



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Estudio de las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de materiales compuestos por residuos naturales provenientes de la poda del almendro.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales

AUTOR/A: Vargas Saldarriaga, Turhan Orlando

Tutor/a: Juliá Sanchis, Ernesto

Cotutor/a: Montava Belda, Isaac

Cotutor/a: Segura Alcaraz, Jorge Gabriel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## Resumen / Resum / Abstract

Mediante este estudio se pretenden conocer las propiedades tanto acústicas, mecánicas y térmicas de diferentes muestras de materiales fabricados a partir de residuos provenientes de la poda del almendro como elemento principal en una matriz de adhesivo biodegradable de cola blanca. El principal objetivo del trabajo consiste en conseguir la valorización de un material natural excedente en la zona del este peninsular y convertirlo en una alternativa sostenible entre los materiales empleados para reducir la contaminación acústica dentro del sector de la construcción. El almendro es un cultivo abundante en la zona mediterránea, por lo que esta materia prima es fácil de conseguir. Su poda genera un residuo de desecho que normalmente acaba siendo quemado con la problemática medioambiental que esto conlleva. Se propone en este trabajo su utilización para la fabricación de nuevos materiales que permitan dar solución al problema del ruido fabricando paneles aptos para el acondicionamiento acústico.

Mitjançant este estudi es pretenen conèixer les propietats tant acústiques, mecàniques i tèrmiques de diferents mostres de materials fabricats a partir de residus provinents de la poda de l'ametler com a element principal en una matriu d'adhesiu biodegradable de cua blanca. El principal objectiu del treball consistix a aconseguir la valorització d'un material natural excedent en la zona de l'est peninsular i convertir-lo en una alternativa sostenible entre els materials emprats per a reduir la contaminació acústica dins del sector de la construcció. L'ametler és un cultiu abundant en la zona mediterrània, per la qual cosa esta matèria primera és fàcil d'aconseguir. El seu poda genera un residu de deixalla que normalment acaba sent cremat amb la problemàtica mediambiental que això comporta. Es proposa en este treball la seua utilització per a la fabricació de nous materials que permeten donar solució al problema del soroll fabricant panells aptes per al condicionament acústic.

The aim of this study is to know the acoustic, mechanical and thermal properties of different samples of materials made from almond tree pruning waste as the main element in a biodegradable white glue adhesive matrix. The main objective of the work is to achieve the valorization of a surplus natural material in the eastern peninsular area and turn it into a sustainable alternative among the materials used to reduce noise pollution in the construction sector. The almond tree is an abundant crop in the Mediterranean area, so this raw material is easy to obtain. Its pruning generates a waste residue that normally ends up being burned with the environmental problems that this entails. This work proposes its use for the manufacture of new materials to solve the noise problem by manufacturing panels suitable for acoustic conditioning.

### **Palabras Clave / Paraules Clau / Key words:**

Restos de poda; Poda de almendro; Acondicionamiento acústico; Caracterización acústica; Caracterización mecánica y térmica.

Restes de poda; Poda d'ametler; Condicionament acústic; Caracterització acústica; Caracterització mecànica i tèrmica.

Pruning residues; Almond tree pruning; Acoustic conditioning; Acoustic characterization; Mechanical and thermal characterization.

## Agradecimientos

A las personas que me han ayudado a llegar aquí, a mi familia, a mis amigos y a mis tutores.



## Índice.

1.	Objetivos y estructura.....	1 -
1.1.	Objetivos. ....	1 -
1.2.	Estructura del Proyecto. ....	1 -
2.	Introducción. ....	2 -
2.1.	Principios y conceptos básicos. ....	2 -
2.1.1.	Árbol de almendro.....	2 -
2.1.2.	Hábitat. ....	3 -
2.1.3.	Morfología.....	4 -
2.2.	Poda del almendro. ....	6 -
2.2.1.	Criterios de poda. ....	6 -
2.2.2.	Sistemas de poda. ....	10 -
2.2.3.	Cantidad de residuos de poda.....	11 -
2.2.4.	Compuestos bioactivos.....	13 -
2.3.	Aglomerantes y aglutinantes (matriz).....	14 -
2.3.1.	Aglomerantes.....	14 -
2.3.2.	Aglutinantes.....	15 -
2.4.	Adhesivos. ....	17 -
2.4.1.	Adhesivos naturales.....	17 -
2.4.2.	Adhesivos sintéticos. ....	17 -
2.5.	Absorción acústica.....	17 -
2.6.	Aislamiento acústico. ....	19 -
2.7.	Paneles acústicos.....	21 -
2.6.	Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).....	23 -
3.	Materiales. ....	23 -
3.1.	Residuos de poda del árbol del almendro.....	24 -
3.2.	Cola blanca.....	24 -
4.	Preparación de muestras.....	25 -
4.1.	Primeros prototipos. ....	25 -
4.2.	Muestras definitivas. ....	30 -
5.	Metodología. ....	34 -
5.1.	Caracterización acústica. ....	35 -
5.1.1.	Determinación del coeficiente de absorción acústica (acondicionamiento).....	35 -
5.1.2.	Determinación del factor de pérdida por transmisión (STL).....	36 -
5.2.	Caracterización mecánica.....	38 -
5.2.1.	Ensayo de flexión. ....	39 -
5.2.2.	Ensayos de compresión. ....	42 -

5.3. Caracterización térmica.....	- 43 -
5.3.1. Coeficiente de conductividad térmica.....	- 44 -
6. Resultados y discusiones.....	- 45 -
6.1. Ensayos acústicos.....	- 47 -
6.1.1. Absorción acústica.....	- 47 -
6.1.2. Pérdidas por transmisión de sonido (STL).....	- 52 -
6.2. Ensayos mecánicos.....	- 53 -
6.2.1. Ensayo de flexión.....	- 53 -
6.2.2. Ensayo de compresión.....	- 55 -
6.3. Ensayos térmicos.....	- 56 -
7. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....	- 58 -
7.1. Conclusiones.....	- 58 -
7.2. Líneas futuras de investigación.....	- 59 -
8. Bibliografía.....	- 60 -
9. Anexos.....	- 65 -
9.1. Relación del trabajo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS).....	- 65 -
9.2. Tabla de figuras.....	- 66 -
9.3. Tabla de contenidos.....	- 69 -
9.4. Ecuaciones.....	- 69 -



# 1. Objetivos y estructura.

## 1.1. Objetivos.

Con este trabajo se pretenden conocer las propiedades acústicas de diferentes muestras de materiales fabricados a partir de los residuos provenientes de la poda del almendro en una matriz de adhesivo de procedencia natural o biodegradable.

Y de esta manera conseguir la valorización de un residuo excedente común en el área mediterránea y convertirlo en una alternativa sostenible entre los materiales empleados para reducir la contaminación acústica dentro del sector de la construcción.

Además, se estudiarán otras propiedades de interés, como la resistencia mecánica o el coeficiente de conductividad térmica.

## 1.2. Estructura del Proyecto.

- **Parte 1. Objetivos y estructura del proyecto.**
- **Parte 2. Introducción.**
- **Parte 3. Materiales.**
- **Parte 4. Preparación de muestras.**
- **Parte 5. Metodología.**
- **Parte 6. Resultados y discusiones.**
- **Parte 7. Conclusiones y líneas futuras de investigación.**
- **Parte 8. Bibliografía.**
- **Parte 9. Anexos.**

## 2. Introducción.

A nivel mundial, los restos de poda de los árboles, incluidos los frutales y ornamentales, representan una cantidad significativa de biomasa que si no es aprovechada se convierte en un problema para la sostenibilidad ambiental y la gestión de residuos. En muchas regiones estos desechos que incluyen ramas, hojas y otros restos vegetales se están reutilizando de manera innovadora, desde la producción de compost y biocombustibles hasta la creación de mantillo para la conservación del suelo. Sin embargo, en áreas donde la infraestructura para el procesamiento de estos restos y las políticas son insuficiente pueden convertirse en un problema, contribuyendo a la acumulación de residuos y emisiones de carbono. La gestión eficiente de los restos de poda no solo reduce la carga sobre los vertederos, sino que también fomenta prácticas agrícolas y urbanas más ecológicas, promoviendo un ciclo de vida más saludable para los ecosistemas globales. En el presente estudio se abordará otro tipo de solución para aprovechar de mejor manera los residuos provenientes de la poda del árbol de almendro mediante la fabricación de probetas que se analizarán de manera acústica, mecánica y térmica.

### 2.1. Principios y conceptos básicos.

A continuación, se hablará un poco sobre el árbol de almendro, su historia, hábitat, morfología, métodos de poda y estado actual en Europa.

#### 2.1.1. Árbol de almendro.

*“Originario de oriente próximo y el sur de Asia, el almendro (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb) (Figura 1) es uno de los árboles frutales más antiguos que han atravesado mares, culturas y siglos. Hace mucho tiempo, la almendra fue transportada por los comerciantes por la antigua ruta de la seda hasta el Mediterráneo, donde sus árboles florecieron y adquirieron notoriedad por su valor espiritual, cultural y nutritivo”[1].*

Este estudio irá un poco más allá y analizará otra posible utilización de los despojos de este maravilloso árbol y así aprovechar aún más los recursos que la naturaleza provee.



*Figura 1. Cultivo de almendro [2].*

### 2.1.2. Hábitat.

El almendro no tiene su origen en la península Ibérica, sino que procede del sudoeste asiático y el norte de África. Su introducción en la zona se produjo en la época fenicia y fue un cultivo especialmente distribuido durante la época romana (Figura 2).



Figura 2. A la izquierda, Ceres, diosa de la agricultura romana y a la derecha, calendario agrícola medieval herencia de las costumbres romanas [3].

*“La distribución geográfica actual del cultivo del almendro en España muestra claramente como la mayor parte de la superficie se sitúa en la vertiente mediterránea, expandiéndose en la última década hacia otras zonas de Castilla León, Extremadura y Andalucía, donde esta especie ha sido tradicionalmente menos importante” (Figura3) [4].*

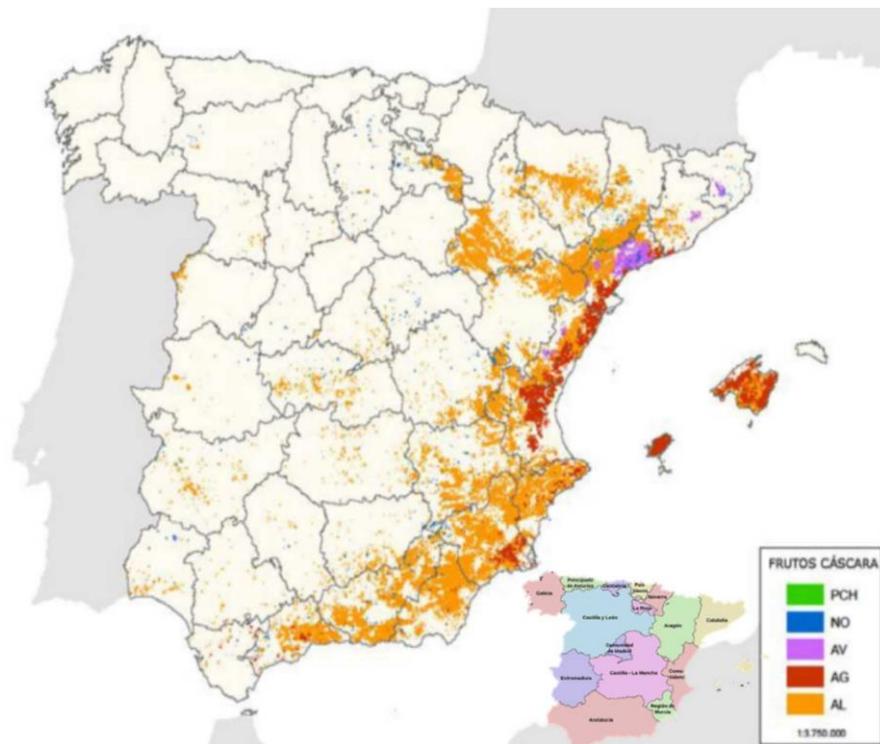


Figura 3. Localización de la superficie de frutos secos (PCH: pistacho, NO: nogal, AV: avellano, AG: algarrobo y AL: almendro) en España en el año 2018 [4].

La distribución de la producción por comunidades autónomas evidencia que las regiones con más peso en la producción nacional son Andalucía, Castilla la Mancha y Aragón con un aporte del 75% en conjunto. A continuación, se muestra su evolución en el periodo comprendido entre los años 2004-2018 (Figura 4).

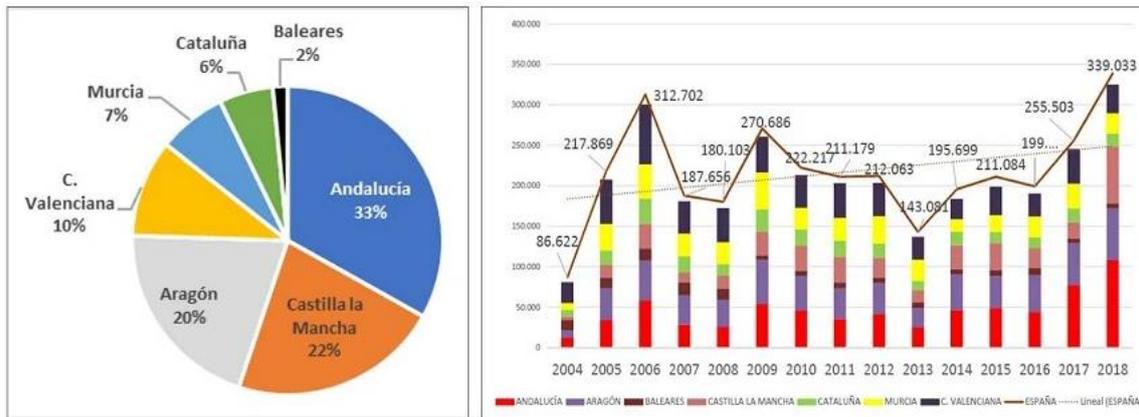


Figura 4. Distribución de la producción de almendra cáscara (t) en España por Comunidades Autónomas correspondiente al año 2018 (izquierda). A la derecha su evolución a lo largo del periodo 2004-2018 [4].

*“Es una especie que se cultiva por su semilla. De hecho, España es el segundo productor a nivel mundial –solo por detrás de Estados Unidos-, lo que convierte a esta especie en un árbol esencial para algunas regiones de nuestro país” [5].*

Por lo que es evidente que, si España tiene tal alcance a nivel global, los residuos de poda también serán muy altos. Y se conoce que esta semilla no es solo utilizada como parte de la dieta millones de personas, sino que de ella se extrae también aceite que es utilizado en cosmética. Su exocarpio (cubierta verde) sirve como forraje y su cáscara es usada como combustible. Con respecto a su madera, posee un tono rojizo y una textura dura que no se agrieta con facilidad, por lo que es especialmente indicada para la ebanistería [5].

### 2.1.3. Morfología.

*“Es un árbol caducifolio de la familia de las rosáceas. Esta especie pertenece al subgénero Amygdalus del género Prunus. Puede alcanzar de 3 a 5 m de altura. De tallo liso, verde y a veces amarillo cuando es joven, pasa a ser agrietado, escamoso, cremoso y grisáceo cuando es adulto. Es una especie auto incompatible, por lo que requiere la polinización cruzada” [6].*

*“Son de hoja caduca, las hojas son simples, lanceoladas, largas, estrechas y puntiagudas, de 7,5 a 12,5 cm de longitud y color verde intenso, con bordes dentados o festoneados” (Figura 5) [6].*



*Figura 5. Hojas de almendro [5].*

*“La flor solitaria o en grupos de 2 o 4, es pentámera con cinco sépalos con colores variables entre blanco y rosado dependiendo de las especies de unos 3 a 5 cm de diámetro” (Figura 6) [6]*



*Figura 6. Flores de almendro [5].*

*“El fruto del almendro es la almendra. Es de unos 3 a 6 cm de longitud en drupa con exocarpio y mesocarpio correosos y endocarpio duro, oblongos, elipsoidales, con carne seca, tomentosos, de color verde, dehiscentes. Tarda de 5 a 6 meses en madurar desde que cuaja. El almendruco o alloza es el fruto tierno e inmaduro” (Figura 7) [6].*

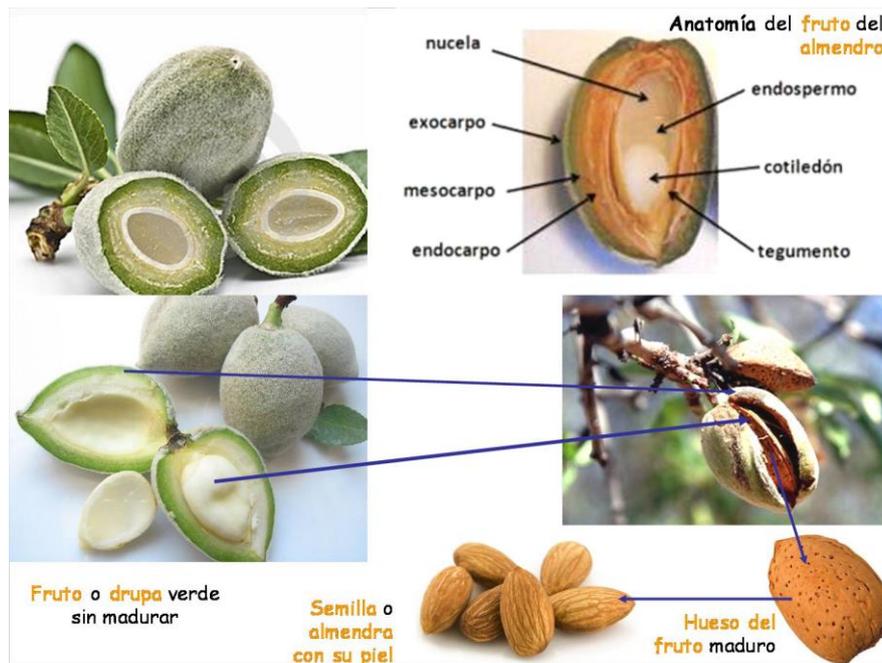


Figura 7. Anatomía del fruto del almendro [7].

## 2.2. Poda del almendro.

“La poda es la técnica de cultivo más intuitiva y subjetiva, siempre es muy aconsejable contar con unos conocimientos técnicos, pero su buena práctica dependerá, en gran medida, de la experiencia del podador y de su capacidad de observación de las respuestas del árbol a las distintas intervenciones, en resumen, de su profesionalidad” (Figura 8) [8].



Figura 8. Poda del almendro [9].

### 2.2.1. Criterios de poda.

Criterios existen como variedades de plantas hay, por lo que se debe de adecuar según cada tipo de plantación en especial a los siguientes factores: características del material vegetal, diseño de plantación, sistema de cultivo y condiciones medioambientales. Entre todos estos, el hábito vegetativo suele ser el factor que más determina el criterio de poda a adoptar [8].

Las variedades de almendro presentan diferentes portes (Figura 9).



Figura 9. Diferentes tipos de porte en variedades de almendro. Caedizo (izquierda), medio (centro) y erguido (derecha) [8].

A continuación, en la *tabla 1* se presentan los diferentes tipos de variedades de almendro según su categoría de porte.

Tabla 1. Porte de las principales variedades [8].

Categoría	Variedad
Erguido	Asperilla, Constanti, Ferraduel, Ferragnès, Marinada, Marta, Peraleja, Rumbeta y Tarraco.
Medio	Cambra, Cartayera, Cristomorto, Garrigues, Glorieta, Masbovera, Soleta, Vayro y Vert.
Abierto	Belona, Blanquerna, Desmayo largueta, Genco, Guara, Lauranne, Marcona, Supernova y Tuono.
Caedizo	Antoñeta.

Así como también presentan diferentes grados de ramificación (*Figura 10*) y las características que son determinantes sobre los criterios y facilidad de poda.

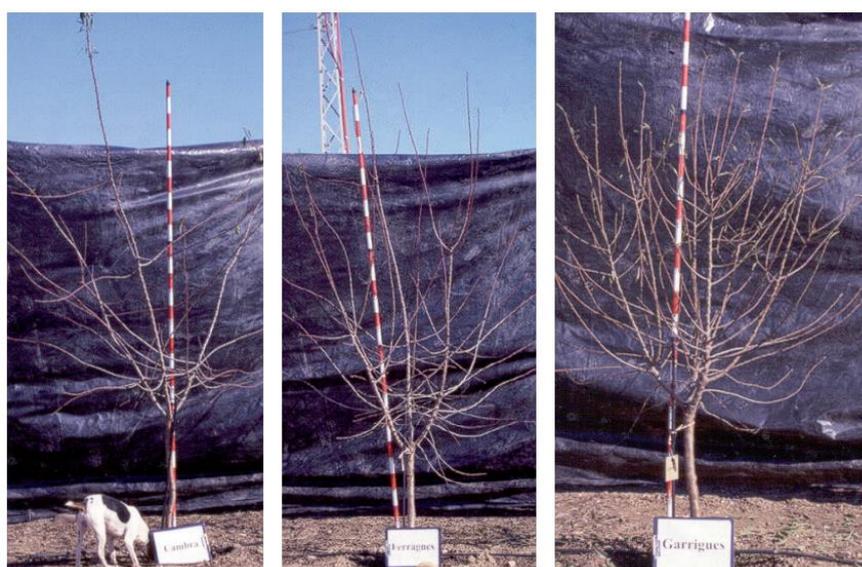


Figura 10. Diferentes grados de ramificación en variedades de almendro. Escaso (izquierda), medio (centro) y alto (derecha) [8].

En la *Tabla 2* se presentan los diferentes tipos de variedades de almendro según su grado de ramificación.

*Tabla 2. Grado de ramificación de las principales variedades [8].*

Categoría	Variedad
Escasa	Cambra, Genco, Marinada y Tarraco.
Media	Asperilla, Belona, Cristomorto, Guara, Lauranne, Masbovera, Rumbeta, Supernova, Tuono y Vayro.
Densa	Antoñeta, Blanquerna, Constanti, Desmayo largueta, Ferragnès, Glorieta, Marcona y Marta.
Muy densa	Cartayera, Ferraduel, Garrigues, Peraleja, Soleta y Vert.

Para el presente estudio se trabajará y se realizaran ensayos con la variedad “**VAYRO o VAIRO**” dependiendo de la fuente o el autor (*Figura 11*).



*Figura 11. Fruto de almendros de la variedad Vairo [10].*

Según Synergy Nuts, plataforma virtual de la Universidad Politécnica de Cartagena [11] el tipo Vairo ha sido desarrollado a través de la unión de 4-665 x Laurance que proviene del IRTA de Cataluña, siendo destacada por su abundante floración y capacidad de producción dando lugar a cosechas densas y abundantes cada año regular. Es autofertil con un alto grado de autogamia por lo que no precisa de polinización cruzada, pero se recomienda polinizadores para ayudarle, por otra parte, resulta fácil de formar y podar, además la densidad de hojas es de tipo medio, del mismo modo su ramificación y su porte.

