

CAPITULO I

Introducción

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas. Como la madera la producen y utilizan las plantas con fines estructurales es un material muy resistente y gracias a esta característica, y a su abundancia natural es utilizada ampliamente por el hombre, ya desde tiempos muy remotos. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Madera>).

Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Una de ellas es la fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también un material de construcción muy importante desde los comienzos de las construcciones civiles y continúa siéndolo hoy. En la actualidad y desde principios de la revolución industrial muchos de los usos de la madera han sido cubiertos por metales o plásticos, sin embargo es un material apreciado por su belleza y puede reunir características que difícilmente se conjuntan en materiales artificiales. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Madera>).

La madera es un material único que un árbol nos puede brindar ya que sus usos son de una amplia gama de aplicaciones visto desde cualquier ámbito. Pero hay que tomar muy en cuenta que las características que presenta cada madera y con mucho más razón si provienen de un país o departamento que posee una gran biodiversidad en lo que respecta a bosques pues puede existir variación de características y propiedades en una misma especie, pero de un lugar distinto del que se pueda conocer, ya que los factores ecológicos influyen en el desarrollo de un árbol afectando así las características morfológicas, anatómicas y porque no decir también de sus propiedades físico-mecánicas.

Para conocer mucho más sobre las propiedades de la madera, algunos países han estudiado la conductividad térmica, combustibilidad y por último la acústica en la madera. Tema del cual se trata esta investigación ya que en nuestro departamento no cuenta con mucho desarrollo de este tipo de estudio que complementa mucho más las

propiedades de la madera, dando así la posibilidad de dar más valor quizás a especies forestales con menor comercialización en el mercado o también para ampliar más las cualidades de las maderas con mayor valor de económico.

Hay que tomar en cuenta además que la madera que posea buena respuesta a la transmisión del sonido será la más utilizada sino, también que se utiliza maderas con poca transmisión acústica para revestir viviendas, edificios, etc. Todo sonido en un ambiente llena rápidamente un local, absorbiéndolo, en parte, los muros, pisos y techos y en otra transmitiéndose a los cuartos adyacentes. La transmisión del sonido de un ambiente a otro puede verificarse de tres modos:

- Por rendijas o aberturas en tabiques.
- Por la vibración del tabique, debido a golpes o impactos, lo cual genera ondas sonoras.
- Y el paso de ondas elásticas directamente a través del tabique. **(Miraya 2004)**.

La madera posee un índice de absorción sonora apreciable lo que disminuye la densidad del sonido que se trasmite. Esta puede ser reducida aún más, controlando las fuentes eventuales y permanentes de sonido mediante un diseño adecuado de los ambientes y el uso de materiales absorbentes.

Esta investigación es un complemento de los estudios de las propiedades físicas y mecánicas de la madera que se comercializan, este tipo de estudio no destruye en lo más mínimo las muestras llamándose este tipo de estudio “Ensayos no destructivos” más conocidas por sus siglas E.N.D.

1.1.-Justificación

La transmisión acústica es una propiedad que se complementa con las demás propiedades de la madera, por ello es necesario mencionar que este tipo de investigación no se ha realizado en las especies mencionadas, por lo cual motiva a desarrollarlo.

Este tipo de estudio está orientado a apoyar con datos técnicos, la construcción de instrumentos musicales o revestimientos de viviendas y tal rubro no es conocido o realizado en nuestro medio, aunque algunos artesanos construyen empíricamente instrumentos con maderas que ellos creen que tienen buenas cualidades para dicha construcción o fabricación, es ahí donde se pretende que este estudio arroje datos científicos que corroboren que tal madera posee una buena transmisión acústica y que por lo tanto se pueda utilizar sin ningún riesgo de pérdida de tiempo, materia (madera) y/o dinero.

1.2.-Objetivos

1.2.1.-Objetivo general

Determinar las propiedades de transmisión acústica en metro segundo (m/s) en las especies (*Juglan australis-griseb*) nogal criollo y (*Alnus jorullensis*) aliso, por intermedio de sus propiedades mecánicas y físicas para contar con datos técnicos en la fabricación de instrumentos musicales, revestimientos de viviendas y otros.

1.2.2.-Objetivos específicos

- Determinar la propagación de la velocidad del sonido en metro segundo (m/s) paralela a la fibra a través del módulo de elasticidad y su densidad en maderas de nogal criollo (*Juglan australis-griseb*) y del aliso (*Alnus jorullensis*), con la posibilidad de construir con dichas maderas instrumentos musicales.
- Determinar la transmisión de la velocidad en metro segundo (m/s) perpendicular a la fibra a través del módulo de elasticidad y su densidad en las maderas de nogal criollo (*Juglan australis-griseb*) y del aliso (*Alnus jorullensis*), para usar tales maderas en revestimientos de viviendas aisladoras de sonidos.
- Determinar la influencia de la humedad de la madera, con respecto a la transmisión de la velocidad del sonido en ambas especies.
- Evaluar si existe proporcionalidad entre el módulo de elasticidad (MOE) y densidad de la maderas de las especies en estudio, con respecto a la velocidad del sonido.

1.3.-Hipótesis

Las maderas aserradas de (*Juglan australis-griseb*) nogal criollo poseen buenas y mejores propiedades acústicas que el (*Alnus jorullensis*) tanto en compresión paralela al grano como en compresión perpendicular.

CAPITULO II

2.- La madera y sus características

2.1.- Definición de la madera

García et al 2005, sostiene que la madera es un conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Desde el punto de vista comercial, únicamente se aprovecha la madera de los árboles, es decir, vegetales leñosos de ciertas dimensiones.

Esta definición explica que la madera es procedente de células vivas que mediante el crecimiento llegan al alcanzar una madurez significativa en cuanto se refiere a la altura y el diámetro de un árbol, este punto de vista del autor define a la madera desde el aspecto fisiológico y anatómico.

Sin embargo **Pedrazuela (2001)** sostiene que: La madera es la materia prima que más ha explotado el ser humano desde la Antigüedad. Se obtiene de los troncos de diferentes especies de árboles, y sus aplicaciones principales son la construcción, decoración de interiores, fabricación de mobiliario, enseres, embalajes, etc.

Cada una de las definiciones está en lo cierto, pero hay que decir además que la explotación que sufre el recurso forestal a nivel mundial es causada por muchos factores tales como el crecimiento poblacional, legislación y política sin aplicabilidad a los infractores del uso abusivo del bosque, falta de ordenamiento territorial, agricultura extensiva, etc. Todos estos factores hacen que los bosques del mundo sean amenazados con la extinción, sin tomar en cuenta los cambios climáticos que se ocasionan por todo estas acciones.

Personalmente creo que la madera es un material único en la naturaleza, que es resultado del crecimiento de un árbol, a través de las condiciones ecológicas. De este resultado el hombre se sirve para trabajarla, moldearla y darle los usos que se le puedan ocurrir, obteniendo así comodidad y satisfacciones a lo largo de su vida.

2.2.- Características de la madera

La madera se ha utilizado para fines muy diversos desde épocas prehistóricas: construcción de embarcaciones, refugios, herramientas, etc. ¿Por qué se ha utilizado tanto este material?

1. Se encuentra disponible por todo el mundo. Hay bosques prácticamente en todas las regiones del planeta. Esto hace que también resulte un material bastante barato.
2. La madera es muy fácil de trabajar. Por ejemplo, es fácil unir varias piezas de madera empleando clavos o tornillos. Otros materiales, como la piedra, también son muy abundantes, pero son difíciles de trabajar debido a su dureza.
3. Presenta cualidades estéticas agradables: veteado, variedad de colores, etc. Además, estas cualidades se pueden resaltar mediante barnices.
4. Es un recurso renovable. Un bosque talado puede repoblarse y así proporcionará madera unos años después.
5. La madera es poco densa, menos que el agua. Esto la hace apta para elaborar embarcaciones.
6. Es mala conductora del calor y de la electricidad. Por esto se usa como aislante en suelos y paredes. **(Pedrazuela 2001).**

2.3.- Propiedades de la madera

2.3.1.- Propiedades mecánicas

La orientación de las fibras que componen la madera dan lugar a la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra.

En este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados en estructuras como el acero y el hormigón. Las resistencias y

módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

A modo de introducción podemos ver que los árboles están diseñados por la naturaleza para resistir con eficacia los esfuerzos a los que va a estar sometido en su vida; principalmente los esfuerzos de flexión producidos por la acción del viento y los de compresión producidos por las acciones gravitatorias. Sobre la madera como material se han realizado muchos estudios e investigaciones mediante ensayos realizados sobre probetas pequeñas libres de defectos o madera limpia, pero la madera estructural comprende piezas de grandes escuadrías en las que aparecen numerosos defectos o particularidades como nudos, gemas, etc. Por eso, la tendencia actual es la de estudiar e investigar piezas de madera comerciales o reales que permiten evaluar mejor la presencia e influencia de dichas particularidades. En los productos estructurales de la madera es importante tener en cuenta que se trata de productos que han sido clasificados para su uso estructural, y por lo tanto no se pueden utilizar o buscar correlaciones con otro tipo de clasificaciones; por ejemplo en la madera aserrada no se pueden utilizar o correlacionar las clasificaciones decorativas con las estructurales o utilizar los valores obtenidos con probetas pequeñas.

2.3.1.1.- Tracción paralela a la fibra

La resistencia a tracción paralela a la fibra es elevada. En la madera clasificada, los valores característicos oscilan entre 8 y 18 N/mm². Como ejemplo de piezas solicitadas a este esfuerzo se encuentran, principalmente, los tirantes y los pendolones de las cerchas.

2.3.1.2.- Compresión paralela a la fibra

Su resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, alcanzando valores característicos en la madera clasificada de 16 a 23 N/mm². En el cálculo de los elementos comprimidos se ha de realizar la comprobación de la inestabilidad de la pieza (pandeo), en el que influye decisivamente el módulo de elasticidad. El valor relativamente bajo de este módulo reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas. Esta propiedad resulta importante en una gran cantidad de tipos de piezas, como pilares, montantes de muros entramados, pares de cubierta, etc.

2.3.1.3.- Flexión

En maderas es preciso hablar de una resistencia a la flexión, aunque esté formada por la combinación de una tracción y una compresión, ya que el comportamiento mecánico de estas dos propiedades es diferente, y por tanto resulta más práctico referirse al efecto conjunto de ambas en el caso de flexión. Esta propiedad es importante en piezas tales como vigas, viguetas de forjado, pares de cubierta, etc.

2.3.1.4.- Tracción perpendicular a la fibra

Su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm². En la práctica y aplicado a las estructuras, esta sollicitación resulta crítica en piezas especiales de directriz curva (arcos, vigas curvas, etc.) o en zonas de cambio brusco de directriz (zonas de vértice). Estas tensiones de tracción, también se pueden producir como consecuencia de la coacción del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas fácilmente con el conocimiento del material.

2.3.1.5.- Compresión perpendicular a la fibra

Su tenacidad de compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela. Sus valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm², lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra. Este tipo de

esfuerzo es característico de las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento.

2.3.1.6.- Cortante

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera según diversos modos.

- Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. El fallo se produce por aplastamiento.
- Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.
- Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre las otras.

En las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento. Sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 N/mm² en las especies y calidades utilizadas habitualmente en la construcción. Las tensiones tangenciales por rodadura de fibras sólo se producen en casos muy concretos, como son las uniones encoladas entre el alma y el ala de una vigueta con sección en doble T. El valor de la resistencia por rodadura es del orden del 20 al 30% de la resistencia por deslizamiento.

2.3.1.7.- Módulo de elasticidad

En la madera, debido a su anisotropía, el módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra adopta valores diferentes según se trate de sollicitaciones de compresión o de tracción. En la práctica se utiliza un único valor del módulo de elasticidad para la dirección paralela a la fibra. Su valor varía entre 7.000 y 12.000 N/mm² dependiendo de la calidad de la madera. En la dirección perpendicular a la fibra se toma,

análogamente, un único módulo de elasticidad, cuyo valor es 30 veces inferior al paralelo a la fibra. (www.construmatica.com/construpedia/Madera).

2.3.2.- Propiedades Físicas

2.3.2.1.- Humedad

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad por los vasos y traqueidas.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 %, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 %. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 % de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 %.

La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando girómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.

2.3.2.2.- Densidad

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras,

sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.

Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros.

Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- Pesadas, si es mayor de 0.8.
- Ligeras, si está comprendida entre 0.5 y 0.7.
- Muy ligeras, las menores de 0.5.

2.3.2.3.- Contracción e Hinchamiento

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 %; de 1 a 7.8 %, en dirección radial, y de 5 a 11.5 %, en la tangencial. La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originando tensiones por desecación que agrietan y alabean la madera.

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 % en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 % de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra. (**Echavarría 2007**).

2.3.3.- Propiedades térmicas

2.3.3.1.- Poder calorífico

La madera está compuesta fundamentalmente por carbono, oxígeno e hidrógeno, lo que supone que es un material combustible cuyo poder calorífico superior teórico aproximado es 4344 Kcal/Kg. La realidad es que los valores prácticos superior oscilan entre 4300 y 4950 Kcal/Kg, siendo más alto en las coníferas que en las frondosas debido a su alto contenido de resinas que poseen. Este poder calorífico se refiere a la madera totalmente anhidra, ya que cuando la madera tiene agua, su poder calorífico se reduce, primero por el propio contenido de agua y en segundo lugar porque parte de la energía calorífica de la madera se invierte en evaporar agua. (Nevado 2002).

2.3.3.2.- Combustibilidad

Como la madera es un material combustible, posee las siguientes características de comportamiento al fuego:

1. **Reacción al fuego:** La madera tiene una reacción al fuego, según el sistema de Euroclases de reacción al fuego entre las clases C y E (corresponden a las clases M-2, difícilmente inflamable y M-4, fácilmente inflamable de la anterior norma española). Las especies de mayor densidad, en gruesos importantes y con humedad superior al 50% la reacción al fuego apenas llega a la clase C, por el contrario las maderas ligeras con espesores de 18 mm y humedad en torno al 12% la reacción al fuego llega a la clase E. En los casos más corrientes, la madera es medianamente inflamable, clase D.
2. **Resistencia al fuego:** La madera expuesta al fuego arde en su superficie rápidamente, formándose una capa carbonosa que impide que el oxígeno necesario para la combustión pase al interior de la madera, ralentizándose la combustión. Esto hace que la combustión, tras los primeros momentos sea

muy intensos, profundizando las velocidades del orden 0.7 mm/min. Este hecho unido a que la madera gana resistencia al perder la humedad, hace que la madera resista mucho tiempo antes de romperse. (Peña, Vignote 2002).

2.3.4.- Propiedades acústicas de la madera

2.3.4.1.- Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos externos

El aislamiento de los materiales frente a estos tipos de ruidos depende de su peso específico, aumentando el aislamiento conforme aumenta éste. La madera al tener un peso específico tan bajo que es un aislante muy malo, siendo uno de los grandes problemas de utilización como divisor en viviendas y edificios de núcleos urbanos.

2.3.4.2.- Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos internos: Reverberación.

