizo. También hace el cálculo del factor de pérdidas utilizando la ecuación (2).

Como seleccionamos dos modos de vibración tenemos que seleccionar ahora el segundo modo de vibración en las cuatro gráficas del mismo modo que antes.



Al seleccionar los cuatro punteos vuelve hacer lo mismo de antes pero para el segundo modo de vibración.

En el anexo1 se podrá ver el código de este programa de Matlab

3.3.2 Método estático

Los cálculos de este método se hacen con la ayuda de una hoja Excel. En ella, se anota para cada fuerza el desplazamiento que esta produce.

A continuación, se representa en una gráfica la fuerza frente al desplazamiento, de la ecuación de la gráfica se obtiene la pendiente y con ella ya podemos calcular el módulo de Young.

Esto se hace para cada material, para todas las medidas y por las dos caras. A continuación se muestra un ejemplo de tabla con los datos y las gráficas obtenidas:

F(N)	Desplazamiento(m)	
	Residuo Textil 18,cara B	Residuo Textil 18,cara A
1,1956	0,011	0,009
2,0188	0,018	0,015
3,2144	0,03	0,025
3,969	0,037	0,031
4,9882	0,047	0,039

Tabla 1. Datos desplazamiento método estático

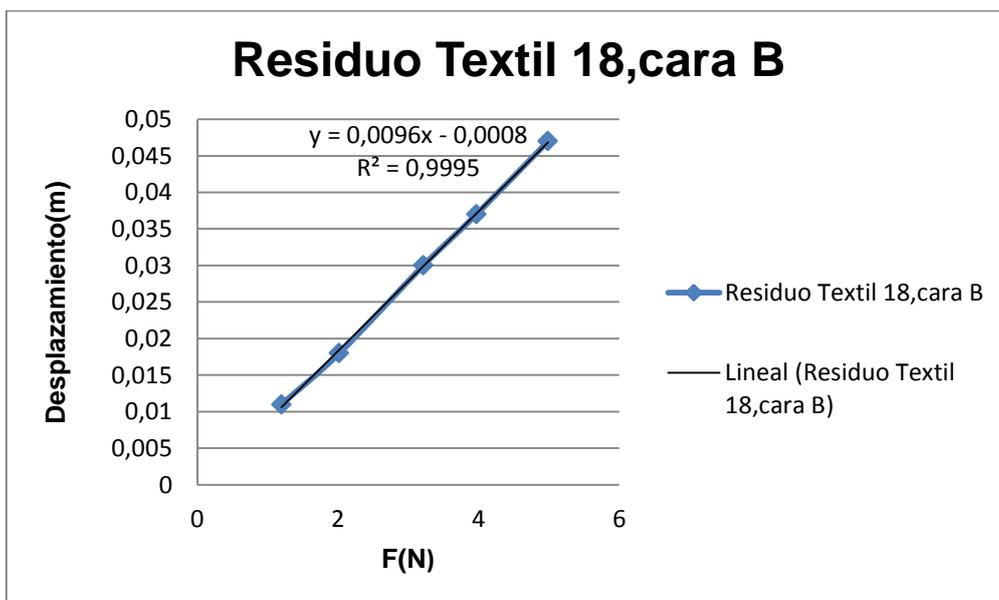
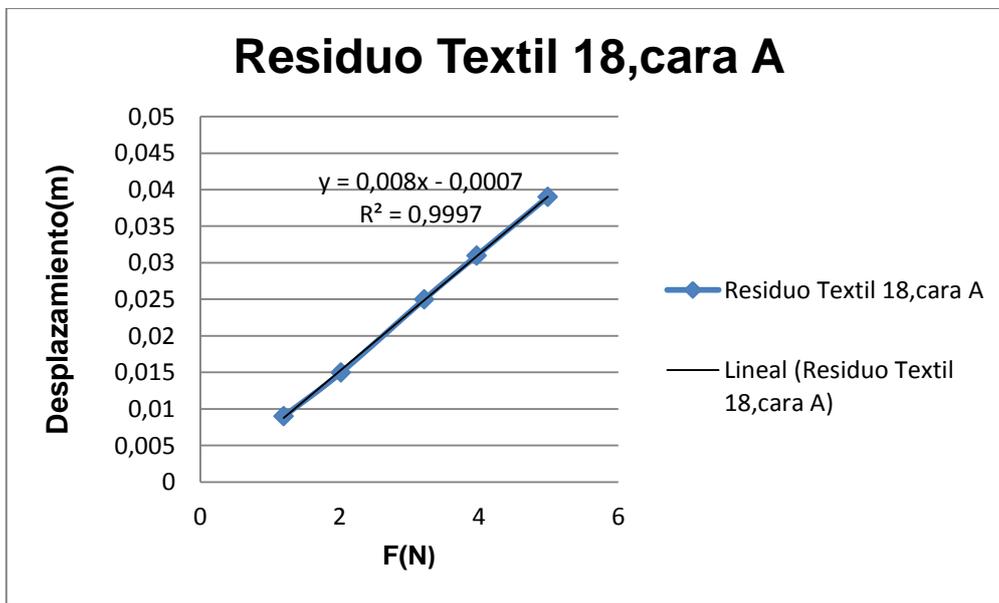


Figura 21. Gráficas del desplazamiento método estático

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos de los ensayos.

Comenzamos analizando el módulo de Young obtenido de los diferentes métodos, y para cada uno de los eco-composites estudiados, a continuación, se muestran los resultados del factor pérdidas y finalmente se hará una predicción del aislamiento acústico con los parámetros mecánicos obtenidos.

4.1 Módulo de Young

Realizamos varias medidas a distintos vidrios de los cuales ya teníamos sus medidas del módulo de Young calculadas con la norma ASTM756-05(2010). Éstas fueron realizadas en el proyecto fin de carrera “Caracterización de las propiedades mecánicas de vidrios simples y laminados mediante análisis modal” [8] de Ingeniería Técnica de Telecomunicación Imagen y Sonido de la Universidad de Alicante.

Se hizo para asegurar que el montaje de la norma y el tratamiento de los datos estaban hechos de una forma correcta.

Los datos de los vidrios que se estudiaron son los siguientes:

Vidrios	Densidad (kg/m ³)	Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Momento de Inercia (m ⁴)
Vidrio1	2450	0,006	0,02	0,18	3,60E-10
Vidrio2	2450	0,005	0,02	0,18	2,08E-10
Vidrio3	2450	0,004	0,02	0,18	1,07E-10
Vidrio4	2450	0,003	0,02	0,18	4,50E-11
Vidrio5	2450	0,005	0,02	0,28	2,08E-10

Tabla 2. Densidad y geometría de las barras de Vidrio.

Con estos vidrios se obtiene los siguientes resultados para el módulo de Young:

	Vidrio1	Vidrio2	Vidrio3	Vidrio4	Vidrio5
Frecuencia natural(HZ)	116,09	94,25	70,69	52,30	43,68
Densidad (kg/m³)	2450	2450	2450	2450	2450
Longitud (m)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,28
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,006	0,005	0,004	0,003	0,005
Momento de Inercia (m⁴)	3,60E-10	2,08E-10	1,07E-10	4,50E-11	2,08E-10
Coefficiente ATSM E756-05	0,55959	0,55959	0,55959	0,55959	0,55959
Coefficiente Viga en voladizo	3,51563	3,51563	3,51563	3,51563	3,51563
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	36,90	35,02	30,78	29,95	44,04
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	41,01	38,92	34,21	33,29	47,19

Tabla 3. Cálculo Módulo de Young con la Norma ASTM756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 1ºmodo.

	Vidrio1	Vidrio2	Vidrio3	Vidrio4	Vidrio5
Frecuencia natural(HZ)	769,54	623,563	477,586	361,494	279,31
Densidad (kg/m³)	2450	2450	2450	2450	2450
Longitud (m)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,28
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,006	0,005	0,004	0,003	0,005
Momento de Inercia (m⁴)	3,60E-10	2,08E-10	1,07E-10	4,50E-11	2,08E-10
Coefficiente ATSM E756-05	3,5069	3,5069	3,5069	3,5069	3,5069
Coefficiente Viga en voladizo	22,03364	22,03364	22,03364	22,03364	22,03364
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	41,28	39,03	35,77	36,44	45,85
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	45,87	43,37	39,75	40,49	49,13

Tabla 4. Cálculo Módulo de Young con la Norma ASTM756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 2ºmodo.

Los valores obtenidos para el Módulo de Young varían entre 40 a 50 GPa, éstos son muy similares a los obtenidos en el proyecto anteriormente citado ya que obtienen valores entre 40 a 60 GPa, por lo que podemos dar por válido el montaje de los métodos y el tratamiento de los datos.

A continuación estudiamos los **materiales ecocomposites**.