En la *tabla 3* se presenta información destacada sobre algunos tipos de almendro, incluido el de este estudio.

Tabla 3. Características de algunas variedades de almendros [12].

<b>VARIEDAD</b>	<b>TIPO</b>	<b>OBTENTOR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS MÁS DESTACADAS</b>
1 'Marinada'	Variedad autofertil de floración muy tardía	IRTA Procedente del cruzamiento 'Lauranne' x 'Glorieta'	Florece después que 'Guara'. El árbol es de porte muy erecto con muy pocas ramificaciones. Vigor medio y porte medio que permite marcos más estrechos. Poda muy fácil. Tolerante al "fusicoocum". La producción es alta sobre ramilletes de mayo. La almendra es semidura, grande un con un rendimiento del 32%, sin dobles. Recolección muy tardía.
2 'Vairo o Vayro'	Variedad autofertil de floración tardía	IRTA	Florece antes que 'Guara', poliniza bien con 'Constantí'. El árbol es de porte medio a caedizo con bastantes ramificaciones, pero fácil de podar y recolectar. Vigoroso y rápida entrada en producción. Tolerante a "fusicoocum" y "mancha ocre". La producción es alta sobre ramilletes de mayo. La almendra es dura mediana, con un rendimiento del 30% y sin frutos dobles. Recolección media estación.
3 'Constantí'	Variedad autofertil de floración tardía	IRTA	Florece antes que 'Guara'. El árbol es vigoroso, de porte erecto con pocas ramificaciones, muy fácil poda y tamaño medio. Tolerante a la "mancha ocre" y sensible al "fusicoocum". La producción es alta sobre ramilletes de mayo. La almendra es muy dura y con un rendimiento del 26% y sin dobles. Recolección temprana.
4 'Variedad local desconocida'	Variedad autoestéril	Agricultor de la zona	Muy productiva y rústica
5 'Soleta'	Variedad autofertil de floración tardía	CITA	El árbol es vigoroso, de porte medio y abierto, con bastantes ramificaciones. La poda es fácil. La producción es alta. La almendra es muy dura y con un rendimiento del 33%. Cáscara dura, pepita similar a Largueta, fácil de cultivar y mecanizar. Recolección tardía.

### 2.2.2. Sistemas de poda.

La poda de los almendros también puede ser diferente en función de diversos criterios como: El ciclo vegetativo anual en donde se diferencia la poda verde y la de invierno; En función de la fase de la vida del árbol en donde se pueden encontrar las podas de plantación, formación, producción y de rejuvenecimiento; y por último según el instrumental utilizado sería la poda manual y la poda mecánica [8].

- **Poda en verde**  
Se ejecuta en el periodo de actividad vegetativa del árbol, siendo lo habitual hacerla en mayo-junio. En este tipo de poda solo se interviene en ramas del año (brotes), mediante cortes de aclareo o de rebaje.
- **Poda de invierno**  
Se realiza cuando el árbol está en parada vegetativa invernal (noviembre febrero). Es la poda propiamente dicha, interviniéndose cualquier tipo de rama con cortes de aclareo o rebaje (eliminando total o parcialmente la rama intervenida, respectivamente), en función de las necesidades y objetivos de la poda.
- **Poda de plantación**  
Se practica en el momento de la plantación. Para plantones a raíz desnuda se sanearán las raíces, eliminando las dañadas y recortando las de mucha longitud. Si el plantón tiene la altura necesaria, se despuntará a la altura a la que se pretenda sacar la cruz y se eliminarán todas las brotaciones laterales, teniendo cuidado de no dañar las yemas situadas en la zona de la cruz.
- **Poda de formación**  
Este tipo de poda se aplica desde el primer año de plantación hasta que el árbol alcanza unos niveles productivos y de desarrollo vegetativo cercanos a los máximos potenciales, que en el almendro puede ser en el 5º-7º año. Para este periodo es necesario realizar anualmente poda en verde y de invierno.
- **Poda de producción**  
Si mediante la poda de formación se ha conseguido una buena estructura de copa, la poda de producción será muy ligera y de rápida ejecución. Siempre es aconsejable realizar la poda de invierno de producción con una frecuencia anual.
- **Poda de rejuvenecimiento**  
Con el envejecimiento del árbol se produce una parada del crecimiento y una paulatina disminución de las cosechas. Para rejuvenecer y revigorar el árbol son necesarias intervenciones drásticas de poda, mediante cortes de rebajes sobre las ramas primarias a unos 30-50 cm de la cruz. Es conveniente hacer una renovación secuencial de las ramas primarias, una por año.

- **Poda manual**

Mediante la poda mecánica no se pueden corregir deficiencias estructurales, como la presencia de un excesivo número de ramas, para lo que será necesario intervenciones manuales.

- **Poda mecánica:**

Solamente se recomienda su uso en poda de producción, siendo una forma rápida y económica de mantener los volúmenes de copa, así como de provocar la ramificación de las ramas intervenidas. Se dan cortes tanto en altura como laterales, según las necesidades. Son relativamente frecuentes los fracasos al aplicar este sistema, debiendo de tener unos criterios técnicos y experiencia en su ejecución. Habrá que establecer la intensidad y frecuencia de los pases más adecuadas, también suele ser necesario una poda manual de aclareo sobre las brotaciones que surgen por debajo de los cortes mecánicos.

### 2.2.3. Cantidad de residuos de poda.

Basados en la literatura anterior se sabe que, existen muchos tipos de podas y también muchas variedades de árboles de almendro, cada una con sus características propias por lo que algunas variedades producirán más residuos que otras, según [12] que estudió varias diversidades de almendros durante un periodo comprendido entre los años 2014-2020, los kg de ramas que se obtenían de las variedades Marinada, Vairo, Constantí, Soleta, Belona, Lauranne, Carreró, Colorada, mediante la poda tradicional, una poda mínima o nada de poda (ramas que se caían naturalmente o durante la recolección) (Figura 9). La variedad Constantí es la que más produjo con alrededor de 125 kg en la extensión del análisis mientras que el resto en promedio produjeron unos 80 kg, lo que supone más de 10 kg de ramas podadas por árbol por año y en el caso de la poda mínima se reduce a 5kg (Figura 12).

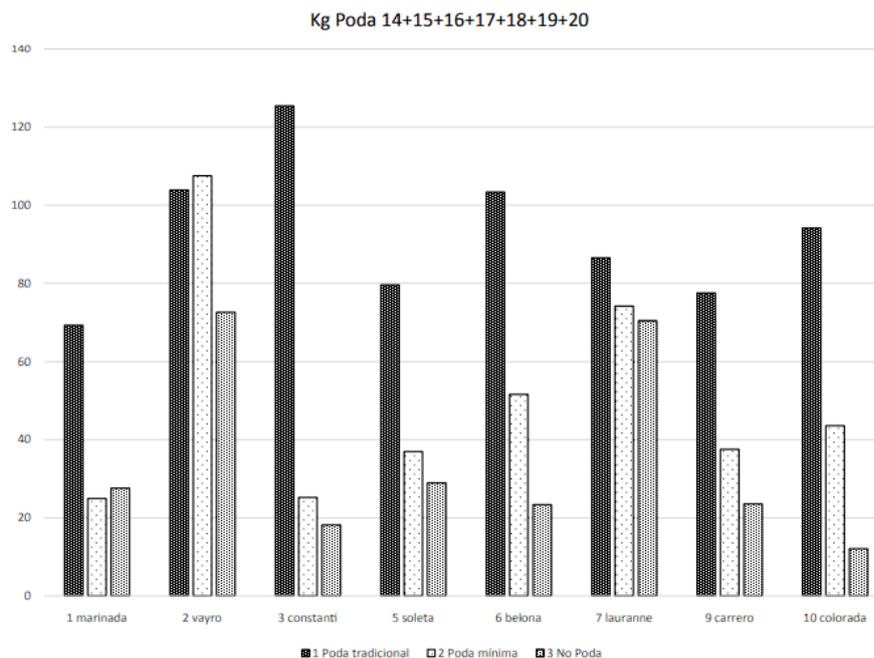


Figura 12. Peso de la poda de las variedades estudiadas 2014-2020 [12].

Aliaño et al. [13] Encontraron en la Unión Europea un total de 11.301.345 de hectáreas (ha) están dedicadas al cultivo de árboles frutales, de los cuales 1.240.799 ha están dedicadas al cultivo de almendras y otros frutos secos, y el resto repartidos en árboles de olivas 5.042.100 ha, uvas 3.153.830 ha, manzanas y peras 611.540 ha, fruta de piedra 609.710 ha, cítricos 502.366 ha, tropicales y otras frutas 141.000 ha, (Figura 13 A).

Estos mismos autores mencionan que España es el país de la UE que más destaca con un 43% de la superficie de cultivo, seguido por Italia con el 21%, Grecia con el 10%, Francia con un 8%, Portugal un 6%, Rumanía y Polonia con un 3% cada una (Figura 13 B).

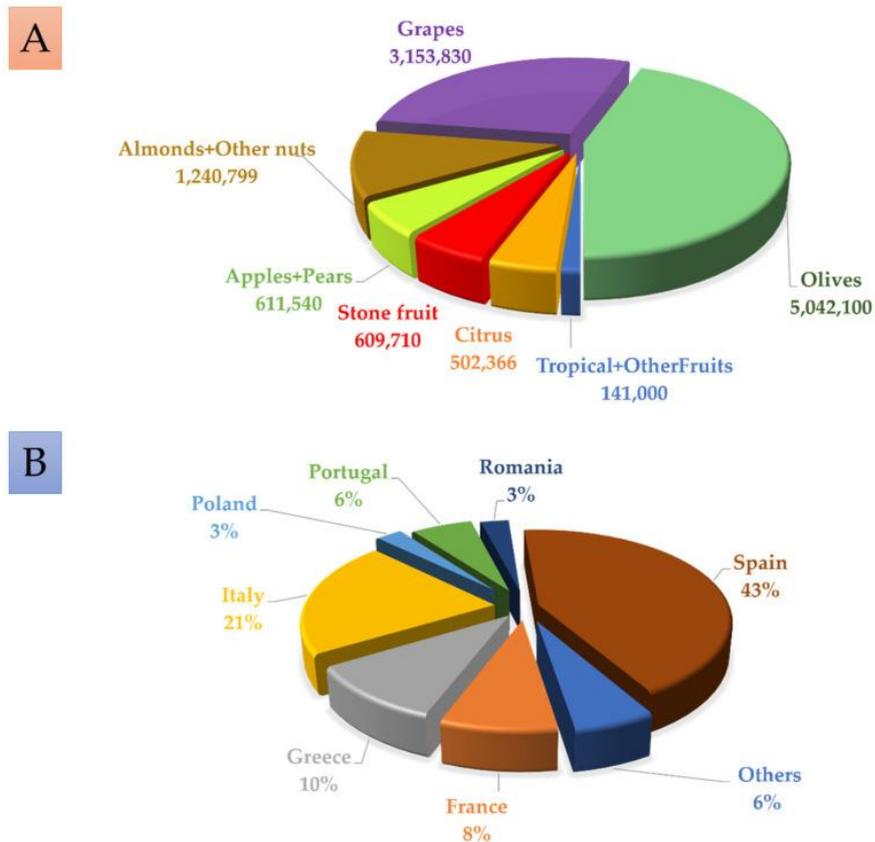
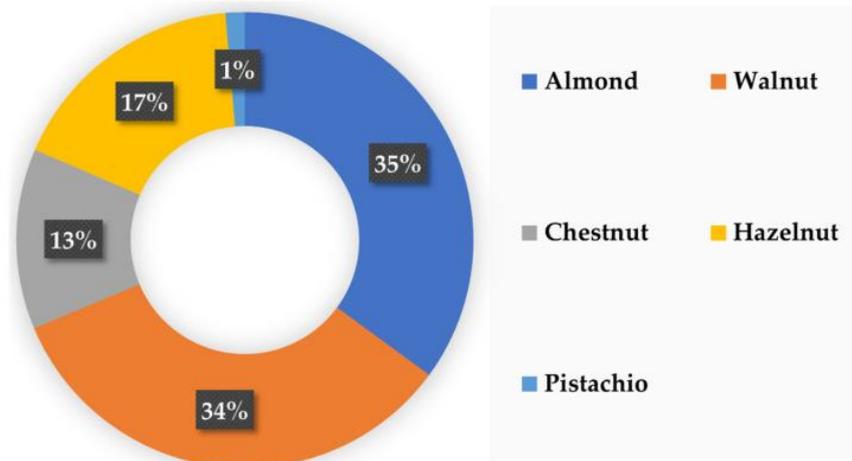


Figura 13. (A) Árboles frutales de la UE y (B) distribución de los árboles frutales en los países de la UE [13].

Así mismo comenta [13] que, en los frutos secos, las almendras (*Prunus dulcis*) y las nueces (*Junglas regia*) representan más del 35% (mayor que 305.000 toneladas) de la producción europea, respectivamente. También se puede encontrar otros frutos que se producen en grandes cantidades como las avellanas (*Corylus avellana*) y castañas europeas (*Castanea sativa*), representando el 17% (mayor que 155.000 toneladas) y el 13% lo que significa (mayor que 106.000 toneladas) de la producción,

respectivamente. Por otra parte, y en menor cantidad, se cultivan pistachos (*Pistacia vera*) con apenas un 1% (12.000 toneladas) (*Figura 14*).



*Figura 14.* Proporción de producción de frutos secos en Europa [13].

Basados en el trabajo de Huang G, Lapsley K. et al. [14] en las plantaciones de almendro se pueden estimar que la producción de restos de podas es alrededor de 2,4 Tn /ha por año, sin embargo, Bilandzija N. et al. [15] Estiman una cantidad de residuos de madera del proceso de la poda de los árboles de almendro en torno a 1,6 Tn /ha por año y todo esto sin tomar en cuenta que cada año entre 9.000 – 20.000 ha de cultivos de almendros son removidas, dejando un desperdicio de biomasa de aproximadamente 63,4 Tn/ha [14].

#### 2.2.4. Compuestos bioactivos.

Según Achinivu L, Barcelos E, Araujo C, et al. [16] Los compuestos bioactivos de los residuos de poda del árbol de almendro son en su gran mayoría compuestos de polifenoles, principalmente ácidos fenólicos como el 4-ácido hidrogenoico, ácido protocatéquico, el ácido salicílico, el ácido vainílico y el ácido siringico. En menor cantidad, la biomasa de madera de almendro también contiene ácido ferúlico y ácido p-cumárico, así como los cinamaldehydos, sinapinaldehído y coniferilaldehído. Haciendo un enfoque en el contenido de polisacáridos, los residuos de madera de almendro contienen un 22,3% de glucano (polímero de glucosa) y un 11,1% de xilano (polímero de xilosa), lo conlleva un total de 33,4% (biomasa seca) de azúcares fermentables. Por otra parte, los residuos de poda de almendro también estaban compuestos por lignina con un valor del 20,0% de biomasa (*Figura 15*).

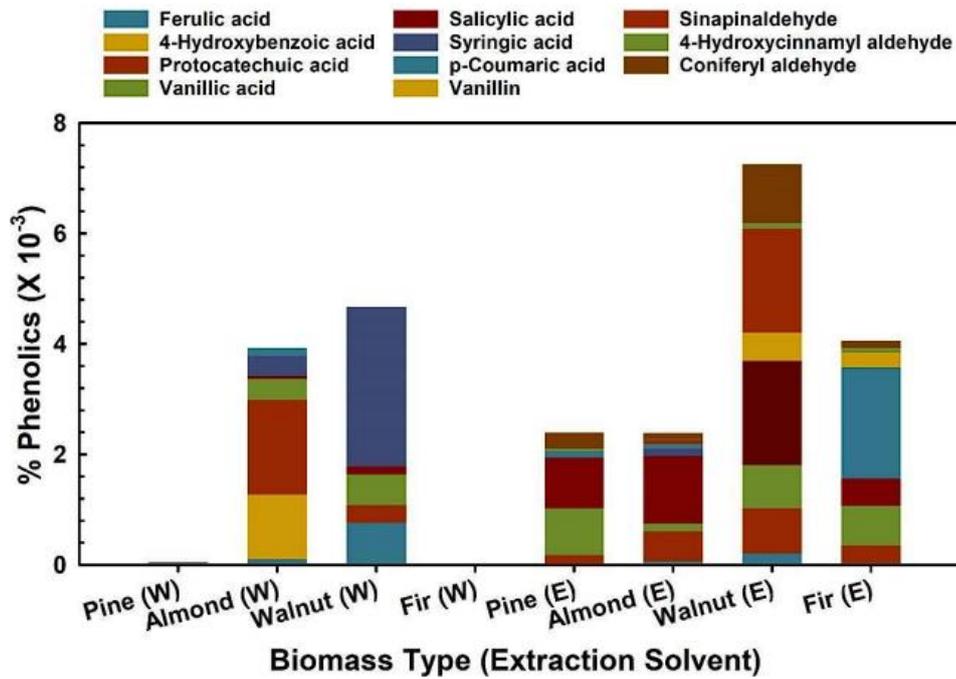


Figura 15. Composición extractiva (contenido fenólico) para cuatro biomásas leñosas utilizando agua (Water “W”) y 80% (v/v) de etanol (E) [16].

### 2.3. Aglomerantes y aglutinantes (matriz).

#### 2.3.1. Aglomerantes.

Primeramente, para introducirse en el mundo de los aglomerantes se debe entender un poco su significado como adjetivo, según la RAE un aglomerante es: “Dicho de un material: Capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico; p. ej., el betún, el barro, la cola, etc.”

Estos aglomerantes pueden ser sustancias simples o compuestas que adquieren propiedades adhesivas y que, amasadas con agua, pueden formar una mezcla física con otros materiales y ofrecer cohesión al conjunto. [17]

Además, según la Enciclopedia de ejemplos [17] se pueden distinguir 3 tipos de aglomerantes:

- AÉREOS: Endurecen en contacto prolongado con el aire, dado que pierden su cuota de humedad. No son muy resistentes al agua (Figura 16).

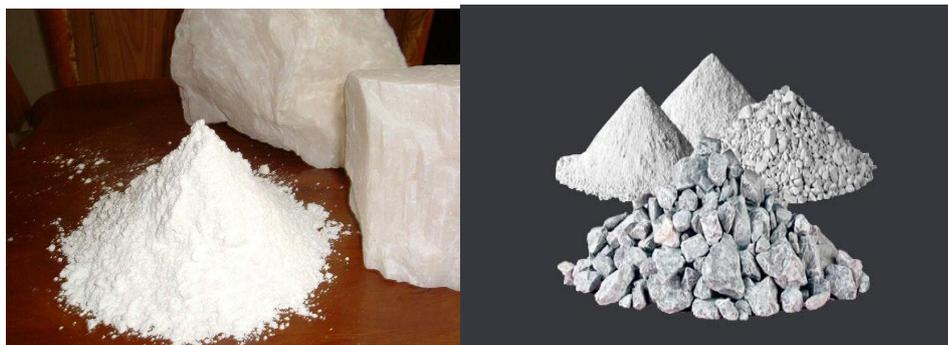


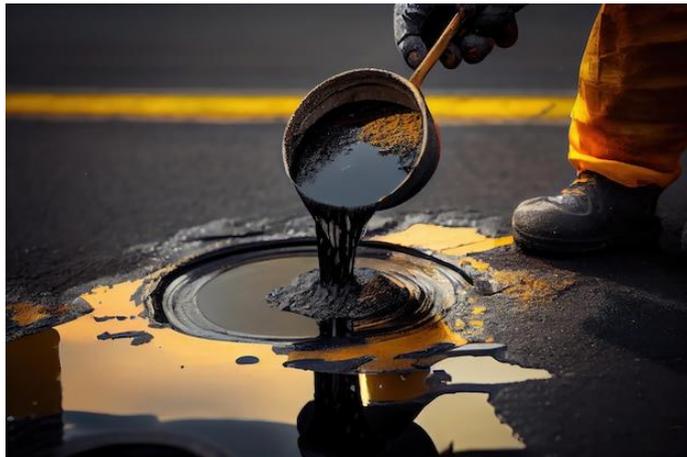
Figura 16. Aglomerantes aéreos, yeso (izquierda) y cal (derecha) [18].

- **HIDRAÚLICOS:** Endurecen en contacto con el agua o sumergidos en ella, dado que recuperan una cuota de humedad indispensable (*Figura 17*).



*Figura 17. Aglomerante hidráulico, cemento [18].*

- **HIDROCARBONADOS:** Endurecen debido a un cambio en su nivel de viscosidad, producto de la variación de la temperatura (*Figura 18*).



*Figura 18. Aglomerantes hidrocarbonados, Alquitrán y asfalto [19].*

Nombrando algunos ejemplos tenemos: **yeso, cal, cemento, hormigón, alquitrán, magnesia, asfalto, betún, mortero, estuco, etc.**

### 2.3.2. Aglutinantes.

Por otra parte, también se puede encontrar que los materiales aglutinantes son una sustancia que permite que una mezcla dispersa permanezca junta. También conocidos como cohesivos, se encuentran disponibles en el mercado en forma seca y en solución [20].

Salviati [21], comenta en su trabajo que en los materiales aglutinantes orgánicos naturales podemos encontrar: **proteínas, colas animales, huevo, caseína, gomas vegetales, almidones, glicéridos, céridos, ceras animales, ceras vegetales, resinas naturales, resinas coloreadas, etc** (*Figura 19,20 y 21*).



*Figura 19. Pegamento de animal en gránulos [22].*



*Figura 20. Resina natural [23].*



*Figura 21. Pegamento a base de almidón de yuca. [24]*

También existen aglutinantes de tipo sintético, que su origen no es natural y son diseñados y sintetizados por el ser humano. En el grupo de polímeros sintéticos está la metilcelulosa, la polivinilpirrolidona, la hidroxipropilcelulosa, la etilcelulosa, la carboximetilcelulosa sódica y el alcohol polivinílico [20].

## 2.4. Adhesivos.

Según la RAE [25], los adhesivos son sustancias que interpuestas entre 2 materiales o fragmentos permiten unirlos o pegarlos entre sí o contra una superficie.

La Asociación Española de Fabricantes de Colas y Adhesivos (ASEFCA) [26] dice también que los adhesivos se pueden clasificar dependiendo su origen o naturaleza, por lo que pueden ser de origen natural o sintético.

### 2.4.1. Adhesivos naturales.

Como su nombre lo indica son adhesivos que se extraen o son producidos de manera natural en la Tierra por parte de animales y plantas. Estos fueron los primeros en ser descubiertos por los antepasados del ser humano y usados a lo largo de la historia para ayudar a mejorar la calidad de vida del hombre. El caucho natural (*Figura 22*) y el almidón (*Figura 21*) son ejemplos de estas sustancias.