El problema de la reverberación se produce cuando el sonido producido en una habitación no se transmite fuera de ella, ni es absorbido por materiales existentes en su interior, rebotando de una pared a otra hasta extinguirse, causando una desagradable sensación acústica. Los materiales absorbentes del sonido son aquellos que tienen muchos poros, circunstancia que se produce en la madera, por lo que la abundancia de este material en una habitación evita la reverberación. Esta propiedad, junto con la conductividad térmica es la que han otorgado a la madera su calificativo de material noble por la agradable sensación acústica y térmica que otorga su presencia.

2.3.4.3.- Aislamiento acústico frente a impactos

El aislamiento ante este tipo de ruidos, se produce cuando el material absorbe toda la energía del impacto, mediante su deformación. En este sentido, son buenos los materiales elásticos, como es el caso de las moquetas, el corcho y en menor medida la madera.

2.3.4.4.- Transmisión acústica

Es la velocidad con que se transmite el sonido a través de un material. La madera es uno de los materiales que mejor transmiten el sonido, siendo por ello utilizada en instrumentos musicales. Esta propiedad permite que: conociendo la densidad de la madera y la velocidad; saber la resistencia de ésta sin necesidad de realizar ensayos destructivos. Incluso, permite calcular el estado de una viga, atacada por insectos u hongos, sin necesidad de quitarla de servicio. **(Peña, Vignote 2002).**

2.4.- Acústica

Según **Rayleigh (1894)** La acústica es una rama de la física interdisciplinaria que estudia el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir ondas mecánicas que se propagan a través de la materia (tanto sólida como líquida o gaseosa) (no se propagan en el vacío) por medio de modelos físicos y matemáticos. A efectos prácticos, la acústica estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido. La acústica considera el sonido como una vibración que se propaga generalmente en el aire a una velocidad de 343 m/s (aproximadamente 1 km cada 3 segundos), ó 1.235 km/h en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm y 20 °C).

2.4.1.- El sonido, infrasonido, y el ultrasonido

2.4.1.1.- El Sonido

El sonido es la sensación percibida por el oído debido a las variaciones rápidas de presión en el aire. Desde el punto de vista físico consiste en la vibración mecánica de un medio elástico (gaseoso, líquido o solido) y la propagación de esta vibración a través de ondas **(Rocamora 2006).**

Isover (2000) menciona que: Se entiende por sonido una variación de la presión ambiental que se propaga en forma de ondas. Más científicamente se puede definir: El sonido es un fenómeno vibratorio que, a partir de una perturbación inicial del medio elástico donde se produce, se propaga, en ese medio, bajo la forma de una variación periódica de presión.

Definimos el sonido como el resultado de percibir auditivamente variaciones oscilantes de algún cuerpo físico, normalmente a través del aire (**Rodríguez, 1998**).

El sonido no es otra cosa que la sensación producida en el oído por las variaciones de presión generadas por un movimiento vibratorio que se transmiten a través de medios elásticos. Dentro de ciertos límites, estas variaciones pueden ser percibidas por el oído humano (**Fernández Diez, Martínez Abadía, 1999**).

2.4.1.2.- Infrasonido

Se considera infrasonido a toda acústica o sonora de muy baja frecuencia, inferior a los 20 Hz, que el oído humano es incapaz de percibir. El infrasonido es utilizado por animales grandes como el elefante para comunicarse en amplias distancias (sonidos de 100 dB SPL (Nivel de Presión de Sonido) a unos pocos kilómetros a la redonda) sin problema alguno.

La clave de que estos animales puedan oír a dichas distancias es la separación de sus oídos, ya que esta es directamente proporcional a la frecuencia de onda que pueden captar (en diferencia con los animales de cabezas pequeñas). Recientemente, se ha demostrado que los elefantes registran el infrasonido no sólo con sus oídos, sino también al sentir las vibraciones producidas por ellos mismos mediante sus patas, ya que sus uñas actúan como sensores conductores de sonidos de baja frecuencia.

Los desastres naturales como erupciones volcánicas, terremotos y tornados producen sonidos de una intensidad comparable con el sonido que hace una bomba atómica en su explosión, con la diferencia de que al estar por debajo de los 20 Hz son inaudibles

al oído humano; lo que ha permitido iniciar investigaciones vulcanológicas y meteorológicas, para evitar futuros desastres (**Asisten 2006**).

2.4.1.3.- Ultrasonido

Los ultrasonidos son los sonidos de frecuencia superior a los 20000 Hz y no son perceptibles por el oído humano, hay ciertos animales, como los murciélagos, que son capaces de percibirlos y también de emitirlos, como si se tratase de un sonar.

Los murciélagos emiten y perciben Ultrasonidos. Se orientan en la oscuridad de forma semejante a los sonares.



GRÁFICO N° 1

2.4.2.- Aplicaciones de los ultrasonidos

a) **En medicina** se utilizan en las ecografías, para controlar los embarazos o visualizar el funcionamiento del corazón. También se utiliza para estudiar el estado de los huesos o reconocer y tratar lesiones musculares. Se utilizan en estos campos fundamentalmente:

1. **Diagnóstico:** El ultrasonido sirve para conocer las condiciones de los órganos del cuerpo humano (algunos de los más modernos equipos describen el flujo sanguíneo o el funcionamiento de las vísceras), más que para modificar las condiciones de salud del paciente. La principal aplicación del ultrasonido diagnóstico es en el campo de la Ginecoobstetricia porque permite monitorear

al feto a lo largo de la gestación con posibilidades muy amplias de exploración, sin riesgo alguno.

2. Terapéutico: Los ultrasonidos son ondas de naturaleza mecánica que producen tres efectos principales: **Mecánico**: Permite que las células o moléculas se muevan (éste es el principio de la eliminación de placa dentobacteriana por ultrasonido). **Térmico**: Las ondas sonoras pueden producir calor y **Químico**: El ultrasonido también puede modificar las propiedades de la materia. Estos efectos son utilizados fundamentalmente en traumatología y ortodoncia, aunque las dosis e intensidades son diferentes a los casos en los que el ultrasonido es empleado como método diagnóstico.

b) **En ingeniería y construcción**, para conocer el estado del interior de los materiales y poder detectar defectos imposibles de apreciar directamente.

c) **En la industria**, los ultrasonidos de alta intensidad se han venido utilizando para limpieza de equipos, desgasificado de líquidos, homogeneización, inducción de reacciones de oxidación/reducción, extracción de enzimas y proteínas, inducción de la nucleación durante la cristalización, entre otras aplicaciones.

2.4.3.- Cualidades del Sonido

El oído es capaz de distinguir unos sonidos de otros, porque es sensible a las diferencias que puedan existir entre ellos en lo que concierne a alguna de las tres cualidades que caracterizan todo sonido que son: la intensidad, el tono y el timbre. Aun cuando todas ellas se refieren al sonido fisiológico, están relacionadas con diferentes propiedades de las ondas sonoras.

2.4.3.1. Intensidad

La intensidad de una onda sonora, también llamada volumen, depende, del cuadrado de su frecuencia y del cuadrado de su amplitud, se mide en vatios por metro cuadrado, $W \cdot m^2$.

El oído humano puede percibir con una intensidad a partir de $10^{-12} W \cdot m^2$, que es el umbral de audición o intensidad mínima audible. Con una intensidad de $1 W \cdot m^2$ se alcanza el umbral de dolor o intensidad máxima soportable. Debido a este margen tan amplio de valores ($10^{-12} - 1$), no es apropiado utilizar esta escala y se utiliza una escala logarítmica. Para ello introducimos el concepto de sonoridad:

La sensibilidad de nuestro oído e la intensidad sonora no es lineal; para que un sonido nos parezca el doble de fuerte que otro hace falta que su intensidad sea unas diez veces mayor. Para cuantificar la sensación de intensidad sonora se define el nivel de intensidad sonora o sonoridad:

$$\beta: 10 \cdot \log I/I_0$$

Donde I es la intensidad sonora e I_0 , el umbral de audición ($10^{-12} W \cdot m^2$). La unidad en que se mide el nivel de intensidad sonora es el sistema internacional es el decibelio (dB). Cuando hay más de una fuente sonora, la intensidad total será el resultado de sumar sus intensidades, no sus niveles de intensidad.

La sensación de sonoridad no depende únicamente de la intensidad del sonido, sino también de su frecuencia, por ello, frecuencias diferentes, de igual intensidad, no producen idéntica sensación de sonoridad.

2.4.3.2. Tono

Distingue a un sonido agudo (tono alto) de un sonido grave (tono bajo). Depende de la frecuencia de la onda: cuanto más elevada es la frecuencia, más agudo es el sonido

Como el decibelio es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida la medida. Para ello, se utilizan las siguientes unidades basadas en el decibelio:

1. **dB SPL:** Hace referencia al nivel de presión sonora. Es la medida usada para referirse a atenuación de volumen. Toma como unidad de referencia 20 micropascales.
2. **dBW:** La W indica que el decibelio hace referencia a vatios, es decir, se tomó como referencia 1W (vatio). Así, a un vatio le corresponden 0dBm.
3. **dBm:** Cuando el valor expresado en vatios es muy pequeño, se usa el minivatio (mW). Así, a un mW le corresponden 0 dBm.

El **sonómetro** es el instrumento que sirve para medir niveles de intensidad sonora. El sonómetro mide en concreto el nivel de ruido que hay en un determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio. El oído humano percibe sonidos cuya frecuencia está comprendida entre 20Hz, los más graves, y 20000 Hz, los más agudos.

Dependiendo de la frecuencia de los sonidos las podemos clasificar en:

1. **Infrasonidos:** Menos de 16 Hertz (Hz).
2. **Audición normal humana:** De 16 Hz a 20 mil Hertz (Hz).
3. **Ultrasonidos:** De 18 Hz a 100 Mega Hertz (MHz).
4. **Hipersonidos:** Más de 100 Mega Hertz (MHz)

2.4.3.3.- Timbre

Distingue dos sonidos de la misma intensidad y tono, pero producido por distintas fuentes. Depende de la forma de la onda. Si se toca con el dedo situado sobre el do central en un violín, un piano y un diapasón, con la misma intensidad en los tres casos, los sonidos son idénticos en frecuencia y amplitud, pero muy diferentes en

timbre. De las tres fuentes, el diapasón es el que produce el tono más sencillo, que en este caso está formado casi exclusivamente por vibraciones con frecuencias de 440Hz.

Debido a las propiedades acústicas del oído y las propiedades de resonancia de su membrana vibrante, es dudoso que un tono puro llegue al mecanismo interno del oído sin sufrir cambios. La componente principal de la nota producida por el piano o el violín también tiene una frecuencia de 440 Hz. Sin embargo, esas notas también contienen componentes con frecuencias que son múltiplos exactos de 440 Hz, los llamados tonos secundarios, como 880, 1320 o 1760 Hz. Las intensidades concretas de esas otras componentes. Los llamados sonidos armónicos, determinan el timbre de la nota (**Asisten 2006**).

2.5.- Propagación de las ondas de ultrasonido

Iñiguez 2007 menciona en su tesis doctoral, los siguientes tipos de onda y velocidad de propagación en la madera.

Son tres los tipos de ondas de presión que aparecen en un medio sólido y elástico que es perturbado por una carga dinámica o vibratoria: las ondas longitudinales o de compresión (también llamadas ondas P), las ondas transversales o de cortante (también llamadas ondas S) y las ondas de superficie (también llamadas ondas Rayleigh). Las ondas P y S se caracterizan por la dirección del movimiento de las partículas del medio, siendo en las P, paralela a la dirección de propagación, y en las S, perpendicular. Las ondas P se asocian a tensiones normales y las S a tensiones tangenciales.

Los frentes de onda de cada uno de los tipos descritos son diferentes y, a la vez, dependen de la fuente utilizada para generar el impulso. La velocidad de propagación también es diferente, siendo las ondas P, las más rápidas, y las Rayleigh las más lentas.

La velocidad particular de cada onda depende de las propiedades elásticas y de la densidad del medio. La propagación de las ondas de presión en un medio heterogéneo, como es la madera, es un fenómeno muy complejo. El desarrollo básico de la teoría de propagación de ondas, que se expone a continuación, supone que se trata de un medio: infinito, isótropo y elástico, de ahí, que la validez de dichos planteamientos esté sujeta a las singularidades que la madera presenta.

La velocidad de propagación de las ondas P en medios sólidos infinitos y elásticos se calcula a partir de la siguiente expresión (Graff, 1991) **citado por Iñiguez 2007**.

$$V_p = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}}$$

dónde:

V_p : es la velocidad de propagación;

E: es el módulo de elasticidad (longitudinal);

ν : es el coeficiente de Poisson;

ρ : es la densidad.

En medios finitos, como placas o barras, la velocidad de propagación de las ondas longitudinales varía en función de la geometría, en concreto, depende de la relación que existe entre las dimensiones transversales de la pieza y la longitud de onda de la perturbación propagada.

Sin embargo, en piezas donde el diámetro o la dimensión transversal menor es mucho más pequeña que la longitud de onda de la onda propagada, como ocurre en las probetas de madera del presente estudio, la velocidad de la onda es independiente del coeficiente de Poisson, de ahí que la expresión que se deba utilizar sea (Graff, 1991):

$$V_P = \frac{E}{\rho} \sqrt{\quad}$$

Dónde:

V_P : es la velocidad de propagación de la onda longitudinal;

E : es el módulo de elasticidad (longitudinal);

ρ : es la densidad

Por tanto, la utilización de una u otra ecuación para el cálculo de la velocidad de propagación de una onda longitudinal, dependerá del tamaño relativo entre longitud de onda y dimensiones de la probeta.

Igualmente, hay que recordar que estas ecuaciones se utilizan para medios isótropos y que en un medio como la madera constituyen un sistema aproximado. Un método más real, y a la vez, más complejo de calcular la velocidad de propagación sería utilizando las ecuaciones de Christoffel (Bucur et al., 1984).

La velocidad de propagación de las ondas S o transversales V_s , en medios sólidos elásticos se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{G}{\rho} \sqrt{\quad}$$

Dónde:

V_s : es la velocidad de propagación de la onda transversal;

G : es el módulo de elasticidad (transversal);

ρ : es la densidad.

Por otro lado, la velocidad de propagación de las ondas R o Rayleigh, V_R , se calcula de forma aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{0,87 + 1,12\nu \cdot V_S}{1 + \nu}$$

Dónde:

V_R : es la velocidad de propagación de la onda Rayleigh;

ν : es el coeficiente de Poisson;

V_S : es la velocidad de propagación de la onda transversal.

Para un coeficiente de Poisson de 0,2, la velocidad de la onda Rayleigh es el 92 % de la velocidad de la onda transversal, S, o el 56 % de la velocidad de la onda longitudinal, P. La capacidad o sensibilidad de los métodos acústicos para detectar singularidades en el material depende de la longitud de la onda propagada y de las dimensiones de las singularidades. En general, el tamaño del defecto debe ser igual o superior a la longitud de onda para ser detectado.