Figura 22. Espesor de barra de Coco

Como podemos observar en la anterior ilustración las placas de estos materiales no son homogéneas. Debido a esta característica, se calcula un nuevo valor de espesor escogiendo varios puntos por toda la placa con el pie de rey.

Las características de los materiales estudiados quedan de la siguiente forma:

Ecocomposites	Densidad (kg/m ³)	Espesor (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Momento de Inercia (m ⁴)
Lino	1022	0,0048	0,02	0,18/0,22/0,25	3,60E-10
Yute	940	0,005	0,02	0,18/0,22/0,25	2,08E-10
Residuo Textil(Borra)	639	0,0046	0,02	0,18/0,22/0,25	1,07E-10
Coco	998	0,0078	0,02	0,18/0,22/0,25	4,50E-11

Tabla 5. Densidad y geometría de las barras de Ecocomposites.

En las siguientes tablas se muestran los resultados para el módulo de Young con la Norma ASTM756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 1º y 2º modo. Para calcularlo, se medirán las muestras por ambos lados, por si algún material tuviera un comportamiento distinto.

Se observa que apenas hay variaciones en la frecuencia obtenidas por ambos lados, por lo que se hace un promedio para calcular el módulo de Young.

	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	32,75	34,48	20,11	34,48
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	32,76	35,06	20,11	36,21
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,18	0,18	0,18	0,18
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	0,55959	0,55959	0,55959	0,55959
Coefficiente Viga en voladizo	3,51563	3,51563	3,51563	3,51563
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	1,91	1,83	0,49	0,87
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	2,23	2,13	0,57	1,01

Tabla 6. Cálculo Módulo de Young de las barras de ecocomposites de 0,18m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 1ºmodo

	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	240,23	250,57	152,87	271,26
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	238,50	252,30	161,49	277,01
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,18	0,18	0,18	0,18
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	3,5069	3,5069	3,5069	3,5069
Coefficiente Viga en voladizo	22,03364	22,03364	22,03364	22,03364
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	2,60	2,43	0,76	1,26
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	3,04	2,84	0,89	1,47

Tabla 7. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites de 0,18m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 2ºmodo

	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	21,26	25,86	18,39	29,31
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	22,99	27,59	18,97	31,03
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,22	0,22	0,22	0,22
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	0,55959	0,55959	0,55959	0,55959
Coefficiente Viga en voladizo	3,51563	3,51563	3,51563	3,51563
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	1,95	2,41	0,95	1,34
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	2,22	2,74	1,07	1,52

Tabla 8. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites de 0,22m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 1ºmodo

	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	168,97	181,61	127,59	219,54
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	168,97	183,91	128,74	217,24
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,22	0,22	0,22	0,22
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	3,5069	3,5069	3,5069	3,5069
Coefficiente Viga en voladizo	22,03364	22,03364	22,03364	22,03364
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	2,89	2,87	1,13	1,79
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	3,29	3,26	1,29	2,03

Tabla 9. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites de 0,22m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 2ºmodo

	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	18,39	21,84	10,34	27,59
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	18,97	22,99	12,64	28,74
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,25	0,25	0,25	0,25
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	0,55959	0,55959	0,55959	0,55959
Coefficiente Viga en voladizo	3,51563	3,51563	3,51563	3,51563
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	2,32	2,83	0,60	1,95
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	2,60	3,17	0,67	2,18

Tabla 10. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites de 0,25m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 1ºmodo

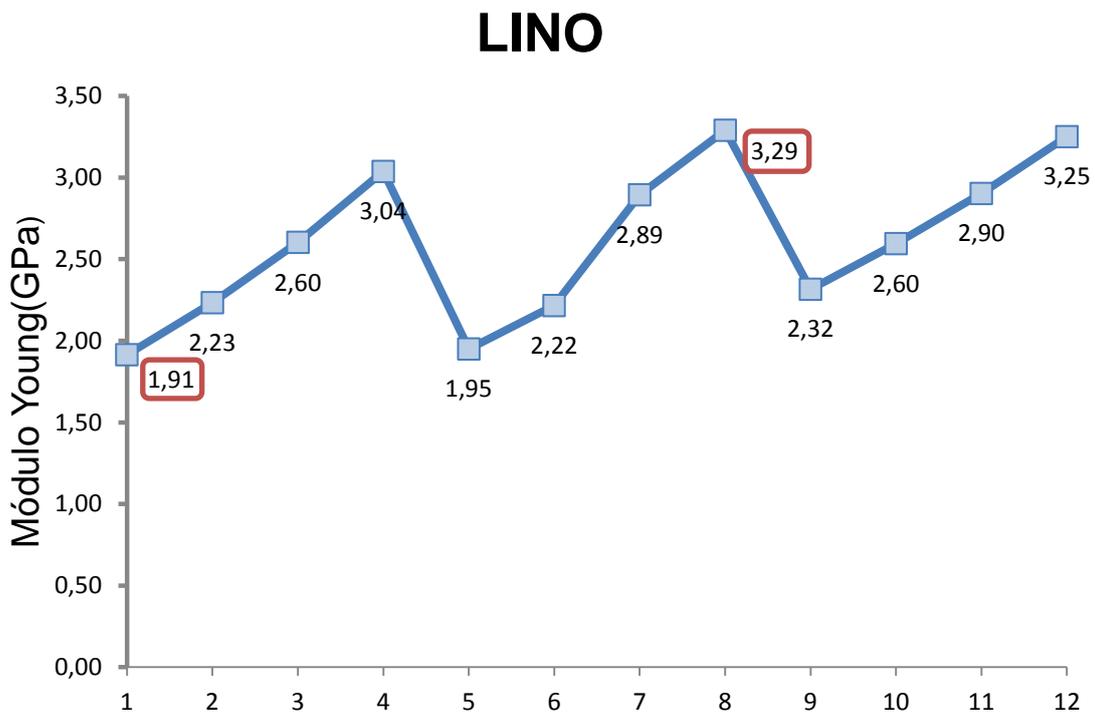
	Lino	Yute	Residuo Textil(Borra)	Coco
Frecuencia natural(Hz) (cara A)	132,18	148,28	89,08	178,74
Frecuencia natural(Hz) (cara B)	129,89	151,72	89,66	174,14
Densidad (kg/m ³)	1022	940	639	998
Longitud (m)	0,25	0,25	0,25	0,25
Ancho (m)	0,02	0,02	0,02	0,02
Espesor (m)	0,0048	0,005	0,0046	0,0078
Momento de Inercia (m ⁴)	1,84E-10	2,08E-10	1,62E-10	7,910E-11
Coefficiente ATSM E756-05	3,5069	3,5069	3,5069	3,5069
Coefficiente Viga en voladizo	22,03364	22,03364	22,03364	22,03364
Módulo de Young(GPa) ATSM E756-05	2,90	3,22	0,92	1,95
Módulo de Young(GPa) Viga en voladizo	3,25	3,61	1,03	2,18

Tabla 11. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites de 0,25m, con la Norma ASTM E756-05(2010) y el método general de una viga en voladizo a partir de la frecuencia natural de vibración del 2ºmodo

A continuación se muestra una gráfica de cada material con los resultados del módulo de Young con la Norma ASTM756-05(2010) y el método general de la viga en voladizo para la frecuencia natural de vibración del 1º y 2º modo.

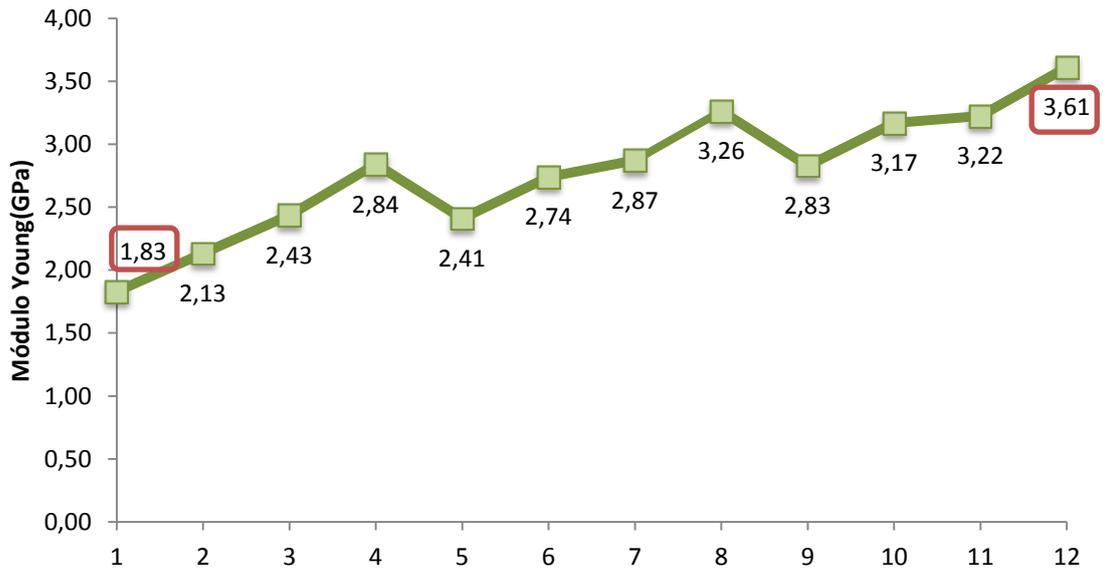
En ellas se puede observar las variaciones que se producen del Módulo de Young en cada material. Esto se debe a la heterogeneidad de los materiales, al proceso de fabricación y a las condiciones del ensayo que no son siempre idénticas, puesto que es muy difícil realizar los ensayos siempre iguales de una forma manual.