*Figura 22. Extracción de la sabia del árbol del caucho [27].*

### 2.4.2. Adhesivos sintéticos.

ASEFCA dice que: “*Son aquellos que no se encuentran en la naturaleza y son diseñados y fabricados por el hombre, podemos decir que los adhesivos de origen sintéticos son los adhesivos de laboratorio desarrollados gracias a los avances científicos en el campo de la química*” [26].

## 2.5. Absorción acústica.

Como su nombre lo indica “absorción” es la propiedad de absorber algo y en el campo de estudio de la acústica no es muy diferente, hoy en día con el aumento de la población mundial, el crecimiento de las ciudades, mayores migraciones de personas del campo a los centros urbanos, poco a poco se han visto envueltos en la necesidad de convivir en

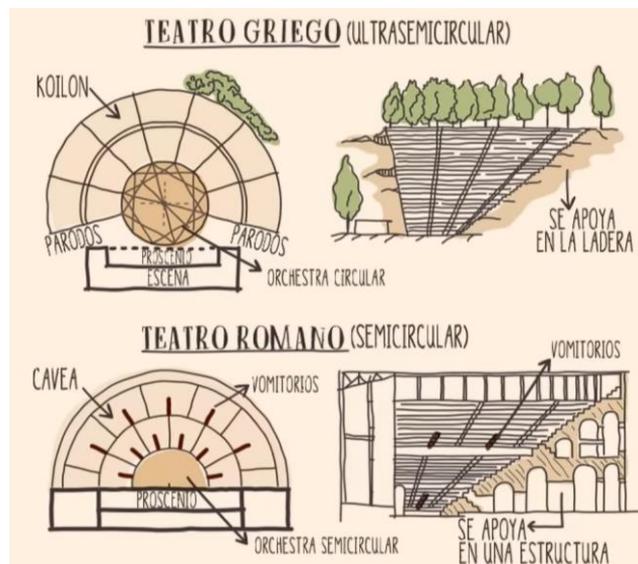
espacios reducidos y de paredes delgadas que miles de millones llaman “hogar”, en otras palabras, en los departamentos. La importancia de la privacidad es más relevante que nunca y su tendencia seguirá aumentando durante los próximos años y décadas.

Se sabe que desde la antigüedad un espacio abierto en una superficie uniforme, cualquier tipo de sonido, sea de origen natural o causado por el hombre solo se puede escuchar y entender a poca distancia. Remontándose unos miles de años al pasado (*Figura 23*) se puede vislumbrar una estructura y si se presta un poco de atención a su forma, se puede considerar que su diseño fue orientado a una mejor acústica [28].



*Figura 23. Iglesia maltesa antigua (construida hace aproximadamente 6000 años) [28].*

Así como en este caso, a lo largo de la historia se encuentran muchos otros ejemplos de acondicionamiento acústico. En algo más cercano a los tiempos modernos se puede encontrar como los griegos y romanos ya se preocupaban por crear estructuras como los famosos “Teatros” para albergar a un público y que se escuche a sus actores, o interlocutores desde el escenario hasta lo más alto. Y aunque eran similares, también tenían sus diferencias como se puede ilustrar en la *figura 24*, la propia forma de las estructuras, los griegos con escenarios de madera cubiertos de paja y paredes de piedra paja y los romanos además de eso con techos con arcadas que mejoraba la reflexión, pero ambos de una u otra manera buscaban un mejor acondicionamiento acústico [28].



*Figura 24. Diferencias entre el teatro griego y el romano [29]*

Ya en la edad media se estancó un poco el estudio sobre la acústica, aunque para el siglo XVI los primeros interiores y cúpulas de iglesia se convirtieron para objetivos musicales como la Thomaskirche en Liepzig (*Figura 25*) donde el compositor Johan Sebastian Bach realizó muchas de sus obras. Ya en el siglo XVII, la construcción del teatro volvió a cobrar vida y se crearon óperas y salas de conciertos [28].



*Figura 25. Iglesia Thomaskirche en Liepzig [28].*

En la actualidad estas construcciones son diferentes en muchos aspectos, como en los materiales, la forma y por cuestiones como el espacio y el dinero disponible los resultados no suelen ser los óptimos. Por eso los investigadores tratan cada vez más de buscar materiales de origen natural con estructuras fibrosas o porosas, formas que les permitan a las ondas sonoras interactuar lo más posible con los medios o materiales transformando la energía de su movimiento por el espacio en calor o energía cinética.

Se pueden encontrar muchos estudios que hablan acerca de los mecanismos de absorción acústica en la parte interna de los materiales, como lo sería el número de poros, su tamaño, su distribución, de igual manera con las fibras, o las mezclas de materiales compuestos que se pueden obtener, Tomás Gómez et al. [30] hablan precisamente de los efectos del tamaño, densidad y cantidad de aglutinante en la construcción de materiales para aplicaciones acústicas.

## 2.6. Aislamiento acústico.

Según la empresa “Ingeniería acústica” el aislamiento acústico se puede utilizar para disipar el ruido proveniente del exterior y que este apenas sea percibido o hasta incluso anulado en el interior, del mismo modo también es útil en sentido contrario, es decir, que el sonido o ruido generados en el interior no salgan con la misma intensidad o se disipen hacia el exterior [31].

Algunos de los factores que intervienen en el proceso del aislamiento acústico son:

- **Múltiples capas:** se refiere a conseguir un mejor aislante acústico mediante la adhesión y disposición idónea de varias capas de este o de diferentes materiales.
- **La masa del objeto:** se basa en la premisa de que, a mayor masa, mayor será la resistencia a las ondas sonoras, por lo tanto, será mejor la atenuación del ruido.

- **La disipación por el material absorbente:** Los materiales absorbentes se caracterizan por ser porosos y de baja densidad.
- **El espesor:** A mayor espesor, mayor absorción. Mientras más grande sea el espesor del material absorbente, mayor será la distancia que deberá de recorrer el sonido dentro de su estructura, por lo cual perderá mayor cantidad de energía.
- **La densidad:** La constitución del material absorbente es importante a la hora de querer obtener el resultado deseado.
- **La distancia:** Se refiere a la distancia de colocación del aislante con respecto a las paredes.

(Figura 26) Se puede ilustrar de manera muy genérica cómo se comportan las ondas sonoras cuando interactúan con un medio común.

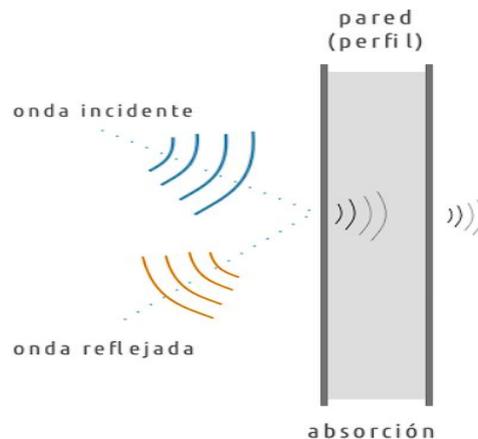


Figura 26. Aislamiento, absorción y transmisión acústica [32].

(Figura 27) Representa los distintos parámetros que afectan al coeficiente de absorción acústica de los materiales. Los parámetros principales se clasifican en tres secciones [33]:

- Propiedades del material (diámetro de la fibra, longitud de la fibra, densidad, porosidad, resistividad al flujo de aire, tortuosidad).
- Disposición de la prueba (espacio de aire detrás de la muestra).
- Especificaciones de la muestra (grosor de la muestra, composición del aglutinante y de la fibra).

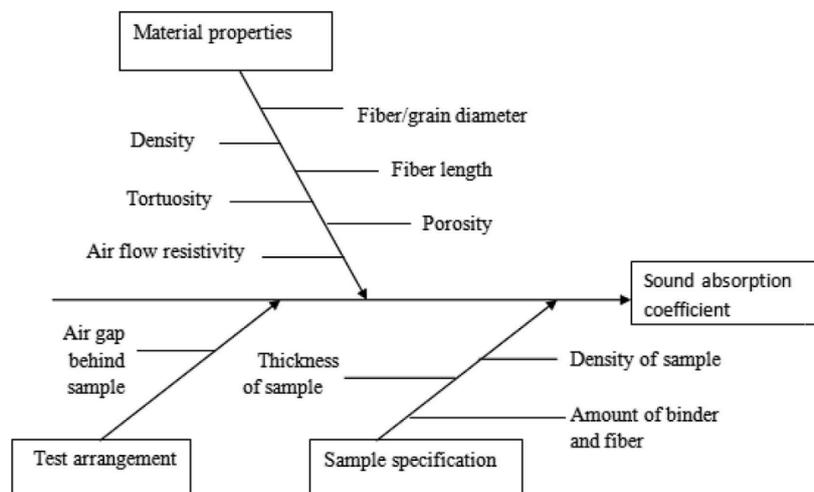


Figura 27. Diagrama de Ishikawa mostrando los factores que afectan el coeficiente de absorción del sonido [33].

## 2.7. Paneles acústicos.

Como su nombre lo indica son estructuras en forma de panel que se pueden utilizar para absorber el sonido siendo su principal función reducir la reverberación y el eco de las habitaciones, así como también se pueden usar como aislamiento acústico con la finalidad de proteger del ruido, un espacio o habitación respecto de otra (figura 28), [34].

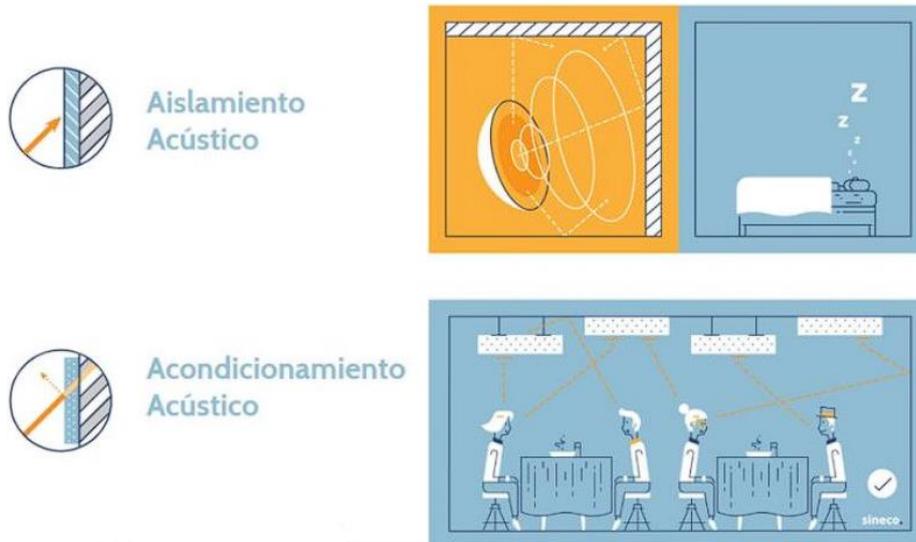


Figura 28. Aislamiento y acondicionamiento acústico [34].

En el mercado existe un sinfín de ofertas, formas y materiales de los cuales hacer un panel acústico, tanto de origen natural como de origen sintético, así también como la combinación de estos, y se pueden aplicar tanto al techo, las paredes, o formar parte activa de la decoración de un ambiente.

A continuación, se presentarán algunos ejemplos de estas aplicaciones en techos y paredes (figuras 29, 30 y 31):

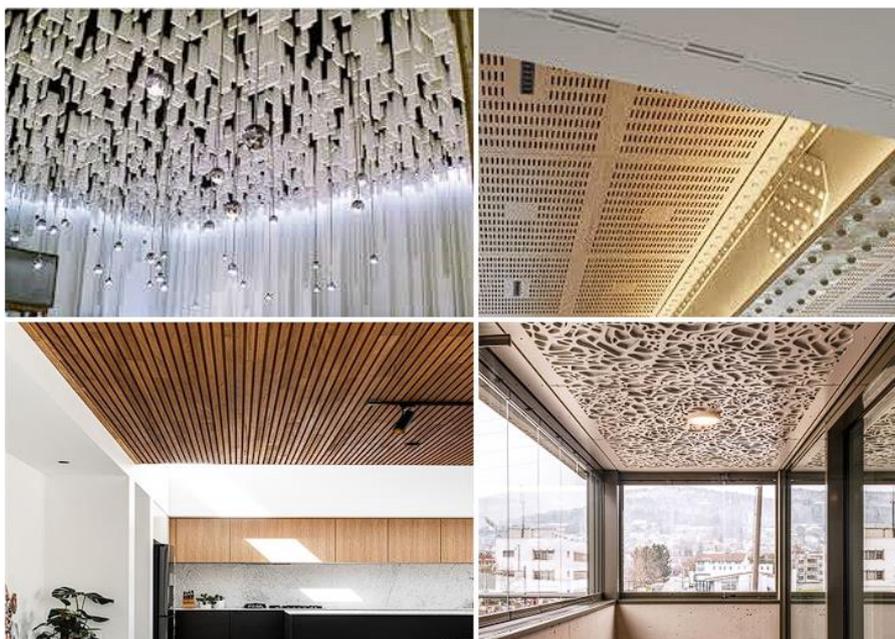
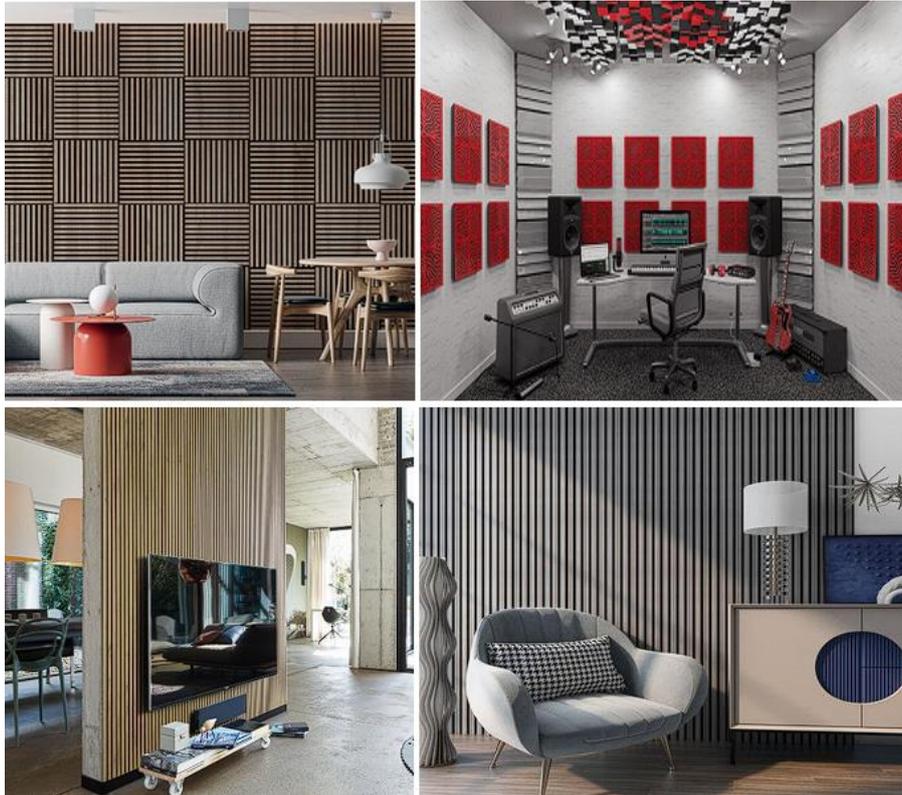


Figura 29. Algunos de sus usos en techos [34], [35], [36], [37].



*Figura 30. Algunos de sus usos en paredes [38], [39], [40], [41].*

Dentro de los paneles de origen natural podemos mencionar materiales como la lana de roca (1), el corcho aglomerado (2), madera aglomerada (3) y listones de distintos tipos de madera (4).



*Figura 31. Paneles acústicos de origen natural [42], [43], [44], [45].*

## 2.6. Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

La humanidad desde sus inicios siempre ha tratado de aprovechar todos los recursos disponibles, encontrando siempre nuevos usos para materiales que se creían comunes y cotidianos o innovando en sus aplicaciones. Desde la antigua Mesopotamia, los Fenicios, pasando por los griegos, el Imperio Romano, llegando a la globalización y expansión del mundo conocido hacia el nuevo mundo con el descubrimiento de América por parte del Reino de España. Comienza con la revolución industrial a principios del siglo XVIII, y continúa hasta la actualidad, el hambre de conocimiento y progreso ha llevado a ser humano a un acelerado ritmo de vida, que no ha hecho en los últimos siglos más que depredar a la naturaleza sin pensar en las consecuencias que eso podría acarrear para la supervivencia de la especie. Por ese motivo desde hace algunas décadas los gobiernos han empezado a hacer conciencia de esas consecuencias, aunque de manera lenta, es por eso por lo que en año 2015 las naciones unidas adoptaron formalmente los “ODS” mejor conocidos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad, siendo un total de 17 y que de este trabajo se relacionará con al menos 4 de ellos [46].

- Industria, innovación e infraestructura.
- Ciudades y comunidades sostenibles.
- Producción y consumo responsables.
- Acción por el clima.

## 3. Materiales.

Todos los días en el mundo, como es bien conocido por el dominio público, se desperdician millones de toneladas de materiales potencialmente valiosos, ya sea en vertederos, mares o incinerados, algunos de ellos con suerte y con la ayuda de estudios exhaustivos por parte de investigadores comprometidos con la conservación y cuidado del planeta, se logra aprovechar de alguna forma esos residuos. Según el portal web de Repsol en su apartado de “energía y futuro” comenta que *“La valorización de residuos es una optimización del tratamiento de residuos que permite su reconversión con un objetivo concreto, ya sea la generación de energía o la obtención de nuevas materias primas”* [47]. Entrando en el contexto de este estudio, se busca la valorización de los restos de poda del árbol de almendro y su posible implementación en campo del aislamiento acústico.

### 3.1. Residuos de poda del árbol del almendro.

Como se ha hablado ya antes en la introducción, estos restos representan dependiendo de la variedad, al menos 1,6 toneladas por hectárea, pudiendo alcanzar valores superiores a las 2,4 Tn/ha de residuos. Para este estudio se recolectaron muestras podadas en un campo familiar en la Comunidad Valenciana de la variedad “VAYRO o VAIRO” (*Figura 32*). Estudios como el de Roque, A. et al. [48] hablan de su aprovechamiento como bio-combustible, mientras que en campo del aislamiento acústico se encuentran estudios de materiales similares más no iguales como la utilización de los restos de poda del olivo como comenta en su obra Martellotta, F. et al. [49], por esta razón se ha decidido estudiar este residuo.



*Figura 32. Restos de poda de almendro de la variedad “VAIRO”.*

### 3.2. Cola blanca.

El adhesivo que se va a utilizar para realizar los experimentos es uno que se encuentra comercialmente en España bajo el nombre de “Cola Blanca”. Mexpolímeros [50] comenta que químicamente se lo conoce como “Acetato de Polivinilo o PVA” y que fue descubierto por primera vez por un científico alemán, el Dr. Fritz Klatte, en 1912 como agente aglutinante y se caracteriza por ser un adhesivo termoplástico incoloro, generalmente no tóxico, a base de agua, ampliamente utilizado aplicaciones que involucran materiales porosos como madera y papel. Muchos tipos diferentes de adhesivos, desde colas para manualidades hasta solventes de construcción, dependen al menos en parte de que este polímero sea tan fuerte como ellos. También se usa ampliamente para la producción de adhesivos generales que se conocen más comúnmente como pegamento blanco o de carpintero (*Figura 33*).



*Figura 33. Cola blanca comercial [51].*

Por otra parte, una investigación hecha por la Universidad de Barcelona en el año 2011 [52] dice que si buscamos un material plástico ideal que no sea tóxico, inflamable, biodegradable mediante microorganismo adaptados y que además se produzca en una amplia variedad de texturas y calidades. Entonces el PVA es ese material y con todas esas cualidades es el polímero biodegradable de mayor producción mundial, tan sólo en el año 2.000 se produjeron aproximadamente 1,1 millones de toneladas de este producto [52].

Por esta razón se decidió utilizar la cola blanca como aglutinante para los primeros experimentos, tratando de buscar una buena adherencia entre las partes, que sea biodegradable, no sea tóxico y se consiga fácilmente.

## 4. Preparación de muestras.

En esta fase, se lleva a la realidad las distintas ideas o consideraciones para crear diferentes tipos de probetas que se caracterizan posteriormente.

### 4.1. Primeros prototipos.



*Figura 34. Distintos tipos de adhesivos y aglutinantes mezclados con restos de poda de almendro.*

Desde un inicio no se tenía clara la idea de hacia dónde apuntar el desarrollo de prototipos de materiales que funcionen bien como absorbentes acústicos, por lo que se optó por hacer brevemente varias muestras con diferentes adhesivos y aglutinantes (*Figura 34*), que por lo general son de origen natural a excepción de la cola blanca que su origen es sintético.

A continuación, se describe brevemente las primeras impresiones de los prototipos realizados. Cabe recalcar que cada uno tiene sus particularidades, y que por falta de tiempo solo se enfocó en el que a primera instancia otorgó las mejores propiedades de adhesión y resistencia mecánica, descartando el resto para futuras investigaciones.



*Figura 35. Restos de poda de almendro con acetato de polivinilo (PVA).*

(Figura 35) En un primer vistazo se puede observar que tiene mejor resistencia mecánica y adherencia de sus partes, conservando casi intacta su forma.



*Figura 36. Restos de poda de almendro con adhesivo a base de conejo.*

(Figura 36) Se mantiene unida en gran parte, aunque el pegamento a base de conejo no terminó de secar hasta el momento de la selección, lo que provocaba desprendimientos de las partes si se forzaba un poco.



*Figura 37. Restos de poda de almendro con mortero de cal.*

(Figura 37) Se esperaba mejores resultados, pero no hubo ningún tipo de unión entre las partes, no obstante, no se descarta la idea de seguir probando mezclas para usar el mortero de cal como aglutinante en un futuro.



*Figura 38. Restos de poda de almendro con cal viva.*

(Figura 38) Al igual que en el caso anterior, sus resultados no fueron nada alentadores, incluso se podría considerar peor, pero aún queda mucho por estudiar y no se descarta para investigaciones posteriores.



*Figura 39. Restos de poda de almendro con adhesivo a base de almidón de yuca.*

(Figura 39) Se pudo constatar que el adhesivo creado a base de almidón de yuca otorga resultados prometedores, aunque no mantuvo la totalidad de su integridad estructural, seguramente por la poca cantidad de adhesivo que se utilizó o por algún otro factor, por lo que queda abierto un camino para futuras investigaciones.



