



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

Trabajo realizado por:

Cuesta Conde, David

Dirigido:

Lombillo Vozmediano, Ignacio

Sancibrián Herrera, Ramón

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, Julio de 2025

TRABAJO FIN DE MASTER



Agradecimientos

Antes de abordar el contenido de este trabajo, me gustaría agradecer a aquellas personas cuya ayuda ha sido fundamental para que este proyecto pudiera completarse con éxito.

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores Ignacio Lombillo y Ramón Sancibrián, por su constante disposición a ayudarme en la realización de los ensayos cuando me operaron, así como por sus valiosas orientaciones técnicas y su implicación en todas las fases del trabajo, que han resultado fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

De la misma forma, quiero mostrar mi gratitud a Álvaro Gaute y David Ángel Matínez, por su ayuda en el desarrollo de los ensayos en laboratorio, así como por facilitar el uso de sus instalaciones y equipos, además de tratarme siempre con profesionalidad y amabilidad.

También quiero agradecer a mis compañeros de máster, por su apoyo constante y aportaciones, así como los momentos compartidos dentro y fuera de la escuela, que ayudaron a hacer este proceso más llevadero.

Desde el punto de vista personal, quiero agradecer profundamente a mi familia por su apoyo constante, por su confianza inquebrantable y por ser siempre un refugio seguro en los momentos de mayor presión. Su presencia, tanto en los logros como en las dificultades, ha sido fundamental para mantener la motivación a lo largo de todo este proceso.

Mención especial merecen mis abuelos, que fallecieron al comienzo de esta etapa académica. Aunque ya no estén físicamente, su recuerdo, sus enseñanzas y el cariño que me transmitieron siguen siendo una fuente de fuerza e inspiración. Este trabajo, de algún modo, también les pertenece.

Adicionalmente quiero agradecer a mis amigos por estar siempre ahí, incluso cuando no entendían del todo en qué consistía este trabajo. Por su apoyo incondicional, y las palabras de ánimo en los momentos de mayor estrés y, sobre todo, su capacidad para hacerme desconectar cuando más lo necesitaba, han sido clave para mantener el equilibrio durante este proceso.

Y finalmente, a todas las personas que han contribuido de forma directa o indirecta a que este trabajo se lleve a cabo, mi más sincero agradecimiento.



Resumen

TÍTULO TFM: Diagnóstico no-ligeramente destructivo de estructuras glulam mediante propagación de ondas mecánicas y arrancamiento de tornillos

AUTOR: David Cuesta Conde

DIRECTORES: Ignacio Lombillo Vozmediano y Ramón Sancibrián Herrera

TITULACIÓN: Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

PALABRAS CLAVE: Madera laminada encolada; Glulam; Ensayos No-Ligeramente Destructivos; Xilohigrómetro; Ultrasonidos; Arrancador de tornillos; Ensayos de laboratorio; Unterweiser 2010; UNE EN 384 2016 A1

RESUMEN:

La madera laminada encolada (Glulam) es un material estructural de ingeniería que combina la tradición del uso de la madera con los avances tecnológicos actuales. Está formada por láminas de madera aserrada unidas mediante adhesivos estructurales resistentes, lo que le confiere una elevada capacidad portante y una notable estabilidad dimensional. Aunque su uso se remonta a finales del siglo XIX, con sus primeras aplicaciones documentadas en Berlín hacia el año 1890, no ha sido hasta las últimas décadas cuando ha experimentado una expansión significativa en el ámbito de la construcción, posicionándose como una alternativa sostenible y eficiente frente a materiales convencionales como el acero o el hormigón.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal analizar la viabilidad y precisión de diversas técnicas de evaluación no-ligeramente destructiva aplicadas a elementos estructurales de Glulam. Estas técnicas permiten caracterizar propiedades físicas y mecánicas relevantes del material sin comprometer su integridad, facilitando su implementación en inspecciones in situ. Para ello, se ha diseñado y ejecutado una campaña experimental en laboratorio, basada en tres tipos de ensayos complementarios: la xilohigrometría, que permite medir el contenido de humedad en la madera; la propagación de ondas ultrasónicas, útil para evaluar la estructura interna del material y detectar posibles irregularidades; y el ensayo de resistencia al arrancamiento de tornillos, que ofrece una estimación indirecta del peso específico y la cohesión interna del material.

En total, se han ensayado 48 probetas de madera laminada, sobre las que se han recogido datos de humedad, velocidad de propagación y fuerza de extracción. Estos datos han sido corregidos y normalizados conforme a la normativa vigente, permitiendo su análisis comparativo. A la par que se han establecido correlaciones estadísticas entre los distintos parámetros evaluados, con el objetivo de identificar relaciones funcionales que puedan facilitar la caracterización estructural del Glulam de forma más eficiente, contribuyendo este enfoque no solo a una mejor comprensión del comportamiento del material, sino que también asienta las bases para su aplicación práctica en elementos en servicio.



Abstract

TFM TITLE: Non-minor destructive diagnosis of glulam structures using mechanical wave propagation and screw withdrawal resistance meter

AUTHOR: David Cuesta Conde

DIRECTORS: Ignacio Lombillo Vozmediano y Ramón Sancibrián Herrera

MAJOR: Master's Degree in Civil Engineering

KEY WORDS: Glued laminated timber; Glulam; Non-Minor Destructive; Xilohigrometry; Ultrasounds; Screw Withdrawal; Laboratory tests; Unterweiser 2010; UNE EN 384 2016 A1

ABSTRACT:

Glued laminated timber (Glulam) is an engineered structural material that combines the tradition of wood usage with modern technological advancements. It is composed of sawn timber lamellae bonded together with high-performance structural adhesives, which provide it with a high load-bearing capacity and remarkable dimensional stability. Although its use dates to the late 19th century, with the first documented applications in Berlin around 1890, it has only been in recent decades that Glulam has experienced significant growth in the construction sector, establishing itself as a sustainable and efficient alternative to conventional materials such as steel and concrete.

In this context, the present master's Thesis aims to analyze the feasibility and accuracy of various slightly-destructive evaluation techniques applied to structural Glulam elements. These techniques allow for the characterization of relevant physical and mechanical properties of the material without compromising its integrity, thus enabling their use in on-site inspections. To this end, a laboratory-based experimental campaign was designed and carried out, involving three complementary types of tests: wood moisture measurement (xylohygrometry); ultrasonic wave propagation, useful for assessing the internal structure of the material and detecting possible defects; and screw withdrawal resistance testing, which provides an indirect estimate of the wood's specific weight and internal cohesion.

A total of 48 Glulam specimens were tested, collecting data on moisture content, wave propagation speed, and extraction force. These data were corrected and normalized according to current standards, allowing for a reliable comparative analysis. Additionally, statistical correlations between the different measured parameters were established in order to identify functional relationships that could facilitate the structural characterization of Glulam more efficiently. This approach not only contributes to a better understanding of the material's behavior but also lays the groundwork for its practical application in structural elements in service.



ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1. Objetivos	6
1.2. Metodología.....	7
1.3. Organización del documento	7
1.4. Alcance del Trabajo Fin de Máster.....	8
1.4.1. Realización de los ensayos y obtención de los resultados.....	9
1.4.2. Análisis de los resultados, aplicación de la normativa y obtención de las correlaciones	10
2. Estado del arte	11
2.1. Madera	11
2.1.1. Historia y uso de la madera	11
2.1.2. Composición de la madera	12
2.1.3. Características de la Madera	13
2.1.4. Agresión biológica	14
2.1.5. Clases resistentes de madera aserrada.....	15
2.1.6. Relación entre la madera y la humedad.....	16
2.2. Madera Glulam	17
2.2.1. Historia y evolución del uso de la madera laminada (Glulam).....	18
2.2.2. Clases resistentes de madera laminada	19
2.2.3. Propiedades mecánicas y físicas del Glulam	20
2.2.4. Comportamiento ante acciones externas.....	23
2.2.5. Diseño estructural de vigas Glulam	25
2.2.6. Durabilidad y mantenimiento del Glulam.....	26
2.2.7. Sostenibilidad y ventajas medioambientales.....	29
2.2.8. Casos de estudio y aplicaciones actuales.....	30
2.2.9. Avances recientes en la investigación y tendencias futuras.....	31
2.3. Ensayos de diagnóstico in situ no-ligeramente destructivos aplicados a madera	32
2.4. Normalización de los resultados a una humedad de referencia	34
3. Materiales y Métodos.....	36
3.1. Probetas empleadas en la campaña experimental.....	36
3.2. Equipamiento y metodologías empleadas en la investigación	40
3.2.1. Xilohigrómetro de resistencia eléctrica.....	40
3.2.2. Xilohigrómetro capacitivo.....	42
3.2.3. Microsecond Timer	43



3.2.4.	Ultrasonic Timer.....	46
3.2.5.	Screw Withdrawal Resistance Meter	48
4.	Análisis de resultados	52
4.1.	Corrección de las medidas considerando la humedad	52
4.2.	Obtención de las correlaciones y comprobación del error presente en estas....	57
4.3.	Obtención de las correlaciones y resultados.....	62
4.3.1.	Relación Xilohigrómetro de resistencia eléctrica / Xilohigrómetro capacitivo	62
4.3.2.	Relación entre velocidades ultrasónicas indirectas (velocidad longitudinal o // fibra) y relación entre velocidades ultrasónicas directas (velocidad transversal o ⊥ fibra), registradas con el Microsecond timer y el Ultrasonic timer	66
4.3.3.	Relación entre velocidades ultrasónicas indirectas (velocidad longitudinal o // fibra) y velocidades ultrasónicas directas (velocidad transversal o ⊥ fibra), empleando el Microsecond timer	69
4.3.4.	Relación peso específico / velocidad directa (velocidad transversal o ⊥ fibra)	72
4.3.5.	Relación peso específico / velocidad indirecta (velocidad longitudinal o // fibra)	74
4.3.6.	Relación entre la Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico	77
4.3.7.	Relación de Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (velocidad transversal o ⊥ fibra).....	80
5.	Conclusiones	85
5.1.	Sintetización de los resultados de los ensayos	85
5.2.	Limitaciones y reflexiones	88
5.3.	Trabajos futuros.....	88
5.4.	Relación entre el uso de madera laminada, su diagnóstico no-ligeramente destructivo, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	89
	Bibliografía.....	91
	Anexo N° 1: Fichas de resultados	93



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Metodología seguida en el desarrollo del presente Trabajo Fin de Master.	7
Ilustración 2: Ensayo de medida de la humedad por xilohigrómetro de resistencia eléctrica.	9
Ilustración 3 Construcciones de la antigüedad: Casas anglosajonas (Edad Media) y Pagoda Yingxian (siglo XVIII).	11
Ilustración 4 Evolución de los materiales de construcción con el paso del tiempo	12
Ilustración 5: Estructura interna del tronco de un árbol	13
Ilustración 6: Foto de las vigas Glulam para los ensayos	18
Ilustración 7: Primeros usos del Glulam en el New Peshtigo School Gym en EE.UU.	18
Ilustración 8: Vigas de Glulam y de hormigón	21
Ilustración 9: Degradación sufrida por la acción del agua y la humedad	23
Ilustración 10: Sobrecarga por nieve de una estructura de madera encolada	23
Ilustración 11: Proceso de carbonización del Glulam	24
Ilustración 12: Afección por insecto xilófagos (termitas)	27
Ilustración 13: Afección por insecto xilófagos (escarabajos).	27
Ilustración 14: Sostenibilidad y evolución del Glulam desde su tala hasta su uso en construcción	29
Ilustración 15: Mjøstårnet (Noruega)	31
Ilustración 16: Puente de las Termas de Söll (Austria)	31
Ilustración 17: Centro Acuático de Londres	31
Ilustración 18: Bow River Pedestrian Bridge	31
Ilustración 19: Rascacielos de madera de bajas emisiones	32
Ilustración 20: Dimensiones de las vigas	36
Ilustración 21: Xilohigrómetro de resistencia eléctrica (Hydromette RTU 600)	41
Ilustración 22: Xilohigrómetro de resistencia eléctrica - Metodología del ensayo	42
Ilustración 23: Xilohigrómetro capacitivo (MC-380XCA)	42
Ilustración 24: Ejemplo del uso del Xilohigrómetro capacitivo (MC-380XCA)	43
Ilustración 25: Microsecond Timer	44
Ilustración 26: Microsecond Timer - Metodología del ensayo directo	45
Ilustración 27: Microsecond Timer - Metodología del ensayo indirecto	45
Ilustración 28: Ultrasonic Timer	46
Ilustración 29: Ultrasonic Timer - Metodología del ensayo directo	47
Ilustración 30: Ultrasonic Timer - Metodología del ensayo indirecto	47
Ilustración 31: Screw Withdrawal Resistance Meter	48
Ilustración 32: Ensayo de resistencia por arrancamiento de tornillos - Metodología del ensayo	49
Ilustración 33: Tabla de resultados de la viga D066	51
Ilustración 34: Velocidad longitudinal obtenida por el método indirecto sin corregir para la cara inferior	53
Ilustración 35: Fórmulas para la corrección por humedad en el procedimiento Unterweiser	54
Ilustración 36: Fórmulas para la corrección por humedad en la normativa UNE EN 384 2016 A1	54
Ilustración 37: Ejemplo de la corrección de los módulos de elasticidad mediante UNE EN 384 2016 A1	55
Ilustración 38: Resultados corregidos de la viga D066	56
Ilustración 39: Ejemplo de relaciones entre resultados (viga D066)	58



Ilustración 40: Imágenes del Excel generado para la estimación de las relaciones entre parámetros.....	61
Ilustración 41: Relación “Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica” en vigas no sumergidas.....	62
Ilustración 42: Relación “Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica” en vigas no sumergidas con estimación potencial	63
Ilustración 43: Relación “Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica” para vigas sumergidas y no sumergidas.....	65
Ilustración 44: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad indirecta Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas no sumergidas.....	66
Ilustración 45: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad directa Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas no sumergidas.....	67
Ilustración 46: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad indirecta Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas sumergidas y no sumergidas.....	68
Ilustración 47: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad directa Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas sumergidas y no sumergidas.....	68
Ilustración 48 Relación entre las velocidades directa / indirecta por Microsecond Timer para vigas no sumergidas.....	69
Ilustración 49 Relación entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas.....	71
Ilustración 50 Relación “Velocidad directa (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas no sumergidas.....	72
Ilustración 51 Relación “Velocidad directa (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas.....	74
Ilustración 52 Relación “Velocidad indirecta (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas no sumergidas.....	75
Ilustración 53 Relación “Velocidad indirecta (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas	76
Ilustración 54 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para vigas no sumergidas.....	77
Ilustración 55 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para los distintos tipos de vigas no sumergidas.....	79
Ilustración 56 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas.....	79
Ilustración 57 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para vigas no sumergidas.....	81
Ilustración 58 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para los distintos tipos de vigas no sumergidas.....	82
Ilustración 59 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para vigas sumergidas y no sumergidas.....	83



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplos de clases resistentes de madera aserrada	16
Tabla 2: Ejemplos de clases resistentes de Glulam	20
Tabla 3: Ensayos de diagnóstico in situ no-ligeramente destructivos aplicados a madera	33
Tabla 4: Dimensiones y propiedades de las vigas ensayadas	37
Tabla 5: Ejemplo de la corrección de la velocidad indirecta	54
Tabla 6: Tabla de las diferentes relaciones a estudiar	57
Tabla 7: Humedad (%) de la madera de pino silvestre sin tratamiento, no sumergida	63
Tabla 8: Humedad (%) de la madera de pino silvestre tanalizado, no sumergida	64
Tabla 9: Humedad (%) de la madera de abeto sin tratamiento, no sumergida	64
Tabla 10: Comparativa entre la humedad (%) de la madera sumergida y la no sumergida	65
Tabla 11: Velocidades promedio de propagación corregidas para las especies de madera estudiadas	67
Tabla 12: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido	70
Tabla 13: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para pino silvestre tanalizado, no sumergido	70
Tabla 14: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para abeto sin tratamiento, no sumergido	70
Tabla 15: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas	71
Tabla 16: $V_{directa} / \text{Peso específico}$ para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido	72
Tabla 17: $V_{directa} / \text{Peso específico}$ para pino silvestre tanalizado, no sumergido	73
Tabla 18: $V_{directa} / \text{Peso específico}$ para abeto sin tratamiento, no sumergido	73
Tabla 19: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas	74
Tabla 20: $V_{indirecta} / \text{Peso específico}$ para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido	75
Tabla 21: $V_{indirecta} / \text{Peso específico}$ para pino silvestre tanalizado, no sumergido	75
Tabla 22: $V_{indirecta} / \text{Peso específico}$ para abeto sin tratamiento, no sumergido	76
Tabla 23: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas	77
Tabla 24: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido	78
Tabla 25: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para pino silvestre tanalizado, no sumergido	78
Tabla 26: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para abeto sin tratamiento, no sumergido	78
Tabla 27: Comparativa entre la Fuerza de arrancamiento de tornillos y el Peso específico para vigas sumergidas y no sumergidas	80
Tabla 28: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido	81
Tabla 29: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para pino silvestre tanalizado, no sumergido	81
Tabla 30: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para abeto sin tratamiento, no sumergido	82
Tabla 31: Comparativa entre las fuerzas de arrancamiento de tornillo y velocidades transversales-directas (Microsecond Timer) para vigas sumergidas y no sumergidas	83



1. Introducción

La madera ha sido empleada por el ser humano desde la antigüedad debido a su gran versatilidad, resistencia y disponibilidad, pudiendo no solo emplearse como combustible, sino que también como elemento estructural.

Su evolución como material de construcción ha permitido desarrollar nuevas tecnologías que mejoran sus propiedades, siendo la madera laminada encolada (en terminología anglosajona “*glue laminated timber*” (Glulam), una de las innovaciones más destacadas, que, mediante una combinación de resistencia mecánica, estabilidad dimensional y sostenibilidad, le convierte en una alternativa a considerar frente a otros materiales tradicionales como el acero y el hormigón.

Con el fin de garantizar la seguridad y fiabilidad de las estructuras de Glulam, es fundamental llevar a cabo una caracterización de sus propiedades físicas y mecánicas, dado que influyen directamente en su comportamiento y durabilidad, siendo por ello la evaluación no-ligeramente destructiva in situ de estos parámetros el tema de este Trabajo Fin de Máster. Así, el mismo lleva por título “**Diagnóstico No-Ligeramente Destructivo de estructuras de madera laminada mediante propagación de ondas mecánicas y arrancamiento de tornillos**”.

1.1. Objetivos

Su **objetivo general** se centra en la determinación de algunas de las características más importantes de las estructuras de madera laminada, tales como el peso específico, el módulo de elasticidad, la velocidad de la propagación de las ondas y el peso específico, con el fin de analizar posibles correlaciones entre las propiedades obtenidas por diferentes métodos de ensayo, y determinar la posibilidad de predecir el comportamiento estructural del Glulam sin necesidad de aplicar todas las pruebas en cada muestra.

Además del referido objetivo general cabe referir otros **objetivos específicos**, a saber:

- Familiarizase con el material madera aserrada y con el derivado industrial madera laminada, Glulam.
- Familiarizase con el empleo de equipamiento no-ligeramente destructivo empleado para el estudio de estructuras de madera in situ. Concretamente, medidores de humedad en madera (xilohigrómetros), sistemas de medida de la velocidad de propagación de ondas mecánicas en la madera (equipos ultrasónicos), y técnicas para estimar el peso específico de la madera de forma indirecta mediante la medida de la fuerza de arrancamiento de tornillos.
- Familiarizarse con técnicas de tratamiento de datos con la finalidad de obtener correlaciones entre propiedades.
- Interpretar individual y colectivamente los datos obtenidos mediante ensayos no destructivos (xilohigrometría, propagación ultrasónica y arrancamiento de tornillos).
- Obtener conclusiones respecto a los datos obtenidos en los ensayos y su coherencia.

A fin de cuentas, lo que se pretende es que mediante el desarrollo de varios ensayos no-ligeramente destructivos pueda lograrse determinar, en la medida de lo posible, las características e integridad del elemento ensayado.

Además, aunque la investigación se ha realizado en laboratorio sobre elementos estructurales sanos, el desarrollo de los ensayos empleados y el empleo de las correlaciones propuestas podría facilitar el análisis in situ del estado de conservación de elementos estructurales Glulam en condiciones de servicio, para averiguar si podrían estar afectados por **agresiones bióticas (hongos e insectos xilófagos) o abióticas**.

1.2. Metodología

La **metodología** seguida en el desarrollo del presente Trabajo Fin de Master se ilustra en la Ilustración 1. Si bien, lo concerniente al *modus operandi* seguido para la ejecución de los ensayos, describiendo los procedimientos de medición y la forma en que se han obtenido y analizado los resultados, se explicará en mayor detalle en el Apartado 3.2.