Por eso no hablaremos de un único valor de Módulo de Young sino que cada material tendrá un rango de valores para dicho módulo.



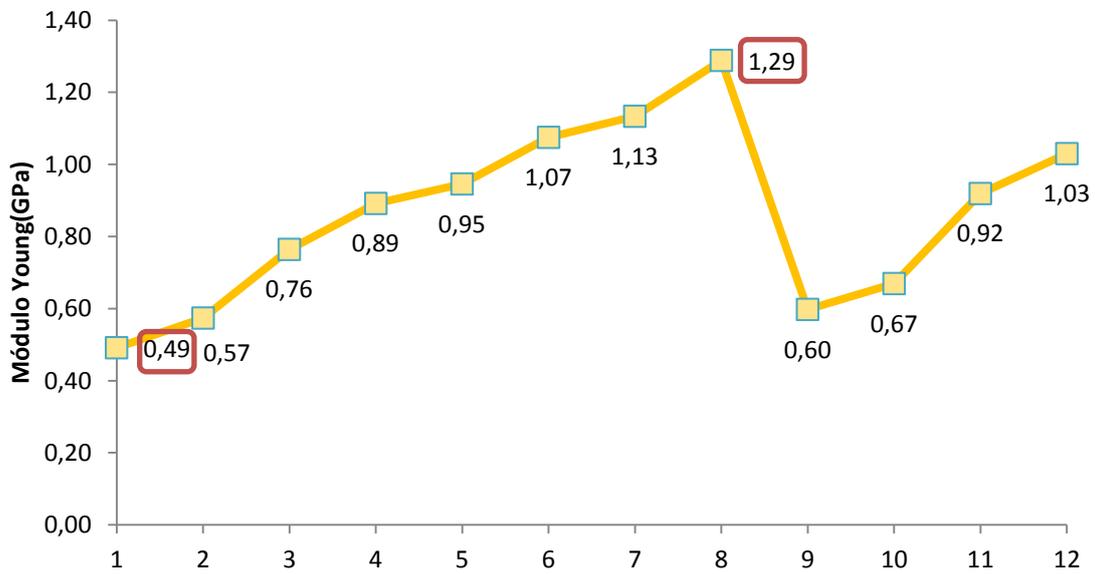
Gráfica 1. Valores del Módulo de Young para el Lino tanto de la Norma ASTM E756-05(2010) como del método de la viga en voladizo

YUTE

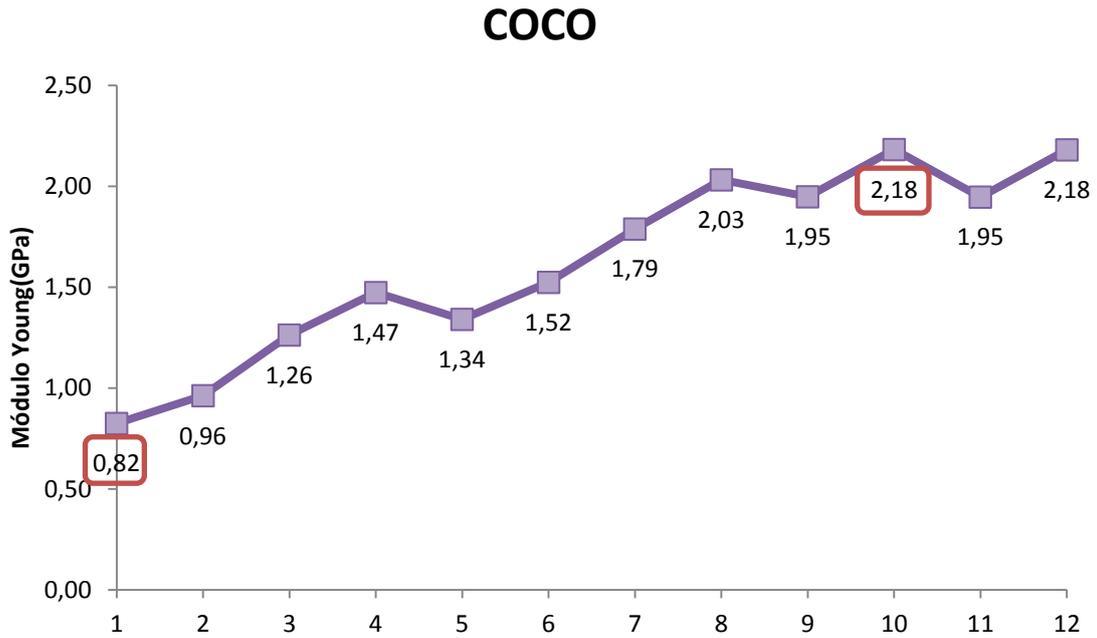


Gráfica 2. Valores del Módulo de Young para el Yute tanto de la Norma ASTM E756-05(2010) como del método de la viga en voladizo

RESIDUO TEXTIL(BORRA)



Gráfica 3. Valores del Módulo de Young para el Residuo textil (borra) tanto de la Norma ASTM E756-05(2010) como del método de la viga en voladizo



Gráfica 4. Valores del Módulo de Young para Coco tanto de la Norma ASTM E756-05(2010) como del método de la viga en voladizo

En las gráficas se observa un valor mínimo y otro máximo para cada material, se obtienen así los rangos de valores para cada material.

Módulo de Young(GPa)		
	Valor Mínimo	Valor máximo
Lino	1,91	3,29
Yute	1,83	3,61
Residuo Textil(Borra)	0,49	1,29
Coco	0,82	2,18

Tabla 12. Valor mínimo y máximo del módulo de Young

Estos resultados del Módulo de Elasticidad de los diferentes materiales son comparados y verificados con el método estático. Este método como explicamos anteriormente consiste en cargar el extremo de la barra con un peso conocido y medir su desplazamiento. Al añadir peso en la barra, esta tiene que hacer más resistencia por eso el Módulo de elasticidad puede aumentar considerablemente.

Los valores obtenidos a partir de este método se muestran en la siguiente tabla:

Módulo de Young método estático(GPa)			
	Barra de 0,18 m	Barra de 0,22 m	Barra de 0,25 m
Lino	3,09	2,33	2,94
Yute	3,02	3,83	3,32
Residuo Textil(Borra)	1,17	1,85	1,19
Coco	3,19	4,92	1,19

Tabla 13. Cálculo Módulo de Young de las barras de eco-composites, con el método estático.

Como podemos observar los valores calculados de los anteriores ensayos y el ensayo dinámico tienen mucha relación, excepto con la Fibra de Coco. El resultado de este material era esperado, ya que al realizar las medidas con este ensayo pudimos observar que era un material muy flexible y deformable. Al someterlo a un peso y a continuación quitárselo, la barra continuaba desplazada y tardaba en volver al estado inicial. Este comportamiento lo podemos ver en la siguiente imagen.