*Figura 40. Restos de poda de almendro con resina de pino.*

(Figura 40) Se puede ver resultados también muy buenos, pero el problema radica en que la resina de pino es difícil de trabajar y toca calentarla a más de 100 °C para poder ser utilizada, por otra parte, se solidifica muy rápido, por lo que se puede considerar desarrollar un mejor método para mezclar todo y poder obtener mejores resultados. Su resistencia mecánica es muy alta pero frágil, que al recibir un impacto se podría fracturar sin deformarse. Así que se podría investigar en un futuro mejores técnicas para su utilización, sin olvidar su inflamabilidad.



*Figura 41. Restos de poda de almendro con lignina.*

(Figura 41) Se puede observar a simple vista que su estructura se ha conservado perfectamente y que la lignina podría otorgar resultados muy prometedores, no obstante, el acetato de polivinilo ofrece mejores resultados mecánicos, en vista de que la lignina es más frágil en comparación, así que dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar, podría usarse una o la otra.



*Figura 42. Restos de poda de almendro con cartón.*

(Figura 42) Finalmente también se puede ver resultados buenos al mezclar cartón mojado con restos de poda, el problema radica en que demora muchos días en secarse, pero sería interesante también para algún investigador, estudiar esta forma de unión sin adhesivos.

#### 4.2. Muestras definitivas.

Una vez analizados los puntos a favor y en contra de todas las opciones antes mostradas, se decantó por la mezcla de restos de poda de almendro con acetato de polivinilo más conocido como “cola blanca” ya que a pesar de ser sintético y no ser de origen natural como el resto, es fácil de conseguir, de utilizar, es económico y como se explica en el apartado “3.2. Cola blanca” no es tóxico, es soluble en agua, se encuentra en varias presentaciones y además es biodegradable. Por otra parte, para aplicaciones a mayor escala, las industrias están mejor adaptadas a este pegamento más que a ningún otro.

Para preparar las muestras se tomó el material que se había recolectado en el campo (*Figura 32*) y se volvió a procesar en una trituradora, para volver más pequeña la materia prima y poder crear las primeras probetas (*Figura 43*).



*Figura 43. Proceso de trituración de los restos de poda del almendro.*

De cierta manera lo que se acaba de hacer es una trituración no controlada, lo que quiere decir que las dimensiones del material resultante pueden variar enormemente, desde menor o igual que 2 centímetros hasta mayor a 6 centímetros (*Figura 44*). Se decidió no clasificarlo por tamaño basado en la idea de que la realización de los experimentos lleve la menor cantidad de pasos y sea lo más sencillo posible de hacer, no obstante, se pueden considerar una clasificación por granulometría, considerando diferentes mezclas y repetir los experimentos.

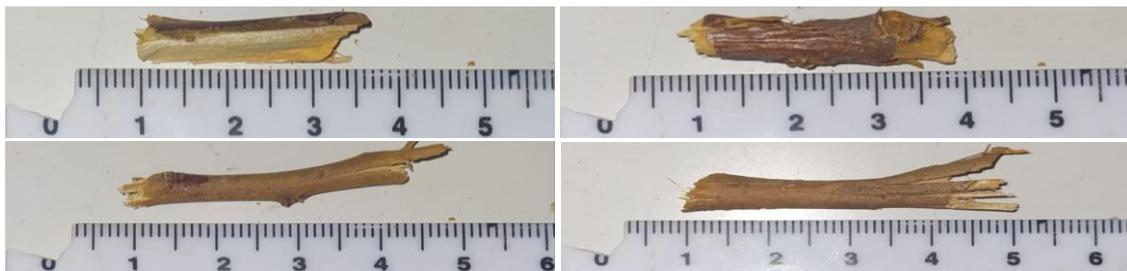




Figura 44. Medidas varias aleatorias de los trozos triturados de los restos de poda de almendro.

Teniendo el material disponible, se empezó colocando manualmente sobre una bandeja de plástico una cantidad de restos de poda que se consideró sería suficiente para la realización del proyecto con un peso aproximado de 100 gramos por muestra (Figura 45).



Figura 45. Pesos para las muestras MA 1, MA 2 y MA 3.

Por otra parte, del adhesivo se usó una cantidad de 25 gramos, quedando las muestras con un peso final de alrededor de 125 gramos (Figura 46).



Figura 46. Pesos totales de muestras MA 1, MA 2 y MA 3.

(Figura 47) Con todo el material junto, se procedió a mezclar rápidamente de forma manual con la ayuda de un par de guantes, para luego depositar la mezcla en moldes de tipo cilíndricos y prensarlos.



Figura 47. Antes y después de la mezcla manual de los materiales.

Estas probetas se cubrirán con una fina bolsa de plástico que facilitar su extracción después del secado (Figura 48).



Figura 48. Proceso de creación de las probetas en moldes circulares (1,2, 3, 4) y su prensado (5).

De esta misma manera se repite el proceso para las otras 4 muestras y así contar con un abanico de densidades diferentes, manteniendo la misma cantidad de material y pegamento, pero variando el volumen de los moldes para así obtener muestras con diámetros de 100 mm y alturas de 20, 30, 40, 50 y 60 mm (Figura 49). Cabe mencionar que, para obtener las muestras se utilizaron moldes 20 mm más altos que su respectiva medida, es decir, para la probeta de 60 mm se usó un molde de 80 mm, para la de 50 mm uno de 70 mm y así sucesivamente, esto con la finalidad de poder usar un trozo de material de un diámetro un poco inferior para compactar correctamente las muestras.



Figura 49. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas.

Para los ensayos de flexión mecánica se vuelven a preparar muestras, pero esta vez al tener un área diferente se hizo un pequeño cálculo para hacer unas muestras equivalentes en condiciones con respecto a las probetas anteriores.

Se sabe que en la ecuación (1) el área de una circunferencia es igual a:

$$A = \pi * r^2 \quad (1)$$

En el primer caso, el área en  $\text{cm}^2$  de la muestra cilíndrica es:

$$A = \pi * 5^2$$
$$A = 78,54 \text{ cm}^2$$

En consiguiente la ecuación (2) el área de un rectángulo es:

$$A = b * h \quad (2)$$

En este segundo caso, los moldes rectangulares tienen unas medidas de  $h = 5 \text{ cm}$  y de  $b = 25 \text{ cm}$ , por lo que su área correspondiente será:

$$A = 25 * 5$$
$$A = 125 \text{ cm}^2$$

Conociendo esa información se establece una relación de linealidad y proporcionalidad, es decir, una regla de 3, sí:

$$78,54 \text{ cm}^2 \rightarrow 100 \text{ g}$$
$$125 \text{ cm}^2 \rightarrow X$$

Al despejar la incógnita se obtiene que:

$$X = \frac{125 \text{ cm}^2 * 100 \text{ g}}{78,54 \text{ cm}^2}$$
$$X = 159,15 \text{ g}$$

Se repiten los mismos pasos para calcular la cantidad correcta de cola blanca:

$$78,54 \text{ cm}^2 \rightarrow 25 \text{ g}$$
$$125 \text{ cm}^2 \rightarrow X$$

Al despejar la incógnita se obtiene que:

$$X = \frac{125 \text{ cm}^2 * 25 \text{ g}}{78,54 \text{ cm}^2}$$
$$X = 31,25 \text{ g}$$

Por lo que la cantidad de restos de poda de almendro que se utilizó para las probetas de los ensayos mecánicos fue de aproximadamente 159,15 gramos y de cola blanca fue

aproximadamente 31,25 gramos por lo que ahora se procede a mezclar con la ayuda de guantes.

(Figura 50) Como se puede observar se preparó el nuevo molde, se puso una capa base de plástico y se rellenó con el material mezclado previamente de restos de poda de almendro con pegamento (1), se cubrió con el plástico (2), se le pone la tapa de la cubierta para poder compactar correctamente (3) y se procede a prensar (4). Este procedimiento de repetirá hasta obtener 5 muestras.



Figura 50. Molde en forma de ladrillo para probetas.

## 5. Metodología.

La UNE-EN ISO 11654 [53] Esta es una norma que permite clasificar los absorbentes acústicos para aplicaciones de banda ancha, según su clase (Tabla 4).

Tabla 4. Clases de absorción acústica [53].

Clase de absorción acústica	$\alpha_w$
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Sin clasificar	0,10; 0,05; 0,00

También muestra una representación de las curvas de referencia para estas clases en función del coeficiente de absorción acústica y la frecuencia (Figura 51), siendo en ambos casos las de “clase A” las que mejor absorben y las “clase E” las que peor lo hacen.

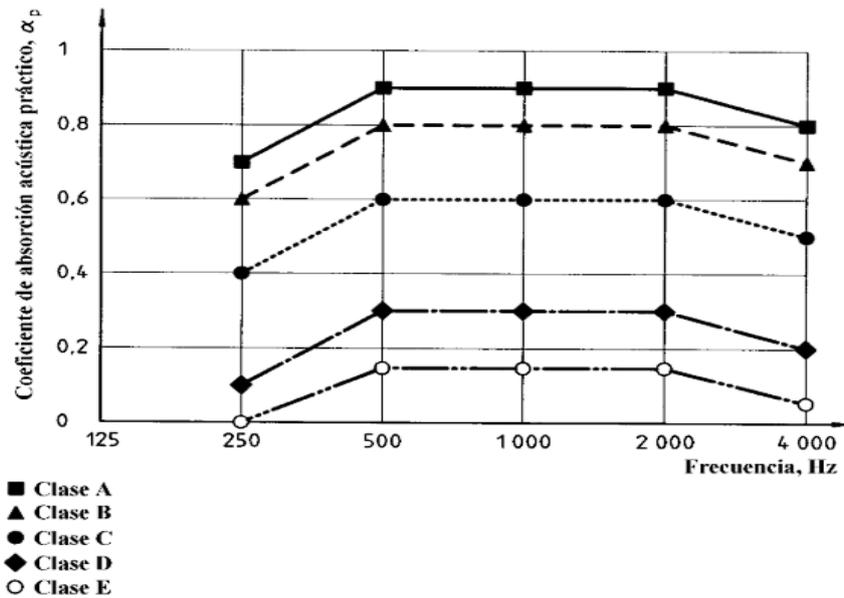


Figura 51. Representación de las curvas de referencia que fijan los límites de las diferentes clases de absorción acústica [53].

## 5.1. Caracterización acústica.

Desde hace varias décadas se sabe que el comportamiento acústico de un material se puede conocer a partir de la resistencia al flujo y del coeficiente de absorción acústica y esta información se recopila en la norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 [54] o en su última versión EN ISO 10534-2:2023 [55]. Esta norma indica que, con un tubo de impedancia, un par de micrófonos, un generador de pulsos, un amplificador y un sistema de análisis se puede conocer el valor de absorción de un determinado material con una muestra muy pequeña de 4 cm, lo cual es una gran ventaja para hacer múltiples estudios de distintas combinaciones rápidamente y a un coste relativamente bajo sin necesidad de recurrir a la creación de un elemento a gran escala.

### 5.1.1. Determinación del coeficiente de absorción acústica (acondicionamiento).

El coeficiente de absorción acústica a incidencia normal ( $\alpha$ ) se puede definir según la UNE-EN ISO 10534-2:2002 como: “el cociente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal” [54], (Figura 52).

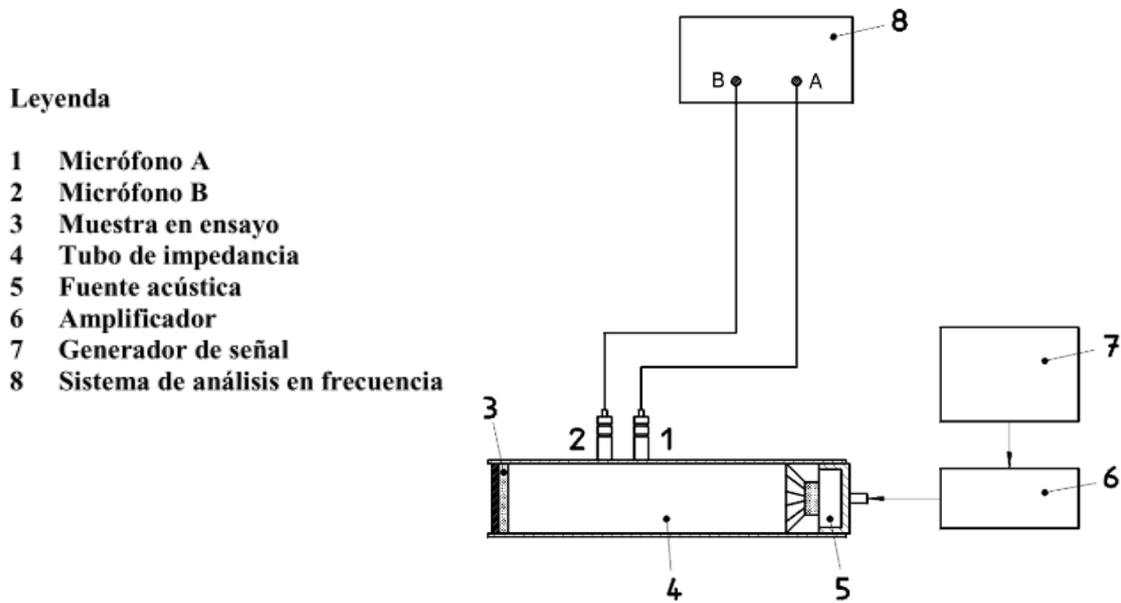


Figura 52. Diagrama de conexiones del método de la norma UNE-EN ISO 10543-2:2002 [54].

(Figura 53) Como se puede ver, se coloca la probeta en el porta muestras (1), seguidamente se rosca el porta muestras al tubo de impedancia (2) y siguiendo la norma se prepara todo para realizar el ensayo con la ayuda de un ordenador y la aplicación MATLAB (3), generando una onda de presión acústica desde la baja a la media frecuencia, es decir, entre los 214 a 1.716 Hz. Este mismo procedimiento se repitió para todas las muestras.

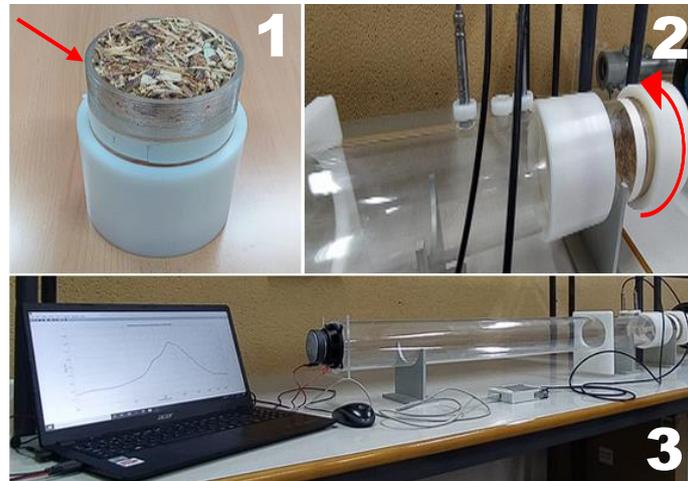


Figura 53. Proceso de ensayo de absorción acústica.

### 5.1.2. Determinación del factor de pérdida por transmisión (STL).

La pérdida del sonido por transmisión (STL) no se encuentra recogida en las normas ISO, pero se encuentra documentada y normalizada por la ASTM E2611-09 [56] (American Society for Testing and Materials o Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales).

Este método de ensayo es similar al método de ensayo E1050 en que también utiliza un tubo con una fuente de sonido conectada a un extremo y la muestra de ensayo montada en el tubo. Para la pérdida por transmisión, se montan cuatro micrófonos, en dos lugares

a cada lado de la muestra de forma que los diafragmas queden a ras de la superficie interior del perímetro del tubo (Figura 54). Se generan ondas planas en el tubo utilizando una señal de banda ancha procedente de una fuente de ruido. El patrón de ondas estacionarias resultante se descompone en componentes que se desplazan hacia delante y hacia atrás midiendo simultáneamente la presión acústica en las cuatro ubicaciones y examinando su amplitud y fase relativas. La matriz de transferencia acústica se calcula a partir de la presión y la velocidad de las partículas, o lo que es lo mismo, la impedancia acústica de las ondas que se desplazan a ambos lados de la muestra. Este ensayo es menos costoso y requiere menos tiempo que en E1050 y es una técnica rápida que no requiere de un profesional experimentado para su ejecución [56].

La sección interior del tubo podrá ser circular o rectangular y deberá tener una sección transversal constante de extremo a extremo. El tubo deberá ser recto y su superficie interior deberá ser lisa, no porosa y estar libre de polvo, para para mantener una baja atenuación acústica. La construcción del tubo deberá ser lo suficientemente rígida para que la transmisión del sonido a través de las paredes sea despreciable en comparación con la transmisión a través de la muestra. Deberán utilizarse pies o soportes conformes para atenuar las vibraciones extrañas que entren en la estructura del tubo procedentes de la superficie de trabajo [56].

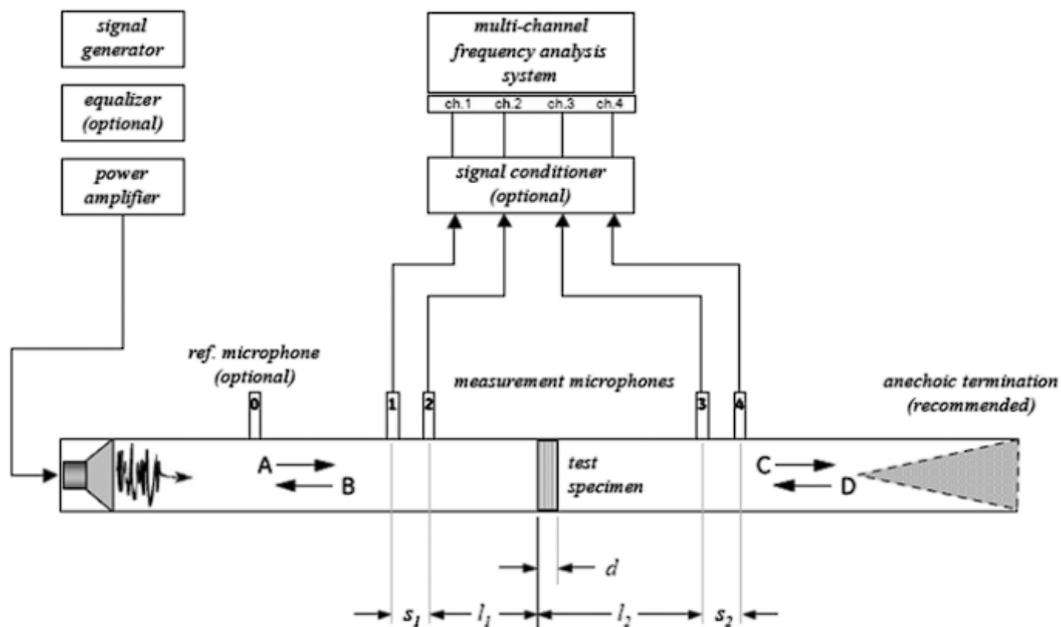


Figura 54. Dibujo esquemático del sistema de medición. (A, B, C y D son las componentes anterior y posterior del campo de ondas estacionarias. 1, 2, 3 y 4 son los lugares de medición; 0 es un lugar de referencia opcional. Las distancias se miden a partir del plano de referencia de la muestra) [56].

Según el portal web de la Universidad del País Vasco en su apartado “aislamiento acústico” dice que: “Las pérdidas por transmisión indican la capacidad de una pared para no transmitir las ondas sonoras. Estas pérdidas dependen sobre todo de su masa por unidad de área, su rigidez y el amortiguamiento en el material” [57], es decir, la relación que existe entre la energía sonora que incide sobre la pared y la energía sonora transmitida (Figura 55). Sus unidades son los decibelios (dB) y cuenta con un valor distinto para cada frecuencia de excitación del material.

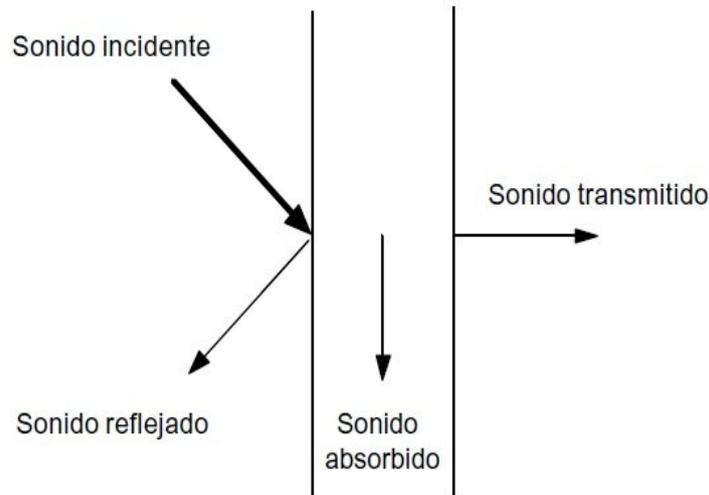


Figura 55. Descripción de los fenómenos del sonido (Absorción, reflexión y transmisión) [58].

### ASTM E2611-09 STL A MENOR ESCALA.

Para este ensayo a diferencia del anterior, se utilizan 2 juegos de micrófonos de presión acústica y la muestra se coloca en un punto medio entre estos, también lleva material absorbente al final del tubo para evitar la reflexión (Figura 56), el resto del experimento se realiza de la misma manera con el ordenador y el programa MATLAB.



Figura 56. Ensayo de pérdida de transmisión de sonido (STL).

### 5.2. Caracterización mecánica.

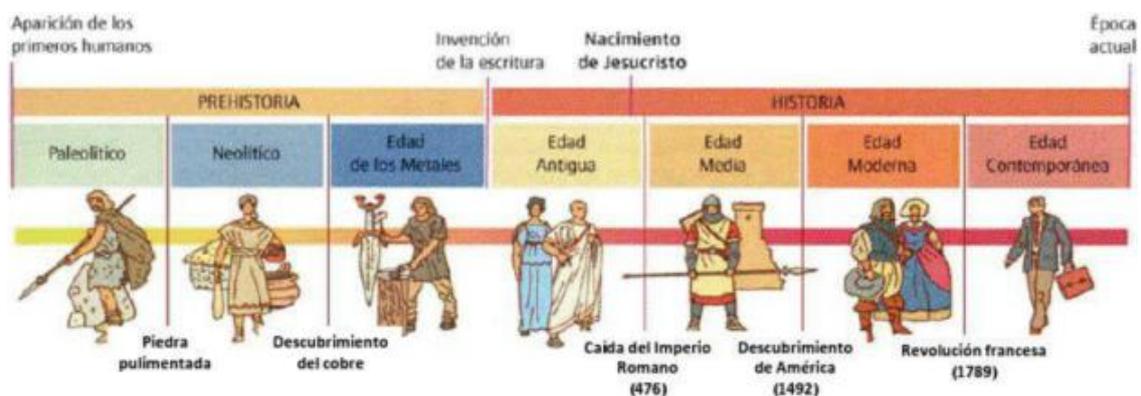


Figura 57. Historia del ser humano y su uso de materiales [59].