2.5.1.- El ultrasonido en la madera

Los trabajos realizados con ultrasonido en Latino América son muy escasos ya que solo los países europeos han desarrollado estos estudios en las maderas. **(Niemz et al)**

El ultrasonido no solo es para calcular la velocidad del sonido en las maderas u otro material, si no también que se puede obtener el módulo de elasticidad con la cual se podrán calcular sus demás parámetros como: compresión paralela y perpendicular, sin someter a la madera a esfuerzos mecánicos causando su destrucción. Este método mencionado se conoce con el nombre de ensayos no destructivos (E.N.D) aplicados más que todo a madera de tamaño estructural.

Burmester (1965), estudió la relación existente entre la estructura anatómica y la velocidad de propagación del sonido, contemplando las especies, *Fagus sylvatica*,

Pinus sylvestris y *Piceas exelsa*. De acuerdo con estos resultados, existe una influencia importante de la densidad de madera temprana y tardía, el largo de las fibras y las direcciones en que se propague la onda. Y a la vez realizó determinaciones en distintas especies con diferentes densidades y determinó que existe una relación no lineal de la velocidad del sonido con la densidad.

Sandoz (1989), llevó a cabo investigaciones para intentar la clasificación de madera aserrada por medio del sonido, basándose en una correlación empírica entre velocidad del sonido y elasticidad (el coeficiente de correlación fue 0.8). Sandoz (1993) determinó que los factores de mayor influencia son el contenido de humedad y la temperatura.

En el caso de los nudos existe una influencia marcada del tipo de nudo y del diámetro. **Waubke y Markl (1982)** investigaron la posibilidad de emplear ultrasonido como clasificador por resistencia de madera estructural. Los coeficientes de correlación encontrados por estos autores, para ultrasonido versus módulo de elasticidad y versus resistencia a la flexión, fueron 0.64 y 0.33 respectivamente. Los índices de correlación encontrados disminuían al aumentar el contenido de humedad de la madera.

Verkasalo et al. (1993), en ensayos de secado determinaron que el ataque por hongos y el contenido de humedad tienen un efecto importante sobre la velocidad de propagación del sonido.

Bernacki y Beall (1993), estudian la posibilidad de determinar por medio del ultrasonido la constante elástica de la madera y detectar fallas de encolado. En este estudio se demuestra que ambas determinaciones son posibles pero que la orientación de los anillos de crecimiento juega un papel importante. Esta variable dificulta la interpretación de los resultados y por lo tanto su posible aplicación práctica.

Todos estos estudios dan muestra de la importancia del ultrasonido en la madera, por lo que nos falta avanzar en este campo y así poder mejorar o descubrir más usos de la madera que posee nuestro departamento.

2.5.2.- La ofimática en el ultrasonido

Se denomina ofimática a todo software y hardware que se utilizan en estudio o trabajo, en el caso del ultrasonido se refiere a lo siguiente:

2.5.2.1.- Hardware

Esta parte lo conforman todos los aparatos desarrollados e inventados con respecto al ultrasonido. Entre ellos tenemos.

Este es un equipo de ultrasonido.

El tiempo de propagación de las ondas de ultrasonidos se mide utilizando el equipo Sylvatest Duo, diseñado por la empresa CBSCBT. **Iñiguez 2007.**



GRÁFICO N °2

Equipo portátil de ultrasonidos para su uso en hormigón. Equipo de ultrasonidos para hormigón (fuente: James Instruments, Inc.)

Palpador ultrasonidos



GRÁFICO N°4

Palpadores especialmente diseñados para madera.



GRÁFICO N°3

2.5.2.2.- Software

Son programas para Windows que permite mediante una computadora, sensores y otras herramientas, calcular velocidad del sonido, frecuencia, y muestra grafica de los ensayos.

EL PLG

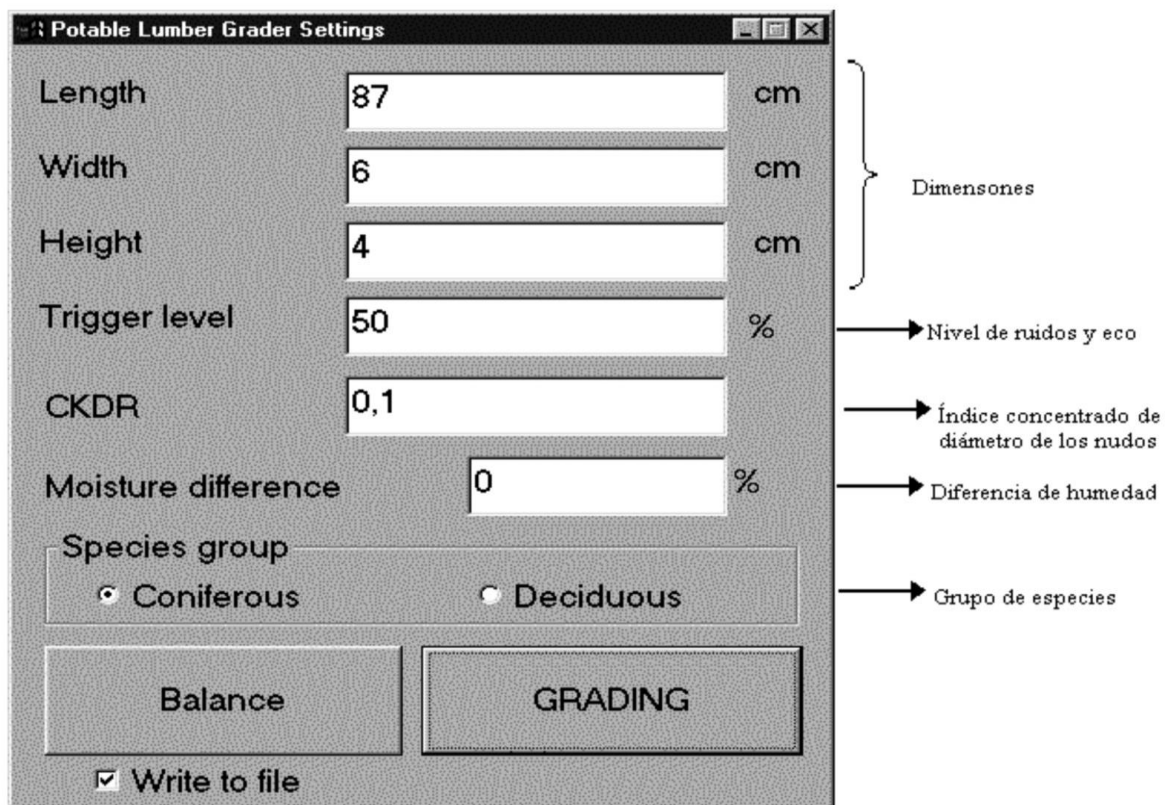


GRÁFICO N°5

Casado et al.2007

El software del PLG permite seleccionar las siguientes variables que influyen en la onda de vibración y que se trata tanto de los factores ambientales como de las características propias de la madera (figura 5). Estos factores son:

- **Especie.** Debido a que la estructura interna de cada tipo de madera influye en la velocidad de propagación de la onda. El equipo permite distinguir solamente entre coníferas y frondosas.
- **Humedad.** El PLG está calibrado para un contenido de humedad en la madera de un 12%. Se debe indicar la diferencia de humedad en la pieza a estudiar con respecto a este valor.
- **Dimensiones.** De cada muestra, se introduce la longitud, el ancho y el espesor expresados en cm. Con tales datos el programa del equipo calcula la densidad.
- **Índice concentrado del diámetro de los nudos (CKDR).**

El índice del diámetro del nudo (KDR) es el porcentaje del diámetro del nudo respecto al ancho de la superficie en la que se encuentre. Y el índice concentrado del diámetro de los nudos (CKDR) es la suma de los KDR de los nudos existentes en 15 cm cualquiera de la longitud de la pieza. El mayor CKDR, teniendo en cuenta las cuatro caras, es el índice representante de la pieza.

- **Nivel de eco**

El nivel de eco del lugar donde se efectúa el ensayo debe ser tenido en cuenta, ya que provoca alteraciones en la medida de la frecuencia de la onda. El software del PLG diferencia entre el ruido de fondo y la señal de graduación. El nivel de ruido establece correctamente que la evaluación automática comience sólo si la vibración longitudinal es generada por el impacto de un martillo en la pieza.

- **Balanza.**

En esta opción es posible determinar si se selecciona la mitad del peso de la pieza o el peso total de la misma. Ello depende de la longitud de las muestras y la colocación de la balanza en un extremo de la pieza registrando la mitad del peso o en la mitad de la pieza en cuyo caso la balanza registra el peso total de la pieza. Introducidas todas las variables y después de impactar con un martillo en la pieza, aparece la pantalla de la clasificación donde se detalla la información obtenida en el ensayo: frecuencia,

velocidad, espectro de la onda, el módulo de elasticidad, densidad, dimensiones introducidas y clasificación resistente de la madera (Casado et al 2007).

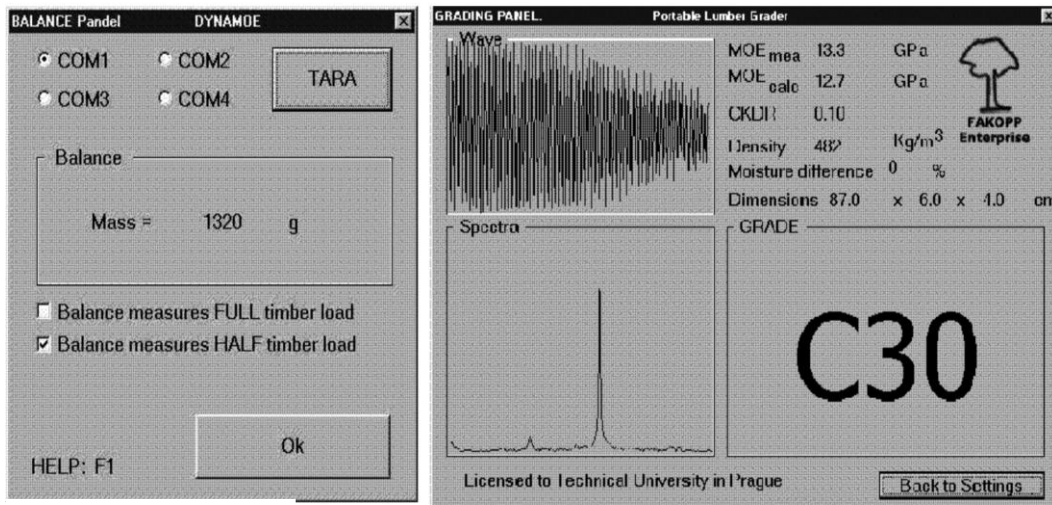


GRÁFICO N°6

Casado et al.2007

2.5.3.-Velocidad del sonido en los materiales

Para que el sonido pueda llegar a nuestros oídos necesita un espacio o medio de propagación, este normalmente suele ser el *aire* la velocidad de propagación del sonido en el aire es de unos 334 m/s y a 0°C es de 331,6 m/s.

La velocidad es siempre independiente de la presión atmosférica. Cuanto mayor sea la temperatura del ambiente menos rápido llegara el sonido a nuestros oídos, es por eso que algunas personas dicen que "en invierno se suele escuchar mejor" es decir, a mayor temperatura menor respuesta del sonido en el aire.

Medio de propagación del sonido	Velocidad en mts/sg
En el agua (a 25 °C)	1.493
En la madera	3.900
En el hormigón	4.000
En el acero	5.100
En el aluminio	6.400

El sonido se propaga a diferentes velocidades en medios de distinta densidad. En general, se propaga a mayor velocidad en líquidos y sólidos que en gases (como el aire). La velocidad de propagación del sonido es, por ejemplo, de unos 1.509,7 m/s en el agua y de unos 5.930 m/s en el acero. Un cuerpo en oscilación pone en movimiento a las moléculas de aire (del medio) que lo rodean. Éstas, a su vez, transmiten ese movimiento a las moléculas vecinas y así sucesivamente.

Cada molécula de aire entra en oscilación en torno a su punto de reposo. Es decir, el desplazamiento que sufre cada molécula es pequeño. Pero el movimiento se propaga a través del medio. Entre la fuente sonora (el cuerpo en oscilación) y el receptor (el ser humano) tenemos entonces una transmisión de energía pero no un traslado de materia. **(Miraya 2003)**

CAPITULO III

Materiales y Métodos

3.1.- Materiales

El presente trabajo se desarrolló en dos fases de estudio:

a).- Fase de gabinete en la cual se ocuparon los siguientes materiales:

1. Calculadora.
2. Computadora.
3. Planillas de los ensayos de compresión perpendicular y paralela a la fibra.
4. Planilla de los ensayos de las propiedades físicas.
5. Material de escritorio en general (hojas, borrador, reglas, etc.).

b).- En fase experimental de laboratorio se utilizó los siguientes materiales:

1. 2 Probetas de la especie nogal criollo (*Juglans australis-griseb*), con las siguientes medidas. 5*5*15 cm cortada en sentido perpendicular a las fibras.
2. 2 Probetas de la especie nogal criollo (*Juglans australis-griseb*), con las siguientes medidas. 5*5*20 cm cortada en sentido paralelo a las fibras.
3. 2 Probetas de la especie **Aliso** (*Alnus jorullensis*), con las siguientes medidas. 5*5*15 cm cortada en sentido perpendicular a las fibras.
4. 2 Probetas de la especie **Aliso** (*Alnus jorullensis*), con las siguientes medidas. 5*5*20 cm cortada en sentido paralelo a las fibras.
5. Un generador de microondas.
6. Un contador de frecuencia.
7. Emisor de microondas.
8. Receptor de microondas.
9. Balanza.
10. Horno.
11. Planillas.

3.2.- Metodología

El presente trabajo se desarrollara en dos fases: fase de gabinete, en la cual se procederá a utilizar una fórmula matemática propuesta **por Kollman 1959** (ver pág. 34), dado que la acústica se estudia por medio de modelos físicos y matemáticos. En la fase experimental de laboratorio se realizara un ensayo con instrumentos y equipos prestados del laboratorio de física de la UAJMS. Estos equipos están relacionados al cálculo de velocidad del sonido.

3.2.1.- Fase de Gabinete.

Para poder proceder a realizar los cálculos de la velocidad del sonido en las maderas ya nombradas, necesitamos conocer las propiedades físicas (densidad) y las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad MOE de compresión paralela y perpendicular a la fibra en sus tres estados, verde, seco al aire y ajustado al 12%). Para ello nos basaremos en las siguientes tesis aprobadas por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales:

Ibarra, F.; 1993 “Determinación de las propiedades mecánicas y uniones estructurales del nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) en la zona de vallecito Prov. O’Connor-Tarija”. De la misma, se obtuvieron las planillas de los ensayos de compresión paralela y perpendicular en sus tres estados de contenido de humedad: estado verde, estado seco al aire y ajustado al 12%.

Baldiviezo, L.; 1993 “Determinación de las propiedades físicas del nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) en la zona de vallecito Prov. O’Connor-Tarija”. Las planillas o datos que se obtuvieron de la tesis nombrada fueron: densidad en estado verde, seco al aire y la densidad al 12%.