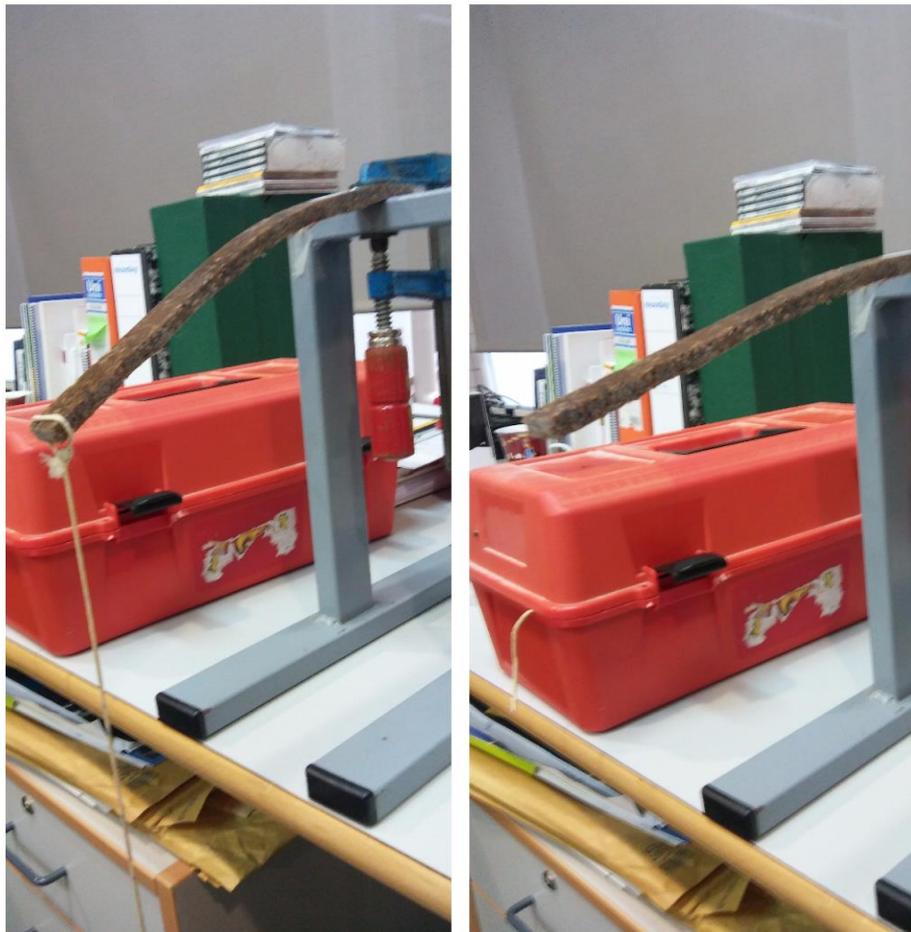


Figura 23. Coco con peso y sin peso.

4.1.1 Error asociado

Cuando se mide una cantidad, ya directa o indirectamente, la medida que se obtiene no coincide necesariamente con el valor exacto de la medición, ya que el resultado se ve afectado por multitud de factores. Por ejemplo al medir la longitud de las barras sufrirá errores debido a la precisión del metro con el que medimos. Es por esto que se estudia el error asociado a los diferentes métodos ensayados

4.1.1.1 Norma ASTM E756-05(2010)

Para estudiar el error asociado a la norma ASTM E756-05(2010) lo primero que hacemos es seleccionar de la ecuación(1) las variables que pueden introducir algún tipo de error.

$$E = \frac{12\rho L^4 f_n^2}{HC_n^2} \quad (1)$$

Las variables que pueden introducir error debido a la instrumentación que utilizamos para las mediciones son la longitud, la frecuencia y el espesor. Por eso hacemos las derivadas parciales de la fórmula respecto a estas variables obteniendo la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \varepsilon E &= \left| \frac{\partial E}{\partial L} \right| |\varepsilon L| + \left| \frac{\partial E}{\partial f_n} \right| |\varepsilon f_n| + \left| \frac{\partial E}{\partial H} \right| |\varepsilon H| \\ &= \frac{12\rho f_n^2 4l^3}{H^2 C_n^2} |\varepsilon L| + \frac{12\rho l^4 2f_n}{H^2 C_n^2} |\varepsilon f_n| \\ &\quad + \frac{(12\rho l^4 f_n^2)(2HC_n^2)}{(H^2 C_n^2)^2} |\varepsilon H| \end{aligned} \quad (6)$$

Dónde:

$$\varepsilon L = 1 * 10^{-3} m$$

$$\varepsilon f_n = 1 * 10^{-4} Hz$$

$$\varepsilon H = 1 * 10^{-3} m$$

El resultado de este error varía según el material estudiado. Tenemos un error de alrededor del 10% para el Yute y el Lino, un 19% para el Residuo Textil (borra) y un 35% para el Coco.

Los errores para cada material quedarían de la siguiente forma:

- Lino: (1,91-3,29) +/- 0,19 GPa
- Yute: (1,83 -3,61) +/- 0,18 GPa
- Coco: (0,82-2,18) +/- 0,28 GPa
- Textil: (0,49-1,29) +/- 0,10 GPa

4.1.1.2 Método general de la viga en voladizo

Para estudiar el error asociado al método general de la viga en voladizo también lo primero que hacemos es seleccionar las variables que pueden introducir algún tipo de error a partir de la ecuación (3):

$$E = \frac{(2\pi f_n)^2 mL^3}{C_n^2 I} \quad (3)$$

En este caso las variables que pueden introducir error debido a la instrumentación que utilizamos para las mediciones son la longitud, la frecuencia y el momento de inercia. Por eso hacemos las derivadas parciales de la fórmula respecto a estas variables obteniendo la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \varepsilon E &= \left| \frac{\partial E}{\partial f_n} \right| |\varepsilon f_n| + \left| \frac{\partial E}{\partial L} \right| |\varepsilon L| + \left| \frac{\partial E}{\partial I} \right| |\varepsilon I| \\ &= \frac{4\pi^2 mL^3 2f_n}{C_n^2 I} |\varepsilon f_n| + \frac{4\pi^2 f_n^2 m 3L^2}{C_n^2 I} |\varepsilon L| + \frac{4\pi^2 f_n^2 mL^3}{C_n^2 I^2} |\varepsilon I| \end{aligned} \quad (7)$$

Dónde:

$$\varepsilon f_n = 1 * 10^{-4} Hz$$

$$\varepsilon L = 1 * 10^{-3} m$$

Sabemos que el momento de Inercia se calcula de la siguiente forma:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (8)$$

Por lo que

$$\begin{aligned} \varepsilon I &= \left| \frac{\partial I}{\partial b} \right| |\varepsilon b| + \left| \frac{\partial I}{\partial h} \right| |\varepsilon h| \\ &= \frac{h^3}{12} |\varepsilon b| + \frac{b3h^2}{12} |\varepsilon h| \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon b = 1 * 10^{-3} \\ \varepsilon h = \text{desviación típica del espesor} \end{array} \right. \end{aligned} \quad (9)$$

El resultado de este error varía según el material estudiado. Tenemos un error de alrededor del 20% para el Yute y el Lino, un 32% para el Residuo Textil (borra) y un 50% para el Coco.

Los errores para cada material quedarían de la siguiente forma:

- Lino: (1,91-3,29) +/- 0,38 GPa
- Yute: (1,83 -3,61) +/- 0,36 GPa
- Coco: (0,82-2,18) +/- 0,41 GPa
- Textil: (0,49-1,29) +/- 0,15 GPa

4.1.1.3 Método estático

Para el método estático se hace lo mismo que para los dos anteriores, partiendo de la ecuación(5).

$$E = \frac{L^3}{3mI} \quad (5)$$

En este caso las variables que pueden introducir error debido a la instrumentación que utilizamos para las mediciones son la longitud, la pendiente y el momento de inercia. Por eso hacemos las derivadas parciales de la fórmula respecto a estas variables obteniendo la siguiente fórmula:

(10)

$$\begin{aligned} \varepsilon E &= \left| \frac{\partial E}{\partial L} \right| |\varepsilon L| + \left| \frac{\partial E}{\partial I} \right| |\varepsilon I| + \left| \frac{\partial E}{\partial m} \right| |\varepsilon m| \\ &= \frac{3L^2}{3mI} |\varepsilon L| + \frac{L^3}{3mI^2} |\varepsilon I| + \frac{L^3}{3Im^2} |\varepsilon m| \end{aligned}$$

Dónde:

$$\varepsilon L = 1 * 10^{-3} m$$

(11)

$$\begin{aligned} \varepsilon I &= \left| \frac{\partial I}{\partial b} \right| |\varepsilon b| + \left| \frac{\partial I}{\partial h} \right| |\varepsilon h| \\ &= \frac{h^3}{12} |\varepsilon b| + \frac{b3h^2}{12} |\varepsilon h| \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon b = 1 * 10^{-3} \\ \varepsilon b = \text{desviación típica del espesor} \end{array} \right. \end{aligned}$$

(12)

$$\varepsilon m = \frac{2m}{r} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad \left\{ \begin{array}{l} r^2 : \text{correlación} \\ n : n^{\circ} \text{ de medidas} \end{array} \right.$$

El resultado de este error varía según el material estudiado. Tenemos un error de alrededor del 26% para el Yute y el Lino, un 38% para el Residuo Textil (borra) y un 66% para el Coco. Con esto podemos decir que las medidas del coco con este método no son muy precisas.

Los errores para cada material quedarían de la siguiente forma:

- Lino: (1,91-3,29) +/- 0,49 GPa
- Yute: (1,83 -3,61) +/- 0,47 GPa
- Coco: (0,82-2,18) +/- 0,54 GPa
- Textil: (0,49-1,29) +/- 0,18 GPa

El valor obtenido del coco mediante este método no es muy fiable debido al error elevado que posee.