(Figura 57) Si algo se ha aprendido de la historia es que desde que al ser humano se le puede llamar como tal, siempre ha buscado materiales para facilitarle la vida, y de esta forma ha conseguido ir generando y acumulando conocimientos, que a veces se han perdido y otras veces se han redescubierto. Desde el paleolítico en la prehistoria hasta edad contemporánea, ha avanzado de usar herramientas de piedra, cobre, bronce y hierro, hasta toda la compleja gama de materiales, de máquinas y dispositivos que se disponen en la actualidad, y todo eso gracias a la ayuda de personas que no se conforman con lo que existe de manera natural o que se mantiene estático y han ido creando mecanismos o análisis cada vez más rigurosos para conocer la naturaleza de los materiales y poder así aprovecharla de la mejor manera, siendo así los ensayos mecánicos una parte fundamental de estos. En este caso se enfocará en un ensayo de flexión para comprobar su resistencia ante una determinada carga.

### 5.2.1. Ensayo de flexión.

Como los ensayos de flexión son ampliamente utilizados hoy en día no es de extrañar que se hayan desarrollado variantes específicas para los materiales más comunes usados en la industria, en este caso se seguirán los lineamientos de la norma UNE-EN 310-1993 para la determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión en tableros derivados de la madera [60], [61], [62].

“Esta Norma Europea establece un método para la determinación del módulo de elasticidad aparente en flexión de cara y de la resistencia a flexión de los tableros derivados de la madera con un espesor nominal igual o superior a 3 mm” [61], (Figura 58).

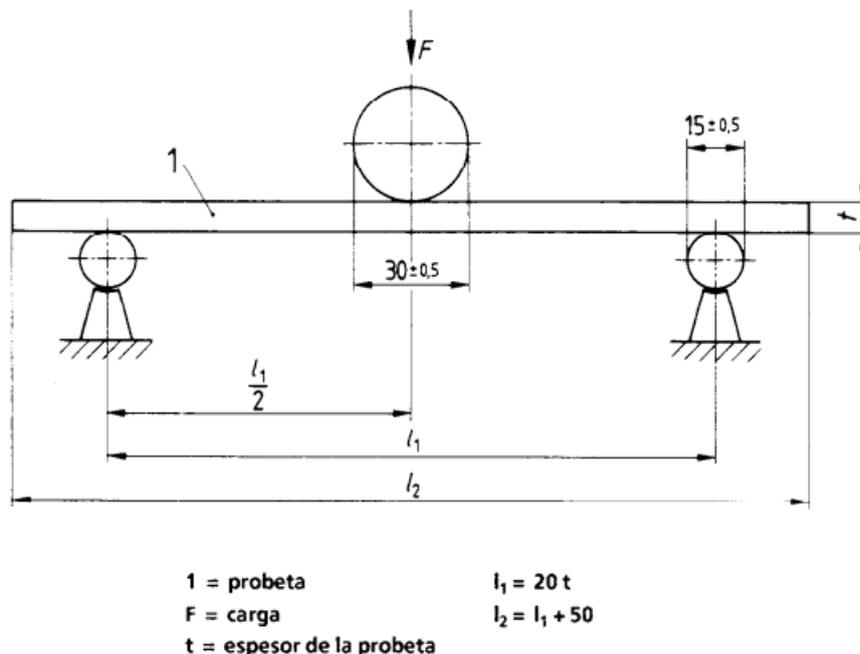


Figura 58. Descripción del aparato de flexión [61].

### 5.2.1.1. Módulo de elasticidad (MOE).

En la ecuación (3) el módulo de elasticidad  $E_m$  (en  $N/mm^2$ ), de cada probeta se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$E_m = \frac{[l_1^3 (F_2 - F_1)]}{[4b t^3 (a_2 - a_1)]} \quad (3)$$

Donde:

$l_1$  es la distancia entre los ejes de los apoyos en milímetros;

$b$  es la anchura de la probeta, en milímetros;

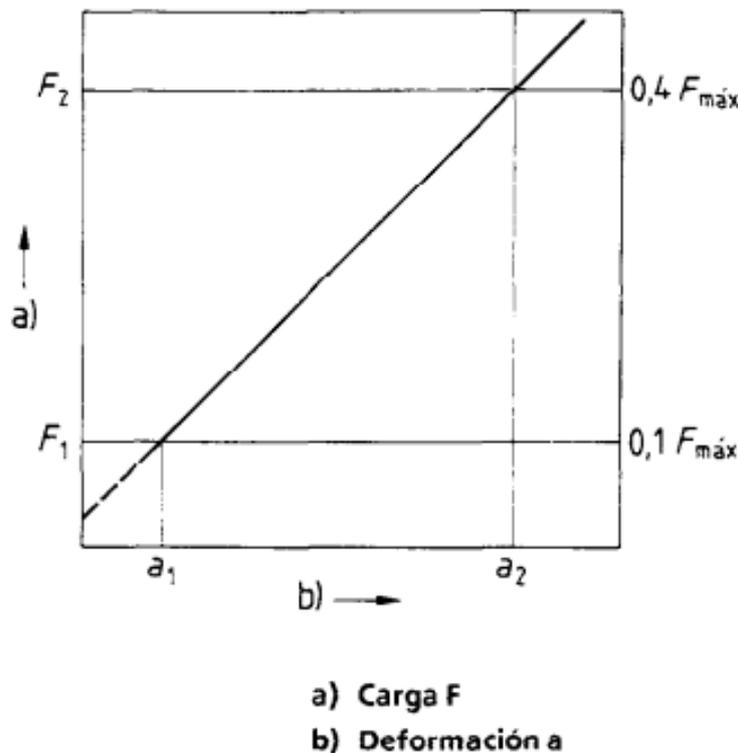
$t$  es el espesor de la probeta, en milímetros;

$F_2 - F_1$  es el incremento de la carga en el tramo lineal de la curva de cargas-deformaciones en N (*Figura 59*).

El valor de  $F_1$  deberá ser aproximadamente el corresponde a un 10% del valor de la carga máxima y el  $F_2$  el correspondiente a un 40%.

$a_2 - a_1$  es el incremento de la deformación en la mitad de la longitud de la probeta (que se corresponde con  $F_2 - F_1$ ).

El módulo de elasticidad de cada probeta se expresará con 3 cifras significativas.



*Figura 59. Curva de carga-deformación en la zona de deformación elástica [61].*

### 5.2.1.2. Módulo de resistencia a flexión (MOR).

La ecuación (4) trata sobre el cálculo de la resistencia a flexión  $f_m$  (en  $N/mm^2$ ), de cada probeta, se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$f_m = \frac{3 F_{\max} \cdot l_1}{2 b t^2} \quad (4)$$

Donde:

$F_{\max}$  es la carga máxima, en Newtons;

$l_1$ ,  $b$  y  $t$  se expresa en milímetros.

La resistencia a flexión de cada probeta se expresará con 3 cifras significativas.

Las dimensiones, procedimiento de ensayos y demás consideraciones se harán de acuerdo con lo que dice la norma.

(Figura 60) Se tienen dispuestas las probetas para los ensayos mecánicos desde la de menor sección partiendo de 20 mm hasta la de mayor sección de 60 mm, en incrementos de 10 mm cada vez, manteniendo la misma cantidad de restos de poda de almendro con cola blanca, variando al igual que antes únicamente su volumen y densidad.



*Figura 60. Probetas para ensayos mecánicos de flexión.*

Siguiendo lo que dice la norma se procede a montar las probetas sobre la máquina de ensayos y con la ayuda de una regla se centra y se ajusta la distancia de los apoyos, que será proporcional a su longitud (Figura 61).



*Figura 61. Montaje y centrado de las probetas en máquina de ensayos.*

Este proceso se repitió para cada una de las distintas muestras y la forma de su fractura se pueden ver con mayor detalle desde la menor hasta la de mayor sección, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo (*Figura 62*).



*Figura 62. Ensayos de las distintas probetas.*

Todos los resultados obtenidos fueron guardados en un ordenador que se encuentra conectado al equipo y sus datos fueron procesados con la aplicación que el fabricante entregó con la adquisición de la máquina.

### 5.2.2. Ensayos de compresión.

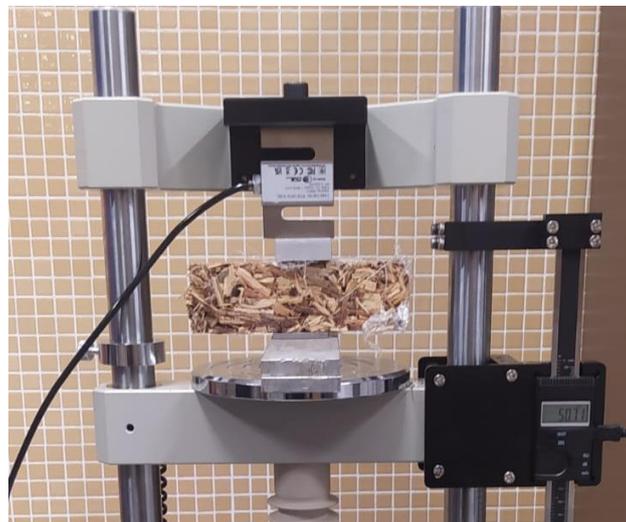
Para los ensayos de compresión se utilizó una de las mitades resultantes de cada una de las muestras ensayadas a flexión ya que se pueden usar perfectamente estos restos para aprovechar el material y no elaborar más probetas para este tipo de ensayo. Se seleccionaron preferentemente aquellas partes que se encontrasen en mejor estado.

Se separó a mano cada una de las mitades correspondientes y se las preparó para su posterior ensayo (*Figura 63*).



*Figura 63. Preparación de probetas para ensayo compresión.*

(*Figura 64*) Se montó la muestra y se sometió a compresión para analizar su comportamiento bajo altas cargas y se repitió este procedimiento para todas las demás.



*Figura 64. Ensayo de compresión de muestra de restos de poda de almendro y cola blanca.*

De igual manera que para los ensayos anteriores, al ser la misma máquina todos los resultados obtenidos fueron guardados en un ordenador que se encuentra conectado y procesados con la ayuda de una aplicación que el fabricante entregó con la adquisición del equipo.

### 5.3. Caracterización térmica.

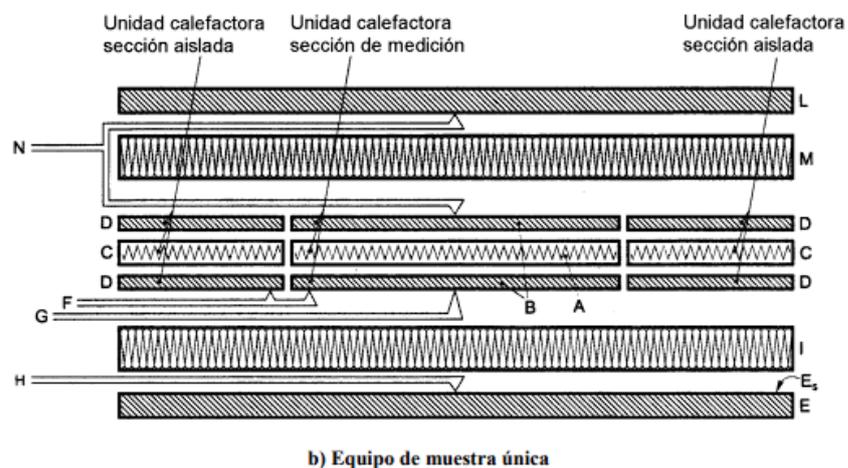
Así como se estudió las propiedades mecánicas de los materiales, también es muy importante estudiar su comportamiento térmico y con eso poder conocer como los materiales se ven afectados por la variación de temperatura. La Universidad Autónoma de Occidente en su portal web dice que “*La caracterización térmica de materiales, permite tener el control sobre las propiedades físicas o químicas de un material, conocer*

su comportamiento en función de la temperatura, mejorar los procesos de producción y la obtención de nuevos materiales con características específicas” [63].

### 5.3.1. Coefficiente de conductividad térmica.

Como se acabó de comentar el estudio de las propiedades térmicas de los materiales es muy importante y por eso para su correcta implementación y análisis existe la norma UNE-EN 12667-2001 para la determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor, específicamente para producto de alta y media resistencia térmica [62].

La norma dice que “En un equipo de placa caliente guardada, la relación del flujo de calor es obtenida a partir de la medición de la potencia suministrada para la unidad calefactora en la sección medida” [62]. Las características generales de los equipos con muestras instaladas se muestran en la *Figura 65*.



**Leyenda**

- |   |  |
|---|--|
| A Sección de medida del calefactor                            | G Termopares en la superficie de la unidad calefactora |
| B Sección de medida de la superficie de la placa              | H Termopares en la superficie de la unidad enfriadora  |
| C Sección aislada del calefactor                              | I Muestra de ensayo                                    |
| D Sección aislada de las placas/láminas de superficie         | L Placa/lámina aislada                                 |
| E Unidad enfriadora   | M Aislamiento de la placa guardada                     |
| E <sub>s</sub> Superficie de la placa de la unidad enfriadora | N Termopares diferenciales de la placa guardada        |
| F Termopares diferenciales                                    |  |

El hueco corresponde a la separación entre la sección de medida (ver A y B) y la sección aislada (B, C y D).

*Figura 65. Condiciones generales de muestra única en equipo de placa caliente guardada. [62]*

Las dimensiones, procedimiento de ensayo y demás consideraciones se harán de acuerdo con lo que dice la norma.

(Figura 65) Con la ayuda de un equipo de fabricación casera se realizaron los ensayos para la determinación de conductividad térmica siguiendo la metodología de la norma UNE-EN 12667-2001. Se quitó la parte superior de la caja y se introdujo la muestra para analizarla. Se vuelve a colocar la tapa, se posiciona el sensor de temperatura y se enciende la fuente de voltaje y corriente. Los datos obtenidos son enviados a un ordenador para ser tratados y posteriormente los resultados de este análisis se encuentran reflejados en la *tabla 7*.



Figura 66. Determinación de coeficiente de conductividad térmica por placa caliente de fabricación casera según norma UNE-EN 12667-2001.

## 6. Resultados y discusiones.

Gracias a los equipos y recursos que posee la “*Universidad Politécnica de Valencia*” antes de empezar con los análisis se hicieron unas fotografías con la ayuda de una LUPA: Leica MC170HD, en el servicio de Microscopia Electrónica de la UPV, para investigar un poco la estructura superficial de los restos de poda del almendro.

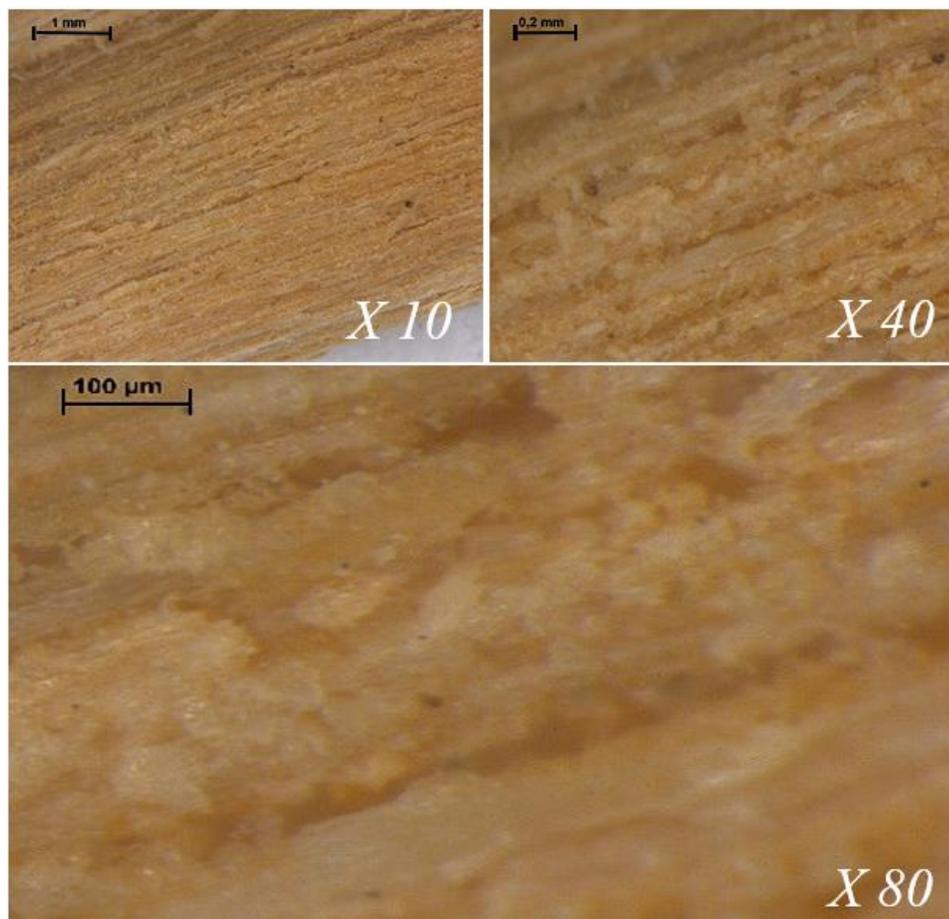


Figura 67. Micrografías de la superficie de una muestra de las ramas del almendro a un aumento de X10, X40 y X80.

(Figura 67) Se puede resaltar que a distintos aumentos se percibe que la superficie de una rama de almendro de la variedad “VAYRO” cuenta con fibras alargadas y alineadas, de un color marrón claro, muy juntas unas respecto a las otras, claramente de una alta densidad, lo cual contrasta con la resistencia que se pudo palpar de estas ramas, siendo bastante rígidas y difíciles de fracturar o triturar.

(Figura 68 y 69) Como se puede ver el peso de las probetas se midió usando una balanza electrónica digital con una precisión de 0,01 g.

Las probetas se encuentran ordenadas desde la más densa y compacta, hasta la menos densa. Se denominarán MA 1, MA 2, MA 3, MA 4 y MA 5 respectivamente (**Muestra de ensayos acústicos y térmicos**) (Figura 68).

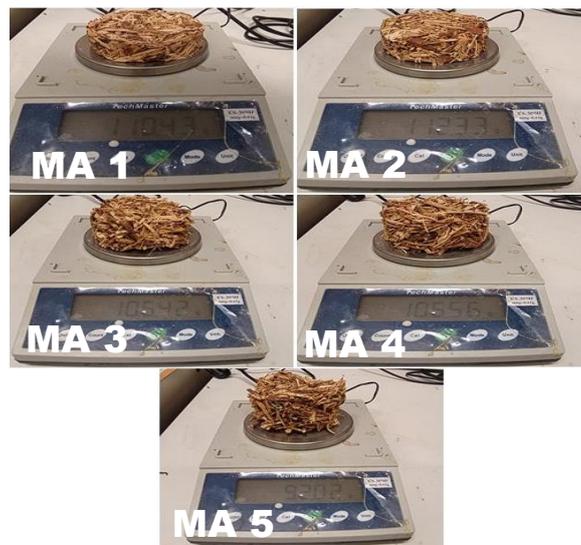


Figura 68. Pesos de las diferentes probetas cilíndricas de restos de poda de almendro y cola blanca.

De la misma forma las otras probetas, partirán desde la más hasta la menos densa y se denominarán MM 1, MM 2, MM 3, MM 4 y MM 5 respectivamente (**Muestras de ensayos mecánicos**) (Figura 69).

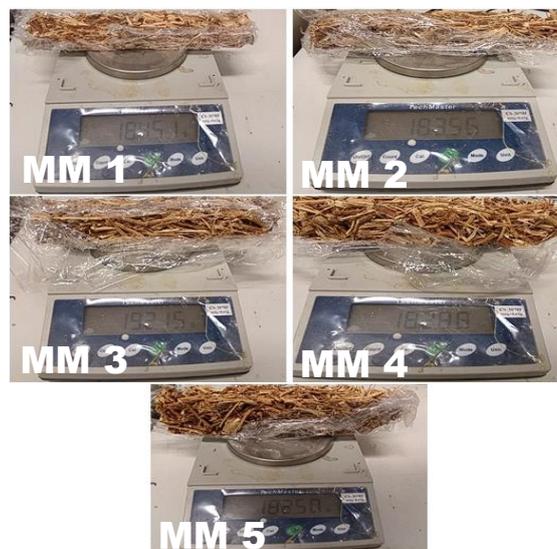


Figura 69. Pesos de las diferentes probetas ladrillo de restos de poda de almendro y cola blanca.

La ecuación (5) permite saber la densidad de las muestras:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

donde:

**m** es la masa y se mide en kilogramos (kg).

**V** es el volumen del material y se mide en metro cúbicos (m<sup>3</sup>).

Los resultados obtenidos a modo de resumen de los ensayos acústicos y térmicos se recogen en la *tabla 5*.

*Tabla 5. Resumen de las propiedades acústicas y térmicas de las muestras de poda de almendro y cola blanca.*

Muestras	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Conductividad (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Clase de absorción	Resistencia (m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> )
MA 1	703	0,02	0,00785	0,161	B	0,124
MA 2	477	0,03	0,00785	0,208	A	0,144
MA 3	336	0,04	0,00785	0,215	C	0,186
MA 4	269	0,05	0,00785	0,254	D	0,197
MA 5	195	0,06	0,00785	0,276	D	0,217

Los resultados obtenidos a modo de resumen de los ensayos mecánicos se recogen en la *tabla 6*.

*Tabla 6. Resumen de las propiedades mecánicas de las muestras de poda de almendro y cola blanca.*

Muestras	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga a flexión (N)	Carga a compresión (N)	Tensión de compression (MPa)
MM 1	738	0,02	0,0008	327	5.647	7,06
MM 2	489	0,03	0,0012	262	2.130	1,77
MM 3	384	0,04	0,0016	246	1.307	0,817
MM 4	293	0,05	0,0016	108	513	0,321
MM 5	243	0,06	0,0016	105	332	0,207

## 6.1. Ensayos acústicos.

A continuación, se hablará de manera más detallada de los tipos de caracterización acústica que se han realizado en el presente estudio, así como comparaciones con otros materiales mediante gráficas obtenidas de diferentes fuentes.

### 6.1.1. Absorción acústica.

Según lo que dice Jesús M. en su libro “Fundamentos físicos de la música”, “*El oído no responde de igual forma a todos los sonidos, es particularmente sensible a frecuencias*”

comprendidas entre 400 y 4000 Hz, por debajo y por encima de este rango su sensibilidad decae hasta hacerse nula por debajo de 20 Hz y por encima de 20.000 Hz” [64].