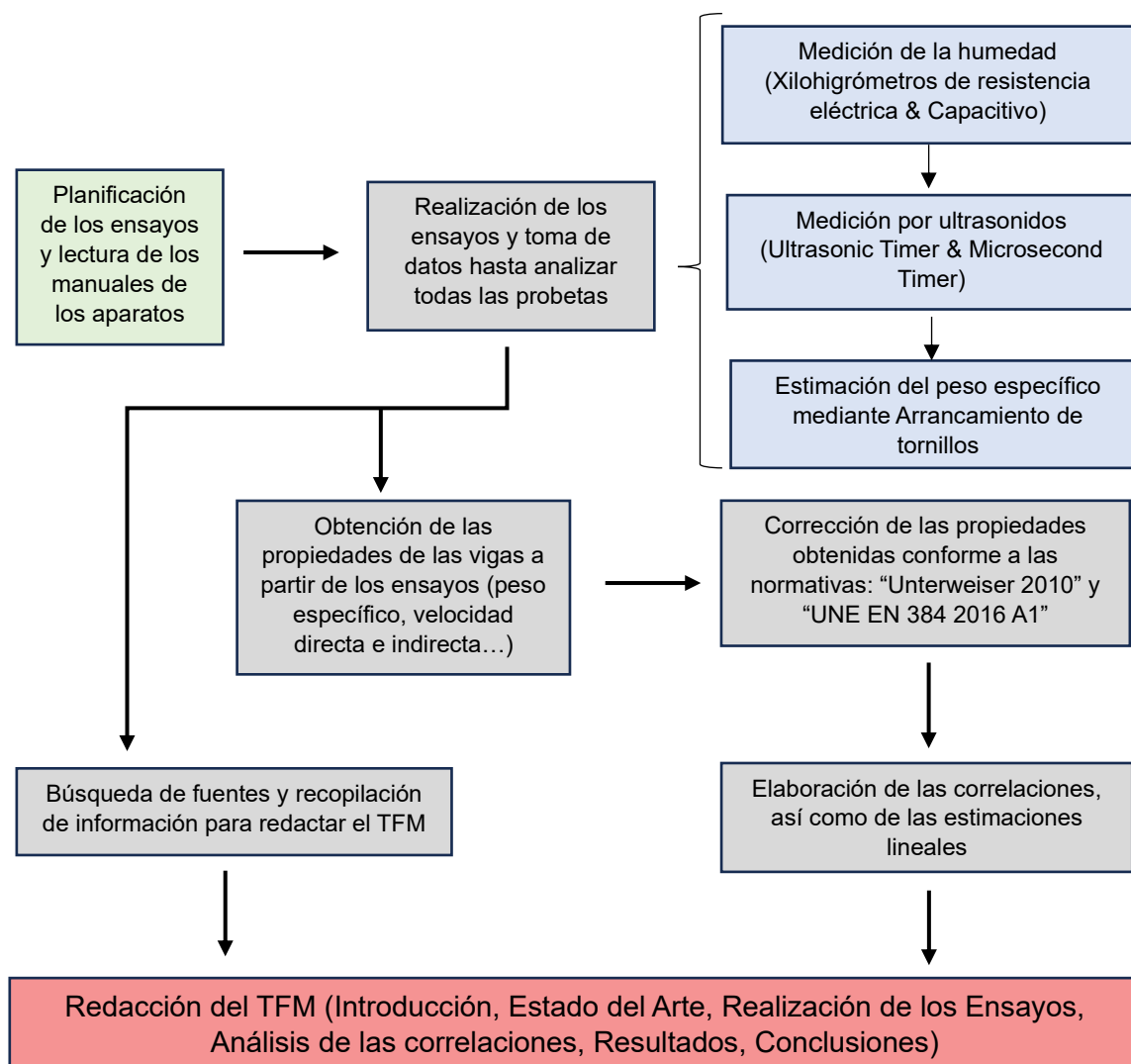


Ilustración 1: Metodología seguida en el desarrollo del presente Trabajo Fin de Master.

1.3. Organización del documento

Teniendo en mente todo lo referido, **el documento que organizado de la forma siguiente:**

1. Introducción: se refiere el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo, la metodología seguida y la organización del documento. Igualmente, se incluye una breve



descripción del alcance del trabajo y su enfoque, refiriendo cómo se realizarán los ensayos, la obtención de los resultados y su análisis.

2. Estado del arte: en este apartado se describirán las cualidades y características de los materiales ensayados, así como el funcionamiento de los instrumentos empleados, y los correspondientes procedimientos que corrigen la humedad y normalizan los resultados.

3. Materiales y Métodos: este apartado está dedicado a la explicación de la metodología seguida en la realización de los ensayos, así como la descripción de todos los factores que influyen en esta.

4. Análisis de resultados: exposición de las diferentes relaciones que existen entre los resultados de los ensayos, previamente corregidos por los procedimientos correspondientes.

5. Conclusiones: recopilación final de todas las conclusiones obtenidas en los apartados previos.

Bibliografía: listado de la totalidad de las referencias bibliográficas que se han empleado para la redacción del documento. Estas se han citado conforme a la normativa APA 7.

Anexo Nº 1 - Fichas de resultados: consiste en el compendio de los resultados obtenidos para cada una de las probetas ensayadas en el laboratorio, conforme a lo estipulado en los correspondientes manuales de los instrumentos y las normativas empleadas para la corrección y estandarización de los resultados.

1.4. Alcance del Trabajo Fin de Máster

Como ya se ha referido, la madera laminada encolada (Glulam) es una innovación tecnológica de la madera aserrada, cuyo empleo ha crecido exponencialmente en los últimos años. Además, por contribuir notablemente a reducir la huella de carbono, el Glulam se establece como una alternativa sostenible respecto a otros materiales (por ejemplo, acero y hormigón). Por ello, sus expectativas de crecimiento siguen siendo importantes. Si a ello se suma la necesidad de contar con metodologías contrastadas para garantizar la seguridad y fiabilidad de este material, es fundamental llevar a cabo una caracterización de sus propiedades físicas y mecánicas (peso específico, la humedad, resistencia estructural, etc.), dado que estas influyen directamente en su comportamiento estructural y durabilidad.

Es por ello que la evaluación de estos parámetros es el principal tema de este trabajo. Para ello, se emplearon ensayos no o ligeramente destructivos, los cuales permiten obtener datos importantes sin comprometer la integridad del material como conllevaría la extracción de muestras o testigos.

Así, se han empleado diversas técnicas de diagnóstico combinando diferentes instrumentos de medición para encontrar correlaciones que permitan relacionar los distintos resultados. Con esta idea en mente se han empleado tres tipos de ensayos por medio de cinco instrumentos:

- **Medición de la humedad en la madera** (xilohigrómetros). Para ello, se han empleado dos equipos:
 - Xilohigrómetro de resistencia eléctrica Hydromette RTU 600.

- Xilohigrómetro capacitivo MC-380XCA.
- **Cuantificación de la velocidad de propagación de ondas mecánicas** en la madera por medio del registro del tiempo de vuelo de una señal (tiempo que tarda una onda de ir de un palpador emisor a uno receptor). Derivado de ello, se puede hacer idea de la posible afección de la estructura interna del material por la presencia de defectos (como fendas, nudos, etc.) o por la degradación del material. Para ello, se han empleado dos equipos ultrasónicos:
 - Microsecond Timer.
 - Ultrasonic Timer.
- **Estimación del peso específico de la madera** de forma indirecta mediante la medida de la fuerza de arrancamiento de tornillos. Igualmente, este método permite hacerse una idea de la cohesión del material y su potencial capacidad para soportar cargas mecánicas, siendo una herramienta presumiblemente útil en la evaluación de la estabilidad estructural. En este caso se ha empleado el siguiente equipo:
 - Screw Withdrawal Resistance Meter.

1.4.1. Realización de los ensayos y obtención de los resultados

Los dos métodos para la determinación de la humedad precisan de la preparación del aparato variando los parámetros de estos en función del material y de la temperatura ambiente y esperando a que la medida resultado se estabilice. Para una mayor fiabilidad y mejor caracterización de la probeta se realizarán tres veces por cara, en sus extremos y en el centro. A continuación, se muestra la Ilustración 2 a modo de ejemplo de la realización de uno de estos ensayos:



Ilustración 2: Ensayo de medida de la humedad por xilohigrómetro de resistencia eléctrica.

Por su parte, los ensayos de propagación de ondas se pueden emplear para medir con precisión la velocidad de propagación de la onda tanto en sentido longitudinal como



transversal en el seno del material, permitiendo obtener, una vez conocido el peso específico, sus respectivos módulos de elasticidad. En el caso de las mediciones de la velocidad directa, se realizarán los ensayos en los mismos puntos que se realizaron previamente para la toma de la humedad, en caso de las indirectas se tratará de realizar en el tramo central de la viga y salvando, en la medida de lo posible, los nudos existentes para que su influencia no afecte a los resultados.

Finalmente, el peso específico de las probetas será evaluada mediante el *Screw Withdrawal Resistance Meter*, midiendo la fuerza necesaria para extraer un tornillo normalizado que previamente se ha atornillado hasta una muesca existente en su fuste. Este ensayo permite estimar su comportamiento frente a cargas de tracción y cizallamiento.

1.4.2. Análisis de los resultados, aplicación de la normativa y obtención de las correlaciones

Para la consecución de los resultados se procederá al análisis y corrección de las mediciones de peso específico, velocidades de propagación y módulos de elasticidad, conforme a lo dispuesto en la “UNE EN 384 2016 A1” y la “Unterweiser 2010”, las dos normativas que se van a emplear y comparar.

Mediante estas se normalizan los resultados considerando una humedad de referencia del 12%, realizándose la corrección de todos aquellos parámetros influenciados por esta, entre otros, el peso específico o la velocidad de propagación. De esta forma se permite una comparación más fiel de las medidas registradas.

Una vez normalizados los resultados, estos se compararán tanto desde el punto de vista de su proporción entre ambos valores, considerándose a sí mismo la desviación típica de las muestras para observar el grado de dispersión y fiabilidad de los datos.

Finalmente, de forma complementaria, por regresión lineal se obtendrán la ecuación de las distintas correlaciones junto con su R^2 , a fin de hallar alguna fórmula que interrelacione los distintos parámetros involucrados.

2. Estado del arte

2.1. Madera

2.1.1. Historia y uso de la madera

El uso de la madera por parte del hombre se remonta a miles de años atrás cuando se empleaba este tanto en la construcción como combustible para cocinar y calentarse, potenciándose su empleo con el paso del tiempo tanto para edificios, puentes y monumentos a partir de la Edad Antigua, y continuando su uso hasta la actualidad.

Este material se trata de uno de los más empleados en la antigüedad junto con la piedra y el barro, presentando, a diferencia de los anteriores, unas características mecánicas equilibradas que le permiten resistir grandes esfuerzos. Dicho aspecto, junto al hecho de tratarse de un recurso renovable presente en la mayor parte de la tierra, facilita su uso en la construcción, bien como elemento principal bien como elemento complementario a otros materiales.

El empleo de la madera se extendió en todo el mundo, dando lugar a construcciones muy variadas, desde las que utilizan técnicas muy rudimentarias cuyo único fin es satisfacer la necesidad de cobijo, hasta grandes construcciones como las pagodas las cuales por su geometría son además increíblemente resistente a los terremotos, ver Ilustración 3. (LaHistoria, s. f.) (CuriosaWeb, s. f.)(Forestal Maderero, s. f.)



Ilustración 3 Construcciones de la antigüedad: Casas anglosajonas (Edad Media) y Pagoda Yingxian (siglo XVIII)

En la Ilustración 4 se ilustra la evolución de los materiales que el ser humano ha ido utilizando a lo largo de la historia, comenzando con la madera, piedra y ladrillo en el año 10.000 a.C. y derivando, posteriormente, en otros más más avanzados, sobre todo a partir del siglo XIX. No obstante, igualmente, puede apreciarse que en las últimas décadas se ha ido reduciendo paulatinamente el uso desmedido de materiales con una notable huella de carbono en favor de otros materiales. Existiendo en la actualidad diversas propuestas para promover nuevamente el uso de la madera debido tanto a sus buenas propiedades mecánicas como a su capacidad de absorber CO₂. (University of Washington, 2006)

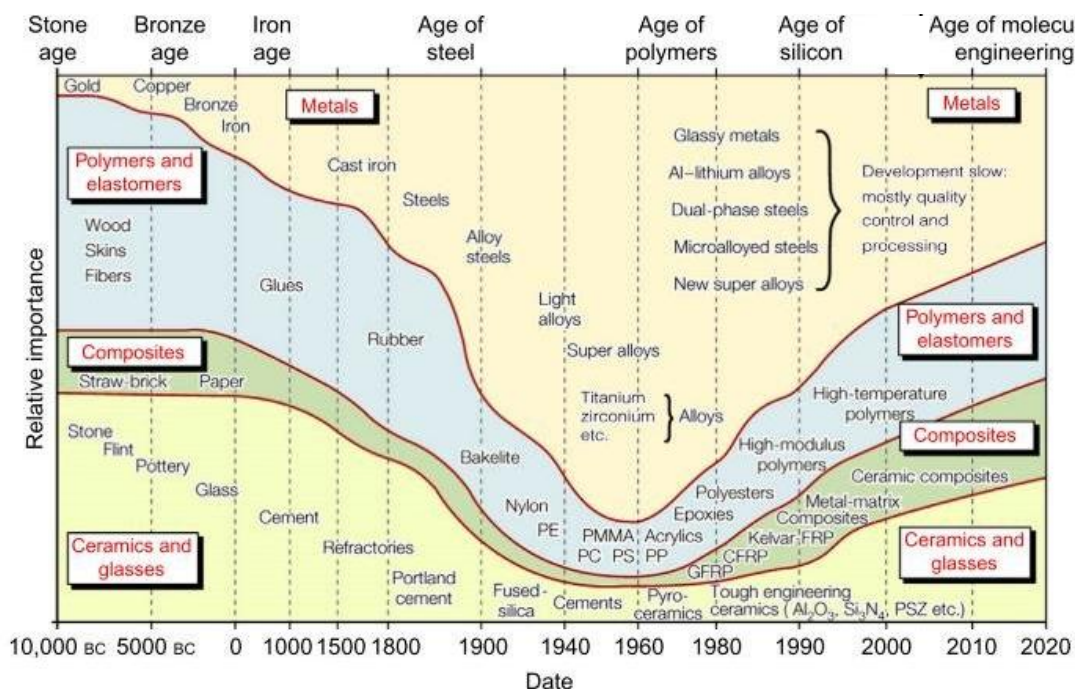


Ilustración 4 Evolución de los materiales de construcción con el paso del tiempo

2.1.2. Composición de la madera

La madera se encuentra formada por un 40-50% de celulosa (siendo esta un polisacárido estructural que forma las paredes celulares de las plantas y proporciona resistencia y rigidez), un 20-30% de hemicelulosa (que se trata de un grupo de polisacáridos más heterogéneo que la celulosa que contribuye a la flexibilidad de la madera) y un 20-30% de lignina que es una molécula compleja que actúa como ligante entre las fibras de celulosa y hemicelulosa, proporcionando rigidez y resistencia a la descomposición. También aparecen un 1-5% de extractivos (que incluyen resinas, aceites, taninos y otros compuestos los cuales pueden influir tanto en el color, el olor y su resistencia a insectos y hongos).

Hablando desde el punto de vista estructural, las células de los árboles suelen ser alargadas y extenderse a lo largo del tronco y las ramas, existiendo notables diferencias en estas en función del tipo de madera que se trate. Por ejemplo, en el caso de la madera de conífera las células presentan una estructura simple, fusiforme y hueca, mientras que las maderas de frondosa las células son alargadas y en forma de aguja.

Atendiendo a la estructura interna, Ilustración 5, el tronco de un árbol resulta siempre común entre todas las especies, al igual que cada una de sus partes, con sus funciones y características diferenciadas y complementarias (Menvardelcaribe, s. f.):

- **Corteza:** se trata básicamente de materia muerta de aspecto resquebrajado, que se renueva constantemente. La corteza protege la parte externa del árbol frente al viento y las inclemencias, el frío y el calor, evitando al mismo tiempo un endurecimiento excesivo de la capa inmediata y protegiéndola del ataque de hongos e insectos.
- **Líber:** capa interna de la corteza, la cual se encarga de transmitir los productos alimenticios (savia) a cada una de las partes constitutivas del árbol. Esta capa

se renueva constantemente merced al **cambium**, pues va feneciendo paulatinamente para convertirse en corteza.

- **Cambium:** es la parte productiva del tronco del árbol, la capa de su desarrollo, que mediante división celular se convierte igualmente en el factor de crecimiento, tanto en espesor como en altura. Las células del cambium forman hacia dentro las células de la madera y hacia fuera las del líber. La división celular se logra gracias a las hormonas (*auxinas*) que se fabrican a través de las yemas de las hojas, en cuanto aquellas empiezan a abrirse en primavera. El resultado de este desarrollo se refleja en los anillos anuales de crecimiento.
- La **albura**: es la madera joven que contribuye a la conducción del agua en el árbol. Del cambium se están originando continuamente nuevos anillos de crecimiento que forman las capas internas para convertirse en duramen.
- El **duramen**: se trata del corazón del árbol es el elemento que lo sostiene. En la mayoría de los árboles, esta región acaba siendo un material muerto, pero conserva su estabilidad. Las fibras de celulosa quedan retenidas mediante lignina, una especie de «cola natural», y forman el almacén de soporte del tronco del árbol.
- **Médula**: es una zona reducida justo en el centro del tronco, normalmente de color más oscuro. Su función es la de transportar nutrientes a lo largo del árbol. No tiene aprovechamiento como madera.

En algunas especies, las diferencias de tono entre partes, por ejemplo, entre la albura y el duramen, las que ocupan un mayor porcentaje del tronco, son poco significativas, y su diferenciación puede resultar compleja.

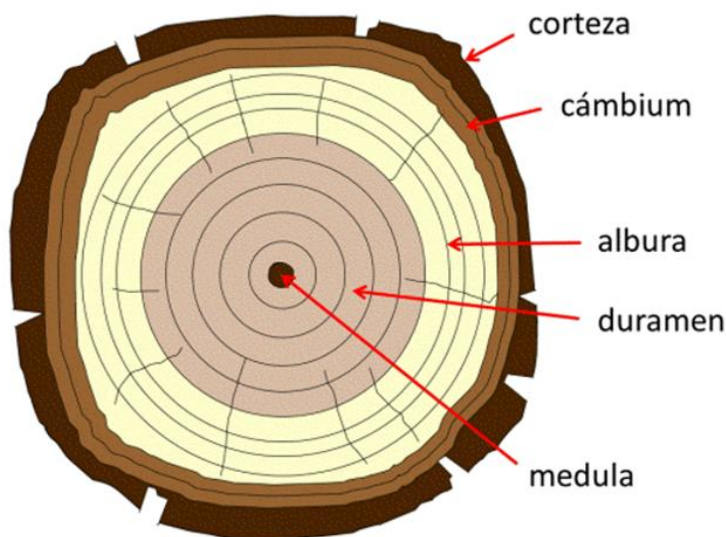


Ilustración 5: Estructura interna del tronco de un árbol

2.1.3. Características de la Madera

Las características de la madera en la ingeniería estructural no solo dependen de su resistencia y durabilidad, sino también en otros aspectos como su sostenibilidad, peso y estética. En este contexto, la madera se trata de un material competitivo frente a otras



alternativas como serían el acero y hormigón, gracias a las siguientes características (Migliani, 2019):

- **Resistencia mecánica:** la madera es conocida por su alta resistencia a la compresión, tracción y flexión, lo que la hace ideal para como material estructural.
- **Durabilidad:** varía según el tipo de madera, algunas son naturalmente resistentes a la descomposición y los insectos debido a sus compuestos químicos, lo que favorece enormemente la posibilidad de ser empleados en medios hostiles, sobre todo si presentan algún tipo de película o capa de protección.
- **Elasticidad y flexibilidad:** la madera puede deformarse bajo carga y regresar a su forma original, lo que es útil en aplicaciones donde se requiere flexibilidad.
- **Peso y densidad:** dependen del contenido de agua y del tipo específico de madera. Las maderas duras tienden a ser más densas que las blandas.
- **Estabilidad dimensional:** se expande y contrae con los cambios en la humedad y la temperatura. Este comportamiento higroscópico debe tenerse en cuenta en su uso y tratamiento.
- **Aislamiento térmico y acústico:** su estructura celular produce que estos elementos presenten buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico.
- **Trabajabilidad:** es fácil de trabajar con herramientas tanto manuales como mecánicas, permitiendo una amplia variedad de acabados y aplicaciones.
- **Estética:** la apariencia de la madera, con sus vetas y colores naturales, es muy apreciada en la construcción, el diseño de interiores y la fabricación de muebles.