4.2 Factor de pérdidas

En las siguientes tablas se muestra el factor de pérdida que se obtiene a partir de la ecuación (2) de los materiales compuestos para la frecuencia natural de vibración del 1º y 2º modo.

Factor de pérdidas(η_1)				
	Barra de 0,18 m	Barra de 0,22 m	Barra de 0,25 m	Promedio
Lino	0,09	0,16	0,21	0,15
Yute	0,09	0,14	0,14	0,13
Residuo Textil(Borra)	0,13	0,16	0,31	0,20
Coco	0,08	0,10	0,12	0,10

Tabla 14. Cálculo del factor de pérdidas de eco-composites a partir de la frecuencia natural de vibración del 1º modo

Factor de pérdidas(η_2)				
	Barra de 0,18 m	Barra de 0,22 m	Barra de 0,25 m	Promedio
Lino	0,77	0,04	0,14	0,32
Yute	0,77	0,24	0,03	0,35
Residuo Textil(Borra)	0,14	0,05	0,05	0,08
Coco	0,78	0,02	0,14	0,31

Tabla 15. Cálculo del factor de pérdidas de eco-composites a partir de la frecuencia natural de vibración del 2º modo

4.3 Aislamiento

Para evaluar el aislamiento acústico, nos ayudaremos de unas funciones en Matlab creadas para el artículo "Aislamiento acústico a ruido aéreo en acristalamiento de vidrio" [9]. Con esta función evaluaremos las pérdidas por transmisión de los materiales compuestos.

Para evaluar las pérdidas por transmisión el programa necesita como datos de entrada la masa por unidad de área, la rigidez a flexión y el factor de pérdidas.

El cálculo de la rigidez a flexión se calcula de la siguiente forma:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (13)$$

Dónde:

$E = \text{Módulo de Young, Pa}$

$h = \text{espesor del material, m}$

$(1 - \nu^2) \approx 0.99$

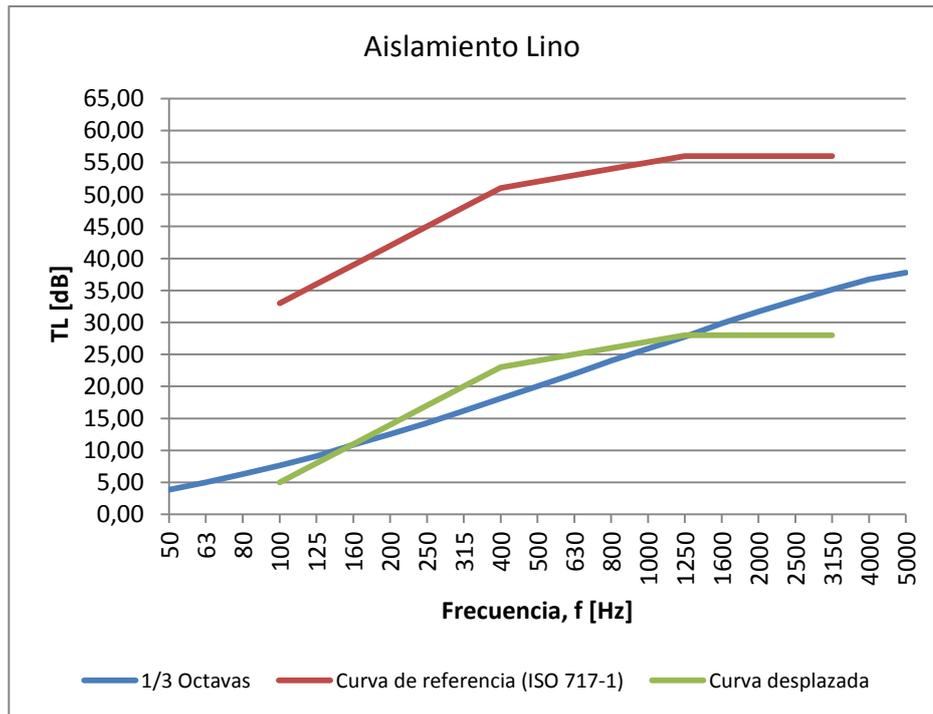
Se obtendrán los datos en tercios de octava desde 100Hz a 3150Hz como resultados globales R_w , $R_w + C_{TR}$, obtenidos según UNE-EN ISO 717-1:2013[10]

Los datos que se utilizaron para los cálculos del aislamiento son los siguientes:

	Masa por unidad de área(kg/m ²)	η	E(Gpa)
Lino	4,9	0,15	2,6
Yute	4,7	0,13	3
Residuo Textil(Borra)	2,9	0,2	1
Coco	7,8	0,1	1,5

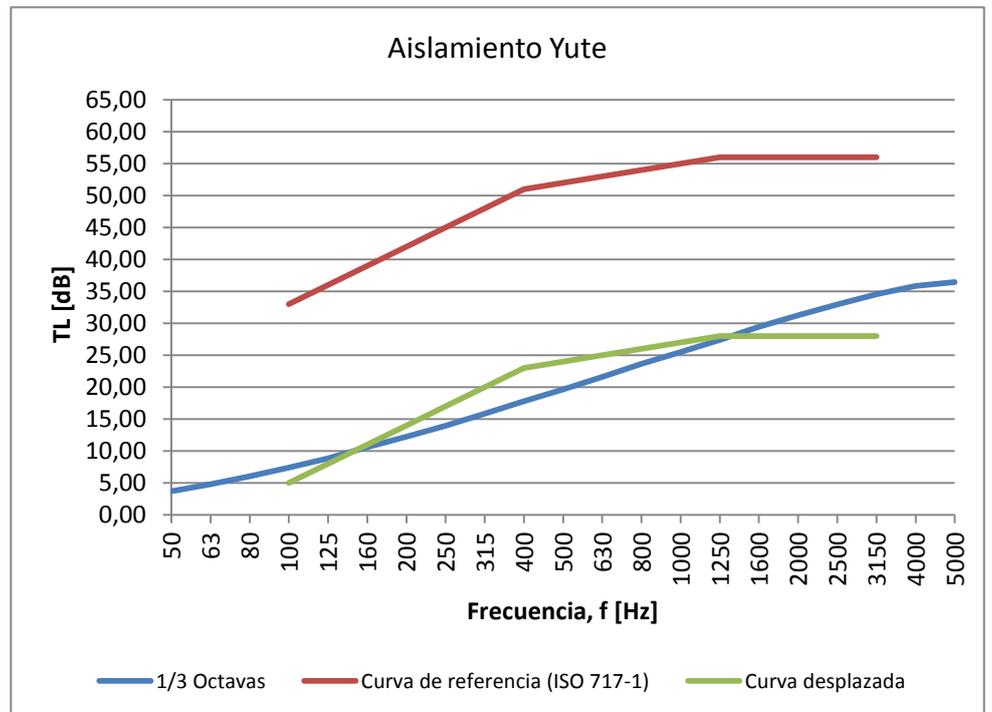
Tabla 16. Datos para cálculo del aislamiento

f(Hz)	R(dB)
50	3,9
63	5,0
80	6,3
100	7,6
125	24,0
160	10,9
200	12,5
250	14,3
315	16,2
400	18,1
500	20,0
630	22,0
800	24,0
1000	25,9
1250	27,8
1600	29,8
2000	31,7
2500	33,4
3150	35,2
4000	36,7
5000	37,8



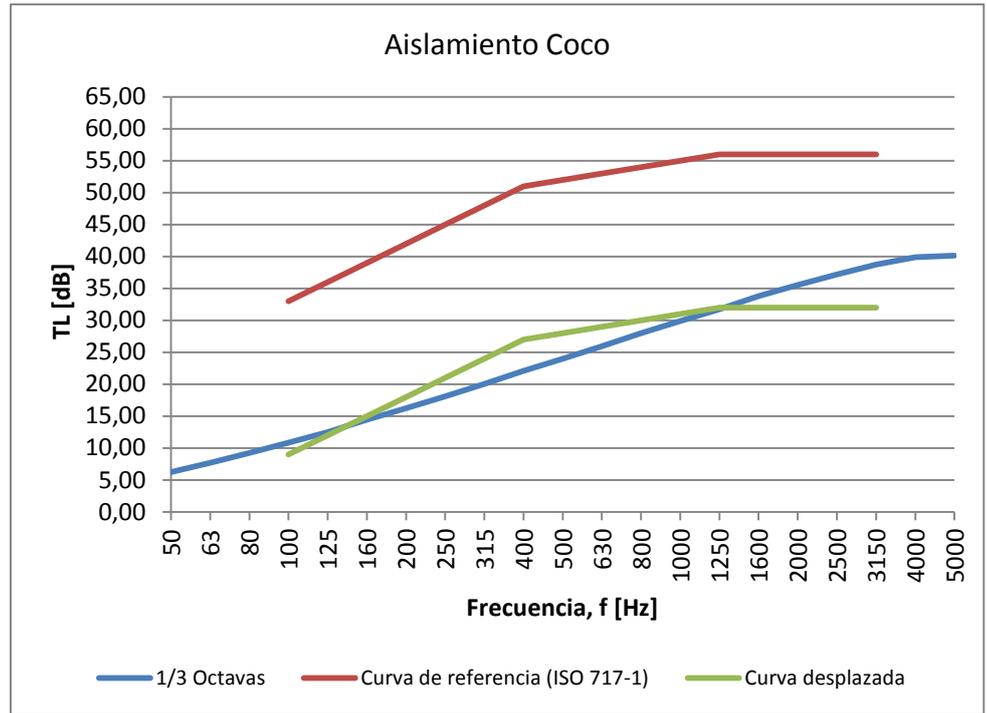
Valoración según la norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C; CTR)=24(-1;-4)$ dB