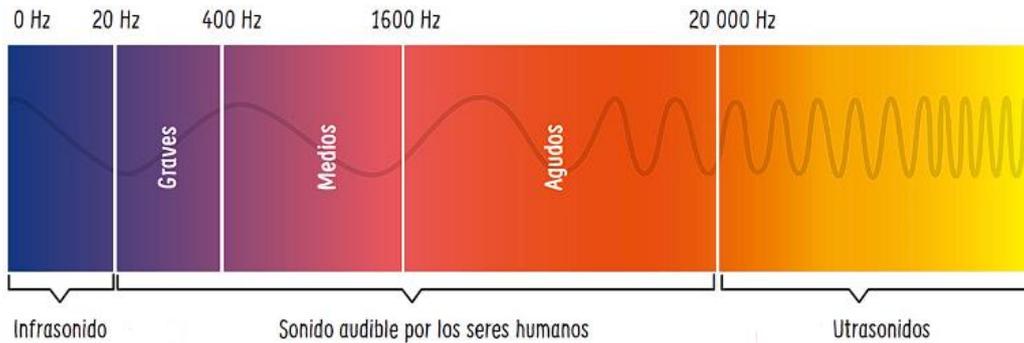


Figura 70. Gráfica de espectro audible [65].

(Figura 70) Se puede observar de manera más gráfica como se divide el espectro audible y donde los seres humanos son capaces de escuchar distintos sonidos a distintas frecuencias.

Aquí se presentan curvas de absorción en función de la frecuencia de algunos paneles acústicos (Figuras 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77):

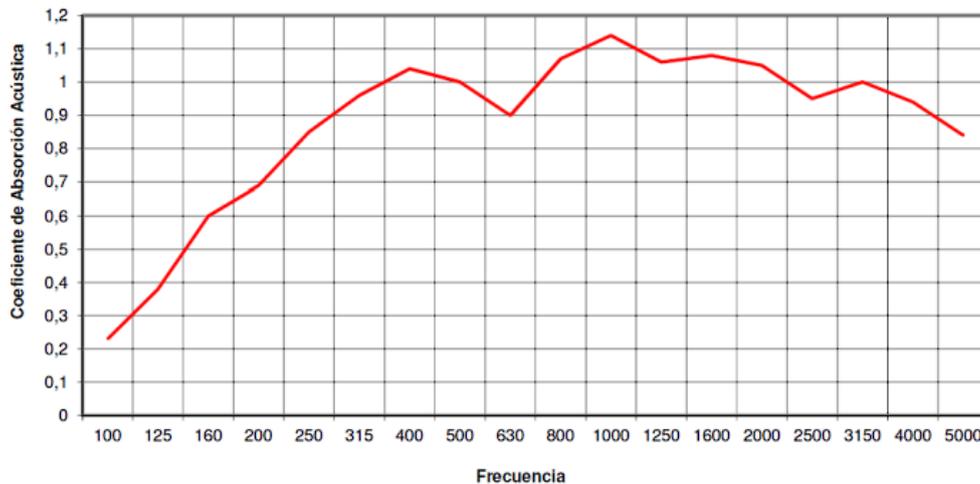


Figura 71. Panel acústico perforado por la cara “C27/16” [66].

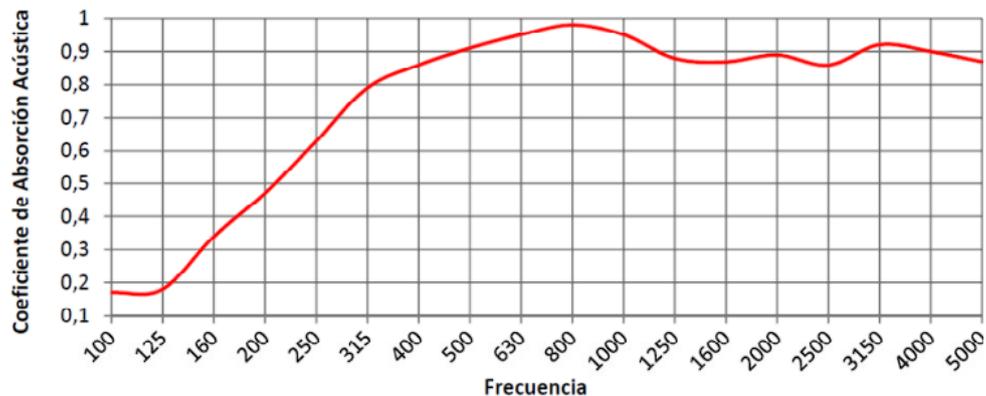


Figura 72. Panel acústico ranurado por la cara y perforado por la contra-cara “P5/3-32” [66].

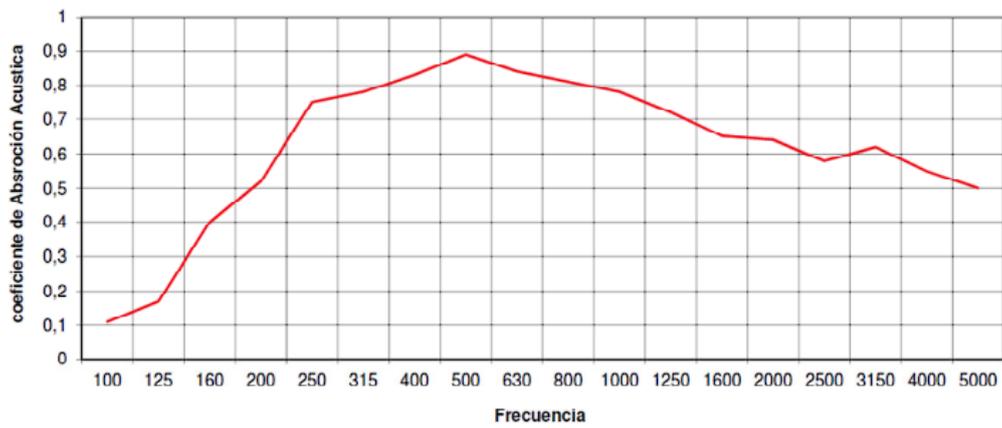


Figura 73. Panel acústico ranurado por la cara y perforado por la contra-cara "P29/3-16" [66].

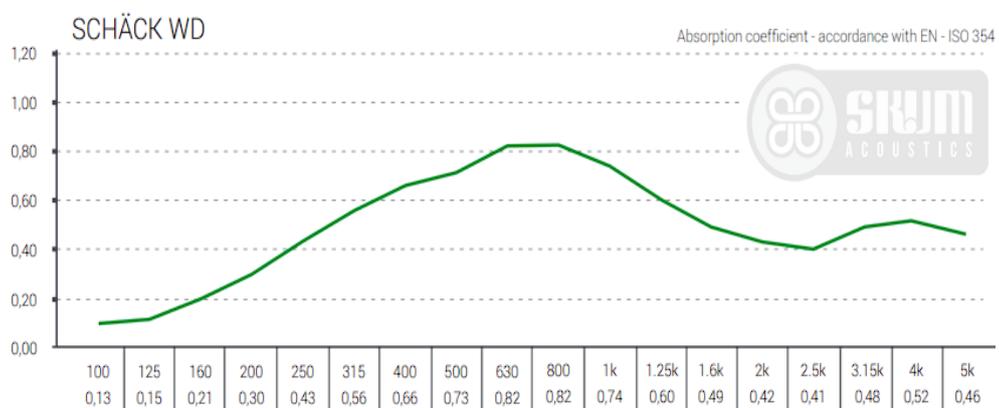


Figura 74. Panel acústico SCHÄCK WD con núcleo de espuma acústica ZHFR28 y acabado en madera [67].

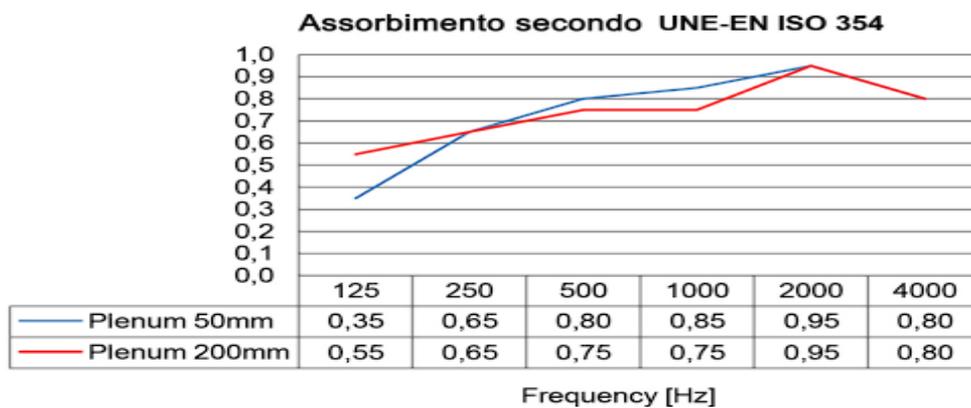


Figura 75. Panel acústico microperforado en MDF de 16 mm [68].

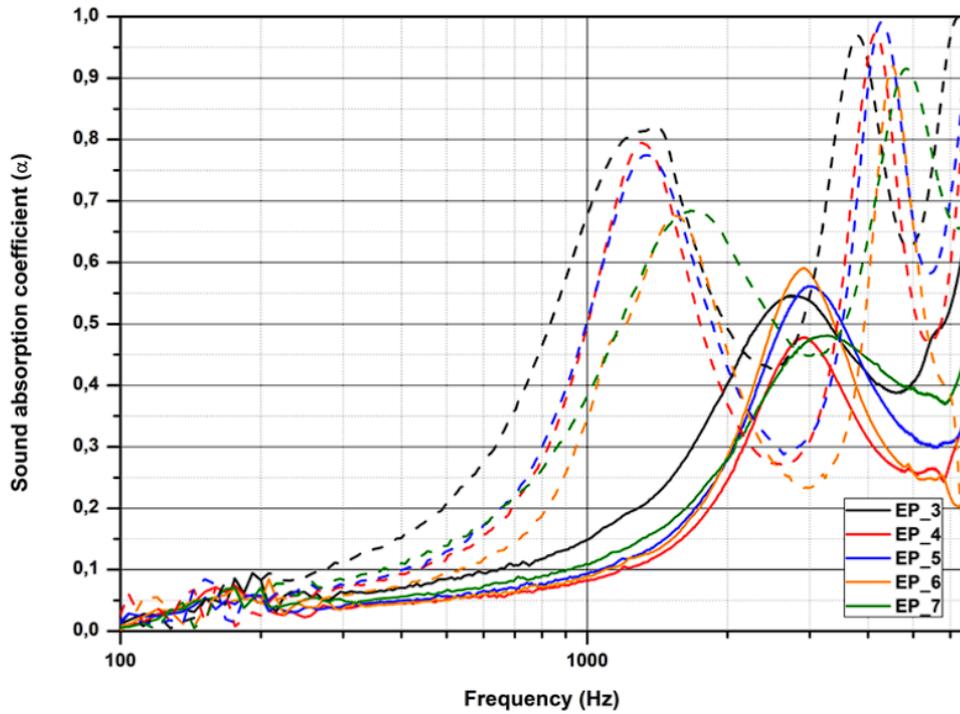


Figura 76. Coeficiente de absorción acústica de muestras de gránulos de corcho con resina epoxy en espesor de 2 cm para líneas sólidas y de 4 cm para línea entrecortada [69].

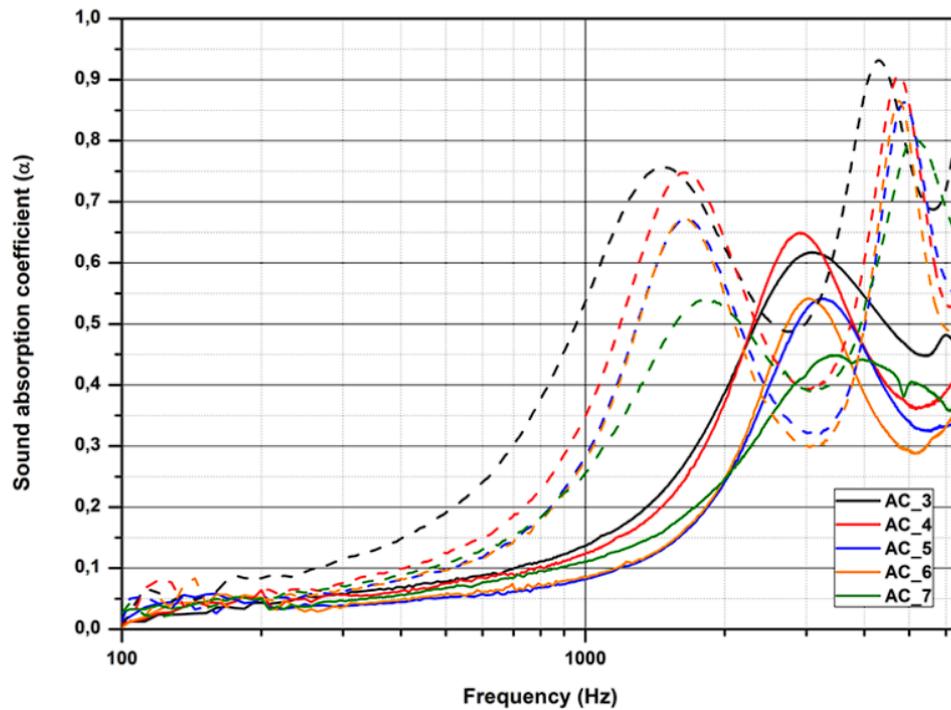


Figura 77. Coeficiente de absorción acústica de muestras de gránulos de corcho con resina acrílica en espesor de 2 cm para líneas sólidas y de 4 cm para línea entrecortada [69].

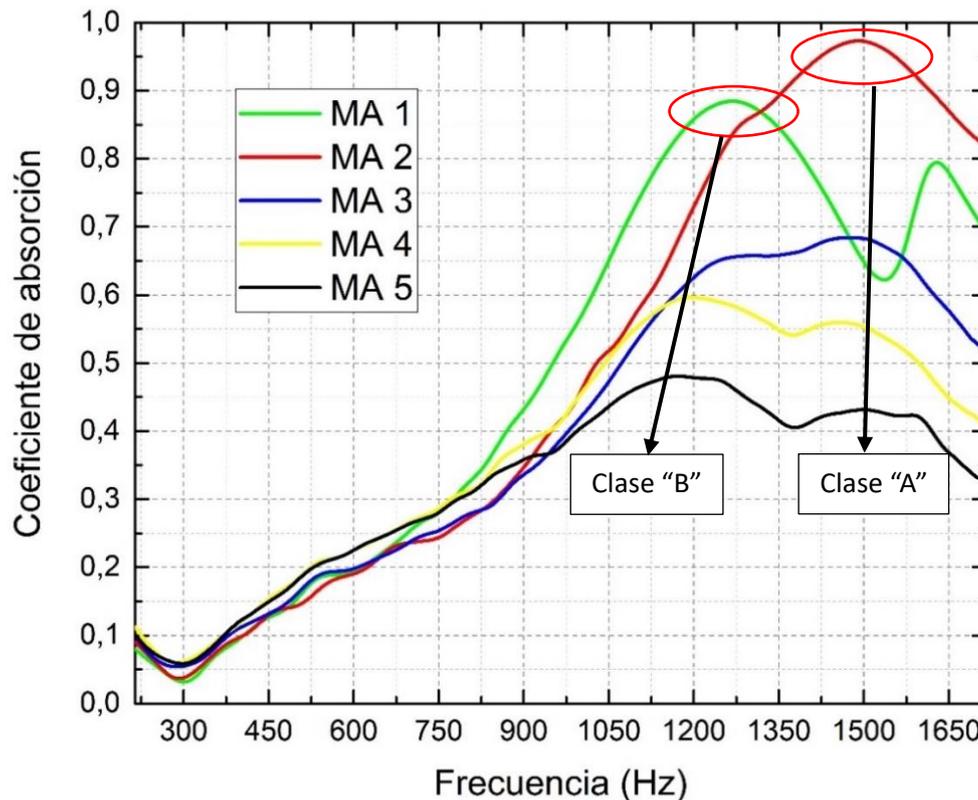


Figura 78. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de restos de poda de almendro y cola blanca.

(Figura 78) Se puede observar que todas las probetas muestran niveles de absorción en el rango medio del espectro audible destacándose la MA 1 y la MA 2, alcanzando esta última un nivel muy alto de absorción acústica a frecuencias comprendidas entre 1.400 y 1.600 Hz, teniendo su pico máximo a 1.490 Hz con un coeficiente de absorción de 0,973. Por otra parte, la muestra MA 1, también logró alcanzar niveles aceptables de absorción acústica de 0,884 a una frecuencia de 1.268 Hz. En ambos casos para aplicaciones en donde se conozca la frecuencia del sonido, se puede utilizar esta solución para mejorar el confort acústico dentro de un determinado espacio y así controlar la reverberación. También si se utiliza una metodología similar a la de Francesco M. et al. [49] en donde usando restos de poda de olivo, con distintas granulometrías, obtuvo curvas similares a la de este estudio, pero en frecuencias menores, por lo que si se plantea correctamente se podría desplazar la curva hacia frecuencias más bajas según se esté buscando.

Haciendo una comparativa de con otros materiales que se ofrecen comercialmente que hemos visto antes, no es un buen aislante acústico, pero tiene muy buenas propiedades como elemento para acondicionamiento acústico.

Basados en la UNE-EN ISO 11654 [53] se clasificaron las distintas muestras según su nivel de aislamiento acústico, aunque como no tienen un rango tan amplio, se lo hará según los valores más altos obtenidos, por lo que se cumplirá dicho nivel de absorción siempre y cuando se trabaje a las frecuencias indicadas, ver *tabla 7*.

Tabla 7. Clasificación de la clase de absorción acústica de las muestras de poda de almendro y cola blanca.

Probetas	Clase de absorción acústica	$\alpha_w$	Frecuencia (Hz)
MA 1	B	(0,80; 0,85)	1.144,4 – 1.391,9
MA 2	A	(0,90; 0,95; 1,00)	1.358,9 – 1.616,5
MA 3	C	(0,60; 0,65; 0,70; 0,75)	1.167,6 – 1.624,1
MA 4	D	(0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55)	771,7 > 1.716
MA 5	D	(0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55)	783,7 > 1.716

### 6.1.2. Pérdidas por transmisión de sonido (STL).

En la práctica se sabe que un sonido de 20 Hz se percibe a una presión sonora de 70 dB, mientras que un tono de 16.000 Hz se escucha a partir de 13 dB (Figura 79). En otras palabras, el ser humano percibe la misma sensación sonora en ambos casos [70].

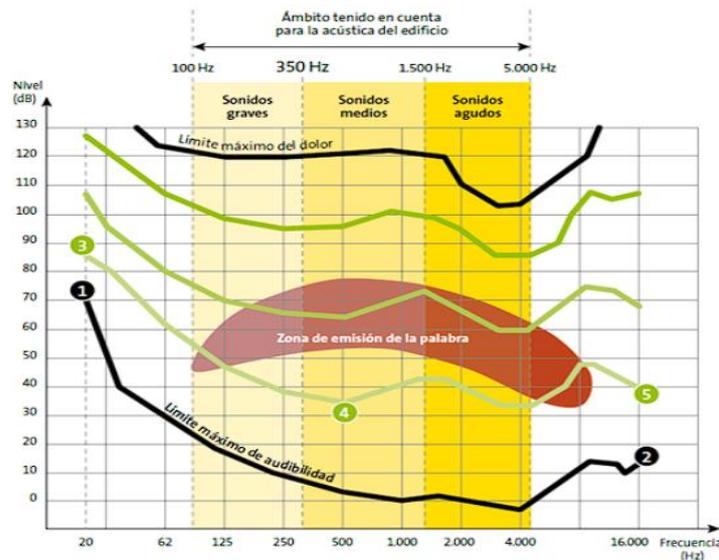


Figura 79. Curva de percepción de los sonidos [70].

(Figura 80) Se puede ver que las frecuencias en las que el oído del ser humano es más sensible, se corresponden con la emisión de la voz humana [70].

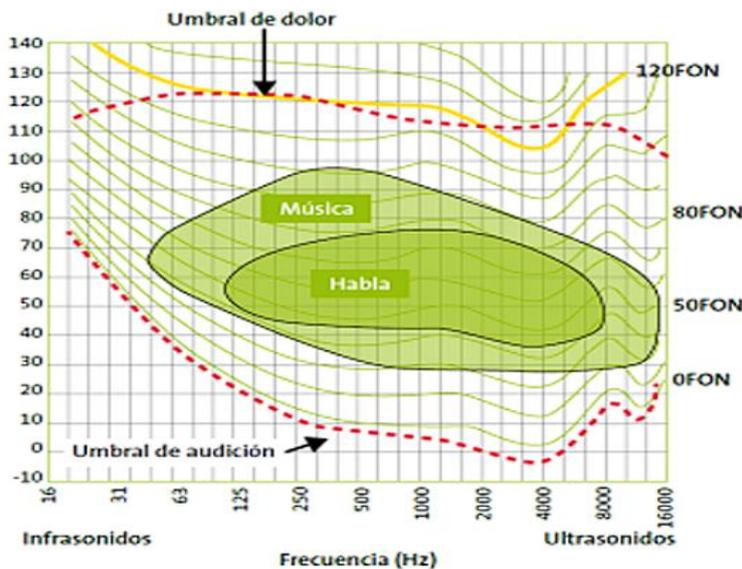


Figura 80. Frecuencias en las que el oído humano es más sensible [70].

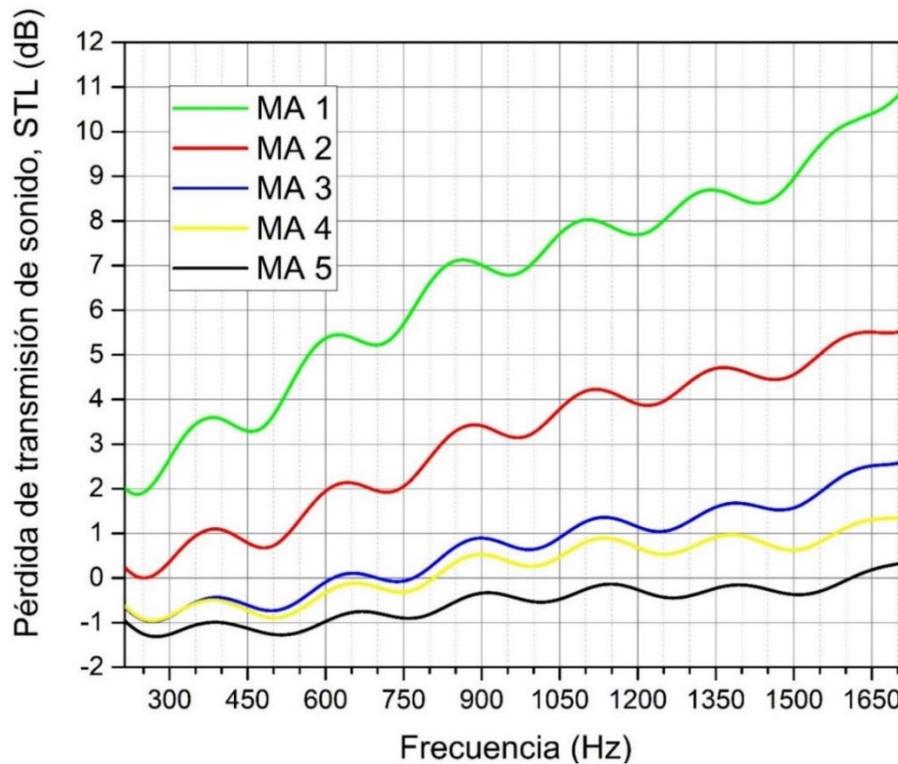


Figura 81. Pérdidas de transmisión de sonido (STL) de muestras de restos de poda de almendro y cola blanca.