Quiroz, M.; 1997 “Determinación de las propiedades mecánicas del aliso (*Alnus Jorullensis*) en la provincia O’Connor del departamento de Tarija”. Se obtuvieron los mismos datos que se nombró en la primera tesis.

Martines, M.; 1998 “Características anatómicas y propiedades físicas del aliso (*Alnus Jorullensis*) en la provincia O’connor del departamento de Tarija”. De la tesis nombrada fueron: densidad en estado verde, seco al aire y la densidad al 12%.

Se tomó estos datos que obtuvieron de dichos estudios para no cuestionar los ensayos y cálculos que realizaron durante el desarrollo de sus investigaciones, es necesario mencionar que todos los ensayos fueron realizados de acuerdo a las normas **COPAMT** y de estos se tomara diez árboles con dos probetas cada uno (según las planillas) y para cada probeta se calculó la velocidad del sonido. Con respecto a las características ecológicas del medio ambiente del cual se extrajeron las especies, están descritas en las tesis nombradas, ya que el presente estudio no contempla ese punto debido a que solo se necesitó las planillas de los ensayos correspondientes.

3.2.1.1.- Fórmula para calcular la velocidad del sonido

Según **Kollmann (1959)** la fórmula para determinar la velocidad del sonido en la madera es la siguiente y es con la cual se realizó la investigación:

$$V=K*\sqrt{E/\rho}$$

Dónde:

V=	Velocidad del sonido expresada en mts/sg
K=	Es una constante que posee un valor de 10
E=	Módulo de elasticidad de la madera ya sea paralelo o perpendicular a la fibra. Kg/cm ²
ρ=	Densidad de la madera. kg.sg ² /cm ⁴

El módulo de elasticidad de compresión perpendicular en la mayoría de los trabajos no está calculado y en nuestro caso es así. Por lo tanto nuestra primera tarea es

calcular el módulo de elasticidad (MOE) para las veinte probetas, la cual se calcula por medio de la siguiente fórmula.

$$\text{MOE} = \frac{ELP * 5}{D}$$

Dónde:

ELP: es el esfuerzo al límite proporcional

D: deformación que es igual a 2.5 mm

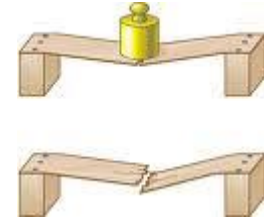


GRAFICO N°7

1).- Una vez calculado el módulo de elasticidad en la compresión perpendicular de ambas especies, se calculó la densidad expresada en $\text{Kg.s}^2/\text{cm}^4$ en base a la siguiente regresión matemática, que fue determinada y propuesta por el **ingeniero Cruz**:

$$\rho = 1.0176 (X) + 0.001$$

Dónde:

$$\rho = \text{Kg.sg}^2/\text{cm}^4$$

X= densidad de la madera

2).- estando ya calculado todos los datos se elaborara una tabla, formulada de la siguiente manera:

D= gr/cm^3	$\rho = \text{Kg}$ s^2/cm^4	MOE comp. II Kg/cm^2	MOE comp. I Kg/cm^2	$V_{m/s}$ en comp. II	$V_{m/s}$ en comp. I	Vcomp II / Vcomp I

Dónde:

MOE comp. II Kg/cm^2 = módulo de elasticidad en compresión paralela en Kg/cm^2

MOE comp. I Kg/cm² = módulo de elasticidad en compresión perpendicular en Kg/cm²

V_{m/s} en comp. II = velocidad del sonido en compresión paralela

V_{m/s} en comp. I = velocidad del sonido en compresión perpendicular

D= densidad

ρ = densidad expresada en Kg sg²/cm⁴

Las tablas se dibujaron por especie y número de árboles y por último se compararon las dos especies para verificar sus diferencias en cuanto a la velocidad del sonido.

3).- de los resultados obtenidos se realizó gráficas para ver la relación que existe entre la velocidad del sonido y el módulo de elasticidad (MOE) en sus tres estados: húmedo, seco al aire y ajustado al 12%, además de realizar los cálculos estadísticos para los resultados.

3.2.2.- Fase de Laboratorio

Con la ayuda del ingeniero Igor Gutiérrez Paredes que es el responsable y encargado del Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la universidad Autónoma "Juan Misael Saracho", se pudo realizar el ensayo que corresponde a esta investigación, con los instrumentos que posee el laboratorio de física.

1.- Con las probetas preparadas en cortes: paralelo a la fibra y perpendicular a la fibra, con sus medidas correspondientes, según normas **COPAMT** para los ensayos de compresión paralela y compresión perpendicular se procedió a pesarlas y colocarlas en los equipos.

2.- Mediante un generador de frecuencia se generó la frecuencia requerida para el ensayo, el generador se conectó al emisor para que el mismo transmita la frecuencia de un extremo de la probeta hasta el otro, en el cual estaba el receptor de la frecuencia

unido al contador que nos indica la velocidad de transmisión. Esta operación se realizó a todas las probetas que se dispone para el experimento. La frecuencia con la cual se trabajara en este ensayo será de 24 Hz ya que la óptima es de 22 Hz de frecuencia y dado que no poseemos equipos exactos para dicho ensayo se realizara con lo que poseemos en nuestra universidad. **(Ver fotos en la pág. 72 y la pág. 75).**

3.- Con los resultados del ensayo, de la misma forma que en la primera fase se analizó estadísticamente y se hizo la comparación de la velocidad del sonido con los demás datos que se obtuvo con el cálculo de las fórmulas en la fase de gabinete.

CAPITULO IV

4.- Cálculos y resultados

4.1.- Cálculo del Módulo de elasticidad en compresión perpendicular de la especie Aliso (*Alnus jorullensis*).

Formula: $MOE = ELP * 5/d$.

Estado Verde

N°	ELP	5/d=0,25cm	MOE
1	31,276	20	625,52
2	26,976	20	539,52
3	45,533	20	910,66
4	23,519	20	470,38
5	29,888	20	597,76
6	21,903	20	438,06
7	45,575	20	911,5
8	21,066	20	421,32
9	25,811	20	516,22
10	19,208	20	384,16
11	27,135	20	542,7
12	28,318	20	566,36
13	29,745	20	594,9
14	22,51	20	450,2
15	27,027	20	540,54
16	26,418	20	528,36
17	26,976	20	539,52
18	28,046	20	560,92
19	24,897	20	497,94
20	28,512	20	570,24

Seco Al Aire

ELP	5/d=0,25cm	MOE
35,887	20	717,74
50,755	20	1015,1
52,959	20	1059,18
54,965	20	1099,3
49,277	20	985,54
63,069	20	1261,38
54,054	20	1081,08
67,803	20	1356,06
60,728	20	1214,56
57,028	20	1140,56
52,631	20	1052,62
61,537	20	1230,74
52,008	20	1040,16
57,549	20	1150,98
55,589	20	1111,78
58,306	20	1166,12
53,494	20	1069,88
39,397	20	787,94
51,428	20	1028,56
53,939	20	1078,78

Ajustado Al 12%

ELP	5/d=0,25cm	MOE
35,868	20	717,36
50,688	20	1013,76
52,893	20	1057,86
54,753	20	1095,06
49,094	20	981,88
62,579	20	1251,58
53,946	20	1078,92
67,051	20	1341,02
60,488	20	1209,76
56,766	20	1135,32
52,53	20	1050,6
61,25	20	1225
51,982	20	1039,64
57,367	20	1147,34
55,46	20	1109,2
58,075	20	1161,5
53,34	20	1066,8
39,321	20	786,42
51,219	20	1024,38
53,742	20	1074,84

4.2.- Cálculo del módulo de elasticidad en compresión perpendicular, para la especie: nogal criollo (*Juglans australis-griseb*).

Estado verde

Nº	ELP	5/d=0,25cm	MOE
1	50,191	20	1003,82
2	40,944	20	818,88
3	49,133	20	982,66
4	51,908	20	1038,16
5	57,763	20	1155,26
6	54,763	20	1095,26
7	47,447	20	948,94
8	57,955	20	1159,1
9	48,975	20	979,5
10	44,801	20	896,02
11	57,322	20	1146,44
12	54,178	20	1083,56
13	54,257	20	1085,14
14	54,103	20	1082,06
15	42,992	20	859,84
16	53,228	20	1064,56
17	45,039	20	900,78
18	46,267	20	925,34
19	57,322	20	1146,44
20	57,322	20	1146,44

Estado seco al aire

ELP	5/d=0,25cm	MOE
65,59	20	1311,8
63,147	20	1262,94
65,458	20	1309,16
66,281	20	1325,62
77,794	20	1555,88
61,891	20	1237,82
59,751	20	1195,02
65,273	20	1305,46
63,982	20	1279,64
67,4	20	1348
67,558	20	1351,16
58,715	20	1174,3
78,9	20	1578
70,451	20	1409,02
71,25	20	1425
77,478	20	1549,56
67,162	20	1343,24
73,7	20	1474
73,7	20	1474
77,319	20	1546,38

Ajustado al 12%

ELP	5/d=0,25cm	MOE
77,309	20	1546,18
64,293	20	1285,86
66,434	20	1328,68
66,825	20	1336,5
79,392	20	1587,84
62,195	20	1243,9
60,376	20	1207,52
65,808	20	1316,16
64,987	20	1299,74
68,697	20	1373,94
68,06	20	1361,2
58,962	20	1179,24
80,687	20	1613,74
71,564	20	1431,28
72,962	20	1459,24
79,232	20	1584,64
68,421	20	1368,42
74,948	20	1498,96
74,613	20	1492,26
79,05	20	1581

4.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie *Alnus jorullensis*, aliso en estado verde mayor a 30% en compresión paralela y perpendicular.

Nº	D= gr/cm ³	$\rho = \text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. II	E_{II}/ρ	$V_{II}=K*\sqrt{E/\rho}$
1	1,124	1,44	10339,191	7179,9938	847,34844
2	1,124	1,44	10897,871	7567,966	869,94057
3	1,124	1,44	13689,635	9506,691	975,02261
4	1,124	1,44	14207,444	9866,2806	993,29153
5	1,124	1,44	16050,998	11146,526	1055,7711
6	1,124	1,44	12860,356	8930,8028	945,02925
7	1,124	1,44	20986,568	14574,006	1207,2285
8	1,124	1,44	21773,146	15120,24	1229,6439
9	1,124	1,44	13411,491	9313,5354	965,0666
10	1,124	1,44	13785,528	9573,2833	978,43157
11	1,124	1,44	14061,123	9764,6688	988,16338
12	1,124	1,44	17374,545	12065,656	1098,4378
13	1,124	1,44	15498,957	10763,165	1037,4567
14	1,124	1,44	12749,115	8853,5521	940,93316
15	1,124	1,44	14376,674	9983,8014	999,18974
16	1,124	1,44	14758,929	10249,256	1012,3861
17	1,124	1,44	13552,248	9411,2833	970,11769
18	1,124	1,44	12486,114	8670,9125	931,17735
19	1,124	1,44	18144,051	12600,035	1122,4988
20	1,124	1,44	15621,764	10848,447	1041,5588

Nº	D= gr/cm ³	$\rho = \text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. I	E_I/ρ	$V_I=K*\sqrt{E/\rho}$
1	1,124	1,44	625,52	434,38889	208,41998
2	1,124	1,44	539,52	374,66667	193,56308
3	1,124	1,44	910,66	632,40278	251,4762
4	1,124	1,44	470,38	326,65278	180,73538
5	1,124	1,44	597,76	415,11111	203,74276
6	1,124	1,44	438,06	304,20833	174,41569
7	1,124	1,44	911,5	632,98611	251,59215
8	1,124	1,44	421,32	292,58333	171,05067
9	1,124	1,44	516,22	358,48611	189,33729
10	1,124	1,44	384,16	266,77778	163,33333
11	1,124	1,44	542,7	376,875	194,13269
12	1,124	1,44	566,36	393,30556	198,31933
13	1,124	1,44	594,9	413,125	203,25477
14	1,124	1,44	450,2	312,63889	176,81597
15	1,124	1,44	540,54	375,375	193,74597
16	1,124	1,44	528,36	366,91667	191,55069
17	1,124	1,44	539,52	374,66667	193,56308
18	1,124	1,44	560,92	389,52778	197,36458
19	1,124	1,44	497,94	345,79167	185,95474
20	1,124	1,44	570,24	396	198,99749

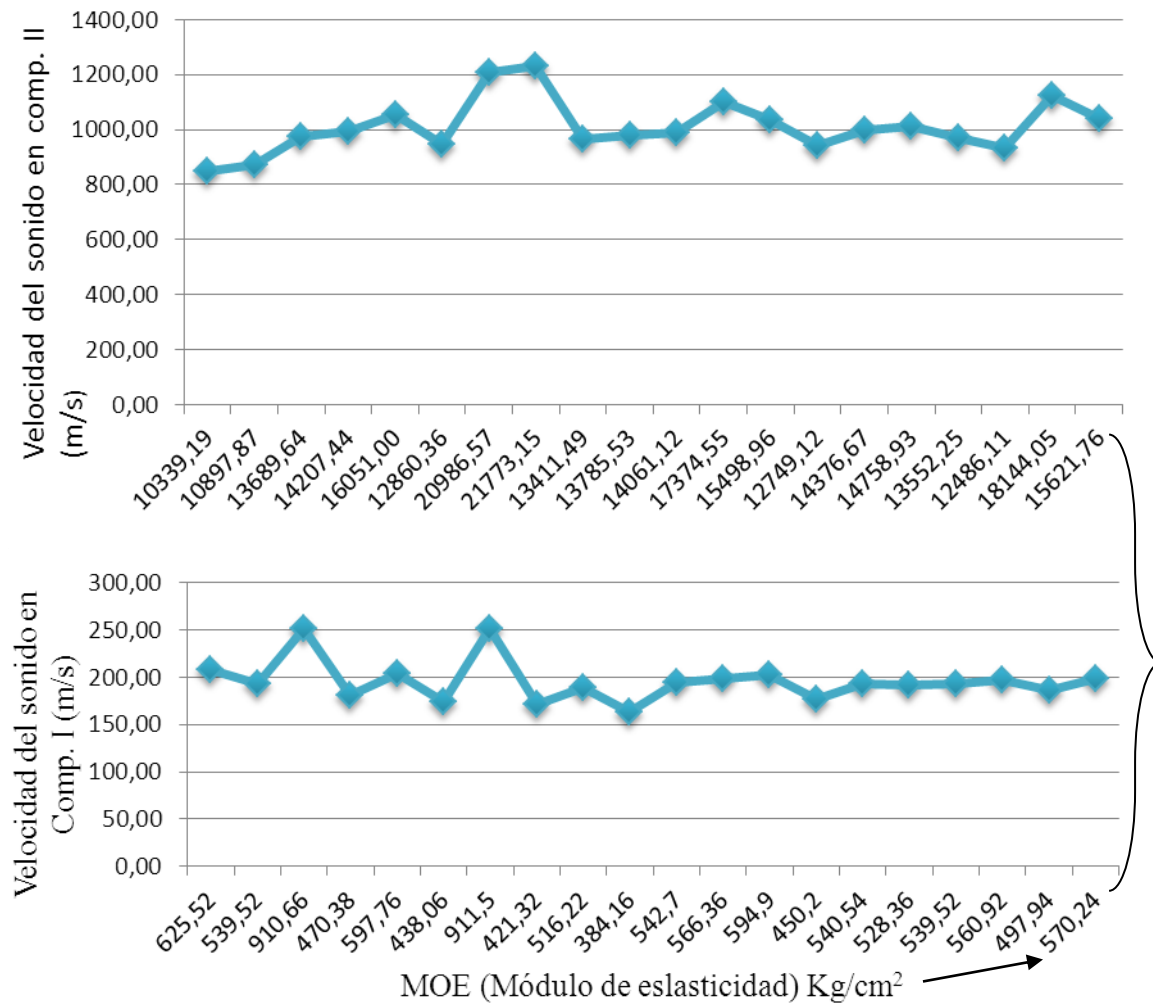
E_{II} = módulo de elasticidad en compresión paralela y E_I es el módulo de elasticidad en compresión perpendicular, como así también V_{II} = velocidad del sonido en compresión paralela y V_I = velocidad del sonido en compresión perpendicular, se puede apreciar que la velocidad del sonido es mucho mayor en compresión paralela que perpendicular.