f(Hz)	R(dB)
50	3,7
63	4,8
80	6,0
100	7,4
125	23,6
160	10,6
200	12,2
250	14,0
315	15,8
400	17,8
500	19,6
630	21,6
800	23,6
1000	25,5
1250	27,4
1600	29,4
2000	31,2
2500	32,9
3150	34,5
4000	35,8
5000	36,4



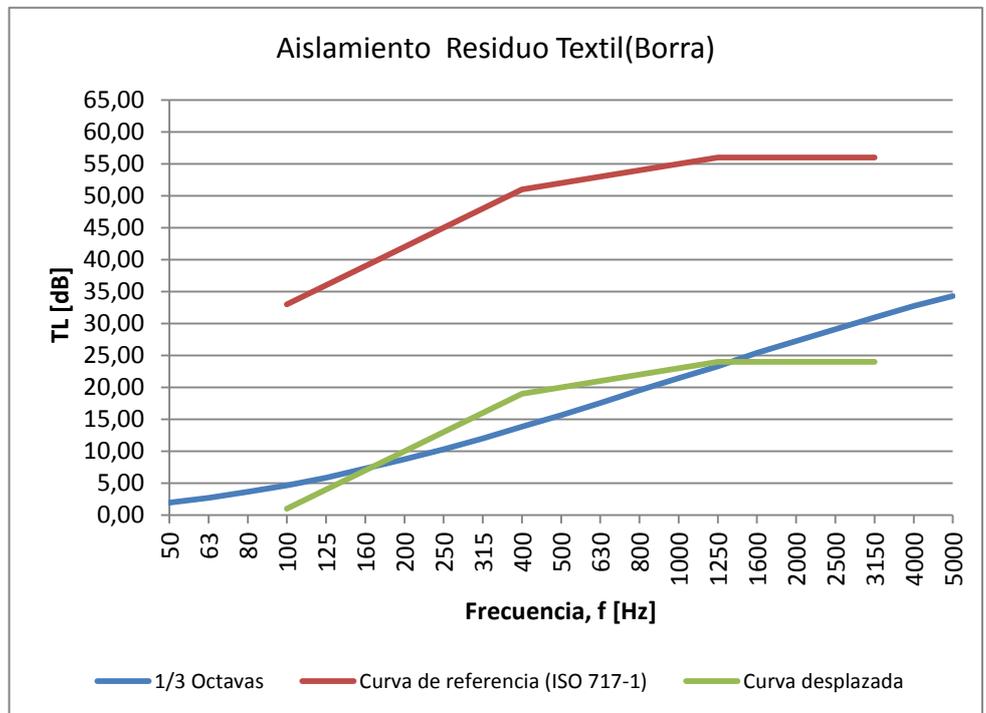
Valoración según la norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C; CTR)=24(-1;-5)$ dB

f(Hz)	R(dB)
50	6,3
63	7,7
80	9,2
100	10,8
125	28,0
160	14,4
200	16,2
250	18,1
315	20,0
400	22,1
500	24,0
630	25,9
800	28,0
1000	29,9
1250	31,7
1600	33,8
2000	35,5
2500	37,2
3150	38,7
4000	39,9
5000	40,1



Valoración según la norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C; CTR)=28(-1;-5)$ dB

f(Hz)	R(dB)
50	1,9
63	2,7
80	3,6
100	4,7
125	19,5
160	7,3
200	8,7
250	10,3
315	12,0
400	13,8
500	15,6
630	17,5
800	19,5
1000	21,4
1250	23,3
1600	25,4
2000	27,3
2500	29,1
3150	30,9
4000	32,7
5000	34,3



Valoración según la norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C; CTR)=20(-1;-4)$ dB

Capítulo 5. Conclusiones y Líneas futuras de trabajo

En este capítulo, por un lado se exponen las conclusiones del proyecto realizado, y ya para terminar se introducen algunas posibles líneas de trabajo futuro

5.1 Conclusiones

A lo largo de este proyecto se estudiaron e implementaron varios métodos para poder obtener las características mecánicas de materiales eco-composites para poder predecir su aislamiento acústico como parte de soluciones ligeras.

Del trabajo realizado podemos extraer las siguientes conclusiones:

-Las frecuencias obtenidas por ambas caras de los eco-composites son muy similares, por lo que podemos decir que los materiales eco-composites tienen el mismo comportamiento frecuencial a ambos lados.

-No se hablará de un único valor de Módulo de Young sino que cada material tendrá un rango de valores para dicho módulo. Esto es debido a la heterogeneidad de los materiales, a los diferentes procesos de fabricación y a las condiciones de ensayo que no son siempre idénticas, puesto que es muy difícil realizar los ensayos siempre iguales de una forma manual. La no isotropía de la disposición de las fibras que conforman estos eco-composites y la influencia de ésta característica en las propiedades mecánicas es objeto de análisis y estudio de miembros del equipo investigador y de trabajo del proyecto Nacional BIA2013 [1], del departamento de materiales de la Universidad Politécnica de Valencia.

-Los valores que obtenemos del error asociado, así como la necesidad de dar un intervalo de módulo de Young y no un valor único a cada eco-composites textil, indican la necesidad de seguir investigando en estos nuevos eco-materiales para poder definir sus características y poder ser utilizados en distintas aplicaciones.

-Los valores obtenidos del módulo de Young con la Norma y del método de la viga en voladizo, mantienen relación con los obtenidos con los ensayos dinámicos, a excepción del Coco, ya que al realizar las medidas con este ensayo pudimos observar que era un material muy flexible y deformable. Al someterlo a un peso y a continuación quitárselo, la barra continuaba desplazada y tardaba en volver al estado inicial.

- La fibra de Lino y el Yute son los materiales eco-composites que mayor módulo de Young tienen, su valor está alrededor de los 3GPa muy parecido al obtenido en la tesis “Comparativa de Módulo de Elasticidad de Materiales Biocomposites entre el ensayo dinámico y estático” [7] en el cual obtienen un valor de 3,8GPa. Le sigue el Coco con unos valores entre 1 y 2 GPa y por último el material de fibra de residuo textil que tiene un módulo de Young alrededor de 1 GPa.

-En cuanto al factor de pérdidas se puede observar que el valor a partir de la frecuencia natural de vibración del 2ºmodo es mayor que el valor a partir del 1ºmodo de vibración excepto para el material de Fibra de Residuo textil que se comporta de la manera inversa.

- Al evaluar el aislamiento acústico obtenemos el mayor aislamiento para el Coco de 28dB, seguido del Lino y Yute que ofrecen 24dB y por último la fibra de residuo Textil con 20dB. Esta evaluación se ha realizado de modo teórico. El valor de aislamiento que presentan estos materiales (índice de reducción sonora (dB)), es totalmente comparable con el valor de 26 (dB) que presenta una solución ligera al aislamiento acústico clásica y muy utilizada en edificación como es la placa de yeso [11].

5.2 Líneas futuras de trabajo

Como futuras líneas de investigación, se pueden seguir las siguientes:

-Evaluación y análisis de la influencia de la dirección de corte de las probetas. Cortar las placas en otra dirección para saber si influye la orientación de las fibras en los resultados

--Estudio de la variabilidad del error de los métodos, para poder definir un método de ensayo o método de evaluación para materiales no isótropos, como son los ecomateriales.

-Evaluación del aislamiento acústico en cámara de transmisión sonora y comparar con los valores teóricos obtenidos en esta Tesina a partir de los valores mecánicos.