(Figura 81) Se observa que las muestras hechas a partir de restos de poda de almendro con cola blanca no tienen grandes propiedades como aislante acústico. La muestra MA 1 a penas si logra alcanzar los 11 dB de aislamiento. Estos datos confirman experimentalmente que un buen absorbente acústico es por lo general un mal aislante acústico y viceversa.

## 6.2. Ensayos mecánicos.

A continuación, se hablará de manera más detallada de los ensayos mecánicos (flexión y compresión) que se han realizado en el presente estudio.

### 6.2.1. Ensayo de flexión.

Según el instituto tecnológico del plástico AIMPLAS en su página web dice que “*el objetivo del ensayo de flexión es determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y flechas (deformaciones) en los puntos máximo y de rotura, y módulo elástico en flexión teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta*” [71]. Por lo que realizar este tipo de ensayos a todos los materiales posibles, crea continuamente una base de datos para la obtención de futuros materiales compuestos que podrían ser la llave para un mejor futuro más amigable y respetuoso con el planeta.

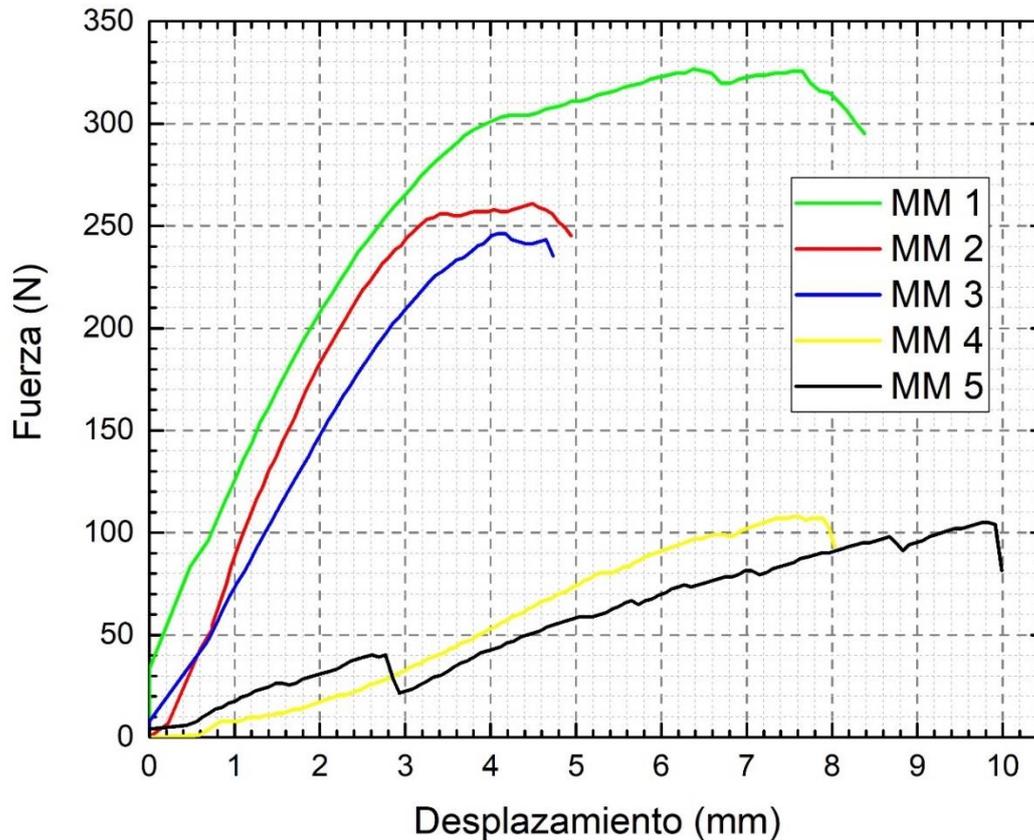


Figura 82. Ensayos de flexión de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca.

(Figura 82) Se puede observar en el gráfico como fue el comportamiento de las muestras mecánicas al ensayo de flexión, partiendo de la primera muestra “MM 1” que era la más compacta y densa se encontraba por lo que tuvo un mejor comportamiento con niveles de carga de poco más de 300 N, en contraste con las demás. La muestra MM 2 y MM 3 también soportaron unos niveles de carga aceptables a pesar de su aumento de volumen y disminución de densidad con valores de alrededor de 250 N. Las muestras de mayor tamaño no se comparan con las más pequeñas y densas, por lo que para mejorar sus propiedades se puede cambiar de aglomerante o rellenar los espacios vacíos con material de menor granulometría.

A continuación, en la tabla 8 se presentan los resultados del módulo de resistencia a flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) de cada una de las muestras calculados según la norma UNE-EN 310-1993 para su determinación en tableros derivados de la madera [61].

Tabla 8. Resultados del MOR y MOE de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca.

MUESTRAS	MOR (MPa)	MOE (MPa)
MM 1	4,90	256
MM 2	1,75	86,4
MM 3	0,923	37,6
MM 4	0,405	8,93
MM 5	0,394	6,72

6.2.1.1. Módulo de elasticidad (MOE) y Módulo de resistencia a flexión (MOR).

Para un mejor entendimiento de los datos mostrados en la *tabla 8* a continuación se representa de manera gráfica en la *Figura 83* el MOE a la izquierda y el MOR a la derecha en función de la densidad de las muestras, cada uno con su propia escala.

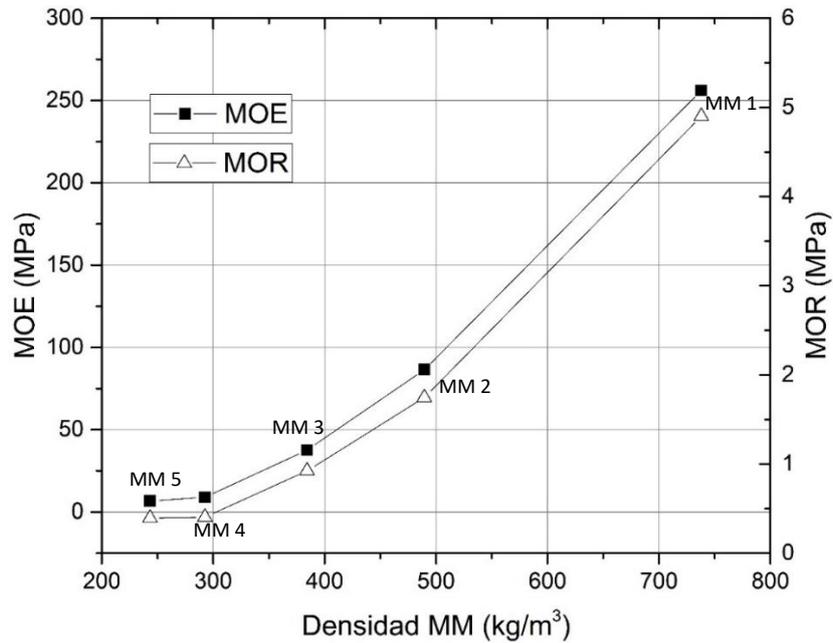


Figura 83. Representación gráfica del MOR y MOE (MPa) de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca en función de la densidad (kg/m³).

6.2.2. Ensayo de compresión.

Según Zwick/Roell que es una compañía con más de 160 años de historia en la creación de equipos de mediciones de todo tipo, nos dice que “*Los ensayos de compresión sirven para determinar el comportamiento del material bajo una carga de presión en aumento constante. Los ensayos de compresión evalúan la seguridad, durabilidad e integridad de materiales y componentes*” [72].

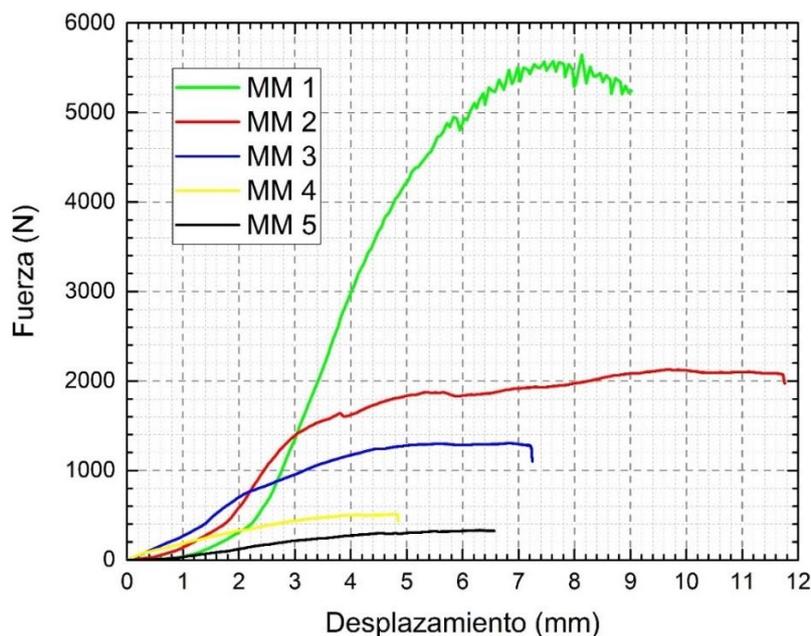


Figura 84. Ensayo de compresión de muestras de restos de poda de almendro con cola blanca.

(Figura 84) Se observa una clara diferenciación entre la primera muestra denominada “MM 1” del resto y es que su comportamiento a compresión se ve muy favorecido al haber sido la muestra con menor volumen y mayor densidad, por lo que al someterla al ensayo era de esperar que obtuviese unos niveles altos de resistencia a la compresión en vista que ya se encontraba muy comprimida, su pendiente es la mayor de todas las muestras, en la *tabla 6* podemos ver como la MM 1 ha alcanzado una tensión máxima de compresión de 0,452 MPa. Por otra parte, las muestras “MM 2” y “MM 3” tienen una menor pendiente y aunque sus tensiones de compresión son bastante inferiores a MM 1 siendo 0,170 MPa y 0,105 MPa respectivamente, dependiendo de su aplicación, también podrían ser útiles, en vista de que al tener una menor densidad y un mayor volumen podrían servir como separadores de espacios interiores.

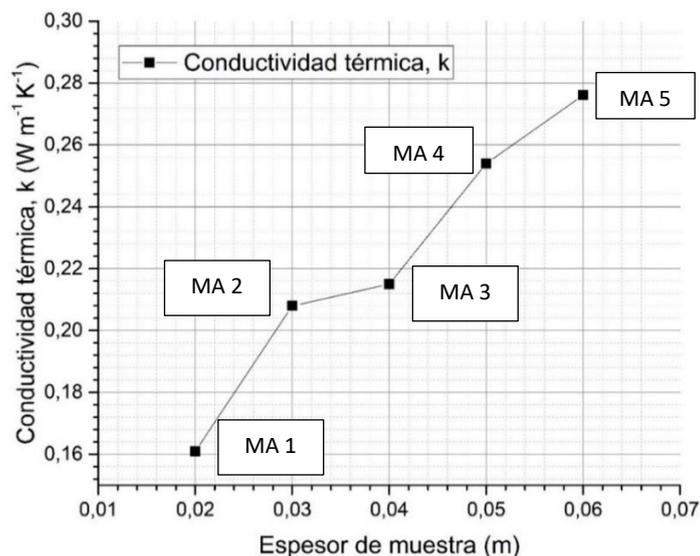
### 6.3. Ensayos térmicos.

Para que sea más fácil la interpretación de los resultados de los análisis térmicos se elaboró la *tabla 9* donde se verá los valores de cada muestra y su respectiva conductividad térmica.

*Tabla 9. Datos de conductividad térmica de las muestras de poda de almendro de la variedad “VAIRO”.*

Muestras	Temperatura placa Caliente (°C)	Temperatura placa fría (°C)	Potencia (W)	Espesor (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Conductividad térmica (k) (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K W <sup>-1</sup> )
MA 1	37,8	28,8	0,57	0,02	0,00785	0,161	0,124
MA 2	39,6	28,5	0,60	0,03	0,00785	0,208	0,144
MA 3	40,0	25,8	0,60	0,04	0,00785	0,215	0,186
MA 4	41,2	26,9	0,57	0,05	0,00785	0,254	0,197
MA 5	42,4	26,8	0,57	0,06	0,00785	0,276	0,217

Para un mejor entendimiento de los datos mostrados en la *tabla 9* a continuación se representa de manera gráfica en la *Figura 85* la conductividad térmica en función del espesor del material.



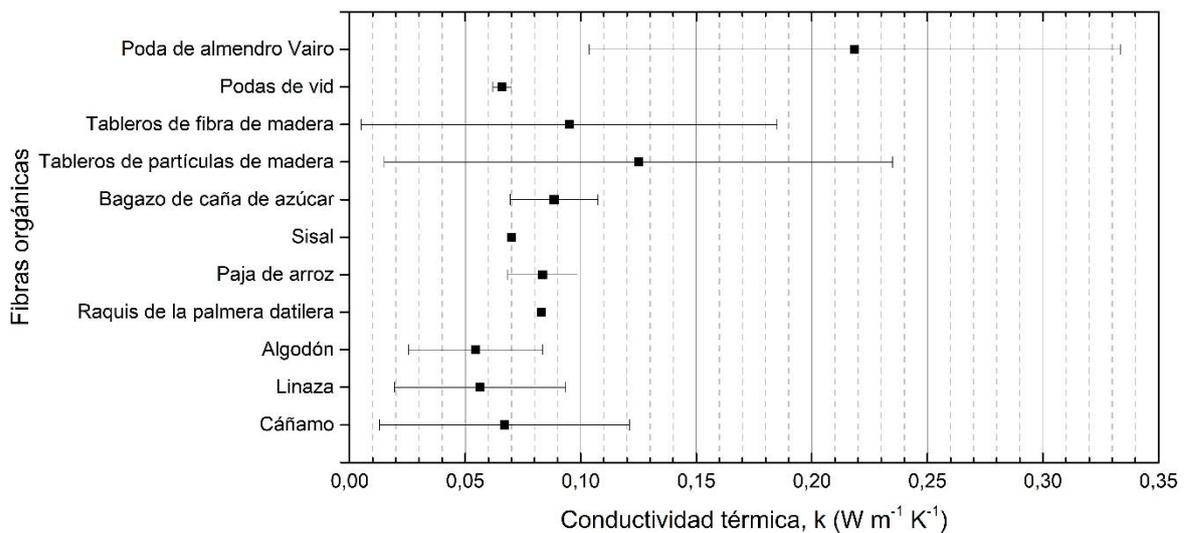
*Figura 85. Conductividad térmica (k) en función del espesor de las muestras de almendro de la variedad “VAIRO”.*

Además, en la *tabla 10* se hace una comparativa con otros materiales estudiados por otros autores.

*Tabla 10. Coeficientes de conductividad térmica obtenidos en ensayos con diferentes fibras orgánicas [73].*

<b>Fibras orgánicas</b>	<b>Conductividad térmica, k (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)</b>
Cáñamo	0,111; 0,040 a 0,094
Linaza	0,038 a 0,075; 0,042
Algodón	0,040 a 0,069
Raquis de la palmera datilera	0,083
Paja de arroz	0,076 a 0,091
Sisal	0,070
Bagazo de caña de azúcar	0,079 a 0,098
Tableros de partículas de madera	0,070 a 0,180
Tableros de fibra de madera	0,050 a 0,140
Podas de vid	0,064 a 0,068
Poda de almendro Vairo	0,161 a 0,276 (Este trabajo)

A continuación, en la *Figura 86* se presenta de manera gráfica los coeficientes de conductividad térmica de las diferentes fibras orgánicas.



*Figura 86. Coeficientes de conductividad térmica obtenidos en ensayos con diferentes fibras orgánicas.*

## 7. Conclusiones y líneas futuras de investigación.

Esta investigación ha tenido como objetivo conocer las propiedades acústicas, mecánicas y térmicas de los restos de poda del árbol de almendro de la variedad “Vairo” y la posible revalorización de este subproducto agrícola mediante su aprovechamiento como un panel de absorción acústica. Se ha demostrado en el transcurso de este trabajo que los restos de poda de almendro tienen aplicaciones en los diversos campos estudiados.

### 7.1. Conclusiones.

- Al combinarse los restos de poda de almendro con un adhesivo como el acetato de polivinilo más conocido como “cola blanca” se ha podido concluir y corroborar que aumenta considerablemente sus propiedades mecánicas obteniéndose en el mejor de los casos un MOR de 4,90 MPa y un MOE de 256 MPa, así como una tensión de compresión de 7,06 MPa no obstante, dependiendo del grado de compactación (su densidad), se puede aumentar o disminuir su resistencia y por ende asignarle para una u otra aplicación, de igual manera se podrá controlar la resistividad del flujo del aire en el material y en consecuencia determinar la curva de absorción en función del espesor de la muestra.
- Las propiedades como absorbente acústico y aislante térmico son muy buenas, debido a que en el rango comprendido entre 1.114,4 – 1.616,5 Hz las muestras más densas fueron capaces de absorber la mayor parte del sonido con valores de absorción acústica entre 0,88 – 0,97 ayudando a disminuir la reverberación de un espacio cerrado mientras que la transferencia del flujo de calor oscilaba entre 0,162 – 0,276 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> en algunos espesores, siendo esto clave para su adopción en uso urbano ya que además de reducir la reverberación mantendría un buen aislamiento térmico respecto a otros espacios.
- Se concluye también que si lo que se busca es una alta cohesión, adherencia y resistencia mecánica de las partes con un material biodegradable la mejor opción es la cola blanca, aunque si se busca solo materiales de origen natural, los ensayos realizados con los demás adhesivos no fueron concluyentes.
- Otro punto a favor es que dependiendo del sistema o procedimiento que se haya llevado a cabo durante la poda, los restos podrían ser casi usados directamente para la construcción de paneles, siendo relativamente sencillos de procesar, de bajo coste y poca contaminación, siendo interesante su contribución al medio ambiente evitando que se descomponga y libere al ambiente todo el CO<sub>2</sub> acumulado en vida.
- Tal y como se evidencia en este documento, cabe mencionar que todo el proceso de fabricación fue realizado de forma manual y que es muy probable que el adhesivo no haya quedado impregnado en todas las zonas de los restos de poda de igual manera, por lo que con un procedimiento a nivel industrial donde se pueda garantizar que todo el material se impregne con una capa uniforme y homogénea,

es esperable que los resultados finales de adhesiones entre las partes sean mejores a los de este estudio.

## **7.2. Líneas futuras de investigación.**

Este trabajo ofrece muchas líneas de trabajo que podrían servir como punto de partida para futuras investigaciones en diversos campos.

- Propuesta de fabricación de más probetas, estudiando esta vez la separación y combinación controlada de diferentes granulometrías., así como con otras densidades o diferentes tipos de adhesivos.
- Se puede estudiar la combinación con otro tipo de materiales que puedan complementar las propiedades existentes en el material, de preferencia de origen natural u otros residuos a revalorizar, obteniendo así un producto compuesto si se combina todo o multicapa si se hace por separado.
- Construir un modelo a mayor escala y realizar unas pruebas en una cámara de reverberación para determinar de manera más fiable si podría ser un producto comercial y válido para su industrialización.
- Para su uso en un ambiente urbano, se pueden realizar ensayos de resistencia al fuego para evaluar su comportamiento ante una llama directa y en función de eso estudiar la aplicación de un componente de origen sintético o natural que le proporcione propiedades ignífugas o de alta resistencia al fuego, es decir un panel multicapa, con protección al fuego y/o de matriz cementosa.