4.3.1.- Tabla de la velocidad del sonido del aliso (*Alnus jorullensis*) en estado verde, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.

D= gr/cm³	$\rho = \text{Kg s}^2/\text{cm}^4$	MOE comp. II Kg/cm²	MOE comp. I Kg/cm²	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} comp II/V_{m/s} comp I
1,124	1,44	10339,19	625,52	847,35	208,42	4,07
1,124	1,44	10897,87	539,52	869,94	193,56	4,49
1,124	1,44	13689,64	910,66	975,02	251,48	3,88
1,124	1,44	14207,44	470,38	993,29	180,74	5,50
1,124	1,44	16051	597,76	1055,77	203,74	5,18
1,124	1,44	12860,36	438,06	945,03	174,42	5,42
1,124	1,44	20986,57	911,5	1207,23	251,59	4,80
1,124	1,44	21773,15	421,32	1229,64	171,05	7,19
1,124	1,44	13411,49	516,22	965,07	189,34	5,10
1,124	1,44	13785,53	384,16	978,43	163,33	5,99
1,124	1,44	14061,12	542,7	988,16	194,13	5,09
1,124	1,44	17374,55	566,36	1098,44	198,32	5,54
1,124	1,44	15498,96	594,9	1037,46	203,25	5,10
1,124	1,44	12749,12	450,2	940,93	176,82	5,32
1,124	1,44	14376,67	540,54	999,19	193,75	5,16
1,124	1,44	14758,93	528,36	1012,39	191,55	5,29
1,124	1,44	13552,25	539,52	970,12	193,56	5,01
1,124	1,44	12486,11	560,92	931,18	197,36	4,72
1,124	1,44	18144,05	497,94	1122,50	185,95	6,04
1,124	1,44	15621,76	570,24	1041,56	199,00	5,23

*En esta tabla se presenta la velocidad del sonido en compresión paralela y perpendicular representada por sus siglas **V_{m/s} en comp. II**, **V_{m/s} en comp. I** respectivamente y como dijimos en el punto 4.3 se observa que los cálculos demuestran que la velocidad del sonido es mayor en compresión paralela. En la última parte de la columna derecha se hace una diferencia entre ambas velocidades lo cual indica que la velocidad del sonido en compresión paralela es de 5 veces mayor que la velocidad del sonido en compresión perpendicular. La velocidad del sonido en dirección paralela tiene 847.35 m/s como mínimo y 1229.64 m/s como velocidad máxima, en dirección perpendicular posee 163.33 m/s como mínima y 251.59 m/s velocidad máxima en estado verde.

4.3.2.-. Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralelo a la fibra de la especie aliso *alnus jorullensis*. Estado verde



* El presente gráfico nos demuestra que existe una proporcionalidad entre el módulo de elasticidad y la velocidad del sonido, es decir que cuanto mayor sea el módulo de elasticidad mayor será la velocidad del sonido en la madera, tal y como nos indican los puntos o picos más altos o más bajos del gráfico.

.3.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie *Alnus jorullensis*, aliso en estado seco al aire en compresión paralela (Comp. II) y perpendicular (Comp. I).

Nº	D= gr/cm ³	$\rho=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. II	E_{II} / ρ	$V_{II}=K*\sqrt{E/\rho}$
1	0,53	0,54	28482,63	52745,613	2296,64131
2	0,53	0,54	28918,10	53552,0315	2314,13119
3	0,53	0,54	28450,73	52686,537	2295,35481
4	0,53	0,54	33651,24	62317,1111	2496,33954
5	0,53	0,54	33484,39	62008,1315	2490,1432
6	0,53	0,54	29908,86	55386,7722	2353,43945
7	0,53	0,54	22384,44	41452,6704	2035,99289
8	0,53	0,54	20179,68	37369,7815	1933,12652
9	0,53	0,54	21368,90	39572,0333	1989,27206
10	0,53	0,54	19672,44	36430,4426	1908,67605
11	0,53	0,54	27569,12	51053,9204	2259,51146
12	0,53	0,54	34767,16	64383,6278	2537,39291
13	0,53	0,54	27791,52	51465,7722	2268,60689
14	0,53	0,54	26015,12	48176,15	2194,9066
15	0,53	0,54	25339,96	46925,8537	2166,23761
16	0,53	0,54	28715,62	53177,0648	2306,01528
17	0,53	0,54	20234,87	37471,9833	1935,76815
18	0,53	0,54	26130,59	48389,9722	2199,77208
19	0,53	0,54	28190,33	52204,3222	2284,82652
20	0,53	0,54	24767,90	45866,4741	2141,64596

Nº	D= gr/cm ³	$\rho=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. I	E_I / ρ	$V_I=K*\sqrt{E/\rho}$
1	0,53	0,54	717,74	1329,14815	364,574841
2	0,53	0,54	1015,10	1879,81481	433,568312
3	0,53	0,54	1059,18	1961,44444	442,881976
4	0,53	0,54	1099,30	2035,74074	451,191837
5	0,53	0,54	985,54	1825,07407	427,208857
6	0,53	0,54	1261,38	2335,88889	483,310344
7	0,53	0,54	1081,08	2002	447,437146
8	0,53	0,54	1356,06	2511,22222	501,120966
9	0,53	0,54	1214,56	2249,18519	474,255752
10	0,53	0,54	1140,56	2112,14815	459,58113
11	0,53	0,54	1052,62	1949,2963	441,508357
12	0,53	0,54	1230,74	2279,14815	477,404247
13	0,53	0,54	1040,16	1926,22222	438,887482
14	0,53	0,54	1150,98	2131,44444	461,675692
15	0,53	0,54	1111,78	2058,85185	453,745727
16	0,53	0,54	1166,12	2159,48148	464,702214
17	0,53	0,54	1069,88	1981,25926	445,113385
18	0,53	0,54	787,94	1459,14815	381,987977
19	0,53	0,54	1028,56	1904,74074	436,433356
20	0,53	0,54	1078,78	1997,74074	446,960931

E_{II} = módulo de elasticidad en compresión paralela y E_I es el módulo de elasticidad en compresión perpendicular, como así también V_{II} = velocidad del sonido en compresión paralela y V_I = velocidad del sonido en compresión perpendicular, la velocidad del sonido es mucho mayor en compresión paralela que perpendicular.

4.3.4.- Tabla de la velocidad del sonido del aliso *Alnus jorullensis* en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.

D= gr/cm³	ρ= Kg s²/cm⁴	MOE comp. II Kg/cm²	MOE comp. I Kg/cm²	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} comp II / V_{m/s} comp I
0,53	0,54	28482,63	717,74	2296,6413	364,57484	6,2995057
0,53	0,54	28918,10	1015,1	2314,1312	433,56831	5,3374085
0,53	0,54	28450,73	1059,18	2295,3548	442,88198	5,1827686
0,53	0,54	33651,24	1099,3	2496,3395	451,19184	5,5327675
0,53	0,54	33484,39	985,54	2490,1432	427,20886	5,828866
0,53	0,54	29908,86	1261,38	2353,4394	483,31034	4,8694167
0,53	0,54	22384,44	1081,08	2035,9929	447,43715	4,5503439
0,53	0,54	20179,68	1356,06	1933,1265	501,12097	3,8576046
0,53	0,54	21368,90	1214,56	1989,2721	474,25575	4,1945133
0,53	0,54	19672,44	1140,56	1908,676	459,58113	4,1530775
0,53	0,54	27569,12	1052,62	2259,5115	441,50836	5,1177094
0,53	0,54	34767,16	1230,74	2537,3929	477,40425	5,3149777
0,53	0,54	27791,52	1040,16	2268,6069	438,88748	5,1689943
0,53	0,54	26015,12	1150,98	2194,9066	461,67569	4,7542174
0,53	0,54	25339,96	1111,78	2166,2376	453,74573	4,7741223
0,53	0,54	28715,62	1166,12	2306,0153	464,70221	4,9623505
0,53	0,54	20234,87	1069,88	1935,7682	445,11339	4,3489327
0,53	0,54	26130,59	787,94	2199,7721	381,98798	5,7587469
0,53	0,54	28190,33	1028,56	2284,8265	436,43336	5,2352243
0,53	0,54	24767,90	1078,78	2141,646	446,96093	4,7915731

*en la presente tabla, se muestra que la velocidad del sonido va aumentando a medida que la humedad de la madera pasa de un estado a otro, esto puede deberse a que las paredes de las células que contienen agua no permiten el paso normal del sonido, es así que la velocidad del sonido en compresión paralela tiene una velocidad máxima de 2496.3395 m/s y 1908.676 m/s como mínima y en compresión perpendicular su velocidad más alta es de 501.12097 m/s y la más baja es de 364.57484 m/s.

4.3.6.- Velocidad del sonido ajustado al 12% de contenido de humedad, en compresión paralela y perpendicular del aliso (*alnus jorullensis*).

Nº	D= gr/cm ³	ρ=kg.s ² /cm ⁴	MOE Comp. II	E _{II} / ρ	V _{II} =K* $\sqrt{E/\rho}$
1	0,44	0,448	28387,45	63364,83	2517,24
2	0,44	0,448	28897,31	64502,91	2539,74
3	0,44	0,448	28390,65	63371,99	2517,38
4	0,44	0,448	33516,52	74813,66	2735,21
5	0,44	0,448	33503,20	74783,93	2734,66
6	0,44	0,448	29914,19	66772,74	2584,04
7	0,44	0,448	22378,34	49951,64	2234,99
8	0,44	0,448	20187,53	45061,45	2122,77
9	0,44	0,448	21359,17	47676,72	2183,50
10	0,44	0,448	19646,23	43853,19	2094,12
11	0,44	0,448	27422,21	61210,28	2474,07
12	0,44	0,448	34592,59	77215,60	2778,77
13	0,44	0,448	27696,35	61822,21	2486,41
14	0,44	0,448	25898,22	57808,53	2404,34
15	0,44	0,448	25286,43	56442,92	2375,77
16	0,44	0,448	28559,68	63749,29	2524,86
17	0,44	0,448	30127,44	67248,74	2593,24
18	0,44	0,448	26063,58	58177,62	2412,00
19	0,44	0,448	28134,95	62801,23	2506,02
20	0,44	0,448	24670,74	55068,61	2346,67

Nº	D= gr/cm ³	ρ=kg.s ² /cm ⁴	MOE Comp. I	E _I / ρ	V _I =K* $\sqrt{E/\rho}$
1	0,44	0,448	717,36	1601,25	400,156219
2	0,44	0,448	1013,76	2262,85714	475,69498
3	0,44	0,448	1057,86	2361,29464	485,931543
4	0,44	0,448	1095,06	2444,33036	494,401695
5	0,44	0,448	981,88	2191,69643	468,155575
6	0,44	0,448	1251,58	2793,70536	528,55514
7	0,44	0,448	1078,92	2408,30357	490,744696
8	0,44	0,448	1341,02	2993,34821	547,114998
9	0,44	0,448	1209,76	2700,35714	519,649607
10	0,44	0,448	1135,32	2534,19643	503,408028
11	0,44	0,448	1050,60	2345,08929	484,261219
12	0,44	0,448	1225,00	2734,375	522,912517
13	0,44	0,448	1039,64	2320,625	481,728658
14	0,44	0,448	1147,34	2561,02679	506,065884
15	0,44	0,448	1109,20	2475,89286	497,583446
16	0,44	0,448	1161,50	2592,63393	509,179136
17	0,44	0,448	1066,80	2381,25	487,980532
18	0,44	0,448	786,42	1755,40179	418,975153
19	0,44	0,448	1024,38	2286,5625	478,180144
20	0,44	0,448	1074,84	2399,19643	489,815928

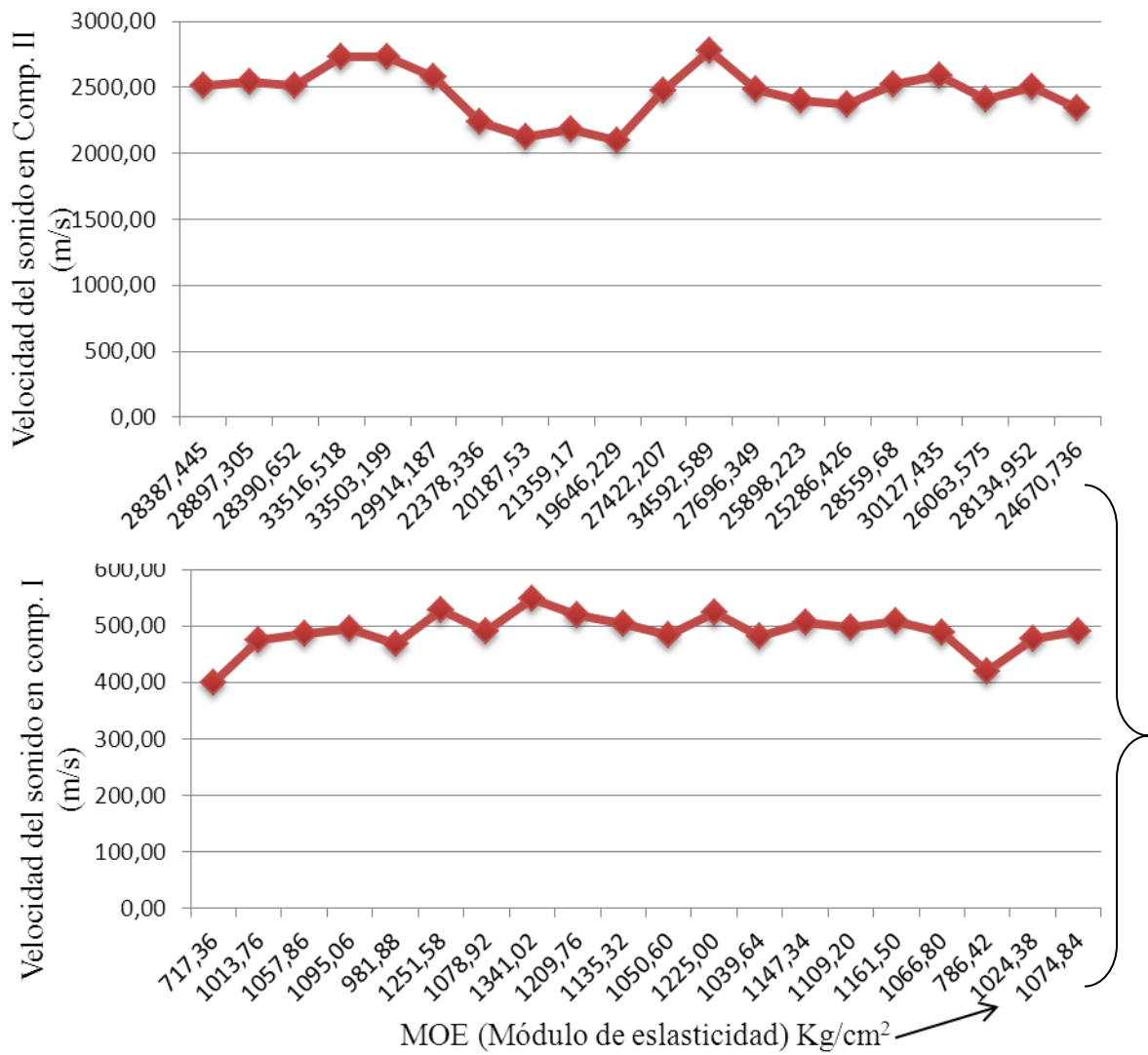
E_{II}= módulo de elasticidad en compresión paralela y E_I es el módulo de elasticidad en compresión perpendicular, como así también V_{II}= velocidad del sonido en compresión paralela y V_I= velocidad del sonido en compresión perpendicular, la velocidad del sonido es mucho mayor en compresión paralela que perpendicular.