La combinación de estas características hace que la madera sea un material extremadamente versátil y valioso en muchas industrias, desde la construcción hasta el diseño y la fabricación de productos.

2.1.4. Agresión biológica

La madera aserrada por su origen orgánico está naturalmente expuesta a procesos de degradación cuando se encuentra en condiciones favorables para el desarrollo de organismos xilófagos. Esta vulnerabilidad es especialmente relevante en contextos constructivos, donde el deterioro biológico puede comprometer de forma significativa la resistencia, estabilidad y vida útil de los elementos estructurales.

La agresión biológica es causada principalmente por hongos, insectos y en menor medida bacterias, cuyas acciones dependen de los factores ambientales, como la humedad, la temperatura y el oxígeno disponible.

Los **hongos de pudrición** son los agentes más destructivos, aunque requieren de niveles de humedad superiores al 20–25% junto con temperaturas moderadas para desarrollarse. Su presencia implica una pérdida considerable de masa y propiedades mecánicas, lo que puede llevar al colapso estructural si no se detecta a tiempo, se clasifican en tres tipos principales:



- De **pudrición parda**: degrada los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa), dejando la lignina intacta y generando una fractura cúbica en la madera.
- De **pudrición blanca**: afecta también la lignina, provocando una textura fibrosa y descolorida.
- De **pudrición blanda**: actúa sobre todo en entornos húmedos o sumergidos, afectando principalmente las capas superficiales de la madera. (Schmidt, 2006)

Otro grupo importante de agentes xilófagos está formado por los **insectos**, cuyas larvas se alimentan de la madera mientras desarrollan su ciclo vital en su interior. Los más comunes son los **anóbidos (carcoma fina)**, los **cerambícidos (carcoma grande)** y las **termitas**, siendo estos últimos especialmente agresivos al atacar tanto madera húmeda como seca, a la vez que son capaces de dañar elementos ocultos y pasar desapercibidos durante largos periodos. Los signos de infestación pueden incluir la aparición de agujeros de salida, serrín fino acumulado y debilitamiento de la sección útil de la madera.

Por su parte, en condiciones extremas de humedad y baja oxigenación, como en maderas enterradas o sumergidas, también pueden intervenir **bacterias**. Su acción suele ser más lenta y tarda mucho más tiempo en provocar los mismos fallos que las anteriores. De forma complementaria, estas pueden llegar a modificar la estructura de la pared celular de la madera y favorecer la colonización posterior por hongos, acelerando así la degradación del material y aumentando la peligrosidad. (Blanchette, 2000)

El riesgo de ataque biológico está estrechamente vinculado al contenido de humedad, considerándose el principal factor desencadenante, para ello existe la **norma UNE-EN 335** en la que se establece **cinco clases de uso** que determinan el **grado de exposición al ataque biológico**, en función del contacto con el agua, el suelo y la intemperie.

Finalmente, mencionar que la prevención y el control del deterioro biológico deben abordarse en todas las fases de la elaboración de las vigas: diseño, selección del tipo de madera, aplicación de tratamientos protectores y mantenimiento periódico. Todo buscando aumentar la durabilidad de la madera frente a agentes biológicos.

2.1.5. Clases resistentes de madera aserrada

La madera aserrada estructural se emplea ampliamente en la construcción tanto por sus propiedades mecánicas, como su capacidad de absorción de esfuerzos y su bajo impacto ambiental. Sin embargo, debido a que se trata de un material natural, presenta un comportamiento que puede ser muy variable. Por ello, para garantizar la seguridad y fiabilidad en su uso estructural, la madera aserrada debe ser clasificada en clases resistentes, las cuales agrupan sus propiedades físicas y mecánicas en función de parámetros medibles y normalizados.

En Europa, esta clasificación está regulada por la **norma UNE-EN 338:2016**, que define un conjunto de clases resistentes estándar, indicadas por una letra seguida de un número:

- La letra “C” se utiliza para las coníferas (softwood) y la letra “D” para las frondosas (hardwood).



- En cuanto al número que acompaña a estas letras, representa la resistencia característica a flexión ($f_{m,k}$) en megapascascales (MPa). Por ejemplo, una madera clasificada como C24 tiene una resistencia a flexión de 24 MPa.

Cada clase resistente establece un conjunto de valores característicos, que incluyen:

- Resistencia a flexión ($f_{m,k}$).
- Resistencia a tracción y compresión paralela a la fibra ($f_{t,0,k}$ y $f_{c,0,k}$).
- Resistencia a tracción y compresión perpendicular a la fibra.
- Resistencia al cizallamiento ($f_{v,k}$).
- Módulo de elasticidad ($E_{0,mean}$).
- Módulo de cizalladura (G_{mean}).
- Densidad característica (ρ_k).

En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de clases resistentes.

Tabla 1: Ejemplos de clases resistentes de madera aserrada.

Clase	Tipo de madera	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{0,mean}$ (MPa)	ρ_k (kg/m ³)
C14	Conífera	14	7 000	290
C16	Conífera	16	8 000	310
C18	Conífera	18	9 000	320
C24	Conífera	24	11 000	350
C30	Conífera	30	12 000	380
D30	Frondosa	30	13 000	500
D40	Frondosa	40	14 000	650

Entre las clases más utilizadas en obra se encuentran la C16 y la C24, siendo esta última especialmente común en construcciones de entramado ligero y estructuras portantes debido a su equilibrio entre resistencia y economía. Por otro lado, clases como C14 se reservan para usos no estructurales o de menor exigencia, mientras que las superiores (C30–C50) se emplean en estructuras exigentes o piezas con grandes luces.

La asignación de una clase resistente puede hacerse mediante dos métodos principales:

1. **Clasificación visual:** basada en la inspección de características visibles como nudos, curvatura, inclinación de la fibra, fendas o defectos naturales. Aunque más económica, esta técnica presenta limitaciones en la precisión.
2. **Clasificación mecánica:** emplea equipos de medición de carácter no destructivo para evaluar las propiedades físicas y el módulo de elasticidad mediante vibración, ultrasonido u otros principios físicos. Ofrecen resultados más fiables y consistentes.

Finalmente, destacar que la correcta identificación de la clase resistente de la madera es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras, especialmente en condiciones adversas, como humedad o cargas variables y exposición ambiental.

2.1.6. Relación entre la madera y la humedad

La madera aserrada presenta un comportamiento altamente dependiente de su contenido de humedad debido a su naturaleza higroscópica, es decir, a su capacidad de



absorber o liberar vapor de agua en función de las condiciones ambientales que la rodean. Influyendo de forma directa en sus características físicas, mecánicas y biológicas, la humedad es uno de los factores más determinantes para su correcto uso y conservación.

Así mismo, el equilibrio higroscópico también juega un papel muy importante, tratándose del proceso de regulación del contenido de agua interna de la madera con la humedad relativa del aire, este varía notablemente en función de su localización. Por ejemplo, en interiores este valor suele oscilar entre el 8% y el 12%, mientras que en ambientes exteriores o en contacto directo con fuentes de agua puede superar fácilmente el 20%. Estas variaciones en el contenido de humedad ocasionan importantes cambios en sus dimensiones lo que puede derivar en deformaciones, fendas o incluso fallos estructurales en casos extremos. (Forest Products Laboratory, 2010)

Adicionalmente, la humedad afecta considerablemente a las propiedades mecánicas de la madera, provocando la disminución de la resistencia a la flexión, compresión y tracción, así como en el módulo de elasticidad de estos elementos. Estos cambios se deben a que el agua actúa como plastificante en las paredes celulares, lo que reduce la rigidez del material y su capacidad para soportar cargas estructurales, significando un riesgo estructural.

A su vez, un contenido de humedad superior al 20% favorece la proliferación de hongos xilófagos y, en algunos casos, de insectos o bacterias, que pueden comprometer seriamente la integridad del elemento. Por esta razón, resulta vital mantener niveles adecuados de humedad para prevenir la aparición de procesos patológicos derivados y así garantizar una vida útil prolongada de la madera en servicio. (Franz-F-P-Kollmann & Wilfred-a-Cote-Jr-Vol-I, 1968)

Hay que comentar que la medición y el control del contenido de humedad en la madera aserrada se realiza mediante secado en estufa (**UNE-EN 13183-1:2002**), o bien mediante el empleo de aparatos, que incluyen desde medidores de resistencia eléctrica (**UNE-EN 13183-2:2002**), hasta sistemas capacitivos (**UNE-EN 13183-3:2006**).

Finalmente, referir que en Europa existe el **Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995-1-1)**, el cual clasifica las estructuras en función de las condiciones de servicio, estableciendo requisitos específicos según la humedad esperada.

2.2. Madera Glulam

La madera lamina encolada, o también denominada Glulam, se trata de un material fabricado a través de la unión de varios segmentos o tablas individuales de madera, por medio de adhesivos industriales, como podrían ser la resina de Melamina o Poliuretano. Este tipo de uniones presenta numerosas ventajas como podrían ser una alta durabilidad y resistencia a la humedad, o la posibilidad de elaborar piezas de gran tamaño, y formas únicas y diversas. En la Ilustración 6 se muestra una imagen de algunas de las vigas ensayadas en el presente TFM.



Ilustración 6: Foto de las vigas Glulam para los ensayos

2.2.1. Historia y evolución del uso de la madera laminada (Glulam)

La madera laminada encolada (Glulam) fue patentada por el alemán Karl Friedrich Otto Hetzer en 1901. No obstante, su uso comenzó a tomar forma años antes, en la construcción del Reichstag en Berlín en 1890, donde se exploraron las propiedades de la madera como material estructural. A su vez, a partir de la década de 1920, Max Hanisch introdujo esta tecnología en Estados Unidos, marcando el inicio de su aceptación en el país y empleándose en diversas edificaciones como el New Peshtigo School Gym, Ilustración 7 (Jordahl Rhude, 1999).

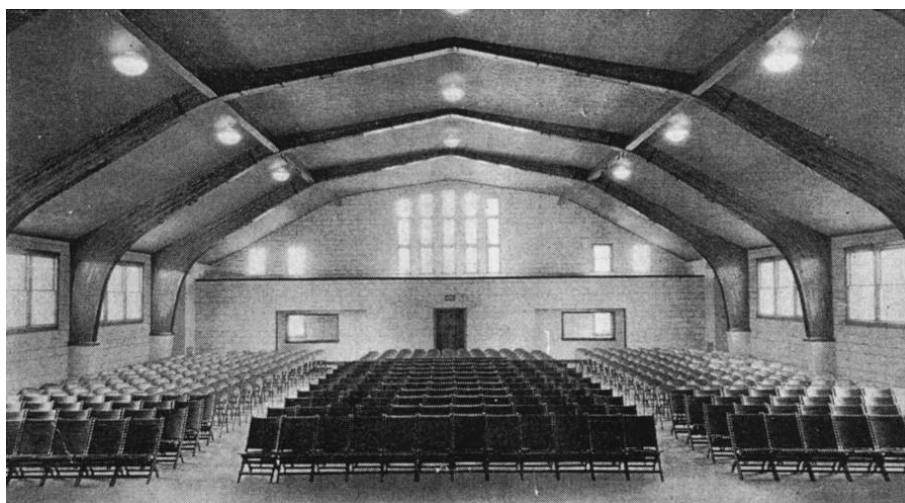


Ilustración 7: Primeros usos del Glulam en el New Peshtigo School Gym en EE.UU.

A lo largo de los años, la tecnología de fabricación de Glulam continuó evolucionando significativamente hasta el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, en la que se produjo un gran aumento de la demanda de materiales de construcción, lo que llevó a la extensión del uso de la madera laminada como alternativa al acero que escaseaba debido a su uso bélico. Este hecho contribuyó enormemente al aumento de su popularidad y aceptación en el sector de la construcción.

Durante este mismo período (década de 1940), por su gran necesidad, se llevaron a cabo investigaciones que resultaron en importantes avances en las técnicas de laminación y encolado, logrando estas la mejora de la calidad y resistencia de los productos de Glulam. Posteriormente se desarrollaron normativas y estándares, con el fin de asegurar y garantizar la fiabilidad y durabilidad de la madera laminada en aplicaciones estructurales.



Finalmente, atendiendo a su utilización, históricamente los elementos Glulam han sido utilizados en una gran variedad de infraestructuras, tales como en la edificación y la construcción de puentes. Esto es posible gracias a su versatilidad y resistencia, que lo han convertido en un material de construcción apreciados en proyectos modernos, donde se valora tanto su estética como su funcionalidad. Hoy en día, el Glulam sigue siendo un componente clave en la arquitectura contemporánea y la ingeniería estructural.

2.2.2. Clases resistentes de madera laminada

La madera laminada encolada se trata de un producto estructural fabricado a partir de láminas de madera aserrada unidas mediante adhesivos resistentes dispuestos con las fibras paralelas entre sí¹, logrando así una gran capacidad mecánica, estabilidad dimensional y adaptabilidad formal.

La normativa que regula estas clases es la **UNE-EN 14080:2013**, la cual establece los requisitos para la fabricación, clasificación y control de calidad de la madera laminada encolada estructural. Según esta norma, las clases resistentes del Glulam se identifican mediante la nomenclatura GLxx, donde "xx" representa la resistencia característica a flexión ($f_{m,k}$) en megapascals (MPa).

A su vez se distingue entre dos tipos de elementos constructivos:

- **Homogéneo (h)**, cuando todas las láminas tienen propiedades similares, y
- **Combinado (c)**, cuando se emplean láminas de mayor calidad en las zonas de tracción y de menor calidad en zonas comprimidas, optimizando así el comportamiento estructural y los costes de producción.

Entre las clases más comunes se encuentran la GL24h y la GL24c, ampliamente utilizadas en edificación y obra civil por su buena relación entre resistencia, peso y coste.

A medida que aumenta la clase (por ejemplo, GL28, GL30, GL32 o GL36), también lo hacen sus propiedades mecánicas, como la resistencia a flexión, la resistencia a tracción paralela a la fibra y el módulo de elasticidad. Esta variedad permite seleccionar la clase más adecuada según el tipo de carga, luz libre, exigencia y condiciones ambientales de la estructura. Estos valores incluyen:

- Resistencia a flexión ($f_{m,k}$).
- Resistencia a tracción y compresión paralela a la fibra ($f_{t,0,k}$ y $f_{c,0,k}$).
- Resistencia a tracción y compresión perpendicular a la fibra.
- Resistencia al cizallamiento ($f_{v,k}$).
- Módulo de elasticidad ($E_{0,mean}$).
- Módulo de cizalladura (G_{mean}).
- Densidad característica (ρ_k).

En la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos de clases resistentes.

¹ No confundir con la madera contralaminada o CLT (*Cross-laminated timber* en inglés) o X-Lam, formada por capas de tablas de madera encoladas, de forma que las capas sucesivas se van disponiendo cruzadas entre sí.



Tabla 2: Ejemplos de clases resistentes de Glulam

Clase	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{0,mean}$ (MPa)	ρ_k (kg/m ³)	Observaciones
GL20h/ GL20c	20	11 000	385	Calidad básica, uso general
GL22h/ GL22c	22	11 600	410	-
GL24h/ GL24c	24	12 000	430	Muy común en estructuras
GL26h/ GL26c	26	12 500	460	-
GL28h/ GL28c	28	13 000	470	Uso en estructuras exigentes
GL30h/ GL30c	30	13 200	485	Alta resistencia
GL32h/ GL32c	32	13 500	500	Alta calidad
GL36h/ GL36c	36	14 000	510	Aplicaciones especiales

Finalmente, hay que comentar que la elección de la clase resistente adecuada para una aplicación específica debe considerar, además del esfuerzo mecánico, otros factores como la clase de servicio (humedad), el tipo de unión, la durabilidad y el tipo de carga (estática o dinámica). Así como el tipo de adhesivo utilizado, del proceso de prensado y de los controles en la línea de producción.

2.2.3. Propiedades mecánicas y físicas del Glulam

El Glulam se trata de un material altamente competitivo en aplicaciones estructurales. Esto es debido a presentar y mejorar las propiedades que posee la madera aserrada, como ya se refirió con anterioridad. Esto hace que destaque especialmente en proyectos donde se valore la sostenibilidad, el peso reducido y la flexibilidad de diseño, entre otros. Como contras se debería destacar su peor comportamiento frente a cargas extremas.

2.2.3.1. Relación entre las propiedades del Glulam y la madera aserrada

En este punto se comentarán las numerosas similitudes y las ventajas que presenta la madera lámina encolada frente a la aserrada, relacionándose este apartado con la sección 2.1.3.

Una de las principales características se trata de la mayor resistencia y capacidad de carga del Glulam. El hecho de estar compuesto por varias capas de madera unidas mediante adhesivos industriales, le otorga una mayor resistencia y permite su uso para cargas más exigentes que las que podría aguantar la madera convencional. También presenta la posibilidad de adoptar formas mucho más complejas que aportan un plus de estética y versatilidad a las construcciones.

El proceso de laminado, mencionado anteriormente, ayuda a reducir los defectos naturales de la madera tales como nudos y grietas, lo que hace que el Glulam sea más estable dimensionalmente y menos propenso a situaciones indeseadas como deformaciones o alabeos que la madera aserrada, lo que a su vez reduce sus probabilidades de fallo.

Finalmente, se ha de destacar tanto su mayor sostenibilidad al emplearse para su fabricación troncos más pequeños y madera de rápido crecimiento, optimizando con ello el uso de los recursos forestales.

2.2.3.2. Comparativa entre las propiedades del Glulam y el acero o el hormigón

En este punto se realizará la comparativa del Glulam con el hormigón y acero, en tanto que dichos materiales son los rivales directos en el sector constructor, y a los que el

Glulam está tratando de sustituir para múltiples aplicaciones. (Structural Timber Association, s. f.) (APA – The Engineered Wood Association, s. f.) (10. Gavric, 2016)

- **Relación resistencia-peso:** el Glulam presenta una alta resistencia en relación a su peso comparado con el acero y el hormigón, siendo significativamente más ligero, lo que a su vez también facilita su transporte e instalación.

Atendiendo a su resistencia, el Glulam destaca por su alta resistencia tanto en compresión, como en tracción y flexión. Comenzando por la resistencia la compresión, el Glulam es capaz de soportar cargas paralelas a la fibra que oscilan entre los 30 y los 45 MPa. Y en el caso de la tracción, su rango resistente se encuentra entre los 20 y 30 MPa para esfuerzos paralelos a la fibra.

Finalmente, la resistencia a la flexión, el módulo de rotura (MOR) se encuentra entre 30 y 40 MPa, lo que le permite soportar esfuerzos de flexión con eficacia, logrando con ello una gran resistencia al pandeo.

Como resumen, la madera encolada presenta unas resistencias a compresión muy similares al hormigón convencional, pero enormemente superiores trabajando a tracción y flexión. Estos hechos junto a su menor impacto ambiental, produce que se trate de un gran sustituto del hormigón armado en la construcción, al presentar unas propiedades similares e incluso mejoradas frente a determinados esfuerzos. En la Ilustración 8 se muestran, a modo de comparativa, imágenes de vigas resueltas con cada uno de estos materiales.



Ilustración 8: Vigas de Glulam y de hormigón

- **Sostenibilidad y huella de carbono:** el Glulam destaca por ser una opción más sostenible en comparación con muchos materiales que se han empleado convencionalmente, tales como el acero o el hormigón, al provocar una menor huella de carbono. Durante el proceso de fabricación tanto del acero como del hormigón se emiten grandes cantidades de CO₂, lo que contribuye significativamente a este hecho. En contraste, el Glulam, al ser un material derivado de la madera, actúa como un sumidero de carbono, almacenando dióxido de carbono durante su ciclo de vida útil a la par que permite reutilizar y reciclar laminas ya existentes.

Según varios estudios comparativos, la producción de Glulam genera hasta un 80% menos de emisiones de carbono que el hormigón y el acero. Lo que junto al hecho de tratarse de un material más liviano permite un fácil transporte y un menor gasto de energía y/o recursos. (Forest Products Laboratory, 2010)

- **Resistencia al fuego:** como es sabido, el acero es un material que bajo altas temperaturas se debilita, pudiendo llegar a fundirse, y, por ende, puede colapsar



rápidamente. Además, el hecho de tener una alta conductividad térmica hace que dichas temperaturas puedan transmitirse a cierta distancia con facilidad. Por su parte, el hormigón es incombustible y ofrece buena resistencia estructural, pero puede agrietarse y perder rigidez con frente a altas temperaturas, especialmente en las zonas donde se encuentra el acero de refuerzo. Finalmente, contrariamente a lo que se suele creerse, la madera laminada, pese a ser un material combustible, tiene un comportamiento razonable frente a fuego. Ello es debido a que cuando se carboniza lentamente en caso de incendio, forma una capa protectora que ayuda a mantener la resistencia estructural por más tiempo. Además, la madera es un buen aislante térmico, lo que puede ayudar a reducir la propagación del fuego.