Es sabido, que para ensayos acústicos de aislamiento en cámara de transmisión sonora se necesitan del orden de 10 m² de material para poder realizar el ensayo normalizado. En la ESPG-UPV se dispone de una cámara de transmisión para pequeñas muestras [12] que nos permite estimar el aislamiento acústico con muestras de poco más de 1 m². Se han realizado ensayos del índice de reducción sonora en esta cámara, y los resultados serán comparados con los valores obtenidos en esta Tesina. Algunos de éstos resultados serán publicados en Tecnicústica 2017, 48º Congreso Español de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica (La Coruña, Octubre de 2017).

Es de bien nacidos ser agradecidos...

En este punto, me gustaría dar las gracias a todos aquellos que de alguna forma u otra han influido en este proyecto.

En primer lugar a mis tutores de proyecto Jesús Alba y Romina Del Rey, por darme la posibilidad de hacer este proyecto y por la ayuda prestada en todo momento.

A los profesores del Máster, por todos los conocimientos aprendidos y a mis compañeros por hacer esta aventura más fácil.

A esas personas que hicieron sentirme estar en casa, estando lejos.

Agradecerles por supuesto a mi familia y amigos por estar siempre ahí y por su apoyo incondicional.

En definitiva a todos aquellos que os alegráis por este momento, como si fuera vuestro porque realmente lo es.

Gracias a todos.

Bibliografía

- [1] Proyecto Nacional BIA2013-41537- R: BIAEFIREMAT “Desarrollo de nuevos materiales ecológicos y soluciones constructivas sostenibles para edificación basado en el uso de residuos y materias primas renovables”. Ministerio de Economía y Competitividad de España, cofinanciado con fondos FEDER, programa estatal Retos de la Sociedad 2013.
- [2] DB-HR CTE (2010). Documento Básico HR Protección Frente al Ruido. Ministerio de Fomento.
- [3] ASTM E756-05(2010). Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials.
- [4] ISO/PAS 16940(2004)-Glass in building- Glazing and airborne sound insulation- Measurement of the mechanical impedance of laminated glass.
- [5] Aranda Ruiz, Josué. “Vibraciones de elementos simples con condiciones de contorno dependientes del tiempo”. PFC. Universidad Carlos III de Madrid, Ingeniería Industrial. (2010)
- [6] Tarsicio Beléndez et al. “Flexión de una barra empotrada en un extremo: Aproximación para Pequeñas Pendientes”. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol 24, nº 4 (2002).
- [7] Edisson Fernando Calderón Freire. “Comparativa del módulo de elasticidad de materiales biocomposites entre el ensayo dinámico y estático”. Tesina de Máster. Máster Universitario de Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales. Universitat Politècnica de València. (2016).
- [8] Eugenio Catalá Bonafonte, “Caracterización de las propiedades mecánicas de vidrios simples y laminados mediante análisis modal”. PFC. Ingeniería Técnica de Telecomunicación Imagen y Sonido. Universidad de Alicante. (2008).
- [9] Alba J., Escuder E., Ramis J. “Aislamiento acústico a ruido aéreo en acristalamiento de vidrio”. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 46 (2007).
- [10] UNE-EN ISO 717-1:2013. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo (ISO 717-1:2013).

[11] R. Reixart et al. "Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards". *Construction and Building Materials*, 77 (2015), 124-129.

[12] L. Bertó. Nuevos materiales, modelos y técnicas de caracterización en acústica de la edificación y acústica medioambiental. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València (2015).

Anexo 1. Código Matlab

```

function varargout = ParametrosComposites(varargin)
% PARAMETROSCOMPOSITES MATLAB code for ParametrosComposites.fig

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ParametrosComposites_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ParametrosComposites_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ParametrosComposites is made visible.
function ParametrosComposites_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ParametrosComposites (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for ParametrosComposites
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ParametrosComposites wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ParametrosComposites_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

% --- Executes on selection change in selector.
function selector_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to selector (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns selector
contents as cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from
selector

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Carga el material elegido, hay 4 materiales diferentes con tres
medidas cada uno y se hacen medidas por ambas caras, por lo que
tenemos 24 casos
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

global Frecuencia;
global Medida1;
global Medida2;
global Medida3;
global Medida4;

materiales=get(handles.selector,'String');
num_material=get(hObject,'Value');
switch(num_material)

    case 1
        material=strjoin(materiales(1))
        load(material);
        Frecuencia;
        Medida1;
        Medida2;
        Medida3;
        Medida4;

    case 2
        material=strjoin( materiales(2))
        load(material);
        Frecuencia;
        Medida1;
        Medida2;
        Medida3;
        Medida4;

    case 3
        material=strjoin( materiales(3))
        load(material);
        Frecuencia;
        Medida1;
        Medida2;
        Medida3;
        Medida4;

```

```
case 4
  material=strjoin( materiales(4))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 5
  material=strjoin( materiales(5))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 6
  material=strjoin( materiales(6))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 7
  material=strjoin( materiales(7))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 8
  material=strjoin( materiales(8))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 9
  material=strjoin( materiales(9))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;

case 10
  material=strjoin( materiales(10))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
```

```
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 11  
material=strjoin(materiales(11))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 12  
material=strjoin( materiales(12))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 13  
material=strjoin( materiales(13))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 14  
material=strjoin( materiales(14))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 15  
material=strjoin( materiales(15))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 16  
material=strjoin( materiales(16))  
load(material);  
Frecuencia;  
Medida1;  
Medida2;  
Medida3;  
Medida4;
```

```
case 17
  material=strjoin( materiales(17))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```
case 18
  material=strjoin( materiales(18))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```
case 19
  material=strjoin( materiales(19))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```
case 20
  material=strjoin( materiales(20))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```
case 21
  material=strjoin(materiales(21))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```
case 22
  material=strjoin( materiales(22))
  load(material);
  Frecuencia;
  Medida1;
  Medida2;
  Medida3;
  Medida4;
```

```

case 23
    material=strjoin( materiales(23))
    load(material);
    Frecuencia;
    Medida1;
    Medida2;
    Medida3;
    Medida4;

    case 24
        material=strjoin( materiales(24))
        load(material);
        Frecuencia;
        Medida1;
        Medida2;
        Medida3;
        Medida4;

end

function selector_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to selector (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Muestra los gráficos del material elegido al pulsar el botón Carga
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% --- Executes on button press in botoncarga.
function botoncarga_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to botoncarga (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

global Frecuencia;
global Medida1;
global Medida2;
global Medida3;
global Medida4;
axes(handles.graf1)
plot(Frecuencia,Medida1)
axes(handles.graf2)
plot(Frecuencia,Medida2)
axes(handles.graf3)
plot(Frecuencia,Medida3)
axes(handles.graf4)
plot(Frecuencia,Medida4)

```

```

function num_modos_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to num_modos (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_modos as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
num_modos as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_modos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to num_modos (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function densidad_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to densidad (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of densidad as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
densidad as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function densidad_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to densidad (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function ancho_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ancho (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ancho as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ancho
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ancho_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ancho (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function longitud_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to longitud (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of longitud as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
longitud as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function longitud_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to longitud (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function espesor_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to espesor (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of espesor as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of espesor
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function espesor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to espesor (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%Esta es la función encargada de coger los datos que le introducimos
en pantalla y activar el puntero para seleccionar las diferentes
frecuencias. Con esto calcula el factor de pérdidas y el módulo de
Young del método de la viga en voladizo y de la norma ASTM E756-
05(2010) y los muestra en la interfaz gráfica.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% --- Executes on button press in boton_freq.
function boton_freq_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to boton_freq (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

global Frecuencia;
global Medida1;
global Medida2;
global Medida3;
global Medida4;

modos=get(handles.num_modos,'String');
numero_modos=str2double(modos);
dens=get(handles.densidad,'String');
rho=str2double(dens)
long=get(handles.longitud,'String');
L=str2double(long)
dim1=get(handles.ancho,'String');
hz=str2double(dim1)
dim2=get(handles.espesor,'String');
hy=str2double(dim2)

switch(numero_modos)

    case 1

        C = 0.55959;
        Cteoria=3.51563;

        [Frec_resonancia,dBs]=ginput(4);

        %%Factor pérdidas Gráficla
        Frec= Frec_resonancia(1);
        dB=dBs(1);

        [minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está la
posición de la frecuencia de resonancia
        num=(Medida1(posi)-3); %%-3db
    
```

```

for i=posi-10:posi
    Medidaparte1(i)=Medida1(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida1(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidaparte1-num));
mas_cercano=Medidaparte1(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor1=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica2
Frec= Frec_resonancia(2);
dB=dBs(2);

[minimo,posi]=min(abs(Frecuencia-Frec));%%En posi está la
posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida2(posi)-3); %%-3db

for i=posi-10:posi
    Medidaparte1(i)=Medida2(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida2(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidaparte1-num));
mas_cercano=Medidaparte1(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor2=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica3
Frec= Frec_resonancia(3);
dB=dBs(3);

[minimo,posi]=min(abs(Frecuencia-Frec));%%En posi está la
posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida3(posi)-3); %%-3db