4.3.7.- Tabla de la velocidad del sonido ajustado al 12% en compresión paralela y perpendicular del aliso (*alnus jorullensis*).

D= gr/cm³	ρ= Kg s²/cm⁴	MOE comp. II Kg/cm²	MOE comp. I Kg/cm²	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} comp II / V_{m/s} comp I
0,44	0,448	28387,45	717,36	2517,2372	400,15622	6,2906363
0,44	0,448	28897,31	1013,76	2539,7424	475,69498	5,3390144
0,44	0,448	28390,65	1057,86	2517,3794	485,93154	5,1805228
0,44	0,448	33516,52	1095,06	2735,2085	494,40169	5,5323607
0,44	0,448	33503,20	981,88	2734,665	468,15558	5,8413594
0,44	0,448	29914,19	1251,58	2584,0422	528,55514	4,8888791
0,44	0,448	22378,34	1078,92	2234,9864	490,7447	4,5542752
0,44	0,448	20187,53	1341,02	2122,7683	547,115	3,8799307
0,44	0,448	21359,17	1209,76	2183,4999	519,64961	4,2018697
0,44	0,448	19646,23	1135,32	2094,1153	503,40803	4,1598767
0,44	0,448	27422,21	1050,60	2474,0712	484,26122	5,10896
0,44	0,448	34592,59	1225,00	2778,7695	522,91252	5,3140237
0,44	0,448	27696,35	1039,64	2486,4072	481,72866	5,1614268
0,44	0,448	25898,22	1147,34	2404,3405	506,06588	4,7510425
0,44	0,448	25286,43	1109,20	2375,7718	497,58345	4,7746198
0,44	0,448	28559,68	1161,50	2524,8621	509,17914	4,9586912
0,44	0,448	30127,44	1066,80	2593,2362	487,98053	5,3142206
0,44	0,448	26063,58	786,42	2412,0038	418,97515	5,7569137
0,44	0,448	28134,95	1024,38	2506,0174	478,18014	5,2407392
0,44	0,448	24670,74	1074,84	2346,6701	489,81593	4,7909225

*La velocidad del sonido ajustada al 12% nos muestra un aumento en sus valores con respecto a compresión paralela y perpendicular, indicando que la humedad es un factor importante en lo que respecta a la velocidad de transmisión del sonido. En dirección paralela, la velocidad del sonido posee 2778.7695 m/s como máxima y 2122.7683 m/s y en compresión perpendicular su máxima es de 547.115 m/s y 400.15622 m/s como mínima, siendo la velocidad del sonido en compresión paralela de 5 a 4 veces más que en compresión perpendicular, tal y como lo muestra la primera columna del lado derecho.

4.3.8.- Modulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido paralelo y perpendicular a la fibra de la especie aliso *alnus jorullensis*. Ajustado al 12%.



* La trayectoria de los gráficos indican con más claridad la proporcionalidad de cada probeta respecto a sus variables. Y también se muestra que la velocidad del sonido aumenta cada vez que la humedad descende.

4.4.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie *Juglans australis-griseb*, nogal en estado verde mayor a 30% en compresión paralela y perpendicular.

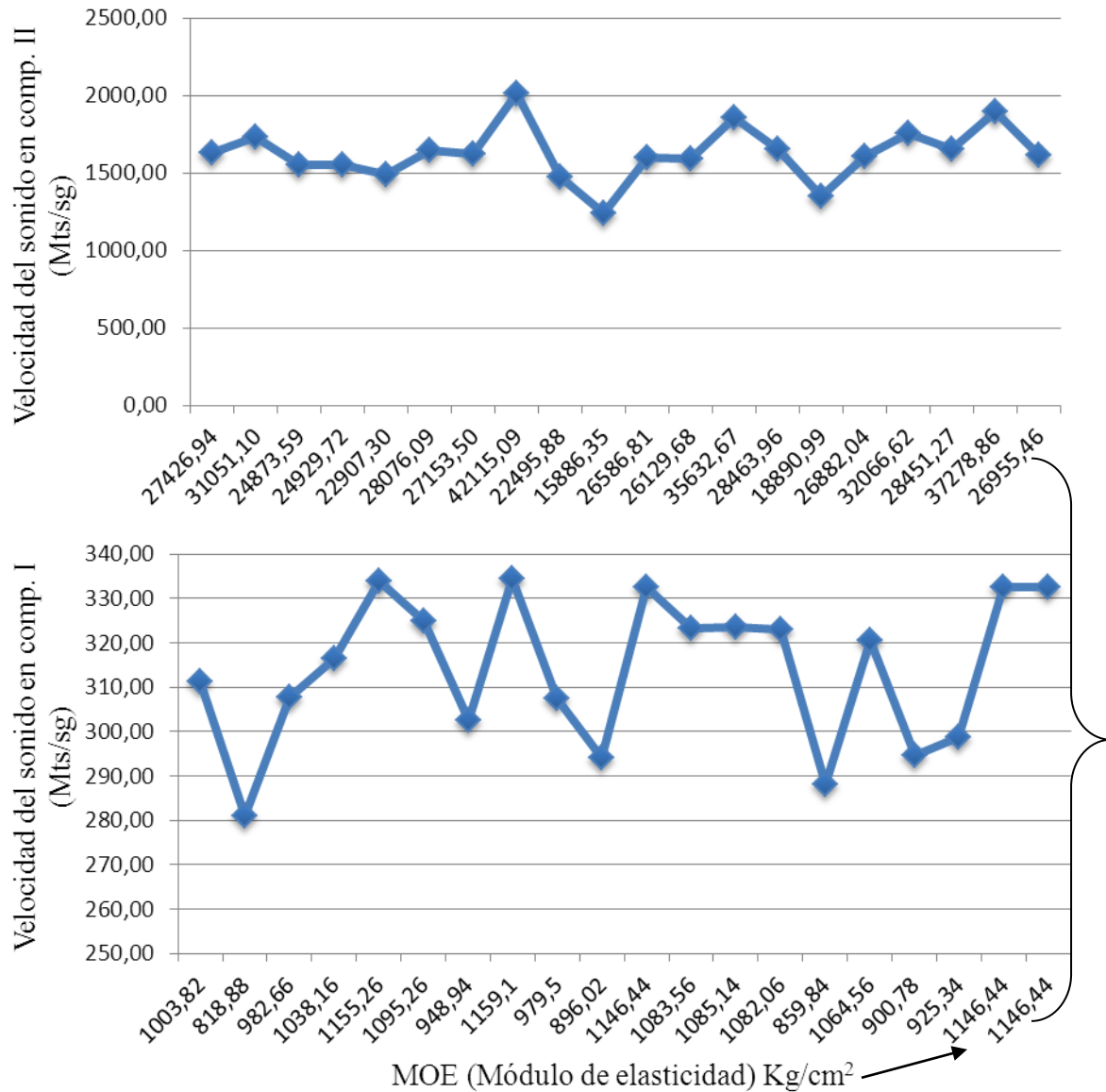
Nº	D= gr/cm ³	$\rho=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. II	E_{II} / ρ	$V_{II}=K*\sqrt{E/\rho}$	Nº	D= gr/cm ³	$D=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. I	E_I / ρ	$V_I=K*\sqrt{E/\rho}$
1	1,019	1,037	27426,94	26448,35	1626,29487	1	1,019	1,037	1003,82	968,003857	311,127604
2	1,019	1,037	31051,10	29943,2044	1730,41048	2	1,019	1,037	818,88	789,662488	281,009339
3	1,019	1,037	24873,59	23986,1013	1548,74469	3	1,019	1,037	982,66	947,598843	307,830935
4	1,019	1,037	24929,72	24040,2334	1550,49132	4	1,019	1,037	1038,16	1001,11861	316,404585
5	1,019	1,037	22907,30	22089,9672	1486,2694	5	1,019	1,037	1155,26	1114,0405	333,772453
6	1,019	1,037	28076,09	27074,3423	1645,42828	6	1,019	1,037	1095,26	1056,18129	324,989429
7	1,019	1,037	27153,50	26184,6673	1618,16771	7	1,019	1,037	948,94	915,081967	302,503218
8	1,019	1,037	42115,09	40612,4311	2015,25262	8	1,019	1,037	1159,10	1117,74349	334,32671
9	1,019	1,037	22495,88	21693,2257	1472,86203	9	1,019	1,037	979,50	944,551591	307,335581
10	1,019	1,037	15886,35	15319,5265	1237,72075	10	1,019	1,037	896,02	864,050145	293,947299
11	1,019	1,037	26586,81	25638,1958	1601,19317	11	1,019	1,037	1146,44	1105,5352	332,495894
12	1,019	1,037	26129,68	25197,3809	1587,36829	12	1,019	1,037	1083,56	1044,89875	323,248936
13	1,019	1,037	35632,67	34361,298	1853,68007	13	1,019	1,037	1085,14	1046,42237	323,484524
14	1,019	1,037	28463,96	27448,3742	1656,75509	14	1,019	1,037	1082,06	1043,45227	323,025118
15	1,019	1,037	18890,99	18216,9643	1349,70235	15	1,019	1,037	859,84	829,161041	287,951566
16	1,019	1,037	26882,04	25922,892	1610,05876	16	1,019	1,037	1064,56	1026,57666	320,402351
17	1,019	1,037	32066,62	30922,4879	1758,47911	17	1,019	1,037	900,78	868,640309	294,727045
18	1,019	1,037	28451,27	27436,1292	1656,3855	18	1,019	1,037	925,34	892,324012	298,717929
19	1,019	1,037	37278,86	35948,7551	1896,01569	19	1,019	1,037	1146,44	1105,5352	332,495894
20	1,019	1,037	26955,46	25993,6914	1612,25592	20	1,019	1,037	1146,44	1105,5352	332,495894

4.4.1.- Tabla de la velocidad del sonido del nogal criollo (*Juglans australis-griseb*), en estado verde, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.

D= gr/cm ³	$\rho = \text{Kg s}^2/\text{cm}^4$	MOE comp. II Kg/cm ²	MOE comp. I Kg/cm ²	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} comp II/V _{m/s} comp I
1,019	1,037	27426,939	1003,82	1626,29	311,13	5,23
1,019	1,037	31051,103	818,88	1730,41	281,01	6,16
1,019	1,037	24873,587	982,66	1548,74	307,83	5,03
1,019	1,037	24929,722	1038,16	1550,49	316,40	4,90
1,019	1,037	22907,296	1155,26	1486,27	333,77	4,45
1,019	1,037	28076,093	1095,26	1645,43	324,99	5,06
1,019	1,037	27153,5	948,94	1618,17	302,50	5,35
1,019	1,037	42115,091	1159,1	2015,25	334,33	6,03
1,019	1,037	22495,875	979,5	1472,86	307,34	4,79
1,019	1,037	15886,349	896,02	1237,72	293,95	4,21
1,019	1,037	26586,809	1146,44	1601,19	332,50	4,82
1,019	1,037	26129,684	1083,56	1587,37	323,25	4,91
1,019	1,037	35632,666	1085,14	1853,68	323,48	5,73
1,019	1,037	28463,964	1082,06	1656,76	323,03	5,13
1,019	1,037	18890,992	859,84	1349,70	287,95	4,69
1,019	1,037	26882,039	1064,56	1610,06	320,40	5,03
1,019	1,037	32066,62	900,78	1758,48	294,73	5,97
1,019	1,037	28451,266	925,34	1656,39	298,72	5,54
1,019	1,037	37278,859	1146,44	1896,02	332,50	5,70
1,019	1,037	26955,458	1146,44	1612,26	332,50	4,85

*La presente grafica indica una superioridad en lo que respecta a la transmisión de la velocidad del sonido, esto se debe a que la resistencia de esta especie a los ensayos de compresión paralela y perpendicular son mejores que la especie de aliso (*alnus jorullensis*), destacando así que la velocidad del sonido en compresión paralela tiene una máxima de 2015.25 m/s y una mínima de 1237.72 m/s y en compresión perpendicular posee 334.33 m/s como valor más alto y 281.01 m/s, siendo la velocidad en compresión paralela cinco (5) veces más que en compresión paralela.

4.4.2.- Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular a la fibra de la especie *Juglans australis-griseb.* Nogal criollo estado verde.



*En ambas graficas hay que notar la trayectoria de la misma es irregular, esto debe a la resistencia de cada probeta en lo que respecta al módulo de elasticidad son diferentes entre ellas de manera notoria, sin embargo aun así poseen mayor velocidad del sonido que la especie aliso en el correspondiente estado de humedad.

4.4.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie *Juglans australis-griseb*, nogal en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular.