- **Durabilidad y mantenimiento:** el Glulam requiere un adecuado mantenimiento para garantizar su durabilidad, especialmente cuando está expuesto a condiciones climáticas adversas. La madera laminada, a diferencia del acero, que puede corroerse, o del hormigón, que puede fracturarse por los incrementos de volumen de la armadura de refuerzo, necesita ser tratada para evitar el deterioro por humedad e insectos.
- **Flexibilidad:** el Glulam permite una mayor variedad en cuanto al diseño arquitectónico debido a la posibilidad de fabricar elementos curvados o de formas personalizadas, lo que no es tan sencillo con el acero y requiere encofrados complejos y hormigonados cuidadosos en el caso del hormigón.

2.2.3.3. *Impacto de factores ambientales (humedad, temperatura) en el comportamiento estructural*

El comportamiento estructural de la madera lámina encolada puede llegar a verse enormemente afectado por los factores ambientales, entre los que destacarían la humedad y la temperatura. Ambos presentan un papel crucial en las propiedades mecánicas y la durabilidad de este material. (Forest Products Laboratory, 2010)

- **Impacto de la humedad:** al encontrarse la mayor parte del material compuesto de madera, resulta sensible a los cambios en los niveles de humedad del entorno, produciendo cambios en su volumen, expandiéndose cuando absorbe humedad y contrayéndose al secarse.

Estos cambios dimensionales pueden afectar a su vez la estabilidad estructural del Glulam, aunque en menor medida que en la madera maciza debido a que el proceso de laminación reduce su susceptibilidad a las deformaciones. Sin embargo, si este no está debidamente protegido de la humedad, ya sea por recubrimientos u otro tipo de soluciones, puede sufrir degradación por deslaminado del material o aparición de grietas, lo que compromete su resistencia estructural y mecánica.

En la Ilustración 9 puede observarse una imagen de la degradación sufrida por unas tablas de madera por el agua y la humedad.

- **Impacto de la temperatura:** la principal afección es sobre la interacción entre la madera y los adhesivos empleados, debido a su sensibilidad térmica. Esto significa que a temperaturas extremadamente altas o bajas puede alterarse su comportamiento estructural. Así, en climas muy fríos el material puede volverse más quebradizo, mientras que, en climas extremadamente cálidos, la resistencia

de los adhesivos puede disminuir y provocar el fallo del material. Finalmente, hay que mencionar que la exposición prolongada a temperaturas elevadas puede afectar negativamente la durabilidad del Glulam, reduciendo su vida útil y su capacidad para soportar cargas.



Ilustración 9: Degradación sufrida por la acción del agua y la humedad

2.2.4. Comportamiento ante acciones externas

En este apartado se procederá a la descripción de todas aquellas cargas y acciones externas a las que puede encontrarse sometida la estructura, al igual que su comportamiento frente a estas. Finalmente, se comentará su resistencia al fuego como uno de los mayores factores de riesgo, así como su resistencia a los impactos y la fatiga para destacar su durabilidad. (Forest Products Laboratory, 2010)

2.2.4.1. Respuesta del Glulam a cargas estáticas y dinámicas

La madera laminada encolada presenta un buen comportamiento tanto frente a cargas estáticas como dinámicas debido a su resistencia mecánica y ligereza. En relación a otros materiales, este posee una alta relación resistencia-peso, lo que lo hace más eficiente para resistir cargas. A continuación, se mencionan algunas de estas:

- **Peso propio de la estructura, sobrecargas de uso, y sobrecarga de nieve:** la resistencia del Glulam a la flexión es crítica para soportar estas cargas, Ilustración 10, pudiendo soportar valores importantes sin deformarse excesivamente, evitando con ello su rotura y colapso estructural.



Ilustración 10: Sobrecarga por nieve de una estructura de madera encolada

- **Cargas de viento:** este material presenta una gran capacidad para distribuir las cargas de manera uniforme en una gran variedad de estructuras como puentes y cubiertas, todo esto gracias a las mismas propiedades que le ayudaban en el caso anterior.
- **Cargas sísmicas:** este material presenta una buena respuesta frente a los sismos, ya que, al poseer una menor inercia en comparación con materiales más pesados como el hormigón, reduce con ello la magnitud de las fuerzas inducidas por el terremoto. La flexibilidad inherente de la madera, a su vez, también proporciona una cierta capacidad de deformación sin romperse, lo que favorece su capacidad para resistir estos.

2.2.4.2. Comportamiento frente al fuego: normativa y tratamientos de protección

Uno de los principales inconvenientes de la madera, entre otras estructuras, es el fuego, ya sea por las deformaciones y pérdidas de resistencia frente a este o directamente por ser consumidos. Atendiendo a la madera encolada, como ya se ha referido, esta presenta un comportamiento favorable en comparación con materiales como el acero, debido a su capacidad de carbonización controlada. El Glulam al ser expuesto a altas temperaturas, sus capas más externas sufren un **proceso de carbonización** lo que produce que estas actúen como aislante y protejan el núcleo del material, lo que retrasa la pérdida de capacidad estructural, Ilustración 11. (Forest Products Laboratory, 2010)

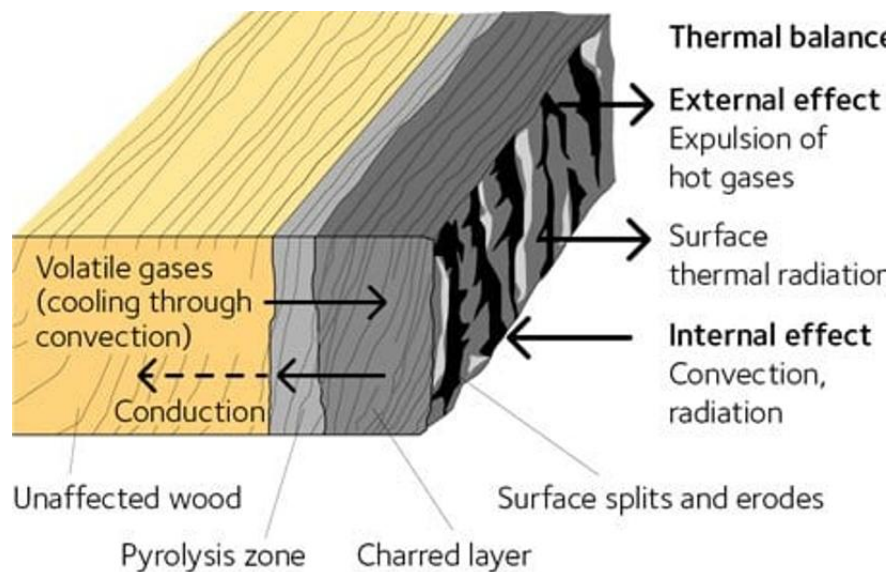


Ilustración 11: Proceso de carbonización del Glulam

A nivel normativo, el comportamiento frente al fuego del Glulam se encuentra regulado por diversas normas internacionales en función del país o el continente en el que se encuentre la estructura. En el caso de Europa se crearon los Eurocódigos como normativa conjunta para todos los países, siendo el Eurocódigo 5 el que especifica los requisitos para estructuras de madera, incluyendo las situaciones de incendio. En esta normativa, el espesor de la capa carbonizada y el tiempo de exposición al fuego se utilizan para calcular la capacidad residual del elemento estructural, consiguiendo con ello averiguar si esta resistirá frente a este tipo de accidentes o se deberá de aumentar la cuantía para ello.



Finalmente, para mejorar aún más la resistencia al fuego del Glulam, se aplican tratamientos ignífugos que ralentizan la propagación del fuego y mejoran la protección del material. Estos suelen ser capas protectoras, pinturas o impregnaciones que refuerzan sus propiedades ignífugas.

2.2.4.3. Resistencia al impacto y la fatiga

El Glulam también presenta una buena resistencia tanto frente al impacto como a la fatiga.

En el caso de los **impactos**, esto se debe a la naturaleza flexible y resiliente de la madera, que, en comparación con materiales más frágiles como podría ser el caso del hormigón, es capaz de absorber y distribuir la energía de un impacto, minimizando con ello la propagación de grietas o fracturas.

En términos de **fatiga**, posee una alta durabilidad a ciclos repetitivos de carga y descarga, aunque su comportamiento depende en gran medida de la calidad de sus conexiones y la resistencia de los adhesivos utilizados. Este, al ser un material compuesto, las capas de madera y adhesivo deben mantener su integridad bajo cargas cíclicas para prevenir fallos estructurales.

Debido a estas facultades, se trata de un material adecuado para estructuras sometidas a golpes o vibraciones frecuentes, como puentes peatonales o estructuras en zonas de construcción.

2.2.5. Diseño estructural de vigas Glulam

Después de haber mencionado un gran número de las fortalezas y algún inconveniente que presentan las vigas de Glulam, se procederá a su descripción por medio de sus métodos de dimensionamiento y normativas existentes.

Buscando en este apartado destacar que la correcta elección y diseño de las conexiones es esencial para asegurar el rendimiento y la vida útil de las vigas de Glulam.

2.2.5.1. Métodos de diseño y normativa vigente

El diseño estructural de vigas de Glulam se rige por normas específicas, destacándose en Europa el **Eurocódigo 5 (EC 5)**, y complementaria a esta, habrá que aplicar otras normativas como podría ser el caso de la **UNE-EN 14080:2022**², versión española de la norma europea EN 14080, para poder realizar los cálculos al no existir un capítulo sobre ello en el EC5.

Estos tienen como función la regulación del diseño de estructuras de madera, proporcionando directrices sobre los requisitos que debe presentar la madera y da pautas para el cálculo de su resistencia, rigidez, y durabilidad, cubriendo aspectos como:

- **Cálculo de las secciones resistentes:** se considera la resistencia a flexión, compresión y tracción, tanto paralela como perpendicular a la fibra.
- **Estabilidad:** marca los métodos para evaluar el pandeo de las vigas bajo cargas axiales y momentos de flexión.

² UNE-EN 14080:2022: Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos.



- **Uniones:** orienta en el diseño de conexiones mecánicas y adhesivas, claves en el comportamiento global de la estructura.

Finalmente, destacar que el diseño de vigas Glulam se basa en varios criterios, siendo los principales de ellos: la resistencia, la rigidez y la durabilidad que presenten las vigas. Pudiendo variar estas en función de muchas variantes previamente mencionadas.

2.2.5.2. *Influencia de las conexiones (uniones mecánicas o adhesivas) en el rendimiento estructural.*

Las conexiones juegan un papel fundamental en el rendimiento estructural de las vigas Glulam, existiendo principalmente dos tipos de estas:

- **Uniones mecánicas:** incluyen clavos, tornillos, pernos y conectores metálicos. Estos permiten cierta flexibilidad, lo que resulta ventajoso en situaciones dinámicas como el caso de los sismos. Sin embargo, también pueden ser puntos de concentración de tensiones, lo que afecta la durabilidad y la resistencia global de la viga.
- **Uniones adhesivas:** son empleadas en el propio proceso de laminado, permitiendo garantizar una distribución uniforme de las tensiones a lo largo de toda la estructura, mejorando la capacidad de carga de las vigas. La calidad de los adhesivos es clave para garantizar el rendimiento a largo plazo, sobre todo en condiciones ambientales adversas (humedad y calor).

2.2.6. Durabilidad y mantenimiento del Glulam

A continuación, se referirán los principales factores responsables de reducir la durabilidad del Glulam, debilitándolo y provocando su colapso temprano.

A su vez, se mencionarán técnicas con las que prevenir estas afecciones, junto con varias pautas de mantenimiento y reparación con el fin de mantener y/o restaurar sus propiedades originales en el caso de que exista afección. (Forest Products Laboratory, 2010)

Finalmente comentar que varias de partes ya han sido mencionadas en el apartado 2.1.4 Agresión biótica.

2.2.6.1. *Factores que afectan la durabilidad: Agentes bióticos y abióticos*

La durabilidad del Glulam puede verse afectada por los mismos factores que la madera convencional, destacando esta afección especialmente en ambientes exteriores o expuestos a condiciones climáticas adversas y a agentes biológicos como hongos, mohos e insectos, Ilustración 12. Estos factores pueden degradar la estructura de la madera, pudiendo llegar comprometer su resistencia y estabilidad a largo plazo. (Forest Products Laboratory, 2010)

- **Agentes bióticos:** son organismos vivos que degradan la madera al alimentarse de sus componentes o al generar condiciones favorables para su deterioro. Especies como las termitas o el escarabajo de la madera pueden atacar el Glulam, especialmente en regiones con climas cálidos y húmedos. Estos insectos excavan galerías en la madera, debilitando sus propiedades estructurales. Los agentes bióticos pueden clasificarse de la siguiente forma:
 - **Insectos xilófagos:** como termitas, carcomas o escarabajos de la madera, que se alimentan directamente de la madera estructural.

- **Termitas:** se alimentan de celulosa, atacando desde el interior y formando colonias subterráneas que pueden pasar desapercibidas durante largos periodos, ver Ilustración 12.



Ilustración 12: Afección por insecto xilófago (termitas)

- **Escarabajos de la madera:** incluyen especies como las carcomas o el *Hylotrupes bajulus*, Ilustración 13. Depositan sus huevos en la superficie y las larvas excavan galerías en el interior de la madera.



Ilustración 13: Afección por insecto xilófago (escarabajos)

- **Hongos de pudrición:** se desarrollan en condiciones de humedad alta y descomponen los componentes lignocelulósicos.
- **Moho y hongos cromógenos:** aunque no afectan directamente la resistencia mecánica, alteran el color y aspecto superficial, y pueden indicar condiciones de humedad elevadas.
- **Bacterias:** actúan en ambientes muy húmedos o sumergidos, contribuyendo a la degradación lenta de la madera.
- **Organismos marinos:** como los bivalvos o crustáceos perforadores que afectan estructuras sumergidas o en contacto con agua salada.



- **Agentes abióticos:** son factores físicos o químicos no biológicos que contribuyen al deterioro de la madera, alterando su estructura interna o sus propiedades superficiales. Los agentes abióticos pueden clasificarse de la siguiente forma:
 - **Humedad:** la absorción de humedad puede favorecer la aparición de hongos que causan pudrición. Una exposición prolongada a la humedad sin protección adecuada puede acelerar este proceso.
 - **Radiación solar (UV):** los rayos ultravioletas degradan la lignina en la superficie de la madera, provocando decoloración, fisuración y pérdida de cohesión.
 - **Cambios térmicos:** las variaciones bruscas de temperatura generan movimientos higrotérmicos en la madera, que pueden producir agrietamiento o deformaciones.

Entre otros aspectos, para maximizar la durabilidad del Glulam, es fundamental controlar las condiciones de humedad y evitar el contacto prolongado con agua, así como proteger la madera de ataques biológicos mediante tratamientos específicos.

2.2.6.2. *Métodos de protección*

Existen varios métodos para proteger la superficie del Glulam y aumentar su durabilidad, dividiéndose en tres grandes grupos (American Wood Council, s. f.) (Forest Products Laboratory, 2010):

- **Protección superficial:**
 - **Revestimientos:** aplicación de barnices y pinturas exteriores para la mejora de la resistencia frente a la humedad y los rayos UV, que pueden descomponer la lignina y otros componentes de la madera, reduciendo su durabilidad. También se pueden emplear recubrimientos impermeabilizantes para evitar la penetración de agua.
 - **Pintado o aspersión** de tratamientos químicos: se emplean productos químicos preservativos que protegen la madera contra el ataque de hongos e insectos, como sales hidrosolubles o productos a base de boro. Estos tratamientos penetran muy poco en la madera, y tienen la finalidad de crear una barrera protectora.
- **Protección con mayor penetración:**
 - **Inyección** de tratamientos químicos: consiste en introducir bajo presión productos preservativos en la madera para alcanzar las zonas internas. Es especialmente útil en piezas de gran sección o para aplicaciones en exteriores permanentes.
 - **Autoclave vacío-vacío:** este proceso consiste en aplicar un vacío inicial para extraer el aire de los poros de la madera, seguido de la introducción de soluciones preservativas bajo vacío o ligera presión. Es eficaz para asegurar una penetración uniforme sin dañar la estructura del Glulam y de la madera en general.
- **Otros tratamientos:**

- **Tratamientos térmicos:** la exposición de la madera a altas temperaturas en un entorno controlado reduce su capacidad de absorber agua y, por lo tanto, su susceptibilidad al deterioro.
- **Cebos biocidas:** se utilizan en contextos donde existe un alto riesgo de termitas u otros insectos. Son sistemas que introducen sustancias tóxicas en zonas controladas para erradicar las colonias que amenacen la estructura.

2.2.6.3. Estrategias de mantenimiento y reparación.

El mantenimiento del Glulam es esencial para garantizar su durabilidad y rendimiento a largo plazo. Algunas estrategias incluyen (Forest Products Laboratory, 2010):

- **Inspecciones periódicas:** buscando detectar signos de deterioro, como deformaciones, grietas, moho, o insectos. Estas también deben evaluar la condición de los revestimientos protectores.

Para poder desarrollar estas inspecciones es fundamental emplear técnicas de diagnóstico no-ligeramente destructivo, como las tratadas en el apartado 2.3.

- **Reparaciones menores:** se aplican cuando se detecte algún daño, es posible realizar reparaciones menores aplicando selladores, masillas, o reemplazando partes dañadas. Los adhesivos estructurales pueden ser utilizados para reparar fisuras y mantener la integridad de las vigas.
- **Reparación de conexiones:** estas ya sean mecánicas o adhesivas, juegan un papel crucial en la estructura, debiendo ser revisadas para garantizar que los tornillos, pernos, y adhesivos sigan en buen estado. Si alguna conexión se ha debilitado, debe ser reforzada o reemplazada.

En caso de daños severos, como grandes grietas o deformaciones, puede ser necesario reemplazar las secciones afectadas del Glulam. (Forest Products Laboratory, 2010) (Eurocode 5: Design of timber structures, 2011)

2.2.7. Sostenibilidad y ventajas medioambientales

Como ya se refirió en el apartado 2.2.3.2, tanto la madera como el Glulam presentan enormes ventajas respecto a otros muchos materiales debido a su sostenibilidad y posibilidad de reciclado, Ilustración 14, junto al hecho de ayudar a la disminución de la huella de carbono debido a su capacidad de absorber CO₂. (WWF, 2014)



Ilustración 14: Sostenibilidad y evolución del Glulam desde su tala hasta su uso en construcción



2.2.7.1. *Uso de madera certificada y sostenibilidad forestal.*

Para su fabricación existe la posibilidad de emplear madera certificada, asegurando que la materia prima provenga de bosques gestionados de manera sostenible. Certificaciones como podrían ser el FSC (*Forest Stewardship Council*) o el PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification*), que garantizan que la tala de los árboles no contribuye a la deforestación, y que los bosques son replantados y gestionados para preservar los ecosistemas locales. (PEFC, s. f.)(Forest Stewardship Council, s. f.)

La sostenibilidad forestal implica la rotación de los cultivos forestales, permitiendo que los bosques se regeneren y mantengan su biodiversidad, contribuyendo al equilibrio del ciclo del carbono, ya que los árboles jóvenes continúan absorbiendo CO₂ mientras crecen.

2.2.7.2. *Reciclabilidad del Glulam y su ciclo de vida.*

Este material presenta un ciclo de vida prolongado y es completamente reciclable, pudiendo las estructuras al final de su vida útil ser reutilizadas en nuevas construcciones o descompuestas para crear nuevos productos de madera. Incluso en casos en los que el material no es reutilizado directamente puede ser reciclado en forma de biomasa o procesado para la producción de paneles derivados.

Su ciclo de vida, desde la producción hasta el reciclaje, tiene un impacto ambiental mucho menor que el hormigón y el acero, los cuales suelen terminar en vertederos y requieren grandes cantidades de energía para ser reciclados. Por su parte la madera encolada puede ser devuelto al entorno sin generar residuos nocivos en casos de que se empleen ligantes que no resulten perjudiciales. Además, su producción es menos intensiva en energía, lo que lo convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida. (Atsushi Takano (Aalto University), 2021)

2.2.8. Casos de estudio y aplicaciones actuales

En este apartado se compilan varios casos de empleo de Glulam en la actualidad, buscando con ello mostrar que hoy en día se está apostando por él ya sea de forma aislada o combinada con otros materiales. Para ello, se han elegido varios proyectos emblemáticos que utilizan Glulam.

- **Mjøstårnet (Noruega)** (Moelven, 2023): se trata de un rascacielos de 85,4 metros de altura, tratándose de la estructura de madera más alta del mundo, Ilustración 15. En esta se utiliza una combinación de Glulam y CLT (*Cross-Laminated Timber*) para la construcción de pisos, paredes y vigas, demostrando su gran capacidad para soportar grandes cargas y proporcionar estabilidad en estructuras de gran altura, al igual que la madera en la construcción de pagodas.
- **Puente de las Termas de Söhl (Austria)**: presenta una longitud de 40 metros y está construido en su totalidad con madera encolada, Ilustración 16. Se trata de un ejemplo de la capacidad de este material para reemplazar el acero y el hormigón en la construcción de puentes, aprovechando su resistencia y ligereza.