## 8. Bibliografía.

- [1] L. Chalak, «Almond: Multiple uses of a mediterranean heritage», en *Acta Horticulturae*, 2014. doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1032.3.
- [2] «LUZ MEDITERRÁNEA». Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://luzmediterranea.files.wordpress.com/2015/03/dsc0039.jpg>
- [3] «LA AGRICULTURA EN TIEMPOS DEL CÉSAR | Espores». Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://espores.org/es/es-agricultura/la-agricultura-en-tiempos-del-cesar/>
- [4] «El almendro en España: situación, innovación tecnológica, costes y retos para una producción sostenible - Horticultura». Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/316394-almendro-Espana-situacion-innovacion-tecnologica-costes-retos-produccion-sostenible.html>
- [5] «Almendro (*Prunus dulcis*)», MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/caminos-naturales/detalle\\_punto\\_interes.aspx?tcm=tcm:30-548394&id\\_camino=013424&topologia=Vegetaci%C3%B3n&origen=Destacado s#:~:text=Es%20una%20especie%20que%20crece,y%20el%20norte%20de%20%C3%81frica.](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/caminos-naturales/detalle_punto_interes.aspx?tcm=tcm:30-548394&id_camino=013424&topologia=Vegetaci%C3%B3n&origen=Destacado s#:~:text=Es%20una%20especie%20que%20crece,y%20el%20norte%20de%20%C3%81frica.)
- [6] «Descripción - Sodebur - Agenbur». Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sodebur.es/herramientas/bioeconomia/cultivos-almendro/descripcion/>
- [7] «Soluciones en el Cultivo Ecológico del Almendro». Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://juanpacomarsilla.blogspot.com/>
- [8] «Manual del almendro - Junta de Andalucía». Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/areas/agricultura/produccion-agricola/paginas/semillas-plantas-vivero-almendro.html>
- [9] «APRENDE CÓMO SE REALIZA LA PODA DEL ALMENDRO, AQUÍ». Accedido: 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://nuestraflora.com/c-podas-y-cuidados/poda-del-almendro/>
- [10] «Almonds varieties: Vairo ~ IRTA». Accedido: 29 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.irta.cat/en/servei/varietats-ametller-vairo/>
- [11] «> Variedad de Almendro VAIRO y sus Características». Accedido: 29 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://synergynuts.upct.es/variedades/almendro-vairo/>
- [12] «CARM.es - Comportamiento de nuevas variedades de almendro en el campo de Cartagena». Accedido: 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=20865&IDTIPO=246&RAS TRO=c2889\\$m58245,58256,58865](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=20865&IDTIPO=246&RAS TRO=c2889$m58245,58256,58865)

- [13] M. J. Aliaño-González, J. Gabaston, V. Ortiz-Somovilla, y E. Cantos-Villar, «Wood Waste from Fruit Trees: Biomolecules and Their Applications in Agri-Food Industry», *Biomolecules*, vol. 12, n.º 2, p. 238, feb. 2022, doi: 10.3390/BIOM12020238/S1.
- [14] G. Huang y K. Lapsley, «Almonds», *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, pp. 373-390, ene. 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-814138-0.00015-0.
- [15] N. Bilandzija, N. Voca, T. Kricka, A. Matin, y V. Jurisic, «Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia.», *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 10, n.º 2, pp. 292-298, 2012.
- [16] L. Achinivu, E. C. Barcelos, y C. Araujo, «Lawrence Berkeley National Laboratory LBL Publications Title Deconstruction of Woody Biomass via Protic and Aprotic Ionic Liquid Pretreatment for Ethanol Production Permalink Publication Date», 2021, doi: 10.1021/acssuschemeng.0c07925.
- [17] «Ejemplos de Materiales Aglomerantes». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ejemplos.co/10-ejemplos-de-materiales-aglomerantes/>
- [18] «Ingeniería Civil: AGLOMERANTES». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://tcnmateriales.blogspot.com/2016/10/aglomerantes.html>
- [19] «Primer plano de alquitrán que se aplica para sellar un bache en la carretera | Foto Premium». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.freepik.es/fotos-premium/primer-plano-alquitrán-que-aplica-sellar-bache-carretera\\_43196540.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/primer-plano-alquitrán-que-aplica-sellar-bache-carretera_43196540.htm)
- [20] «Excipientes Farmacéuticos | Tipos de Aglutinantes». Accedido: 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dva.com/mx/blog-mx/excipientes-farmacéuticos-tipos-de-aglutinantes-farmacéuticos/>
- [21] «Materiales aglutinantes orgánicos naturales | PDF». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/danielsalviati/materiales-aglutinantes-orgánicos-naturales>
- [22] «Cola animal - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cola\\_animal](https://es.wikipedia.org/wiki/Cola_animal)
- [23] «¿Qué son las Resinas Naturales? – Gemalabs». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gemalabs.cl/blogs/blog/que-son-las-resinas-naturales>
- [24] «Pegamento de almidón DIY | Hometalk». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.hometalk.com/diy/limpiar/casa/pegamento-de-almidon-diy-44491338>
- [25] «adhesivo, adhesiva | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/adhesivo>

- [26] «Tipos de Adhesivos - ASEFCA». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://asefca.org/tipos-de-adhesivos/>
- [27] «Historia del Caucho». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://globalrubbercorporation.com/blog/119-historia-del-caucho>
- [28] «Acústico - Desarrollo de la ciencia acústica.» Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://perfectacoustic.es/acustico/>
- [29] «VIDEO: Diferencias arquitectónicas entre el Teatro griego y el romano». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.canalpatrimonio.com/video-diferencias-arquitectonicas-entre-el-teatro-griego-el-teatro-romano/>
- [30] S. Sakthivel *et al.*, «Sound absorbing and insulating properties of natural fiber hybrid composites using sugarcane bagasse and bamboo charcoal», *J Eng Fiber Fabr*, vol. 16, sep. 2021, doi: 10.1177/15589250211044818/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177\_15589250211044818-FIG11.JPEG.
- [31] «Definición de aislamiento acústico - Aislacustic Ingeniería Acústica». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aislacustic.com/definicion-aislamiento-acustico/>
- [32] «Entender la acústica de una sala – Reverberación (parte 2)». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://quecamarareflex.com/entender-la-acustica-de-una-sala-reverberacion/>
- [33] N. H. Bhingare, S. Prakash, y V. S. Jatti, «A review on natural and waste material composite as acoustic material», *Polym Test*, vol. 80, p. 106142, dic. 2019, doi: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2019.106142.
- [34] «Qué son los Paneles Acústicos y cómo utilizarlos - Blog Sineco Acústica». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sineco-acustica.com/blog/que-son-los-paneles-acusticos-y-como-utilizarlos/>
- [35] «Paneles Acústicos Ranurados – International Acoustic». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://internationalacoustic.com/es/productos/paneles-par/>
- [36] «Paneles de techo acústicos decorativos personalizados de China para fabricantes de interiores, proveedores, fábrica - Descuento al por mayor - MUMU». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://es.love-mutou.com/wood-decorative-panels/decorative-acoustic-ceiling-panels.html>
- [37] «Sistemas acústicos para balcones Panel acústico By Bruag». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.archiproducts.com/es/productos/bruag/panel-acustico-de-madera-contrachapada-sistemas-acusticos-para-balcones\\_657900](https://www.archiproducts.com/es/productos/bruag/panel-acustico-de-madera-contrachapada-sistemas-acusticos-para-balcones_657900)
- [38] «Paneles acústicos en la pared y el techo». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.meister.com/es/productos/paneles/paneles-acusticos.html>
- [39] «Acoustic Wall Panel 3d Wall Panels Wood or Plastic Wall Panel Acoustic Panel Art Soundproofing Acoustic Slat Panels Sound Diffuser - Etsy Spain». Accedido:

- 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.etsy.com/listing/1502480659/acoustic-wall-panel-3d-wall-panels-wood>
- [40] «Acoustic Slats panel in square - OAK Grey». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.decormania.eu/en/products/acoustic-slats-panel-in-square-oak-grey>
- [41] «Set De 4x Paneles De Pared Vang Acústico En Mdf Y Fieltro 120 X 60 X 2 Cm (2,88 M<sup>2</sup>) - Roble Gris [neu.holz] con Ofertas en Carrefour | Ofertas Carrefour Online». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.carrefour.es/set-de-4x-paneles-de-pared-vang-acustico-en-mdf-y-fieltro-120-x-60-x-2-cm-288-m-roble-gris-neuholz/4059438819537/p>
- [42] «Casle - Lana de Roca IS 60mm/30kg /00065/». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://shop.aislamientoscasle.es/articulo/764>
- [43] «Placas de corcho natural - Decoprojec Corcho Proyectado». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.decoprojec.com/productos/placas-de-corcho-natural/>
- [44] «Panel acústico para techo - WOOD FLAKE - Ber Deckensysteme - de aglomerado / rectangular / para interiores». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.archiexpo.es/prod/ber-deckensysteme/product-105155-1010913.html>
- [45] «Panel Decorativo L0102 Listón efecto Madera Roble Claro - KREADECOR». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://kreadecor.com/producto/panel-decorativo-l0102-liston-efecto-madera-roble-claro/>
- [46] «Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo». Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- [47] «¿Qué es la valorización de residuos? Tipos y ejemplos | Repsol». Accedido: 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/valorizacion-de-residuos/index.cshtml>
- [48] R. Aguado, M. Cuevas, L. Pérez-Villarejo, M. L. Martínez-Cartas, y S. Sánchez, «Upgrading almond-tree pruning as a biofuel via wet torrefaction», *Renew Energy*, vol. 145, pp. 2091-2100, ene. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.07.142.
- [49] F. Martellotta, A. Cannavale, V. De Matteis, y U. Ayr, «Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes and chitosan binder», *Applied Acoustics*, vol. 141, pp. 71-78, dic. 2018, doi: 10.1016/J.APACOUST.2018.06.022.
- [50] «Acetato de polivinilo (PVA) - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos». Accedido: 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/pva.html>
- [51] «¿Qué Adhesivo usar según el Material?» Accedido: 24 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://comohacerpara.com/reparacion/que-adhesivo-usar-material-11359h.html>

- [52] «Hacia un futuro con disolventes más respetuosos con el medioambiente y plásticos más seguros - Actualidad - Universidad de Barcelona». Accedido: 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://web.ub.edu/es/web/actualitat/w/hacia-un-futuro-con-disolventes-mas-respetuosos-con-el-medioambiente-y-plasticos-mas-seguros>
- [53] «AENORmas». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0014107>
- [54] «AENORmas». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0027450>
- [55] «AENORmas». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/CEN/72693>
- [56] «E2611 Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.astm.org/e2611-09.html>
- [57] «Aislamiento acústico». Accedido: 4 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html>
- [58] «Coeficiente de absorción acústica ¿existen valores superiores a 1?». Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.produccioneselotano.com/coeficiente-de-absorcion-acustica/>
- [59] «LAS EDADES DE LA HISTORIA | Nuestro blog de 5º y 6º». Accedido: 2 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://primaria3naranjos.wordpress.com/2012/05/24/las-edades-de-la-historia/>
- [60] «AENORmas». Accedido: 3 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0065066>
- [61] «AENORmas». Accedido: 3 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0008516>
- [62] «AENORmas». Accedido: 3 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://plataforma.aenormas.aenor.com/pdf/UNE/N0027459>
- [63] «Un espacio para conocer sobre la caracterización térmica de los materiales - UAO Portal». Accedido: 3 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.uao.edu.co/ciencias-basicas-y-ambientales/un-espacio-para-conocer-sobre-la-caracterizacion-termica-de-los-materiales-2/>
- [64] J. Mariano. Merino de la Fuente, «Las vibraciones de la música», p. 423, 2013, Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
[https://elibro.net/es/lc/uladech/titulos/62402?fs\\_q=Vibraciones\\_\\_de\\_\\_la\\_\\_música&prev=fs](https://elibro.net/es/lc/uladech/titulos/62402?fs_q=Vibraciones__de__la__música&prev=fs)
- [65] «Blink Activity | BlinkLearning». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?idclase=218383609&idcurso=3464074>
- [66] «Documentación - Woodcom Global». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.woodcomglobal.com/documentacion/>

- [67] «Schäck WD – Panel acústico con madera - Skum Acoustics». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.skumacoustics.com/es/paneles-acusticos/45-schack-wd-panel-madera.html>
- [68] «Madera microperforada MicroAcoustic y el concepto de acústica invisible». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.acousticlab.com/producto/paneles-acusticos-de-madera-microperforada-microacoustic-acustica-invisible/>
- [69] «View of Mechanical and acoustical evaluation of bio-based composites made of cork granulates for acoustic ceiling tiles». Accedido: 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/3024/3839>
- [70] «Estudio sobre el comportamiento de las Lanás Minerales en la Acústica de los Edificios • CONSTRUIBLE». Accedido: 24 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.construible.es/2017/09/14/estudio-comportamiento-lanas-minerales-acustica-edificios>
- [71] «Ensayo de flexión - AIMPLAS». Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aimplas.es/laboratorio/plasticos-aditivos-composites/propiedades-mecanicas/ensayo-flexion/>
- [72] «Ensayo de compresión | ZwickRoell». Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-compresion/>
- [73] M. Ferrandez-Villena, C. E. Ferrandez-García, T. García-Ortuño, A. Ferrandez-García, y M. T. Ferrandez-García, «Analysis of the Thermal Insulation and Fire-Resistance Capacity of Particleboards Made from Vine (*Vitis vinifera* L.) Prunings», *Polymers* 2020, *Vol. 12*, Page 1147, vol. 12, n.º 5, p. 1147, may 2020, doi: 10.3390/POLYM12051147.

## 9. Anexos.

### 9.1. Relación del trabajo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

- Industria, innovación e infraestructura.  
El desarrollo de nuevos materiales, nuevas aplicaciones o darles valor agregado a residuos existentes puede fomentar la creación de nuevas industrias y ofrecer empleos para las personas, en el caso de los restos de poda de almendro, su valorización podría crear una demanda para paneles o tableros de acuerdo con su aplicación, acústica, térmica o mecánica.
- Ciudades y comunidades sostenibles.

El aumento y veloz crecimiento de las ciudades en el mundo, hace fundamental transformar la forma en que construimos y administramos el espacio, por lo que, si cada vez estaremos más cerca unos de otros, la privacidad jugará un papel determinante en nuestra vida cotidiana por lo que pequeños muebles de decoración o paneles separadores de ambientes podrían jugar un papel importante en el acondicionamiento acústico contruidos a base de los restos de poda de almendro con cola blanca.

- **Producción y consumo responsables.**  
El consumismo no para ni parará de crecer por lo que la gestión eficiente de los recursos, la forma de eliminar, reducir y reciclar los desechos es vital y darles valor agregado a restos de poda que en su gran mayoría no serían aprovechados o serían quemados, es una forma de contribuir a ese objetivo.
- **Acción por el clima.**  
Las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, además el calentamiento global está provocando cambios permanentes en el clima, así que aprovechar de mejor manera los residuos que procesos que han gastado muchos recursos, es otra forma de contribuir al clima, en muchos lugares del mundo, una vez terminada la cosecha, se queman los restos para plantar nuevamente, con lo cual regresa al ambiente todo el CO<sub>2</sub> que durante su vida la planta o árbol atrapó en cuerpo y extrajo del aire, teniendo en cuenta esto, aprovechar esos restos de la poda y procesarlos en muebles, paneles u objetos decorativos podría aportar menos CO<sub>2</sub> al ambiente, que el que se podría generar al quemarse o descomponerse de forma natural.

## 9.2. Tabla de figuras.

Figura 1. Cultivo de almendro [2].	- 2 -
Figura 2. A la izquierda, Ceres, diosa de la agricultura romana y a la derecha, calendario agrícola medieval herencia de las costumbres romanas [3].	- 3 -
Figura 3. Localización de la superficie de frutos secos (PCH: pistacho, NO: nogal, AV: avellano, AG: algarrobo y AL: almendro) en España en el año 2018 [4].	- 3 -
Figura 4. Distribución de la producción de almendra cáscara (t) en España por Comunidades Autónomas correspondiente al año 2018 (izquierda). A la derecha su evolución a lo largo del período 2004-2018 [4].	- 4 -
Figura 5. Hojas de almendro [5].	- 5 -
Figura 6. Flores de almendro [5].	- 5 -
Figura 7. Anatomía del fruto del almendro [7].	- 6 -
Figura 8. Poda del almendro [9].	- 6 -
Figura 9. Diferentes tipos de porte en variedades de almendro. Caedizo (izquierda), medio (centro) y erguido (derecha) [8].	- 7 -

Figura 10. Diferentes grados de ramificación en variedades de almendro. Escaso (izquierda), medio (centro) y alto (derecha) [8].	- 7 -
Figura 11. Fruto de almendros de la variedad Vairo [10].	- 8 -
Figura 12. Peso de la poda de las variedades estudiadas 2014-2020 [12].	- 11 -
Figura 13. (A) Árboles frutales de la UE y (B) distribución de los árboles frutales en los países de la UE [13].	- 12 -
Figura 14. Proporción de producción de frutos secos en Europa [13].	- 13 -
Figura 15. Composición extractiva (contenido fenólico) para cuatro biomásas leñosas utilizando agua (Water “W”) y 80% (v/v) de etanol (E) [16].	- 14 -
Figura 16. Aglomerantes aéreos, yeso (izquierda) y cal (derecha) [18].	- 14 -
Figura 17. Aglomerante hidráulico, cemento [18].	- 15 -
Figura 18. Aglomerantes hidrocarbonados, Alquitrán y asfalto [19].	- 15 -
Figura 19. Pegamento de animal en gránulos [22].	- 16 -
Figura 20. Resina natural [23].	- 16 -
Figura 21. Pegamento a base de almidón de yuca. [24].	- 16 -
Figura 22. Extracción de la sabia del árbol del caucho [27].	- 17 -
Figura 23. Iglesia maltesa antigua (construida hace aproximadamente 6000 años) [28].	- 18 -
Figura 24. Diferencias entre el teatro griego y el romano [29].	- 18 -
Figura 25. Iglesia Thomaskirche en Leipzig [28].	- 19 -
Figura 26. Aislamiento, absorción y transmisión acústica [32].	- 20 -
Figura 27. Diagrama de Ishikawa mostrando los factores que afectan el coeficiente de absorción del sonido [33].	- 20 -
Figura 28. Aislamiento y acondicionamiento acústico [34].	- 21 -
Figura 29. Algunos de sus usos en techos [34], [35], [36], [37].	- 21 -
Figura 30. Algunos de sus usos en paredes [38], [39], [40], [41].	- 22 -
Figura 31. Paneles acústicos de origen natural [42], [43], [44], [45].	- 22 -
Figura 32. Restos de poda de almendro de la variedad “VAIRO”.	- 24 -
Figura 33. Cola blanca comercial [51].	- 25 -
Figura 34. Distintos tipos de adhesivos y aglutinantes mezclados con restos de poda de almendro.	- 25 -
Figura 35. Restos de poda de almendro con acetato de polivinilo (PVA).	- 26 -
Figura 36. Restos de poda de almendro con adhesivo a base de conejo.	- 26 -
Figura 37. Restos de poda de almendro con mortero de cal.	- 27 -
Figura 38. Restos de poda de almendro con cal viva.	- 27 -
Figura 39. Restos de poda de almendro con adhesivo a base de almidón de yuca.	- 28 -
Figura 40. Restos de poda de almendro con resina de pino.	- 28 -
Figura 41. Restos de poda de almendro con lignina.	- 29 -
Figura 42. Restos de poda de almendro con cartón.	- 29 -
Figura 43. Proceso de trituración de los restos de poda del almendro.	- 30 -
Figura 44. Medidas varias aleatorias de los trozos triturados de los restos de poda de almendro.	- 31 -
Figura 45. Pesos para las muestras MA 1, MA 2 y MA 3.	- 31 -
Figura 46. Pesos totales de muestras MA 1, MA 2 y MA 3.	- 31 -
Figura 47. Antes y después de la mezcla manual de los materiales.	- 32 -
Figura 48. Proceso de creación de las probetas en moldes circulares (1,2, 3, 4) y su prensado (5).	- 32 -
Figura 49. Moldes de diferentes alturas para crear probetas cilíndricas.	- 32 -
Figura 50. Molde en forma de ladrillo para probetas.	- 34 -
Figura 51. Representación de las curvas de referencia que fijan los límites de las diferentes clases de absorción acústica [53].	- 35 -

Figura 52. Diagrama de conexiones del método de la norma UNE-EN ISO 10543-2:2002 [54].	36
Figura 53. Proceso de ensayo de absorción acústica.	36
Figura 54. Dibujo esquemático del sistema de medición. (A, B, C y D son las componentes anterior y posterior del campo de ondas estacionarias. 1, 2, 3 y 4 son los lugares de medición; 0 es un lugar de referencia opcional. Las distancias se miden a partir del plano de referencia de la muestra) [56].	37
Figura 55. Descripción de los fenómenos del sonido (Absorción, reflexión y transmisión) [58].	38
Figura 56. Ensayo de pérdida de transmisión de sonido (STL).	38
Figura 57. Historia del ser humano y su uso de materiales [59].	38
Figura 58. Descripción del aparato de flexión [61].	39
Figura 59. Curva de carga-deformación en la zona de deformación elástica [61].	40
Figura 60. Probetas para ensayos mecánicos de flexión.	41
Figura 61. Montaje y centrado de las probetas en máquina de ensayos.	42
Figura 62. Ensayos de las distintas probetas.	42
Figura 63. Preparación de probetas para ensayo compresión.	43
Figura 64. Ensayo de compresión de muestra de restos de poda de almendro y cola blanca.	43
Figura 65. Condiciones generales de muestra única en equipo de placa caliente guardada. [62].	44
Figura 66. Determinación de coeficiente de conductividad térmica por placa caliente de fabricación casera según norma UNE-EN 12667-2001.	45
Figura 67. Micrografías de la superficie de una muestra de las ramas del almendro a un aumento de X10, X40 y X80.	45
Figura 68. Pesos de las diferentes probetas cilíndricas de restos de poda de almendro y cola blanca.	46
Figura 69. Pesos de las diferentes probetas ladrillo de restos de poda de almendro y cola blanca.	46
Figura 70. Gráfica de espectro audible [65].	48
Figura 71. Panel acústico perforado por la cara “C27/16” [66].	48
Figura 72. Panel acústico ranurado por la cara y perforado por la contra-cara “P5/3-32” [66].	48
Figura 73. Panel acústico ranurado por la cara y perforado por la contra-cara “P29/3-16” [66].	49
Figura 74. Panel acústico SCHÄCK WD con núcleo de espuma acústica ZHFR28 y acabado en madera [67].	49
Figura 75. Panel acústico microperforado en MDF de 16 mm [68].	49
Figura 76. Coeficiente de absorción acústica de muestras de gránulos de corcho con resina epoxy en espesor de 2 cm para líneas sólidas y de 4 cm para línea entrecortada [69].	50
Figura 77. Coeficiente de absorción acústica de muestras de gránulos de corcho con resina acrílica en espesor de 2 cm para líneas sólidas y de 4 cm para línea entrecortada [69].	50
Figura 78. Coeficiente de absorción acústicas de muestras de restos de poda de almendro y cola blanca.	51
Figura 79. Curva de percepción de los sonidos [70].	52
Figura 80. Frecuencias en las que el oído humano es más sensible [70].	52
Figura 81. Pérdidas de transmisión de sonido (STL) de muestras de restos de poda de almendro y cola blanca.	53
Figura 82. Ensayos de flexión de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca.	54
Figura 83. Representación gráfica del MOR y MOE (MPa) de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca en función de la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ).	55

Figura 84. Ensayo de compresión de muestras de restos de poda de almendro con cola blanca. ... - 55 -

Figura 85. Conductividad térmica (k) en función del espesor de las muestras de almendro de la variedad “VAIRO”. ..... - 56 -

### 9.3. Tabla de contenidos.

Tabla 1. Porte de las principales variedades [8]. .....	- 7 -
Tabla 2. Grado de ramificación de las principales variedades [8]. .....	- 8 -
Tabla 3. Características de algunas variedades de almendros [12]. .....	- 9 -
Tabla 4. Clases de absorción acústica [53]. .....	- 34 -
Tabla 5. Resumen de las propiedades acústicas y térmicas de las muestras de poda de almendro y cola blanca. ....	- 47 -
Tabla 6. Resumen de las propiedades mecánicas de las muestras de poda de almendro y cola blanca. ....	- 47 -
Tabla 7. Clasificación de la clase de absorción acústica de las muestras de poda de almendro y cola blanca. ....	- 52 -
Tabla 8. Resultados del MOR y MOE de las muestras de restos de poda de almendro con cola blanca. ....	- 54 -
Tabla 9. Datos de conductividad térmica de las muestras de poda de almendro de la variedad “VAIRO”. .....	- 56 -
Tabla 10. Coeficientes de conductividad térmica obtenidos en ensayos con diferentes fibras orgánicas [73]. .....	- 57 -

### 9.4. Ecuaciones.

(1) .....	- 33 -
(2) .....	- 33 -
(3) .....	- 40 -
(4) .....	- 41 -
(5) .....	- 47 -