Nº	D= gr/cm ³	$\rho=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. II	E_{II} / ρ	$V_{II}=K*\sqrt{E/\rho}$
1	0,521	0,531	36668,53	69055,61	2627,84334
2	0,521	0,531	37331,20	70303,57	2651,48209
3	0,521	0,531	31311,51	58967,06	2428,31337
4	0,521	0,531	44400,94	83617,59	2891,67055
5	0,521	0,531	39507,32	74401,74	2727,66824
6	0,521	0,531	41491,66	78138,71	2795,33028
7	0,521	0,531	36036,73	67865,77	2605,10602
8	0,521	0,531	44536,55	83872,98	2896,08327
9	0,521	0,531	38350,42	72223,01	2687,43386
10	0,521	0,531	32155,33	60556,18	2460,81662
11	0,521	0,531	38568,19	72633,13	2695,05347
12	0,521	0,531	39327,63	74063,33	2721,4578
13	0,521	0,531	39447,45	74288,98	2725,60054
14	0,521	0,531	34952,58	65824,06	2565,62008
15	0,521	0,531	36147,48	68074,34	2609,10599
16	0,521	0,531	34893,68	65713,15	2563,4576
17	0,521	0,531	34051,10	64126,36	2532,31823
18	0,521	0,531	38708,83	72897,99	2699,96272
19	0,521	0,531	41634,60	78407,92	2800,14134
20	0,521	0,531	41713,01	78555,57	2802,7767

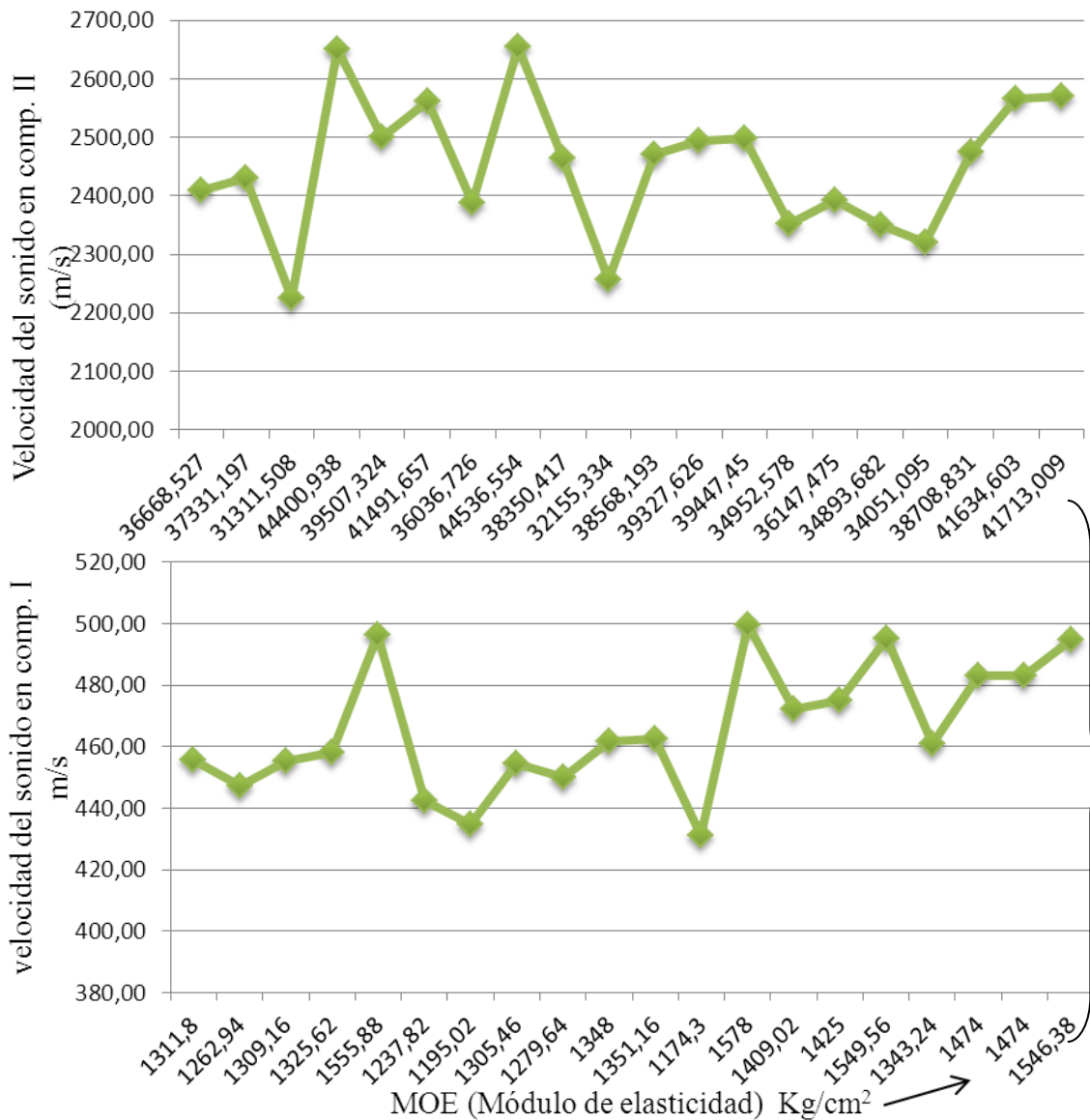
Nº	D= gr/cm ³	$\rho=\text{kg.s}^2/\text{cm}^4$	MOE Comp. I	E_{II} / ρ	$V_{I}=K*\sqrt{E/\rho}$
1	0,521	0,531	1311,80	2470,43315	497,03452
2	0,521	0,531	1262,94	2378,41808	487,690279
3	0,521	0,531	1309,16	2465,46139	496,534127
4	0,521	0,531	1325,62	2496,45951	499,645826
5	0,521	0,531	1555,88	2930,09416	541,303442
6	0,521	0,531	1237,82	2331,11111	482,815815
7	0,521	0,531	1195,02	2250,50847	474,395244
8	0,521	0,531	1305,46	2458,49341	495,831968
9	0,521	0,531	1279,64	2409,86817	490,904082
10	0,521	0,531	1348,00	2538,6064	503,84585
11	0,521	0,531	1351,16	2544,55744	504,436065
12	0,521	0,531	1174,30	2211,48776	470,264581
13	0,521	0,531	1578,00	2971,75141	545,137727
14	0,521	0,531	1409,02	2653,52166	515,123447
15	0,521	0,531	1425,00	2683,61582	518,036275
16	0,521	0,531	1549,56	2918,19209	540,202933
17	0,521	0,531	1343,24	2529,64218	502,955484
18	0,521	0,531	1474,00	2775,89454	526,867587
19	0,521	0,531	1474,00	2775,89454	526,867587
20	0,521	0,531	1546,38	2912,20339	539,648348

4.4.4.- Tabla de la velocidad del sonido del nogal criollo (*Juglans australis-griseb*), en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.

DB gr/cm³	DB= Kg s²/cm⁴	MOE comp. II Kg/cm²	MOE comp. I Kg/cm²	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} comp II/V_{m/s} comp I
0,521	0,531	36668,527	1311,8	2627,84	497,03	5,29
0,521	0,531	37331,197	1262,94	2651,48	487,69	5,44
0,521	0,531	31311,508	1309,16	2428,31	496,53	4,89
0,521	0,531	44400,938	1325,62	2891,67	499,65	5,79
0,521	0,531	39507,324	1555,88	2727,67	541,30	5,04
0,521	0,531	41491,657	1237,82	2795,33	482,82	5,79
0,521	0,531	36036,726	1195,02	2605,11	474,40	5,49
0,521	0,531	44536,554	1305,46	2896,08	495,83	5,84
0,521	0,531	38350,417	1279,64	2687,43	490,90	5,47
0,521	0,531	32155,334	1348	2460,82	503,85	4,88
0,521	0,531	38568,193	1351,16	2695,05	504,44	5,34
0,521	0,531	39327,626	1174,3	2721,46	470,26	5,79
0,521	0,531	39447,45	1578	2725,60	545,14	5,00
0,521	0,531	34952,578	1409,02	2565,62	515,12	4,98
0,521	0,531	36147,475	1425	2609,11	518,04	5,04
0,521	0,531	34893,682	1549,56	2563,46	540,20	4,75
0,521	0,531	34051,095	1343,24	2532,32	502,96	5,03
0,521	0,531	38708,831	1474	2699,96	526,87	5,12
0,521	0,531	41634,603	1474	2800,14	526,87	5,31
0,521	0,531	41713,009	1546,38	2802,78	539,65	5,19

*Los cálculos de la presente tabla indican que la velocidad del sonido aumenta a medida que la humedad disminuye y es más superior que en la especie aliso (*alnus jorullensis*) en el mismo estado (Seco al Aire). La velocidad del sonido en compresión paralela se establece entre 2428.31 y 2896.08 m/s, mientras que en compresión perpendicular sus valores están entre 482.82 y 545.14 m/s, por lo tanto la velocidad del sonido en compresión paralela es cinco (5) más que en compresión perpendicular, tal y como lo demuestra la primera columna derecha.

4.4.5.- Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralela a la fibra de la especie *Jugalns australis-griseb.* Nogal criollo seco al aire.



*Las diferencias que existe con respecto a los cálculos realizado con la anterior especie, es de que la velocidad del sonido en compresión paralela y perpendicular sus datos muestran una curva normal. Pero aun así sus datos son superiores a la especie **aliso** (*alnus jorullensis*) ya que se observa que la velocidad del sonido es mayor.

4.4.6.- Velocidad del sonido ajustado al 12% de contenido de humedad, en compresión paralela y perpendicular. *Juglans australis-griseb.* Nogal criollo

Nº	D= gr/cm ³	ρ =kg.s ² / cm ⁴	MOE Comp. I	E _I / ρ	V _I =K* $\sqrt{E/\rho}$
1	0,441	0,449	1546,18	3443,60802	586,822632
2	0,441	0,449	1285,86	2863,83073	535,147712
3	0,441	0,449	1328,68	2959,19822	543,98513
4	0,441	0,449	1336,5	2976,6147	545,583605
5	0,441	0,449	1587,84	3536,39198	594,675708
6	0,441	0,449	1243,9	2770,37862	526,343863
7	0,441	0,449	1207,52	2689,35412	518,58983
8	0,441	0,449	1316,16	2931,31403	541,416109
9	0,441	0,449	1299,74	2894,74388	538,02824
10	0,441	0,449	1373,94	3060	553,172667
11	0,441	0,449	1361,2	3031,62584	550,602019
12	0,441	0,449	1179,24	2626,36971	512,481191
13	0,441	0,449	1613,74	3594,07572	599,506107
14	0,441	0,449	1431,28	3187,70601	564,597734
15	0,441	0,449	1459,24	3249,97773	570,085759
16	0,441	0,449	1584,64	3529,26503	594,076176
17	0,441	0,449	1368,42	3047,70601	552,060324
18	0,441	0,449	1498,96	3338,44098	577,792435
19	0,441	0,449	1492,26	3323,51893	576,49969
20	0,441	0,449	1581	3521,15813	593,393472

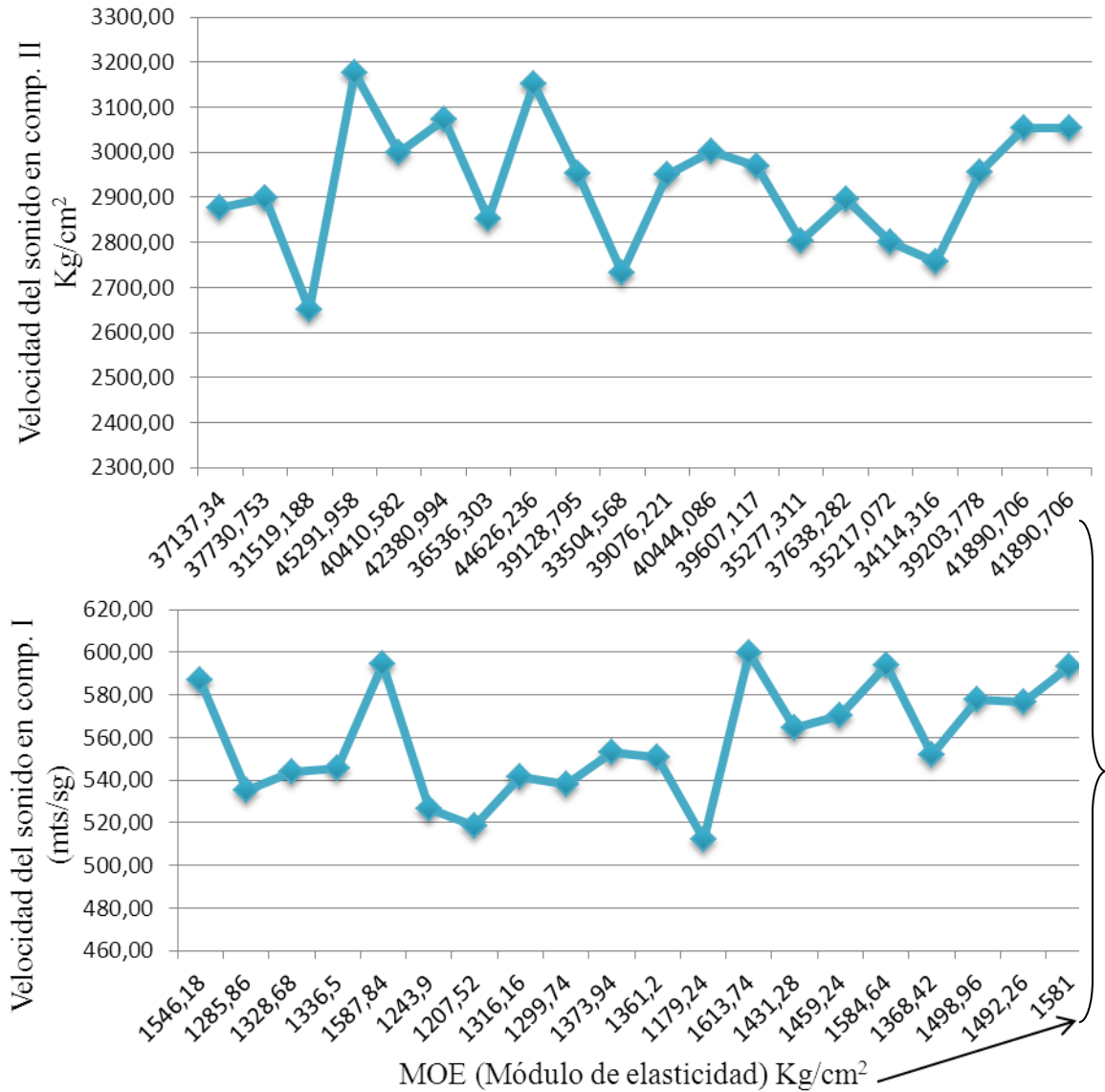
Nº	D= gr/cm ³	ρ =kg.s ² / cm ⁴	MOE Comp. II	E _{II} / ρ	V _{II} =K* $\sqrt{E/\rho}$
1	0,441	0,449	37137,34	82711,2249	2875,95593
2	0,441	0,449	37730,753	84032,8575	2898,84214
3	0,441	0,449	31519,188	70198,637	2649,50254
4	0,441	0,449	45291,958	100872,958	3176,05034
5	0,441	0,449	40410,582	90001,2962	3000,0216
6	0,441	0,449	42380,994	94389,7416	3072,29135
7	0,441	0,449	36536,303	81372,6125	2852,58852
8	0,441	0,449	44626,236	99390,2806	3152,62241
9	0,441	0,449	39128,795	87146,5367	2952,05923
10	0,441	0,449	33504,568	74620,4187	2731,67382
11	0,441	0,449	39076,221	87029,4454	2950,07535
12	0,441	0,449	40444,086	90075,9154	3001,26499
13	0,441	0,449	39607,117	88211,8419	2970,04784
14	0,441	0,449	35277,311	78568,6214	2803,00948
15	0,441	0,449	37638,282	83826,9087	2895,2877
16	0,441	0,449	35217,072	78434,4588	2800,61527
17	0,441	0,449	34114,316	75978,4321	2756,41855
18	0,441	0,449	39203,778	87313,5367	2954,88641
19	0,441	0,449	41890,706	93297,7862	3054,46863
20	0,441	0,449	41890,706	93297,7862	3054,46863