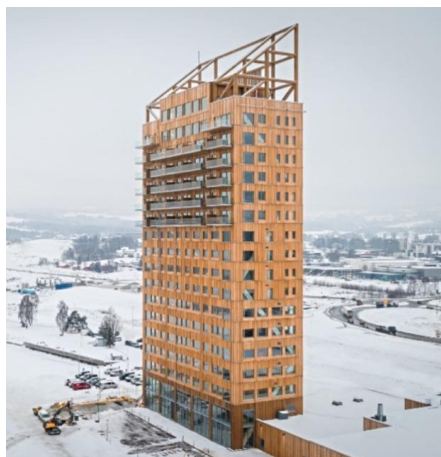


Ilustración 15: Mjøstårnet (Noruega)



Ilustración 16: Puente de las Termas de Söll (Austria)

- **Centro Acuático de Londres** (Wikipedia contributors, s. f.): fue diseñado para los Juegos Olímpicos de 2012, incluyendo una cubierta de Glulam de 160 metros de largo, la cual destaca mejorando la estética (curvas) y aportando un diseño más natural a la estructura, Ilustración 17.



Ilustración 17: Centro Acuático de Londres



Ilustración 18: Bow River Pedestrian Bridge

- **Bow River Pedestrian Bridge** (StructureCraf, 2013): se encuentra situado en Banff (Alberta, Canadá), Ilustración 18. Esta estructura destaca por su tramo principal de 80 metros sin apoyos intermedios, considerada una de las más largas del mundo. El diseño se basa en dos grandes vigas de madera laminada encolada de 40 metros, que actúan en ménsula desde ambos márgenes del río y soportan un tramo colgado central de 34 metros. También se dispuso de un sistema de amortiguación por masa sintonizada, que garantiza la estabilidad dinámica de la pasarela.

2.2.9. Avances recientes en la investigación y tendencias futuras

En la actualidad desarrollo en torno al Glulam continúa con innovaciones que optimizan su aplicación y comportamiento estructural, destacándose entre otros las nuevas tecnologías de fabricación de adhesivos avanzados, como los de baja emisión o libres de formaldehído, para incrementar la seguridad y durabilidad de las uniones, a la par

que la transferencia de cargas, permitiendo así el diseño y construcción de estructuras más complejas.

A su vez, también se han desarrollado nuevas técnicas como su integración con materiales como la fibra de carbono con el fin de reforzar su resistencia a la flexión y reducir deformaciones. También su combinación con materiales como compuestos o metales genera madera híbrida, la cual logra estructuras ligeras y optimiza la eficiencia estructural en aplicaciones que requieren alta rigidez y resistencia, a la par que reduce el impacto ambiental.

Finalmente, innovaciones en el diseño paramétrico y en la fabricación mediante modelos digitales permiten crear geometrías complejas con alta precisión, facilitando su uso en estructuras arquitectónicas innovadoras. Se destaca la fabricación asistida por computadora (CAM) y el modelado BIM, que han acelerado su adopción en diseños personalizados y que junto al auge de la bioeconomía aporta a la madera encolada de un gran valor en la transición hacia materiales renovables, Ilustración 19. (Niall Patrick Walsh, s. f.)

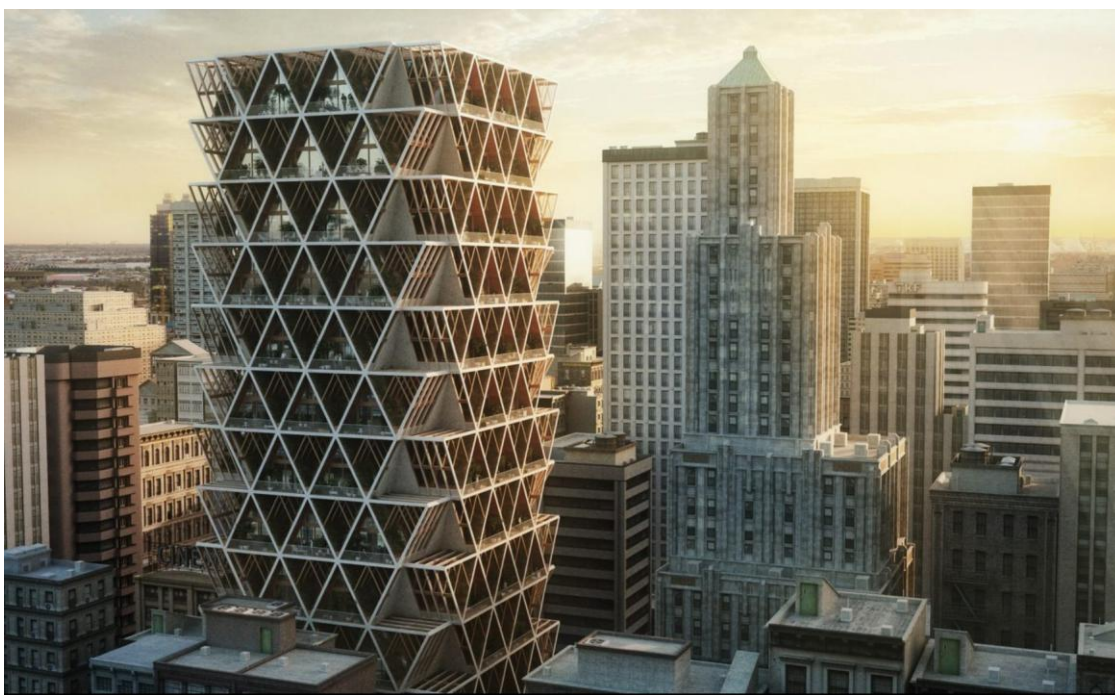


Ilustración 19: Rascacielos de madera de bajas emisiones

2.3. Ensayos de diagnóstico in situ no-ligeramente destructivos aplicados a madera

El uso de técnicas no-ligeramente destructivas (*Non-Minor Destructive Testing* en inglés, N-MDT) para la caracterización in situ de la madera ha ganado importancia tanto en investigación como en la práctica profesional en los últimos años. Estas metodologías permiten obtener información valiosa del estado físico-mecánico de la madera sin comprometer su integridad estructural, lo cual resulta especialmente útil a la hora de evaluar elementos en servicio, realizar controles de calidad o diagnosticar procesos patológicos ocultos.

Con el objetivo de dar un panorama general sobre las técnicas de diagnóstico in situ no-ligeramente destructivos aplicados a madera, en la Tabla 3 se clasifican y enumeran



varias de las técnicas más usualmente empleadas, refiriendo igualmente sus fundamentos y los objetivos asociados con las mismas.

No obstante, y de forma concreta, en el apartado 3.2 del presente TFM se desarrollarán con más detalle los ensayos que se han empleado en la presente investigación.

Tabla 3: Ensayos de diagnóstico in situ no-ligeramente destructivos aplicados a madera

Grupo	Técnica	Fundamento	Objetivo
MÉTODOS VISUALES / SENSORIALES	Lupa o microscopio de bolsillo	Visión directa: • Lupa naturalista (mínimo x10) • Microscopio de bolsillo (x25)	• Analizar las muestras de madera o las especies de insectos
	Endoscopio	Visión indirecta	• Observación de zonas ocultas (falsos techos, cabezas)
	Martillo	Evaluar el estado interno a través del sonido de impacto	• Prediagnosticar el estado de la madera
	Taladro	Se práctica un taladro y se estudia el serrín obtenido a la salida de la broca	• Estado de la madera (dureza) en profundidad
MÉTODOS MECÁNICOS	Punzón	Introducción de punzón	• Acotar la profundidad del ataque de xilófagos • Determinar estados de pudrición superficial
	Penetrómetro (esclerómetro de madera)	Medida de la profundidad de penetración de una varilla. Esta profundidad se relaciona con la dureza superficial de la pieza.	• Determinación de la densidad
	Extractor de tornillo	Medida de la resistencia al arranque de un tornillo que presenta la pieza, relacionando esta variable con la densidad de la misma.	• Determinación de la densidad. • En piezas libres de defectos estimación del Módulo de Elasticidad.
	Resistógrafo	Evolución del método basado en taladro. Relación entre la potencia consumida y la profundidad alcanzada al introducir una broca obteniendo un perfil con el que estimar las variaciones de densidad en el material.	• Determinación de la densidad.
MÉTODOS ACÚSTICOS Y DINÁMICOS	Ondas de impacto	Medida de la velocidad de paso de una onda de impacto a través del material relacionándola con parámetros de éste como es el Módulo de Elasticidad.	• Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico.
	Ultrasonidos	Medida de la velocidad de paso de una onda ultrasónica relacionando ésta con las propiedades mecánicas del material.	• Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico.
	Vibraciones	Determinación de la frecuencia natural de vibración de un elemento a partir de la cual obtener las propiedades elásticas del material.	• Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico.
OTROS MÉTODOS	Xilohigrómetro	Depende de la herramienta empleada: xilohigrómetro de resistencia eléctrica o xilohigrómetro capacitivo	• Determinación del contenido de humedad
	Termografía infrarroja	Captación de la radiación térmica emitida por la superficie de los cuerpos.	• Potencial determinación de cavidades internas, zonas



			degradadas, uniones deficientes y zonas con humedad retenida. • Además, en el caso del Glulam se consigue detectar delaminaciones y defectos de adhesión.
Detectores de actividad de xilófagos	Se colocan dos captadores acústicos piezo-eléctricos que recogen los sonidos y los transmiten a un módulo de recepción para su amplificación.		• Comparación de la señal registrada con las señales patrones que tiene memorizadas el programa, para detectar el tipo de insecto y la posible afección
Detectores de termitas con microondas	Este sistema basado en la tecnología del radar, permite detectar las termitas proyectando ondas de radio (microondas)		• Detecta el movimiento de las termitas a través de la madera
Radiografía y tomografía computerizada (X-Ray / CT)	La radiografía emplea rayos X para atravesar la madera y crear una imagen 2D que refleja la distribución interna de la densidad. La tomografía computerizada (CT) permite generar imágenes 3D a partir de múltiples cortes 2D, proporcionando una visualización detallada del interior del material.		• Potencial determinación de defectos internos como grietas, nudos ocultos, galerías de insectos, diferencias de densidad entre láminas encoladas y otros tipos de discontinuidades estructurales.
Espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR Spectroscopy)	Analiza la luz reflejada por el material en el rango del infrarrojo cercano (700–2500 nm), que interactúa con enlaces moleculares como los de la celulosa, hemicelulosa, lignina y agua		• Además de permitir la la identificación de especies, permite predecir parámetros como el contenido de humedad, la densidad, el módulo de elasticidad, y el grado de curado del adhesivo en Glulam.

2.4. Normalización de los resultados a una humedad de referencia

Para la normalización de los resultados se ha procedido a aplicar dos normativas diferentes, buscando no solo ajustar los resultados a la humedad de referencia del 12%, sino observar si se detectan diferencias notables entre ambos. Las normativas son las siguientes:

Unterweiser 2010

Se encarga del estudio de la influencia del contenido de humedad de la madera en sus propiedades dinámicas, más específicamente en la velocidad de propagación de ondas y en el módulo de elasticidad dinámico (MOE). Empleándose para ello dos métodos de medición: la frecuencia natural y el tiempo de propagación ultrasónica, con el objetivo de corregir los valores obtenidos, tomando como referencia del 12%. Esto se aplica tanto para niveles de humedad por debajo como por encima del punto de saturación de fibras³ (*Fiber Saturation Point* en inglés, FSP).

Para la realización de esta normativa se trabajó con 310 tablas de abeto en diferentes estados de humedad, desde recién cortadas hasta completamente secas. Posteriormente se registraron mediciones para cinco etapas del proceso de secado y

³ El punto de saturación de la fibra en la madera se considera típicamente alrededor del 30% de contenido de humedad, aunque puede variar ligeramente entre especies. En este punto, las paredes celulares de la madera están saturadas con agua.



se analizó cómo la densidad, la de velocidad de propagación de ondas y el MOE variaban con la reducción del contenido de humedad.

Durante el referido proceso de secado, se constató una pérdida de densidad conforme a la pérdida de humedad, a la vez que la velocidad de propagación de ondas se incrementaba. Sin embargo, el MOE se mantuvo relativamente estable hasta que la madera alcanzó una humedad de referencia del 12%, momento en el cual se observó un aumento significativo en sus valores.

Por su parte para un valor FSP situado entre el 28% y el 32% de humedad, se comprobó que se apreciaba un cambio en la relación entre la humedad y las propiedades dinámicas de la madera. Resultando esto en un gran cambio respecto al valor que se decidió tomar como referencia, 12%. Las fórmulas que se aplican para las correcciones se pueden observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

UNE EN 384 2016 A1

Al igual que la referencia anterior, establece los métodos para la determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de la madera estructural, teniendo como objetivo normalizar los valores obtenidos para su análisis. Estableciendo los métodos para la determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de la madera estructural.

Para esto se emplean las mismas condiciones de referencia para las pruebas, incluyendo el contenido de humedad estándar del 12%, evaluando y corrigiendo los resultados obtenidos de la resistencia y el módulo de elasticidad.

En la clasificación mecánica, se aplican fórmulas específicas para calcular el percentil del 5% de la resistencia y del módulo de elasticidad, mientras que, en la clasificación visual, se requiere determinar la resistencia y densidad característica mediante análisis estadísticos basados en submuestras.

Finalmente, la norma incluye otras ecuaciones para calcular otras propiedades mecánicas de la madera, como la resistencia a tracción y compresión que no se aplicarán en este trabajo. Como particularidad, no se corrige la velocidad de propagación de las ondas a diferencia de la normativa Unterweiser. Las fórmulas que se aplican para las correcciones se pueden observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

3. Materiales y Métodos

3.1. Probetas empleadas en la campaña experimental

En primer lugar, se procede a la medición de las dimensiones (Ancho $\times$ Largo $\times$ Alto), ver Ilustración 20, de cada una de las vigas mediante una cinta métrica, para posteriormente obtener su volumen. A continuación, para cada una de las muestras a ensayar, se pesan en una balanza con la finalidad de calcular su peso específico. Por su parte, se distinguirán principalmente seis tipos diferentes de vigas:

- *Pino Silvestre* de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* con tratamiento de tanalizado, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* con tratamiento de tanalizado sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Abeto*⁴ de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Abeto* sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.

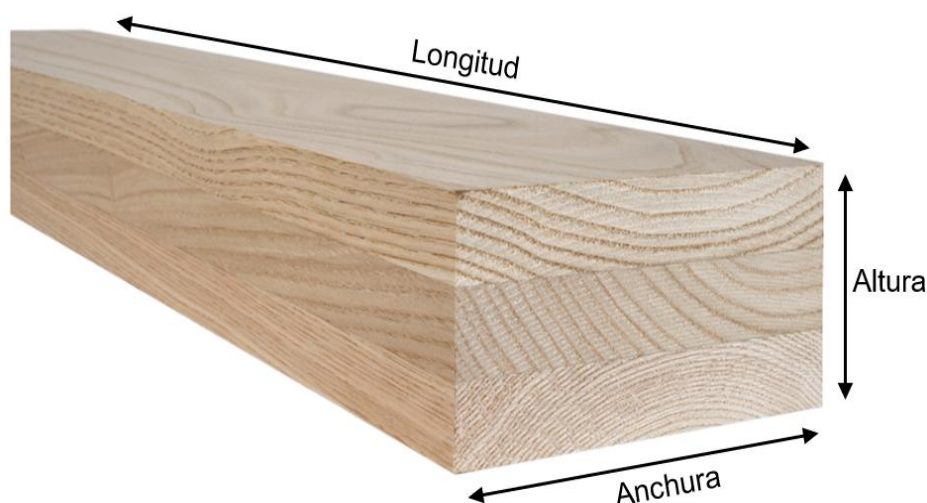


Ilustración 20: Dimensiones de las vigas

Esta clasificación permite estudiar la influencia tanto del tipo de madera (diferentes especies) como del nivel de degradación inducido por condiciones simuladas de deterioro. El comparar muestras sumergidas en agua dulce durante un periodo prolongado de tiempo con muestras en estado seco, tenía como objetivo tratar de identificar potenciales alteraciones en las propiedades físicas y mecánicas en los elementos estructurales.

A continuación, en la Tabla 4, se muestran los resultados de todas las probetas que se van a ensayar, así como la especie de madera de la que se componen, su categoría resistente y los agentes a los que se le ha sometido.

⁴ El Abeto no fue sometido a tratamiento de tanalizado, debido al carácter de madera poco impregnable, según la clasificación de la UNE-EN 350-2:1995.



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Tabla 4: Dimensiones y propiedades de las vigas ensayadas

Material				Código	Masa	Anchura	Altura	Longitud	Peso específico
Especie	Clase	Tratamiento	Nº empalmes		(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/m³)
Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	0 empalmes	D069	15,30	16,80	16,10	110,30	512,839
Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	1 empalme	D068	9,55	17,20	10,00	105,20	527,788
Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	2 empalmes	D067	9,65	17,20	10,00	105,30	532,808
Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	D066	9,65	17,20	10,00	105,00	534,330
Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	4 empalmes	D065	9,80	17,20	10,00	105,10	542,119
Pino silvestre	GL-18	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D064	9,95	17,30	10,00	105,20	546,715
Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	0 empalmes	D040	13,00	17,00	15,00	105,00	485,528
Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	1 empalme	D039	8,90	17,20	10,10	105,10	487,458
Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	2 empalmes	D038	13,00	16,10	14,10	110,30	519,186
Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	3 empalmes	D037	9,20	17,00	9,80	110,00	502,019
Pino silvestre	GL-18	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	D035	9,05	17,30	10,00	105,00	498,211
Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	0 empalmes	D075	14,40	22,60	10,20	104,70	596,633
Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	1 empalme	D074	10,30	17,20	10,00	105,00	570,321
Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	2 empalmes	D073	10,35	17,20	10,00	105,20	572,000
Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	3 empalmes	D072	9,65	17,10	10,00	105,20	536,433
Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	4 empalmes	D071	10,10	17,20	10,00	105,00	559,247
Pino silvestre	GL-24	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D070	10,65	17,30	10,10	105,00	580,487
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	0 empalmes	D028	9,15	17,20	9,80	105,00	516,984
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	1 empalme	D027	9,05	17,20	9,90	105,00	506,169
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	2 empalmes	D026	8,50	16,00	10,00	105,00	505,952



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Material				Código	Masa	Anchura	Altura	Longitud	Peso específico
Especie	Clase	Tratamiento	Nº empalmes		(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/m³)
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	2 empalmes	D026 (BIS)	13,90	17,20	15,20	104,70	507,804
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	3 empalmes	D025	8,80	17,20	10,00	105,00	487,265
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	4 empalmes	D023	9,65	17,20	9,90	108,00	524,735
Pino silvestre	GL-24	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	D024	9,20	17,30	10,00	105,10	505,987
Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	0 empalmes	D081	8,45	17,20	10,10	105,20	462,372
Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	2 empalmes	D079	9,45	17,10	10,00	105,10	525,815
Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	3 empalmes	D078	8,85	17,10	10,00	105,20	491,962
Pino silvestre	GL-28	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D076	9,75	17,30	10,10	105,00	531,432
Pino silvestre	GL-28	Tanalizado	0 empalmes	D034	8,80	17,20	10,00	105,20	486,338
Pino silvestre	GL-28	Tanalizado	2 empalmes	D032	8,00	17,30	10,00	105,20	439,570
Pino silvestre	GL-28	Tanalizado	3 empalmes	D031	7,65	17,20	9,80	105,00	432,233
Pino silvestre	GL-28	Tanalizado	4 empalmes	D030	7,75	17,20	10,00	105,10	428,717
Pino silvestre	GL-28	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	D029	8,05	17,20	9,80	105,10	454,400
Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	0 empalmes	D048	8,70	20,90	10,10	98,10	420,129
Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	1 empalme	D047	7,80	17,00	9,85	105,00	443,629
Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	D045	11,10	22,60	10,00	105,10	467,317
Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	4 empalmes	D043	10,60	22,50	10,00	105,10	448,250
Abeto	GL-18	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D042	10,60	22,60	10,10	105,00	442,269
Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	0 empalmes	D057	9,40	18,10	10,10	105,20	488,779
Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	1 empalme	D056	11,50	22,60	9,80	105,10	494,038



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Material				Código	Masa	Anchura	Altura	Longitud	Peso específico
Especie	Clase	Tratamiento	Nº empalmes		(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/m³)
Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	2 empalmes	D053	7,80	17,30	10,10	105,10	424,741
Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	3 empalmes	D052	8,10	17,20	10,00	105,00	448,505
Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	4 empalmes	D051	8,00	17,20	10,00	105,00	442,968
Abeto	GL-24	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D050	8,20	17,00	10,00	105,10	458,947
Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	0 empalmes	D063	9,30	22,50	9,90	104,90	398,006
Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	2 empalmes	D061	9,85	22,50	10,20	105,00	408,756
Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	3 empalmes	D060	10,60	22,50	9,80	105,00	457,834
Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	4 empalmes	D059	8,35	17,00	10,00	105,00	467,787
Abeto	GL-28	Sin tratamiento Sumergida	5 empalmes	D058	8,05	17,10	9,60	105,10	466,580



3.2. Equipamiento y metodologías empleadas en la investigación

Como se comentó en el anterior apartado 2 Estado del Arte, para verificar el correcto comportamiento estructural de la madera laminada encolada (Glulam) es fundamental caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas. Entre los factores más relevantes se encuentran el peso específico, el contenido de humedad y la resistencia mecánica.