```

```

for i=posi-10:posi
    Medidaparte1(i)=Medida3(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida3(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidapartel-num));
mas_cercano=Medidapartel(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor3=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica4
Frec= Frec_resonancia(4);
dB=dBs(4);

[minimo,posi]=min(abs(Frecuencia-Frec));%%En posi está la
posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida4(posi)-3); %%-3db

for i=posi-10:posi
    Medidaparte1(i)=Medida4(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida4(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidapartel-num));
mas_cercano=Medidapartel(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor4=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

Factor=(Factor1+Factor2+Factor3+Factor4)/4;
set(handles.num_perdidas1,'String',Factor)

frec_media=(sum(Frec_resonancia)/4);
set(handles.frec_F1,'String',frec_media) ;

```

```

I = hz*hy^3/12;
E =
((2*pi*frec_media)^2)*(hy*hz*(L+0.03)*rho)*L^3*0.000000001/(Cteoria^2
*I));
Enorm= (12*rho*(L^4)*(frec_media^2)*0.000000001)/(hy^2*C^2);

set(handles.num_E1,'String',E)
set(handles.num_Enorm1,'String',Enorm)

case 2
for i=1:2

if(i==1)
C = 0.55959;
Cteoria=3.51563;

[Frec_resonancia,dBs]=ginput(4);

%%Factor pérdidas Gráfica1
Frec= Frec_resonancia(1);
dB=dBs(1);

[ minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec));%%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida1(posi)-3); %%-3db

for i=posi-10:posi
Medidapartel(i)=Medida1(i);
end

for i=1:10
Medidaparte2(i)=Medida1(posi+i);
end

[ minimo, position1]=min(abs(Meidapartel-num));
mas_cercano=Medidapartel(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[ minimo, position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor1=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica2
Frec= Frec_resonancia(2);
dB=dBs(2);

[ minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec));%%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida2(posi)-3); %%-3db

```

```

for i=posi-10:posi
    Medidapartel(i)=Medida2(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida2(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidapartel-num));
mas_cercano=Medidapartel(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor2=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica3
Frec= Frec_resonancia(3);
dB=dBs(3);

[ minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
num=(Medida3(posi)-3); %%-3db

for i=posi-10:posi
    Medidapartel(i)=Medida3(i);
end

for i=1:10
    Medidaparte2(i)=Medida3(posi+i);
end

[minimo,position1]=min(abs(Meidapartel-num));
mas_cercano=Medidapartel(position1);
F1= Frecuencia(position1);

[minimo,position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
mas_cercano=Medidaparte2(position2);
F2=Frecuencia(position2+posi);

Factor3=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

%%Factor pérdidas Gráfica4
Frec= Frec_resonancia(4);
dB=dBs(4);

```

```

[ minimo, posi ] = min( abs( Frecuencia - Frec ) ); %% En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
num = ( Medida4( posi ) - 3 ); %% -3db

for i = posi - 10 : posi
    Medidaparte1( i ) = Medida4( i );
end

for i = 1 : 10
    Medidaparte2( i ) = Medida4( posi + i );
end

[ minimo, position1 ] = min( abs( Medidaparte1 - num ) );
mas_cercano = Medidaparte1( position1 );
F1 = Frecuencia( position1 );

[ minimo, position2 ] = min( abs( Medidaparte2 - num ) );
mas_cercano = Medidaparte2( position2 );
F2 = Frecuencia( position2 + posi );

Factor4 = ( F2 - F1 ) / Frecuencia( posi );

display( Factor4 )

Factor = ( Factor1 + Factor2 + Factor3 + Factor4 ) / 4;
set( handles.num_perdidas1, 'String', Factor )

frec_media = ( sum( Frec_resonancia ) / 4 );
set( handles.frec_F1, 'String', frec_media );

I = hz * hy ^ 3 / 12;
E =
( ( ( 2 * pi * frec_media ) ^ 2 ) * ( hy * hz * ( L + 0.03 ) * rho ) * L ^ 3 * 0.000000001 / ( Cteoria ^ 2
* I ) );

Enorm =
( 12 * rho * ( L ^ 4 ) * ( frec_media ^ 2 ) * 0.000000001 ) / ( hy ^ 2 * C ^ 2 );

set( handles.num_E1, 'String', E )
set( handles.num_Enorm1, 'String', Enorm )

end
if ( i == 2 )

C = 3.5069;
Cteoria = 22.03364;

[ Frec_resonancia, dBs ] = ginput( 4 );

%% Factor pérdidas Gráfica
Frec = Frec_resonancia( 1 );
dB = dBs( 1 );

```

```

    [minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
    num=(Medida1(posi)-3); %%-3db

    for i=posi-10:posi
        Medidapartel(i)=Medida1(i);
    end

    for i=1:10
        Medidaparte2(i)=Medida1(posi+i);
    end

    [minimo, position1]=min(abs(Meidapartel-num));
    mas_cercano=Medidapartel(position1);
    F1= Frecuencia(position1);

    [minimo, position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
    mas_cercano=Medidaparte2(position2);
    F2=Frecuencia(position2+posi);

    Factor1=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

    %%Factor pérdidas Gráfica2
    Frec= Frec_resonancia(2);
    dB=dBs(2);

    [minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
    num=(Medida2(posi)-3); %%-3db

    for i=posi-10:posi
        Medidapartel(i)=Medida2(i);
    end

    for i=1:10
        Medidaparte2(i)=Medida2(posi+i);
    end

    [minimo, position1]=min(abs(Meidapartel-num));
    mas_cercano=Medidapartel(position1);
    F1= Frecuencia(position1);

    [minimo, position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
    mas_cercano=Medidaparte2(position2);
    F2=Frecuencia(position2+posi);

    Factor2=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

    %%Factor pérdidas Gráfica3
    Frec= Frec_resonancia(3);
    dB=dBs(3);

```

```

    [minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
    num=(Medida3(posi)-3); %%-3db

    for i=posi-10:posi
        Medidapartel(i)=Medida3(i);
    end

    for i=1:10
        Medidaparte2(i)=Medida3(posi+i);
    end

    [minimo, position1]=min(abs(Meidapartel-num));
    mas_cercano=Medidapartel(position1);
    F1= Frecuencia(position1);

    [minimo, position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
    mas_cercano=Medidaparte2(position2);
    F2=Frecuencia(position2+posi);

    Factor3=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

    %%Factor pérdidas Gráfica4
    Frec= Frec_resonancia(4);
    dB=dBs(4);

    [minimo, posi]=min(abs(Frecuencia-Frec)); %%En posi está
la posición de la frecuencia de resonancia
    num=(Medida4(posi)-3); %%-3db

    for i=posi-10:posi
        Medidapartel(i)=Medida4(i);
    end

    for i=1:10
        Medidaparte2(i)=Medida4(posi+i);
    end

    [minimo, position1]=min(abs(Meidapartel-num));
    mas_cercano=Medidapartel(position1);
    F1= Frecuencia(position1);

    [minimo, position2]=min(abs(Meidaparte2-num));
    mas_cercano=Medidaparte2(position2);
    F2=Frecuencia(position2+posi);

    Factor4=(F2-F1)/Frecuencia(posi);

    display(Factor4)

    Factor=(Factor1+Factor2+Factor3+Factor4)/4;
    set(handles.num_perdidas2, 'String', Factor)

```

```

        frec_media=(sum(Frec_resonancia)/4);
        set(handles.frec_F2,'String',frec_media) ;

        I = hz*hy^3/12;
        E =
        (((2*pi*frec_media)^2)*(hy*hz*(L+0.03)*rho)*L^3*0.000000001/(Cteoria^2
        *I));
        Enorm=
        (12*rho*(L^4)*(frec_media^2)*0.000000001)/(hy^2*C^2);

        set(handles.num_E2,'String',E)
        set(handles.num_Enorm2,'String',Enorm)

        end
    end

end

```

```

function frec_F1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to frec_F1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of frec_F1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of frec_F1
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function frec_F1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to frec_F1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function frec_F2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to frec_F2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of frec_F2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of frec_F2
as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function frec_F2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to frec_F2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_E1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_E1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_E1 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of num_E1
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_E1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_E1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_E2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_E2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_E2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of num_E2
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_E2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_E2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_Enorm1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_Enorm1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_Enorm1 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
num_Enorm1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_Enorm1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_Enorm1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_Enorm2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_Enorm2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_Enorm2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
num_Enorm2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_Enorm2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_Enorm2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_perdidas1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_perdidas1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_perdidas1 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
num_perdidas1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_perdidas1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_perdidas1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function num_perdidas2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_perdidas2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of num_perdidas2 as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
num_perdidas2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function num_perdidas2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to num_perdidas2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```