4.4.7.- Tabla de la velocidad del sonido ajustado al 12% en compresión perpendicular y paralela de la especie. *Juglans australis-griseb.* Nogal criollo

Nº	D= gr/cm ³	$\rho = \text{Kg s}^2/\text{cm}^4$	MOE comp. II Kg/cm ²	MOE comp. I Kg/cm ²	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} comp II/V _{m/s} comp I
1	0,441	0,449	37137,34	1546,18	2875,96	586,82	4,90
2	0,441	0,449	37730,753	1285,86	2898,84	535,15	5,42
3	0,441	0,449	31519,188	1328,68	2649,50	543,99	4,87
4	0,441	0,449	45291,958	1336,5	3176,05	545,58	5,82
5	0,441	0,449	40410,582	1587,84	3000,02	594,68	5,04
6	0,441	0,449	42380,994	1243,9	3072,29	526,34	5,84
7	0,441	0,449	36536,303	1207,52	2852,59	518,59	5,50
8	0,441	0,449	44626,236	1316,16	3152,62	541,42	5,82
9	0,441	0,449	39128,795	1299,74	2952,06	538,03	5,49
10	0,441	0,449	33504,568	1373,94	2731,67	553,17	4,94
11	0,441	0,449	39076,221	1361,2	2950,08	550,60	5,36
12	0,441	0,449	40444,086	1179,24	3001,26	512,48	5,86
13	0,441	0,449	39607,117	1613,74	2970,05	599,51	4,95
14	0,441	0,449	35277,311	1431,28	2803,01	564,60	4,96
15	0,441	0,449	37638,282	1459,24	2895,29	570,09	5,08
16	0,441	0,449	35217,072	1584,64	2800,62	594,08	4,71
17	0,441	0,449	34114,316	1368,42	2756,42	552,06	4,99
18	0,441	0,449	39203,778	1498,96	2954,89	577,79	5,11
19	0,441	0,449	41890,706	1492,26	3054,47	576,50	5,30
20	0,441	0,449	41890,706	1581	3054,47	593,39	5,15

*El aumento de la velocidad del sonido ajustado al 12% se incrementa más, llegando a poseer los siguientes valores de velocidad del sonido en compresión paralela: 3176.05 m/s como valor máximo y 2649.50 m/s como mínimo y en compresión perpendicular su velocidad de propagación está comprendido entre 512.48 m/s y 599.51 m/s.

4.4.8.- Módulo de elasticidad vs velocidad del sonido, ajustado al 12%, en compresión perpendicular.



*al igual que los demás gráficos se muestra demasiada diferencia entre probetas de ensayo, lo que hay que notar por Ej. De que en los cálculos de la anterior especie ajustado al 12% **aliso** (*alnus jorullensis*) pág. 47 los datos de velocidad del sonido en compresión paralela llegan a un valor máximo de 2750 m/s, mientras que en el grafico superior con la misma dirección de velocidad sonido su valor máximo es de 3176 m/s.

4.5.- Resultados del ensayo en laboratorio

De acuerdo con los procedimientos descritos en la metodología, los resultados arrojados por los equipos pertenecientes al laboratorio de física de la facultad de ciencia y tecnología y asesorado por el encargado del laboratorio Ing. Igor Gutiérrez paredes, se obtuvieron los siguientes resultados:

Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)	Datos de compresión paralela		Nogal criollo(<i>Juglans australis-griseb</i>)	Datos de compresión paralela	
	Prob. C_{II} P1	Prob. C_{II} P2		Prob. C_{II} K1	Prob. C_{II} K2
frecuencia	24 Hz	24 Hz	frecuencia	24 Hz	24 Hz
Velocidad del sonido	2109,11 m/s	2112.4 m/s	Velocidad del sonido	2531,12 m/s	2522,12 m/s
% de humedad	11.3	11.9	% de humedad	10.2	10.5
Promedio	2110.75		Promedio	2526.62	

Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)	Datos de compresión perpendicular		Nogal criollo(<i>Juglans australis-griseb</i>)	Datos de compresión perpendicular	
	Prob. C_I R1	Prob. C_I R2		Prob. C_I S1	Prob. C_I S2
frecuencia	24 Hz	24 Hz	frecuencia	24 Hz	24 Hz
Velocidad del sonido	419,30 m/s	424,50 m/s	Velocidad del sonido	490,12 m/s	496,20 m/s
% de humedad	11.2	11.7	% de humedad	10.8	10.1
Promedio	421.9		Promedio	493.16	

*Los resultados obtenidos muestran que la especie de nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) posee mejor velocidad del sonido que la especie del Aliso (*Alnus jorullensis*), estos datos confirman que los resultados obtenidos en la fase de gabinete son aceptables y que se complementan con los datos obtenidos en esta fase.

4.6.- Cálculos Estadísticos

	ESPECIE: Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)						ESPECIE: nogal criollo (<i>Juglans australis-griseb</i>)					
	ESTADO VERDE		ESTADO SECO AL AIRE		AJUSTADO AL 12%		ESTADO VERDE		ESTADO SECO AL AIRE		AJUSTADO AL 12%	
	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II
MEDIA	193,94	1001,98	444,43	2205,19	487,12	2443,48	313,26	1607,11	507,02	2668,44	557,52	2923,79
DESV. EST.	22,23	97,18	31,19	186,52	33,76	192,77	16,63	176,41	22,72	128,65	26,81	138,89
VARIANZA	494,37	9444,50	972,83	34788,91	1139,45	37160,09	276,40	31122,12	516,19	16550,08	718,56	19290,85
MEDIANA	193,65	990,73	447,20	2264,06	490,28	2496,21	318,40	1615,21	503,40	2691,24	552,62	2951,07

Realizando la comparación de los datos promedios en ambas especies, se muestra que la especie de nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) posee mayor propagación de la velocidad del sonido con un 15-20% más que la especie del aliso (*Alnus jorullensis*). En sus tres estados de contenido de humedad.

4.7.- Tablas comparativas de los resultados obtenidos en las dos fases del desarrollo de la investigación.

Resultados de la fase de gabinete.

ESPECIE: Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)		ESPECIE: nogal criollo (<i>Juglans australis-griseb</i>)	
AJUSTADO AL 12%		AJUSTADO AL 12%	
V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} en comp. II
487,12	2443,48	557,52	2923,79

Los datos que se muestran en las tablas son resultados promedios de ambas fases.

La comparación muestra que tanto en la fase de gabinete como en la fase experimental de laboratorio la especie de nogal criollo posee mayor velocidad del sonido que el aliso avalando así los resultados obtenidos en la fase de gabinete.

Resultados de la fase Experimental de Laboratorio

ESPECIE: Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)		ESPECIE: nogal criollo (<i>Juglans australis-griseb</i>)	
AJUSTADO AL 12%		AJUSTADO AL 12%	
V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} en comp. II	V_{m/s} en comp. I	V_{m/s} en comp. II
421,9	2110,75	493,16	2526,62

CAPITULO V

5.- Análisis y discusión de datos

PETER NIEMZ en el año 1994 realiza el siguiente estudio “Velocidad de propagación del sonido en algunas especies creciendo en Chile y su relación con propiedades físicas”. De tal estudio los resultados fueron los siguientes.

Especie		Densidad en Kg/cm ³	Velocidad de ultrasonido m/s	
Nombre común	Nombre científico		compresión perpendicular	compresión paralela
alpina	Nothofagus alpina	570	1433	5049
Raulí	Nothofagus obliqua	690	1314	4680
Pino Insigne	Pinus radiata	470	1654	5036
Alerce	Fitzroya cupressoides	460	1407	3712

QUINTANAR 1998 “Algunas características anatómicas y acústicas de tres especies de angiospermas de Huayacocotla México” determino los siguientes resultados.

Especies	Velocidad de ultrasonido m/s		Densidad en Kg/cm ³
	Compresión paralela	Compresión perpendicular	
<i>Acer campestre</i>	4695	2148	623
<i>Acer pseudoplatanus</i>	4350	2590	700
<i>Aesculus hippocastanum</i>	4782	2311	510
<i>Caesalpinia brasiliensis</i>	4935	3435	932
<i>Fagus sylvatica</i>	5074	2200	674
<i>Liriodendron tulipifera</i>	5625	2047	574
<i>Quercus petraea</i>	5071	2148	600
<i>Populus spp</i>	5074	2178	326
<i>Platanus acerifolia</i>	5060	2190	620

KOLLMAN 1959 Presenta en su libro El tema de “cualidades acústicas de la madera” los cálculos fueron realizados con fórmulas y los datos que muestra son los siguientes:

holzart	Mittlere Rohwichte g/cm ³	Mittlere Dichte kg s ² /cm ⁴ *10 ⁶	elastizitätsmodul		mittlere Schallgeschwindigkeit		II faser/I faser
			II faser kg/cm ²	I faser kg/cm ²	II faser m/s	I faser m/s	
Fichte (Abeto)	0,47	0,479	110000	5500	4790	1072	4,47
Kiefer (Pino)	0,52	0,53	120000	4600	4760	932	5,11
Tanne	0,45	0,459	110000	4900	4890	1033	4,73
Buche (Haya)	0,63	0,642	94000	9150	3826	1194	3,21

Comparando con resultados de la investigación:

ESPECIE: Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>)		ESPECIE: nogal criollo (<i>Juglans australis-griseb</i>)	
AJUSTADO AL 12%		AJUSTADO AL 12%	
V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II	V _{m/s} en comp. I	V _{m/s} en comp. II
487,12	2443,48	557,52	2923,79

Si se compara los datos de la investigación con los demás trabajo realizados por los diferentes autores, se puede notar que la velocidad del sonido en las especies estudiadas Aliso (*Alnus jorullensis*) y nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) poseen valores de 487.12 en compresión perpendicular (como mínimo) y 2923.790 m/s en compresión paralela (valor máximo) mientras que los demás trabajos sacaron 1407 m/s en compresión perpendicular y 5625 m/s en compresión paralela, sin embargo hay que tomar en cuenta que la mayoría de las especies estudiadas en los anteriores trabajos son coníferas.

Por esto **PETER NIEMZ 1994** menciona que: existen muy pocos trabajos publicados que traten la velocidad del sonido en la madera. La mayoría de ellos se refieren a especies europeas. Es que así que para una gran cantidad de especies especialmente en el caso de Latino América no existen antecedentes al respecto.

6.- Conclusiones y Recomendaciones.

6.1.- Conclusiones

1. Terminado los cálculos de la velocidad del sonido en sus tres estados: verde, seco al aire y ajustado al 12% de contenido de humedad se determinó que la velocidad del sonido en la madera de Aliso (*Alnus jorullensis*) son las siguientes:
 - En estado verde con una densidad de 1.124 gr/cm^3 posee una velocidad de 193.94 mts/sg. en dirección perpendicular a la fibra. Y con 1001.98 m/s con dirección paralela a la fibra.
 - En estado seco al aire, con una densidad de 0.530 gr/cm^3 tiene una velocidad de 444.46 m/s con dirección perpendicular a la fibra y 2205.19 m/s con dirección paralela a la fibra.
 - Ajustado al 12% con una densidad de 0.440 gr/cm^3 adquiere una velocidad del sonido de 487.12 m/s perpendicular a la fibra y 2443.48 m/s paralelo a la fibra.

2. El nogal criollo (*Jugals australis-griseb*) en sus tres etapas se determinó las siguientes velocidades:
 - En estado verde con una densidad de 1.019 gr/cm^3 posee una velocidad de 313.26 m/s con dirección perpendicular a la fibra y con 1607.11 m/g paralelo a la fibra.
 - En estado seco al aire con una densidad de 0.621 gr/cm^3 adquiere una velocidad de 507.02 m/s respecto a la dirección perpendicular a la fibra y 2668.44 m/s con dirección paralela a la fibra.
 - Ajustado al 12% y con una densidad de 0.441 gr/cm^3 se determina que la velocidad del sonido perpendicular a la fibra es 557.52 m/s y paralelo a la fibra tiene 2923.79 m/s.

3. Los datos obtenidos demuestran que la especie aliso posee mejores propiedades de transmisión acústica que el nogal (*Juglans australis-griseb*) y por consecuencia se recomienda utilizar esta madera en la fabricación de instrumentos musicales, mientras que la especie del nogal (*Alnus jorullensis*) criollo demuestran que sus propiedades son menores y por lo tanto podría ser usada como revestimiento para aislar el sonido en edificios o habitaciones. Se deja en consideración de los artesanos o manufacturas el uso de cualquier de las dos especies para dichos trabajos.
4. Los resultados de laboratorio no son exactos, pero se demuestra de que la especie nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) posee una velocidad mayor que la especie de Aliso (*Alnus jorullensis*) tal y como los resultados de la fase de gabinete lo demuestran y dan créditos a dichos valores.
5. Los gráficos nos muestran que la humedad interfiere en la propagación de la velocidad del sonido, es decir que a mayor humedad menor propagación del sonido tal como se estudió en sus tres estados: verde, seco la aire y ajustado al 12%.
6. La relación existente entre la velocidad del sonido y el módulo elasticidad en las dos especies demuestran una proporcionalidad muy notable es decir que si el módulo de elasticidad es un dato mayor, la velocidad también lo será.
7. Se acepta la hipótesis planteada al comienzo del estudio dado que los resultados tanto de las dos fases demuestran que el nogal criollo (*Juglans australis-griseb*) posee mejores propiedades de transmisión del sonido.

6.2.- Recomendaciones

8. Se recomienda que para este tipo de estudio se pueda conseguir o adquirir equipos con los cuales se pueda determinar todas las propiedades de la madera sin destruir la misma para así darle mejor uso a las maderas después de haberlas estudiado.
9. Es necesario realizar estudios de trabajabilidad de la madera en ambas especies con el fin de dar mayor seguridad en fabricación de instrumentos u otras elaboraciones.
10. Se recomienda tomar en cuenta el contenido de humedad de la madera al momento de realizar el estudio de la velocidad del sonido ya sea matemáticamente o por medios de instrumentos de laboratorios.
11. Gracias a los resultados obtenidos se puede aconsejar el uso de la especie de nogal (*Juglans australis-griseb*) en la fabricación de instrumentos musicales ya que posee buena propagación del sonido, mientras que aliso (*Alnus jorullensis*) tiene menor velocidad de propagación pero puede ser usada tales fines, aunque sería más adecuado utilizarla como revestimiento de vivienda.