En este Trabajo Fin de Máster se han empleado diversos equipos que permiten la evaluación del material sin comprometer su integridad, utilizando principalmente técnicas no destructivas o ligeramente destructivas. Los instrumentos utilizados han sido:

- Dos medidores de humedad (xilohigrómetros):
 - Uno de resistencia eléctrica, que permite medir la humedad a cierta profundidad.
 - Otro de tipo capacitivo, cuya medición se asocia a la humedad superficial.
- Dos equipos ultrasónicos, empleados para medir el tiempo de vuelo de las ondas emitidas, lo cual permite inferir la densidad y homogeneidad del material.
- Un dispositivo para realizar ensayos de extracción de tornillos, que mide la fuerza necesaria para extraer tornillos previamente enroscados en el elemento estructural, con el fin de estimar el peso específico del elemento de madera.

Estos equipos no solo permiten la detección de defectos internos en el material, sino que también ofrecen la posibilidad de adaptar las mediciones a distintos tipos de madera y condiciones de construcción. Esto asegura resultados fiables y representativos del estado real de los elementos analizados.

Además, uno de los objetivos de este trabajo es explorar las posibles correlaciones entre las diferentes metodologías de medición, lo cual podría permitir en el futuro la reducción del número de ensayos necesarios para caracterizar un elemento estructural, optimizando así el proceso de evaluación.

En este contexto, la combinación de estas técnicas (medición de humedad, ultrasonidos y resistencia a la extracción de tornillos) se presenta como una estrategia eficaz para evaluar la calidad de la madera laminada sin comprometer su funcionalidad estructural.

A continuación, se describirá el procedimiento seguido para la realización de los ensayos con estos instrumentos, detallando las etapas de preparación, ejecución y obtención de resultados. El objetivo final será establecer correlaciones que permitan estimar propiedades del material mediante un número reducido de pruebas, evitando así la aplicación sistemática de todos los ensayos a cada muestra.

A continuación, se explicará el funcionamiento, utilidad y la metodología seguida en cada uno de los cinco equipos empleados.

3.2.1. Xilohigrómetro de resistencia eléctrica

El xilohigrómetro de resistencia eléctrica empleado para la realización del TFM se trata del *Hydromette RTU 600*. Es un aparato avanzado diseñado para medir el contenido de humedad en madera y otros materiales de construcción de manera precisa y eficiente, ver Ilustración 21. Para lograr esto, emplea el método de conductividad eléctrica, aprovechando la relación directa entre la resistencia eléctrica de un material y su contenido de humedad. (GANN Mess- u. Regeltechnik GmbH, s. f.)



Ilustración 21: Xilohigrómetro de resistencia eléctrica (Hydromette RTU 600)

El equipo permite determinar contenidos de humedad en madera en un gran espectro, desde un 4% hasta un 200% (contenido de humedad en seco), incluyendo la capacidad para medir temperaturas entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo del sensor utilizado, lo que amplía su utilidad en distintos entornos, en el caso de la realización del TFM se midió la temperatura con el xilohigrómetro capacitivo.

Unida a las anteriores, otra de las características más destacables es su sistema de calibración automática, permitiendo con ello ajustar las lecturas según la especie de madera medida, se puede trabajar con más de 250 especies de madera. Para esto, se hace uso de una guía aplicable a diferentes especies de árboles. Así, según la especie se dará un valor diferente a los parámetros X e Y del aparato permitiendo con ello, y considerando la temperatura de lugar de ensayo, el conocer la humedad del material.

Por su parte, el *Hydromette RTU 600* también resulta compatible con una amplia gama de electrodos, tanto para mediciones destructivas como no destructivas (las empleadas en los ensayos), dividiéndose estos a grandes rasgos entre los diseños insertables y clavables. Estos permiten adaptar el aparato para que pueda operar con materiales de diversos tamaños, pudiéndose emplear de forma complementaria un gel para ayudar en las mediciones en el caso de materiales de gran dureza que dificulten el agarre del aparato.

Finalmente, destacar su gran versatilidad para trabajar en gran variedad de entornos y condiciones, a la par que facilita la obtención de resultados de gran fiabilidad y en un gran número de materiales.

Metodología de ensayo

Se comienza con la medición de la temperatura ambiente en el entorno donde se ubican las probetas y se modifican los parámetros X e Y del aparato, conforme a la guía del aparato y el tipo de material a ensayar.

A continuación, se coloca la cabeza del instrumento sobre la superficie a ensayar, como se aprecia en la Ilustración 22, para luego impactar el cabezal con el martillo deslizante que lleva incorporado el equipo en el fuste metálico. De esta forma los electrodos son hincados sobre el material. Posteriormente, mediante la aplicación de un campo eléctrico se determina la humedad del material; para ello, se recomienda esperar unos segundos hasta que la medida del dispositivo se estabilice. Dicho ensayo se repitió tres veces por cada cara con el objetivo de eliminar posibles incertidumbres asociadas a una única media.



Ilustración 22: Xilohigrómetro de resistencia eléctrica - Metodología del ensayo

3.2.2. Xilohigrómetro capacitivo

El modelo de xilohigrómetro capacitivo empleado se trata del MC-380XCA, ver Ilustración 23. Este, al igual que el aparato anterior, se ha diseñado para proporcionar mediciones rápidas y precisas, pero con la diferencia de que no produce ningún daño en el material, en tanto que no clava ningún electrodo, al realizar la medición de la humedad aplicándose directamente en su superficie. (Exotek Instruments, s. f.)



Ilustración 23: Xilohigrómetro capacitivo (MC-380XCA)

Para su funcionamiento se emplea el principio de capacitancia para detectar cambios dieléctricos causados por la variación de la humedad en los materiales. Permite dos modos de funcionamiento, así puede emplearse tanto para elementos de reducido espesor (10 mm), como en evaluaciones más profundas (100 mm) como podría ser el caso de estructuras como vigas de soporte o losas de hormigón completas. Su rango de medición varía entre el 0 y el 85% en madera (basado en una densidad de 200 kg/m³) y entre el 0 y el 11% en materiales de construcción, además de calcular hasta el 98% de humedad relativa (RH) en estos últimos.

Finalmente, se ha de destacar que este xilohigrómetro capacitivo integra una biblioteca preprogramada con 230 especies de madera y 19 tipos de materiales de construcción, lo que facilita la correcta medición de la humedad del material, lo que, junto a su reducido tamaño y peso, lo hace más cómodo de transportar y manejar en campo, respecto al xilohigrómetro de resistencia eléctrica *Hydromette RTU 600*.

Metodología de ensayo

El primer paso para la operación con el xilohigrómetro capacitivo es la selección del tipo de material a ensayar. En este caso puede ser pino silvestre o abeto. Una vez configurado, únicamente se posarán los sensores metálicos sobre la superficie y se esperará unos segundos a que la medida se estabilice. Ver en la Ilustración 24.



Ilustración 24: Ejemplo del uso del Xilohigrómetro capacitivo (MC-380XCA)

Como ya se ha referido, tanto el instrumento como su aplicación es más simple que el xilohigrómetro de resistencia eléctrica ya que no se precisa de hincado.

3.2.3. Microsecond Timer

El *Microsecond Timer* se trata de un dispositivo portátil diseñado para realizar ensayos no destructivos en madera, especializándose en la evaluación de la integridad estructural de árboles, ver Ilustración 25. Este mide el tiempo de vuelo de las ondas de sonido a través del material y calcula la velocidad de propagación, permitiendo identificar defectos internos como decaimiento, hongos o daños estructurales. Se han de realizar

diversas medidas a lo largo del material a ensayar debido a que presenta un error de unos ms en las medidas, siendo resultado del tiempo que se demora el aparato en procesar la señal y que puede llegar a afectar los resultados.



Ilustración 25: Microsecond Timer

En cuanto al funcionamiento, se disponen dos transductores acabados en punta que se han de hincar en el material mediante un martillo de goma. Una vez realizado este proceso, el sensor (marcado en rojo) se golpea con un martillo metálico normalizado de 100 g, para generar una onda mecánica que se propaga por el medio objeto de ensayo. Seguidamente, se mide el tiempo que tarda ésta en recorrer la distancia entre ambos transductores (tiempo de vuelo). La velocidad del sonido se obtiene dividiendo la distancia existente entre los transductores por el tiempo de vuelo registrado; así, en caso de requerir más tiempo del usual podría concluirse que existe algún daño o defecto (nudo, etc.) en el elemento ensayado que produce el retardo de la onda. Se recomiendan distancias entre transductores de hasta 35 cm, a partir de esta los errores de medición se incrementan notablemente dejando de ser realistas, debiéndose clavar estos en ángulos entre 30 y 60° para que efectúen mediciones fiables.

Entre otras de sus características se destaca su diseño compacto y ligero, disponiendo de una pantalla LCD de 4 dígitos para mostrar los resultados. Presenta una precisión de 0,1 ms y funciona en un rango de temperatura de -10 °C a 40 °C.

Finalmente, mencionar que, a pesar de no haberse empleado en la presente investigación, el *Microsecond Timer* incluye una aplicación complementaria que permite registrar y gestionar los datos de medición, crear proyectos específicos para cada árbol, agregar notas y exportar resultados en formato Excel, permitiendo con ello una mayor fluidez y gestión del trabajo, sobre todo en las situaciones en las que no puede disponerse de portátiles u otros elementos. (Fakopp Enterprise Bt, 2024)

Metodología de ensayo

Cabe distinguir dos modalidades de ensayo:

- **Ensayo directo:** se hincarán el emisor y el receptor enfrentados, en los puntos en los cuales previamente se ha medido la humedad, Ilustración 26. Debido a la

magnitud del ancho de las probetas, inferior a 35 cm, la distancia entre transductores está dentro del rango recomendado por el fabricante.

Posteriormente, se realizarán una serie de golpes mediante el martillo normalizado de 100 g, esperando entre cada uno al menos dos segundos para que no haya superposición en las ondas, anotándose al menos cinco resultados por cada medición, obteniendo el promedio del tiempo de vuelo como resultado final.

Este ensayo se realizará seis veces en cada probeta, hincando los transductores perpendiculares a las paredes del elemento estructural para garantizar una correcta propagación de la onda.

A partir del tiempo de vuelo obtenido y la distancia existente entre transductores puede calcularse la velocidad de propagación en el seno del elemento estructural.



Ilustración 26: Microsecond Timer - Metodología del ensayo directo

- **Ensayo indirecto:** tanto el emisor como el receptor se colocarán en una misma cara (materializada por el largo y el canto). Así, el emisor se emplazará en una posición fija y el receptor en diferentes posiciones, alineadas con el emisor, y a distancias variables de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm y 30 cm. En este caso, los transductores se clavarán con un ángulo entre 30° y 60° para lograr una correcta propagación de la onda longitudinalmente, ver Ilustración 27.



Ilustración 27: Microsecond Timer - Metodología del ensayo indirecto

Para cada una de las posiciones, una vez clavados los transductores, se procederá como en el caso del método directo: impacto + registro del tiempo de vuelo + cálculo de velocidad de propagación de la onda.

3.2.4. Ultrasonic Timer

El *Ultrasonic Timer* se trata de un dispositivo con el mismo objetivo que el anterior, estando diseñado para medir la velocidad ultrasónica en materiales como árboles, plántulas, madera, chapas de madera, etc. Permitiendo localizar sus defectos y determinar sus propiedades, ver Ilustración 28. (Fakopp Enterprise Bt, s. f.)

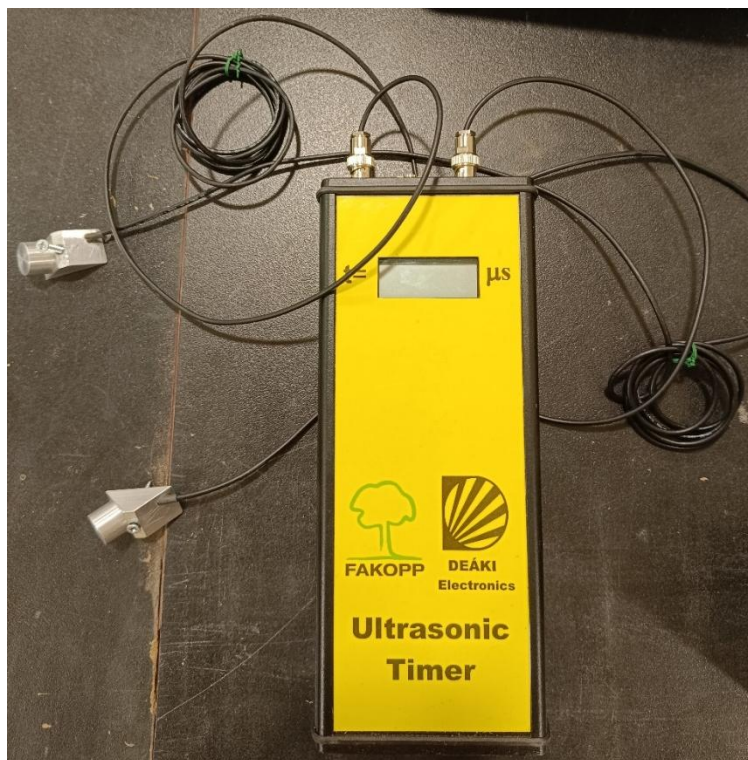


Ilustración 28: Ultrasonic Timer

Por su parte, presenta un funcionamiento claramente diferenciado al anterior instrumento, al ser el propio aparato el encargado de emitir la señal en vez de necesitar de una acción externa para producirla. Además, emplea dos transductores piezoeléctricos idénticos los cuales presentan frecuencias específicas, como 90 kHz para plántulas (precisa de clavado) y 45 kHz para madera (precisa de atornillado), en el caso del TFM se empleó el segundo de los referidos.

Finalmente, es destacable referir que este aparato permite realizar las mediciones hasta distancias de 1m lo que mejora enormemente al *Microsecond Timer*, paliando esta limitación. Aun así, para la realización de los ensayos se han empleado cortas distancias para poder compararlos entre sí. En cuanto a su temperatura, presenta operabilidad entre 0 y 35°C.

Metodología de ensayo

Las metodologías de ensayo serán, al igual que con el *Microsecond Timer*, el ensayo directo e indirecto (en este caso el emisor y receptor de la onda deben encontrarse “enfrentados”). La única diferencia notable en el modus operandi es que el emisor y

receptor serán atornillados en vez de clavados, y que será el propio transductor emisor el encargado de emitir las ondas sin necesidad de la ejecución de un impacto.

El equipo proporciona el tiempo de vuelo con una frecuencia de 2 Hz, es decir dos resultados por segundo, de los cuales se realizará el promedio con un mínimo de cinco valores.

A continuación, se muestran la Ilustración 29 relativa al ensayo directo y la Ilustración 30 referente al ensayo indirecto.

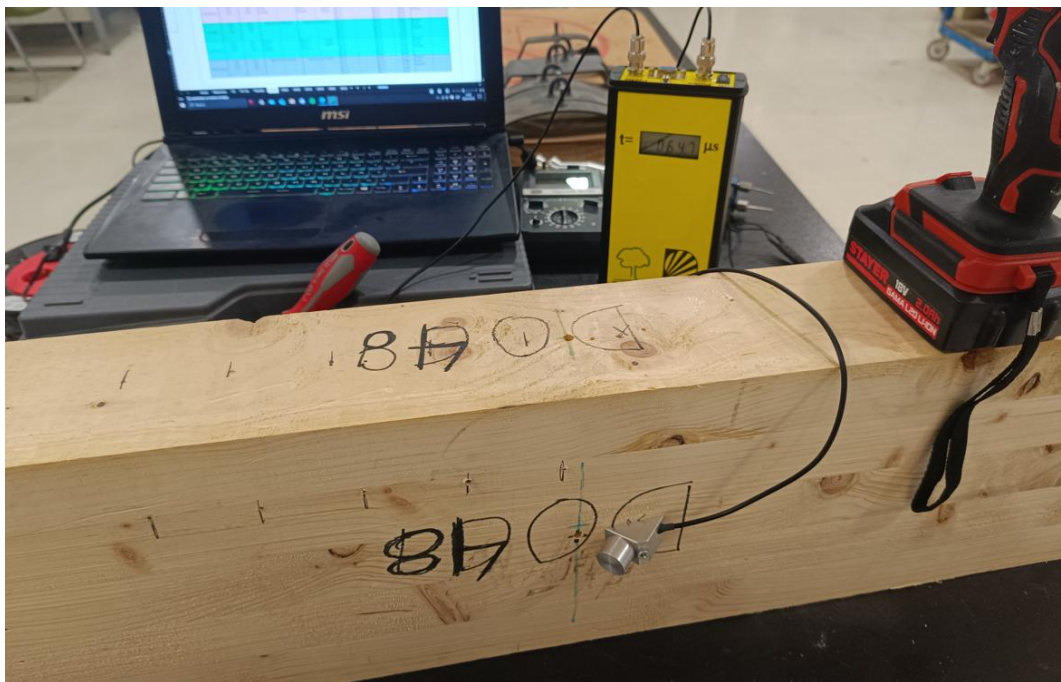


Ilustración 29: Ultrasonic Timer - Metodología del ensayo directo

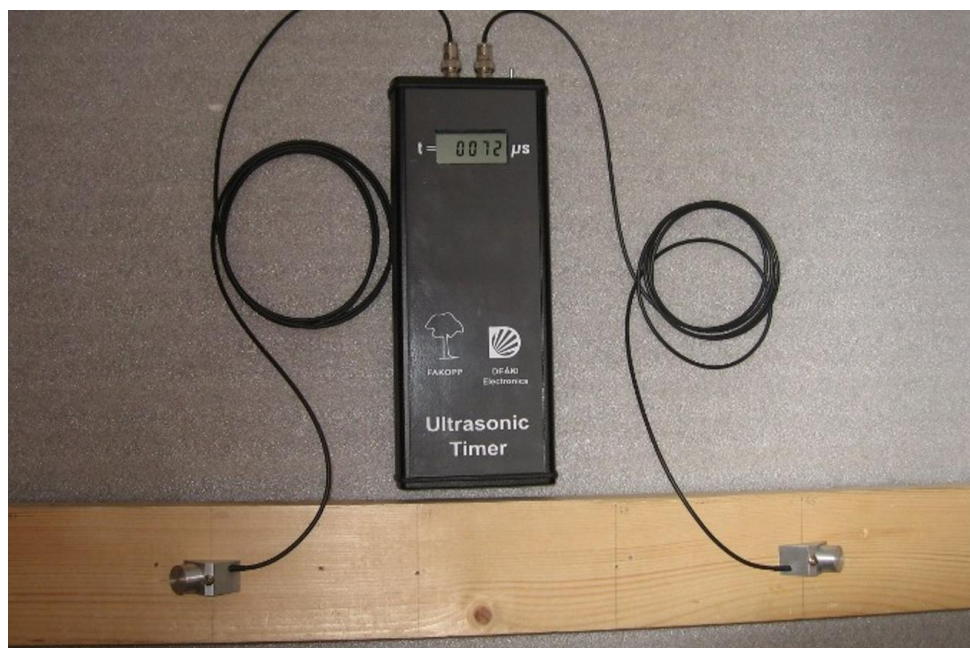


Ilustración 30: Ultrasonic Timer - Metodología del ensayo indirecto

3.2.5. Screw Withdrawal Resistance Meter

El *Screw Withdrawal Resistance Meter* también llamado medidor de resistencia a la extracción de tornillos, permite evaluar las propiedades mecánicas de la madera, como la resistencia, el peso específico y el módulo de corte (G)⁵, a través de la fuerza requerida para extraer un tornillo previamente insertado en el material, ver Ilustración 31. (Fakopp Enterprise Bt, 2010)

El dispositivo emplea diferentes tipos de tornillo en función del tipo de material:

- Maderas de coníferas: diámetro de 4 mm y longitud de rosca de 18 mm.
- Maderas más duras: diámetro de 3 mm y longitud de rosca de 15 mm.

En cuanto al empleo del dispositivo, únicamente se precisará de una correcta elección de la superficie a ensayar, evitando en la medida de lo posible los nudos por dar valores varias veces superior al del material. Para su puesta en operación se emplearán destornilladores o taladros para enroscar el tornillo en la madera, y, después, se colocará el equipo de forma que la pieza en forma de uña trinque la cabeza del tornillo insertado. La correcta medición precisará de la activación de la función “*Peak Hold*” para registrar el valor máximo de fuerza alcanzado durante la prueba. A continuación, se girará el mango superior en sentido horario a una velocidad controlada de aproximadamente media vuelta cada 3-4 segundos (equivalente a 0.5 mm de la longitud del fuste del tornillo por segundo). Aunque en campo cumplir con estos requisitos resulta complicado debido a la fuerza notable que debe realizarse para determinadas muestras.

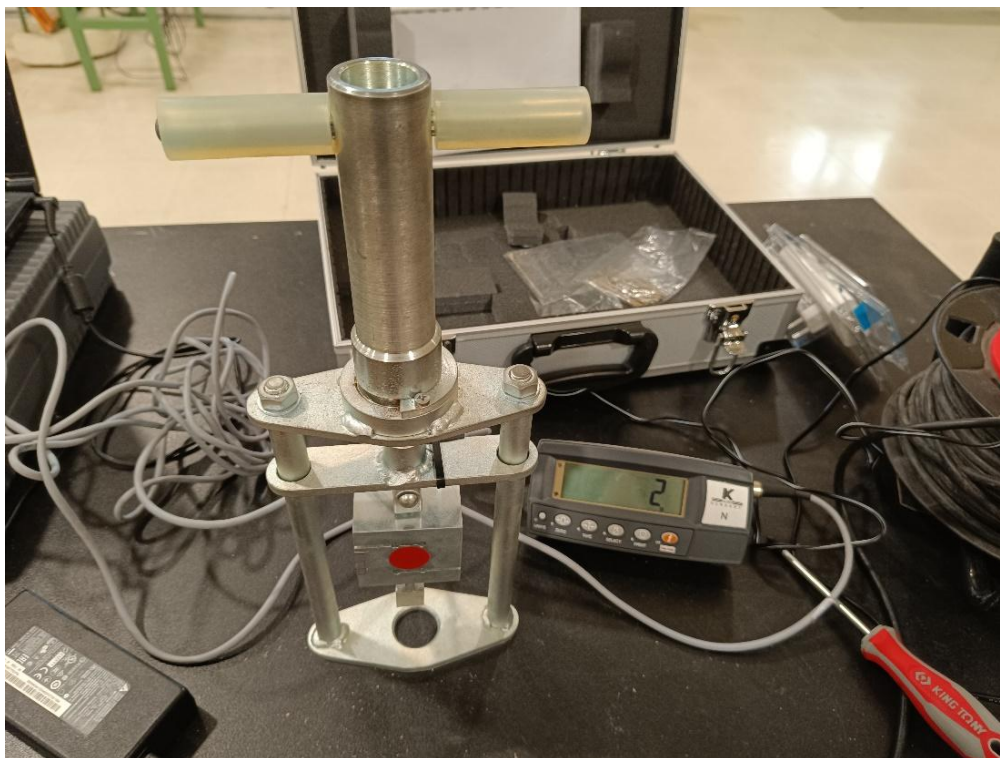


Ilustración 31: *Screw Withdrawal Resistance Meter*

Finalmente, se ha de destacar que el transductor de fuerza (célula de carga de tracción) del aparato presenta una capacidad máxima de 5 kN, pudiendo soportar hasta 10 kN

⁵ También llamado de cizalladura, de rigidez o de elasticidad transversal.

sin sufrir daños. En cuanto a su temperatura, presenta un rango de operación entre 10°C y 40°C.

Metodología de ensayo

Este se aplicará en las mismas zonas en las que previamente se determinó el contenido de humedad y se desarrollaron los ensayos de medida de velocidad de onda.

Como primer paso se determinará el tipo de madera a ensayar (pino silvestre o abeto). Por tanto, se emplearán tornillos para maderas de coníferas (diámetro de 4 mm y longitud de rosca de 18 mm).

Con posterioridad, éste se atornillará al elemento estructural y se colocará el aparato para realizar la medición, ver Ilustración 32. En este paso se ha de evitar enroscar el tornillo en nudos o en sus proximidades, en tanto que dan valores anormales de fuerza de arrancamiento. Igualmente, caso de que se obtengan datos inverosímiles será necesario repetir la medición debido a que se ha podido atornillar el tornillo en zonas de afección de nudo no visibles.

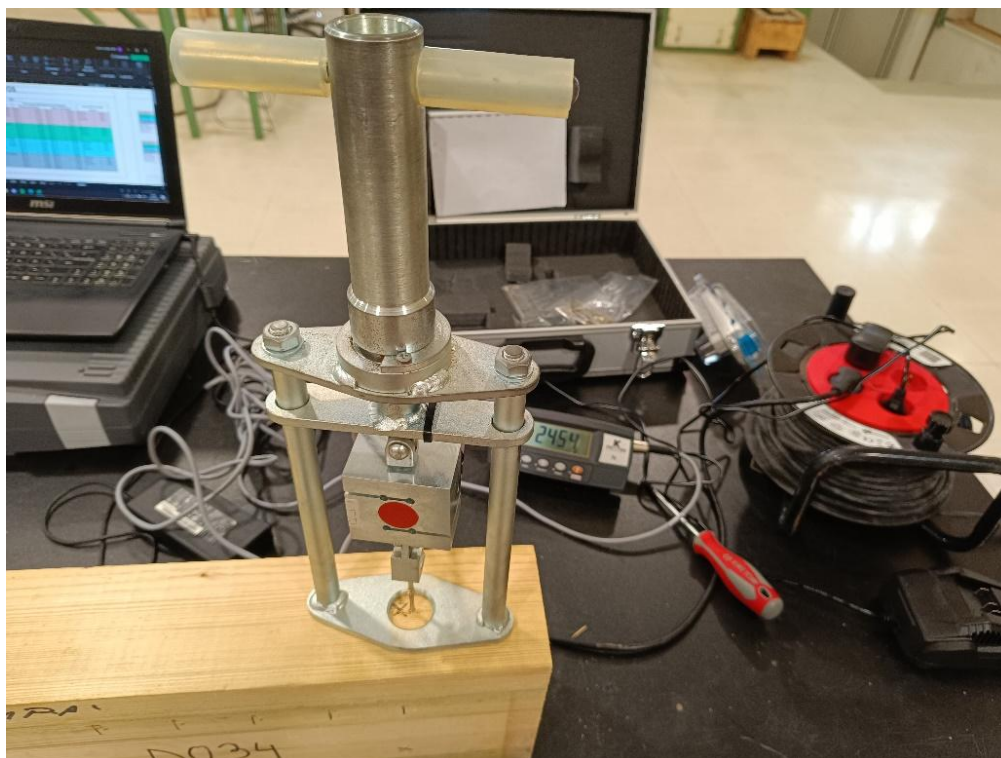


Ilustración 32: Ensayo de resistencia por arrancamiento de tornillos - Metodología del ensayo

Finalmente, se ajustará el aparato al tornillo, reseteando el resultado anterior en caso de existir y se seleccionará la función pico para que arroje el mayor resultado. Este ensayo se realiza 3 veces por cada ejemplo de ficha de resultados

A modo de ejemplo, en la Ilustración 33 se muestra la recopilación de medidas registradas experimentalmente con todos los equipos, para la viga D066.

Cabe mencionar que todos los ensayos se realizaron en las cuatro caras de las vigas, tratando de ubicar los tres puntos ensayo de cada cara de la siguiente forma: el primero



en el centro de la cara y los otros dos restantes a 10-15cm de ambos extremos, buscando en todo momento evitar los nudos para conseguir una medida lo más fiable posible.

Todas las medidas se tomaron de forma perpendicular a la superficie del material, a excepción de las medidas de ultrasonidos en las que como ya se ha referido, además del método directo, también se realizaron medidas por el método indirecto.

Se remite al lector al Anexo N° 1: Fichas de resultados.



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Material				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D066	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	9,65	17,20	10,00	105,00	534,330

Día 8
20,4 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)			Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
Resistencia eléctrica	Capacitivo		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
Cara superior	17,3	18,7	Derecha	111,500	Derecha	115,444	10 cm	30,000	10 cm	23,160	Derecha	1888
	18,3	19,2	Centro	121,625	Centro	120,244	15 cm	39,625	15 cm	33,082	Centro	2114
	17,6	17,7	Izquierda	118,500	Izquierda	123,338	20 cm	48,435	20 cm	42,825	Izquierda	2122
							25 cm	58,875	25 cm	52,300		
							30 cm	67,000	30 cm	61,810		
Cara inferior	16,8	17,5					10 cm	30,000	10 cm	25,067	Derecha	2478
	18,4	18,4					15 cm	40,571	15 cm	34,900	Centro	1972
	17,3	18,8					20 cm	51,333	20 cm	44,910	Izquierda	3806
							25 cm	62,500	25 cm	54,100		
							30 cm	72,111	30 cm	64,857		
Cara Frontal	18	21,2	Derecha	69,000	Derecha	68,192	10 cm	32,778	10 cm	24,800	Derecha	2392
	16,5	16,4	Centro	69,500	Centro	68,267	15 cm	43,000	15 cm	35,463	Centro	1370
	17,3	19,2	Izquierda	70,429	Izquierda	60,745	20 cm	54,556	20 cm	89,920	Izquierda	1948
							25 cm	64,250	25 cm	59,622		
							30 cm	74,625	30 cm	69,544		
Cara Posterior	17,1	16,8					10 cm	28,500	10 cm	26,525	Derecha	2622
	16,7	16,9					15 cm	39,125	15 cm	35,175	Centro	1916
	17,7	19,8					20 cm	48,625	20 cm	44,378	Izquierda	2128
							25 cm	59,125	25 cm	53,300		
							30 cm	69,778	30 cm	62,692		

Ilustración 33: Tabla de resultados de la viga D066



4. Análisis de resultados

El análisis comenzará con el análisis de las vigas ensayadas en tres bloques, atendiendo a la especie de la madera, con y sin tratamiento de tanalizado; es decir, clasificadas según:

- Pino silvestre sin tratamiento.
- Pino silvestre con tratamiento de tanalizado.
- Abeto (debido a su carácter de madera poco impregnable, según la clasificación de la UNE-EN 350-2:1995, el abeto no fue sometido a tratamiento de tanalizado).

Diferenciándose también entre probetas que no fueron sometidas a inmersión y 9 probetas que fueron sumergidas en agua dulce durante 304 días (3 de Pino Silvestre, 3 de Pino Silvestre tanalizado, y 3 de Abeto, de clases resistentes GL18, GL24 y GL28 en cada caso).

A continuación, se explicará cómo se han corregido los resultados de los ensayos considerando la humedad de cada probeta, así como cómo se han obtenido las distintas correlaciones entre parámetros.

4.1. Corrección de las medidas considerando la humedad

Para ilustrar el *modus operandi* se tomará como ejemplo los resultados de la viga D066 del **Anexo N° 1: Fichas de resultados**.

Se partirá de los resultados obtenidos de los ensayos realizados según lo descrito en el apartado 3.2, cuyas magnitudes fueron registradas en la tabla recogida en la Ilustración 33.

Se comienza calculando el promedio de las humedades globales de las vigas tanto mediante xilohigrómetro de resistencia eléctrica como xilohigrómetro capacitivo, para emplearlos con posterioridad. Para ello, se realizará el promedio de las 12 mediciones (3 por cada una de las 4 caras de la probeta) para cada uno de los xilohigrómetros, este será el resultado que aparece en el apartado de humedad de la Ilustración 38.

Posteriormente, a partir del tiempo de vuelo registrado en microsegundos (Ilustración 33), se procede al cálculo de la velocidad de propagación mediante los métodos directo e indirecto. En el caso del método directo, el cálculo es simple, ya que la velocidad se obtiene dividiendo la distancia entre transductores por el tiempo de vuelo:

$$V_{US,directo} = \frac{d_{entre.transductores}}{t_{vuelo}}$$

Por otro lado, el método indirecto requiere establecer la relación entre la distancia entre transductores y el tiempo de vuelo correspondiente a distintos puntos de ensayo (Ilustración 34). A partir de esta relación, la velocidad de propagación se determina como la pendiente (tangente) de la línea de regresión respecto al eje vertical. En el caso mostrado, la ecuación que describe el tiempo de recorrido de la onda en función de la distancia es: $y = 2.123x + 8.8429$, donde el valor 8.8429 microsegundos representa el error de medición del ensayo. Si se considera una función sin término independiente, como $y=2.0943x$, se puede obtener directamente la velocidad de propagación. Adicionalmente, se observa una alta correlación lineal. Así, en la mayoría de las vigas

ensayadas dicho coeficiente R^2 osciló entre 0.9995 y 0.9998, lo cual respalda la validez de este ajuste lineal para el caso del método indirecto.

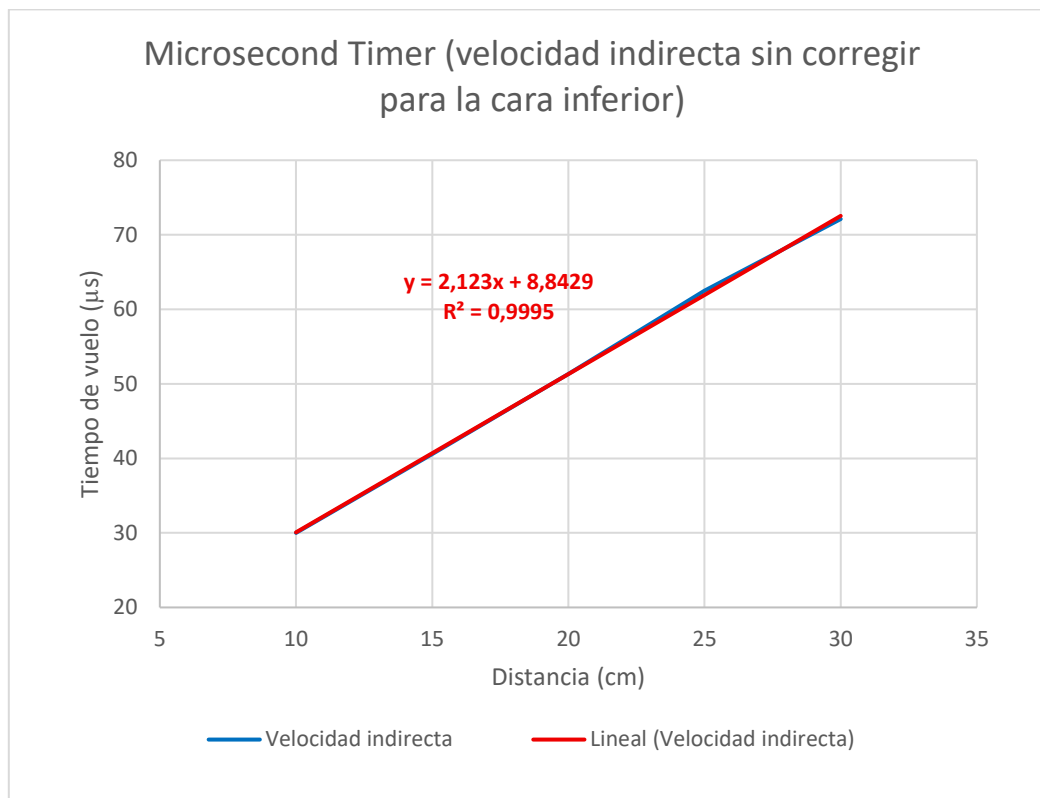


Ilustración 34: Velocidad longitudinal obtenida por el método indirecto sin corregir para la cara inferior

Una vez realizados estos cálculos, se procede a la aplicación de los procedimientos descritos en **Unterweiser 2010** y en la norma **UNE EN 384 2016 A1**, con el objetivo de corregir los resultados de los ensayos (peso específico⁶, la velocidad de propagación -directa e indirecta-, y el módulo de elasticidad⁷ -longitudinal y transversal-), normalizándolos a una humedad del 12% (pues ésta es un parámetro que tiene una importancia relativa).

Dichas correcciones se aplicarán por separado considerando las medidas de humedad obtenidas con el xilohigrómetro de resistencia eléctrica y con el xilohigrómetro capacitivo.

Unterweiser 2010

El funcionamiento del procedimiento se comentó con anterioridad en el apartado 2.4. Las fórmulas de corrección adoptadas⁸ en este TFM según esta propuesta se relacionan en la Ilustración 35. Estas se aplican a tres parámetros: el peso específico, la velocidad de propagación (directa e indirecta), y el módulo de elasticidad (longitudinal y transversal).

⁶ Peso específico sin corregir (kg/m^3) = masa (kg) / volumen (m^3)

⁷ Módulo de elasticidad sin corregir (GPa) = Peso específico · (Velocidad propagación)²

⁸ Destacar que todas las fórmulas referidas son para humedades superiores al 12%, que son las únicas que se han dado durante los ensayos. Aunque también existe otra formulación para valores inferiores al 12% de referencia.

$$\rho_{12,u \leq FSP} = \frac{\rho_u}{1 + 0.0042 \cdot (u - 12)}$$

$$v_{EF,US,12,u \leq FSP} = \frac{v_u}{1 - 0.0061 \cdot (u - 12)}$$

$$E_{dyn,EF,US,12,u \leq FSP} = \frac{E_{dyn,u}}{1 - 0.00825 \cdot (u - 12)}$$

Ilustración 35: Fórmulas para la corrección por humedad en el procedimiento Unterweiser

Como ejemplo de un resultado corregido, se pueden tomar las velocidades indirectas de la Tabla 5. Es destacable mencionar que a pesar de ser pequeña la variación esta varía entre un 1,5 y un 3% para todas las muestras ensayadas.

Tabla 5: Ejemplo de la corrección de la velocidad indirecta

	Velocidades indirectas (m/s)			
	Microsecond Timer (transductores clavados)		Ultrasonic Timer (transductores atornillados)	
	Promedio	Promedio corregido (H=12%)	Promedio	Promedio corregido (H=12%)
Cara superior	5361,93	5544,20	5180,37	5330,60
Cara inferior	4710,28	4846,88	5061,71	5208,49
Cara frontal	4764,43	4902,59	4399,53	4527,11
Cara Posterior	4875,41	5016,79	5527,33	5687,62

UNE EN 384 2016 A1

Se trata de un procedimiento similar al anterior, a excepción de que con esta norma no se corrigen las velocidades de propagación conforme a la humedad, ver Ilustración 36.

$$E_0 = E_0(u) (1 + 0,01 (u - u_{ref}))$$

$$\rho = \rho(u) (1 - 0,005 (u - u_{ref}))$$

Ilustración 36: Fórmulas para la corrección por humedad en la normativa UNE EN 384 2016 A1

A continuación, a modo de ejemplo, en la Ilustración 37 se muestra la corrección de ambos módulos de elasticidad (longitudinal y transversal) con este procedimiento, variando estos entre un 4 y un 6%.



Modulo de Elasticidad (GPa)		
Microsecond Timer	Paralelo	13,43
	Perpendicular	3,12
Ultrasonic Timer	Paralelo	14,02
	Perpendicular	3,52

Modulo de Elasticidad Corregido (GPa)		
L.T. Puntas	Paralelo	14,17
	Perpendicular	3,27
L.T. Atornillar	Paralelo	14,80
	Perpendicular	3,70

Ilustración 37: Ejemplo de la corrección de los módulos de elasticidad mediante UNE EN 384 2016 A1

Es destacable mencionar que cuanto mayor sea la diferencia entre la humedad medida en la probeta en relación al 12%, mayor serán las diferencias entre los valores corregidos de las diferentes propiedades y los valores originales registrados en los ensayos. No obstante, debido a que las muestras se atemperaron en el laboratorio, no se aprecian cambios significativos en la humedad entre ellas. Cabe igualmente referir que en lo que respecta a la corrección de la velocidad de propagación de las ondas se ha empleado la humedad global de la viga en vez de la obtenida puntualmente en cada punto de ensayo.

A modo de ejemplo, en la Ilustración 38 se muestra la forma de presentar las medidas de los diferentes parámetros una vez corregidas a una humedad del 12%.

Se remite al lector al Anexo N° 1: Fichas de resultados.



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Código vigas	Material				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D066	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	9,65	17,20	10,00	105,00	534,330

Resultados corregidos

				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,42%	522,97	5195,54	5077,62	1521,15	1503,85	Paralelo	14,17
			Cara frontal y posterior			4959,69		1486,56		Perpendicular	3,27
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5269,55	5188,46	1488,92	1543,65	Paralelo	14,80
			Cara frontal y posterior			5107,37		1579,55		Perpendicular	3,70
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,38%	520,90	5213,95	5102,04	1530,48	1513,08	Paralelo	14,43
			Cara frontal y posterior			4990,12		1495,68		Perpendicular	3,33
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5301,88	5220,29	1498,06	1543,65	Paralelo	15,10
			Cara frontal y posterior			5138,70		1589,25		Perpendicular	3,76
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,42%	519,86	5036,11	4928,01	1469,42	1452,71	Paralelo	13,31
			Cara frontal y posterior			4819,92		1436,00		Perpendicular	3,05
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5121,04	5042,23	1438,29	1451,97	Paralelo	13,93
			Cara frontal y posterior			4963,43		1525,84		Perpendicular	3,44
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,38%	517,28	5036,11	4928,01	1469,42	1452,71	Paralelo	13,36
			Cara frontal y posterior			4819,92		1436,00		Perpendicular	3,06
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5121,04	5042,23	1438,29	1451,97	Paralelo	13,99
			Cara frontal y posterior			4963,43		1525,84		Perpendicular	3,46

Ilustración 38: Resultados corregidos de la viga D066

4.2. Obtención de las correlaciones y comprobación del error presente en estas.

Una vez obtenidos todos los resultados corregidos, es la hora de obtener potenciales correlaciones entre parámetros, ver Tabla 6.

Tabla 6: Tabla de las diferentes relaciones a estudiar

Xilohigrómetro de resistencia eléctrica	Xilohigrómetro capacitivo
Velocidad indirecta (Microsecond timer) - Velocidad longitudinal (// fibra)	Velocidad indirecta (Ultrasonic timer) - Velocidad longitudinal (// fibra)
Velocidad directa (Microsecond timer) - Velocidad transversal ($\perp$ fibra)	Velocidad directa (Ultrasonic timer) - Velocidad transversal ($\perp$ fibra)
Velocidad directa ($\perp$ fibra)	Velocidad indirecta (// fibra)
Peso específico	Velocidad directa
	Velocidad indirecta
	Fuerza de arrancamiento de tornillos
Velocidad directa	Fuerza de arrancamiento de tornillos

Todas estas se efectúan para las tres clasificaciones mencionadas previamente: *Pino Silvestre* sin tratamiento, *Pino Silvestre* tanalizado, y *Abeto*; subdividiéndose a su vez según su clase resistente.

Para ello, se han empleado dos archivos Excel diferentes:

- **Caso general:** agrupa por bloques todos los datos obtenidos de los ensayos (humedad, peso específico, velocidad directa, velocidad indirecta, y arrancamiento de tornillos) y, posteriormente, se corrigen al 12% de humedad aplicando ambos procedimientos, tanto para las medidas dadas por el xilohigrómetro de resistencia eléctrica como para el capacitivo, con esto se obtienen cuatro casos.

Finalmente, se calcula el valor promedio y la desviación típica de las relaciones conforme se detalla en el apartado 4.3., donde también se especifica como se agruparon los datos para realizar estas.

Con estos “casos generales” se busca obtener el comportamiento general de cada tipo de madera y clase resistente, considerando también los tratamientos que se le realizan (tanalizado), en el caso del pino silvestre.

- **Caso particular de cada viga:** caso similar al anterior, pero empleando únicamente los resultados particulares de cada viga, siendo la agrupación de los datos para las correlaciones exactamente igual que en el caso general, ver Ilustración 39.

Con este caso se busca obtener tendencias más concretas antes de efectuar el caso general, a fin de delimitar las áreas que se desean tratar.

El estudio pormenorizado realizado para cada una de las vigas puede consultarse en el **Anexo Nº 1: Fichas de resultados**.

A partir de este punto, se abordará únicamente el caso general, ya que las conclusiones derivadas de este constituyen el objetivo principal del TFM y, además, permiten extrapolar el procedimiento aplicado en cada caso particular.

CASO GENERAL

Para el cálculo general se ha creado un archivo Excel que aglutinan toda la información registrada y corregida. Al partir de este, es posible obtener las relaciones entre parámetros (Ilustración 40).



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Código vigas	Material				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D066	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	9,65	17,20	10,00	105,00	534,330

Relaciones entre los Resultados

			Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
			Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,709	2,876	4,263	1,578
		Ultrasonic Timer	9,921	2,934		1,616
	Capacitivo	Microsecond Timer	9,795	2,905	4,280	1,569
		Ultrasonic Timer	10,022	2,963		1,606
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,480	2,794	4,289	1,634
		Ultrasonic Timer	9,699	2,793		1,673
	Capacitivo	Microsecond Timer	9,527	2,808	4,310	1,634
		Ultrasonic Timer	9,748	2,807		1,673

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,416	3,376
			Cara frontal y posterior	3,336	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,539	3,386
			Cara frontal y posterior	3,233	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,407	3,372
			Cara frontal y posterior	3,336	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,539	3,386
			Cara frontal y posterior	3,233	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,427	3,392
			Cara frontal y posterior	3,356	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,474
			Cara frontal y posterior	3,387	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,427	3,392
			Cara frontal y posterior	3,356	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,474
			Cara frontal y posterior	3,387	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio		Promedio Total
Cara superior e inferior	1,044	1,056
Cara frontal y posterior	1,068	
Cara superior e inferior	1,044	
Cara frontal y posterior	1,068	

Ilustración 39: Ejemplo de relaciones entre resultados (viga D066)



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Relación Capacitivo/Resistencia eléctrica		Relación velocidad indirecta / peso específico		Relación velocidad directa / peso específico		Relación Velocidad Indirecta/Directa		Relación Arrancamiento de Tornillos / Velocidad Directa	
Res. Eléctrica	Micros. Timer	Ultras. Timer	Micr. Timer	Ultras. Timer	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Microsecond Timer	Ultrasonic Timer	Micr. Timer	Ultras. Timer
1,081	10,601	10,193	3,054	2,949	3,610	3,416	3,539	1,182	1,224
1,049	9,268	9,960	2,799	2,831	4,042	3,336	3,233	1,444	1,428
1,006	9,375	8,657	2,873	2,760	4,058	3,271	3,461	1,412	1,470
1,042	9,593	10,876	2,869	2,903	4,738	3,087	3,068	1,552	1,607
1,000	8,275	8,058	2,848	2,900	3,771	3,473	2,965	1,347	1,332
1,087	8,711	9,301	2,811	3,259		3,448	3,627		
1,178	8,955		2,612	2,587	4,574	3,697	3,466	1,594	1,576
0,994	8,781	8,187	2,573	2,430	2,620	3,930	3,365	0,920	0,903
1,110	8,764	7,985	2,605	2,506	3,725	3,111	3,184	1,325	1,143
0,982	11,715	9,226	2,844	2,673	5,014	3,224	3,684	1,748	1,727
1,012	9,682	10,148	2,619	2,665	3,664	3,374	3,333	1,286	1,264
1,119	9,795	9,769	3,156		4,069	3,654	3,425	1,448	1,249
0,987	10,056	10,392	2,955	3,094	3,628	3,638	3,770	1,389	1,402
1,065	9,109	9,100	2,863	2,772	4,200	3,546	3,301	1,632	1,728
1,073	9,429	9,224	3,026	2,842	3,912	3,588	3,584	1,502	1,561
1,043	9,567	9,716	2,840	2,632	3,337	3,662	3,459	1,278	1,290
1,023	8,446	7,934	2,672	2,557	2,907	3,416	3,727	1,130	1,196
1,202	9,508	10,311	2,961	3,048	3,113	3,179	3,726	1,195	1,242
1,103	10,010	10,863	2,630	2,912	4,995	3,630	3,653	1,757	1,869
1,146	9,363	9,826	2,554	2,717	4,729	3,151	3,592	1,806	1,775
1,207	9,814	9,857	2,592	2,806	3,720		2,655	1,179	
1,106	9,309	9,800	2,458	2,869	3,568	3,106	3,251	1,255	1,335
1,018	10,266	10,893		2,892	4,363	3,010	3,188	1,666	1,637
1,013	9,181	9,462	2,376	2,681	2,418	3,353	3,623	0,766	
0,948	10,244	10,373	2,895	3,051	3,770	3,201	3,305	1,276	
0,883	9,826	9,865	2,895	2,793	2,987	2,995	2,961	1,043	1,078
0,930	9,937	8,992	2,865	2,752	3,712	2,943	3,073	1,227	1,306
1,163			2,862	2,762	3,789	3,326	3,576	1,282	1,225
1,089	8,863	9,523	2,855	2,646	3,510	3,141	3,054	1,226	1,266
1,126	8,942	9,551	3,297	3,016	3,773	3,445	3,520	1,247	1,328
0,911	8,760	9,228	2,839	2,744	4,675	3,049	3,174	1,646	1,776
1,114	8,518	8,444	2,874	2,987	5,404	3,367	3,584	2,022	2,114
0,963	10,236	10,082	2,789	3,114	3,793			1,281	1,244
1,214	10,442	10,113	2,748	3,112	5,259			1,852	1,998
1,188	9,277	9,871	2,611	2,953	4,621			1,729	1,808
1,035	10,050	10,403	2,624	2,850	3,479			1,175	1,142
0,913	9,135	10,360	2,707	2,417	3,404			1,294	1,169
0,932	10,846	10,161	2,781	2,850	3,640			1,425	1,340



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Datos									
		Velocidad Directa		Velocidad Indirecta				Velocidad Directa	
Res. Eléctrica	Capacitivo	Mic. Timer	Ult. Timer	Mic. Timer	Ult. Timer	Peso específico	Arrancamiento de tornillos	Mic. Timer	Ult. Timer
17,300	18,700	1596,908	1542,346	5544,204	5330,601	522,967	1888,000	1596,908	1542,346
18,300	19,200	1463,969	1480,777	4846,878	5208,493	563,383	2114,000	1463,969	1480,777
17,600	17,700	1502,576	1443,642	4902,593	4527,112	523,663	2122,000	1502,576	1443,642
16,800	17,500	1500,297	1518,081	5016,792	5687,620	533,493	2478,000	1596,908	1542,346
18,400	18,400	1489,503	1516,413	4662,241	4539,607	552,630	1972,000	1463,969	1480,777
17,300	18,800	1469,865	1704,168	4907,585	5239,803	517,928	3806,000	1502,576	1443,642
18,000	21,200	1471,622	1457,634	5045,256	4133,331	516,862	2392,000	1500,297	1518,081
16,500	16,400	1449,447	1369,173	4947,290	4612,197	557,754	1370,000	1489,503	1516,413
17,300	19,200	1467,540	1411,737	4589,170	4181,198	527,879	1948,000	1469,865	1704,168
17,100	16,800	1602,011	1505,930	6134,654	4831,197	486,534	2622,000	1500,297	1518,081
16,700	16,900	1475,234	1501,153	5069,962	5314,149	503,518	1916,000	1489,503	1516,413
17,700	19,800	1777,955	1994,722	5129,309	5115,622	583,367	2128,000	1469,865	1704,168
14,900	14,700	1547,410	1620,152	5364,924	5544,082	454,889	2044,000	1471,622	1457,634
15,500	16,500	1499,327	1451,358	4859,381	4854,758	533,628	2366,000	1449,447	1369,173
15,000	16,100	1584,363	1488,395	5030,486	4920,883	516,121	2204,000	1467,540	1411,737
16,300	17,000	1487,144	1378,215	5104,173	5183,330	565,203	1880,000	1471,622	1457,634
17,500	17,900	1399,466	1338,752	4667,742	4384,460		1638,000	1449,447	1369,173
16,300	19,600	1550,665	1595,978	5254,537	5698,402		1754,000	1467,540	1411,737
15,500	17,100	1403,014	1553,711	5531,594	6003,111		2814,000	1602,011	1505,930
16,400	18,800	1362,795	1449,615	5174,110	5429,907		2664,000	1475,234	1501,153
15,000	18,100	1382,612	1497,160	5082,974	5105,028		2096,000	1777,955	1994,722
16,000	17,700	1311,381	1530,846	4821,209	5075,546		2010,000	1602,011	1505,930
17,000	17,300	1197,728	1542,635	5316,998	5641,852		2458,000	1475,234	1501,153
15,200	15,400	1267,437	1430,281	4755,165	4900,833		1362,000	1777,955	1994,722
17,200	16,300	1600,135	1685,971	5294,974	5361,607		1974,000	1547,410	1620,152
17,900	15,800	1600,135	1543,599	5078,496	5098,963		1564,000	1499,327	1451,358
17,200	16,000	1583,291	1521,076	5135,906	4647,492		1944,000	1584,363	1488,395
14,700	17,100	1581,769	1526,545	5111,769	7462,734		1984,000	1547,410	1620,152
15,700	17,100	1577,692	1462,012	4943,162	5311,294		1838,000	1499,327	1451,358
15,100	17,000	1821,859	1666,606	4987,357	5326,836		1976,000	1584,363	1488,395
16,800	15,300	1470,155	1421,352	4885,988	5146,841		2448,000	1487,144	1378,215
16,700	18,600	1488,666	1546,997	4750,803	4709,877		2830,000	1399,466	1338,752
16,000	15,400	1444,704	1612,745	5403,568	5322,155		1986,000	1550,665	1595,978

Datos filtrados									
		Velocidad Directa		Velocidad Indirecta				Velocidad Directa	
Res. Eléctrica	Capacitivo	Mic. Timer	Ult. Timer	Mic. Timer	Ult. Timer	Peso específico	Arrancamiento de tornillos	Mic. Timer	Ult. Timer
17,300	18,700	1596,908	1542,346	5544,204	5330,601	522,967	1888,000	1596,908	1542,346
18,300	19,200	1463,969	1480,777	4846,878	5208,493	563,383	2114,000	1463,969	1480,777
17,600	17,700	1502,576	1443,642	4902,593	4527,112	523,663	2122,000	1502,576	1443,642
16,800	17,500	1500,297	1518,081	5016,792	5687,620	533,493	2478,000	1596,908	1542,346
18,400	18,400	1489,503	1516,413	4662,241	4539,607	552,630	1972,000	1463,969	1480,777
17,300	18,800	1469,865	1704,168	4907,585	5239,803	517,928		1502,576	1443,642
18,000	21,200	1471,622	1457,634	5045,256		516,862	2392,000	1500,297	1518,081
16,500	16,400	1449,447	1369,173	4947,290	4612,197	557,754	1370,000	1489,503	1516,413
17,300	19,200	1467,540	1411,737	4589,170	4181,198	527,879	1948,000	1469,865	1704,168
17,100	16,800	1602,011	1505,930	6134,654	4831,197	486,534	2622,000	1500,297	1518,081
16,700	16,900	1475,234	1501,153	5069,962	5314,149	503,518	1916,000	1489,503	1516,413
17,700	19,800	1777,955		5129,309	5115,622	583,367	2128,000	1469,865	1704,168
14,900	14,700	1547,410	1620,152	5364,924	5544,082		2044,000	1471,622	1457,634
15,500	16,500	1499,327	1451,358	4859,381	4854,758	533,628	2366,000	1449,447	1369,173
15,000	16,100	1584,363	1488,395	5030,486	4920,883	516,121	2204,000	1467,540	1411,737
16,300	17,000	1487,144	1378,215	5104,173	5183,330	565,203	1880,000	1471,622	1457,634
17,500	17,900	1399,466	1338,752	4667,742	4384,460		1638,000	1449,447	1369,173
16,300	19,600	1550,665	1595,978	5254,537	5698,402		1754,000	1467,540	1411,737
15,500	17,100	1403,014	1553,711	5531,594	6003,111		2814,000	1602,011	1505,930
16,400	18,800	1362,795	1449,615	5174,110	5429,907		2664,000	1475,234	1501,153
15,000	18,100	1382,612	1497,160	5082,974	5105,028		2096,000	1777,955	
16,000	17,700	1311,381	1530,846	4821,209	5075,546		2010,000	1602,011	1505,930
17,000	17,300		1542,635	5316,998	5641,852		2458,000	1475,234	1501,153
15,200	15,400	1267,437	1430,281	4755,165	4900,833		1362,000	1777,955	
17,200	16,300	1600,135	1685,971	5294,974	5361,607		1974,000	1547,410	1620,152
17,900	15,800	1600,135	1543,599	5078,496	5098,963		1564,000	1499,327	1451,358
17,200	16,000	1583,291	1521,076	5135,906	4647,492		1944,000	1584,363	1488,395
14,700	17,100	1581,769	1526,545				1984,000	1547,410	1620,152
15,700	17,100	1577,692	1462,012	4943,162	5311,294		1838,000	1499,327	1451,358
15,100	17,000	1821,859	1666,606	4987,357	5326,836		1976,000	1584,363	1488,395
16,800	15,300	1470,155	1421,352	4885,988	5146,841		2448,000	1487,144	1378,215
16,700	18,600	1488,666	1546,997	4750,803	4709,877		2830,000	1399,466	1338,752
16,000	15,400	1444,704	1612,745	5403,568	5322,155		1986,000	1550,665	1595,978



DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

David Cuesta Conde



Gráficas													
Res. Electrica		Velocidad indirecta				Velocidad directa				Arrancamiento de tornillos/velocidad directa			
Capacitivo		Mic. Timer	Peso específico	Ult. Timer	Peso específico	Mic. Timer	Peso específico	Ult. Timer	Peso específico	Arrancamiento de tornillos	Mic. Timer	Arrancamiento de tornillos	Ult. Timer
17,300	18,700	5077,617	522,967	5188,457	522,967	1503,853	522,967	1534,238	522,967	2086,364	522,967	2086,364	522,967
18,300	19,200												
17,600	17,700												
16,800	17,500												
18,400	18,400												
17,300	18,800	4890,593	563,383	4797,202	563,383	1540,635	563,383	1449,125	563,383	2107,500	563,383	2107,500	563,383
18,000	21,200												
16,500	16,400												
17,300	19,200												
17,100	16,800												
16,700	16,900	5230,774	523,663	4860,542	523,663	1511,396	523,663	1478,808	523,663	2128,333	523,663	2128,333	523,663
17,700	19,800												
14,900	14,700												
15,500	16,500												
15,000	16,100												
16,300	17,000	5089,741	533,493	5125,763	533,493	1345,447	533,493	1500,708	533,493	1935,500	533,493	1935,500	533,493
17,500	17,900												
16,300	19,600												
15,500	17,100												
16,400	18,800												
15,000	18,100	5156,996	552,630	5378,970	552,630	1627,480	552,630	1567,635	552,630	2128,333	523,663	2128,333	523,663
16,000	17,700												
17,000	17,300												
15,200	15,400												
17,200	16,300												
17,900	15,800	4994,087	517,928	5180,815	517,928	1423,064	517,928	1533,089	517,928	2128,333	523,663	2128,333	523,663
17,200	16,000												
14,700	17,100												
15,700	17,100												
15,100	17,000												
16,800	15,300	4891,828	557,754	5123,712	557,754	1436,859	516,862	1397,501	516,862	2128,333	523,663	2128,333	523,663
16,700	18,600												
16,000	15,400												
15,900	19,300												
16,500	19,600												
17,100	17,700	5279,531	527,879	5340,766	527,879	1436,859	516,862	1397,501	516,862	2128,333	523,663	2128,333	523,663
16,000	14,600												
17,600	16,400												
16,100	16,500												
14,600	16,800												
15,300	15,800	4753,736	486,534	5012,863	486,534	1436,859	516,862	1397,501	516,862	2128,333	523,663	2128,333	523,663
14,600	16,700												
15,300	15,800												
14,600	16,700												
14,600	16,700												
14,600	16,700	5051,368	503,518	5048,050	503,518	1436,859	516,862	1397,501	516,862	2128,333	523,663	2128,333	523,663
UNION FINAL													

Ilustración 40: Imágenes del Excel generado para la estimación de las relaciones entre parámetros.

En cuanto a las correlaciones efectuadas a partir del punto 4.3.2, estas se han realizado exclusivamente utilizando los datos corregidos a partir de la humedad medida mediante xilohigrómetro de resistencia eléctrica y aplicando el procedimiento de Unterweiser. Esta decisión se basa en los análisis previos, los cuales evidencian que las variaciones derivadas del uso de diferentes tipos de xilohigrómetros o procedimientos de corrección son poco significativas (entre un 1 % y un 3 %).

Finalmente, con el objetivo de mejorar la fiabilidad de los resultados obtenidos, tanto en los ensayos como los calculados posteriormente, se ha aplicado un filtrado estadístico consistente en la eliminación de valores atípicos (outliers). Estos se han definido como aquellos que se encuentran fuera del rango delimitado por dos veces la desviación típica ($\pm 2\sigma$) respecto a la media. La finalidad de este criterio es conservar aproximadamente el 95 % de los datos bajo una distribución normal, eliminando solo aquellos valores extremos que, con alta probabilidad, no representan el comportamiento real del material, sino que son fruto de errores de medición, defectos puntuales o interferencias externas durante los ensayos.

4.3. Obtención de las correlaciones y resultados

4.3.1. Relación Xilohigrómetro de resistencia eléctrica / Xilohigrómetro capacitivo

Se ha comenzado su análisis por medio de la comparación de todas las mediciones realizadas por ambos aparatos, en vigas sin sumergir. Así, se han representado las medidas gráficamente, Ilustración 41.

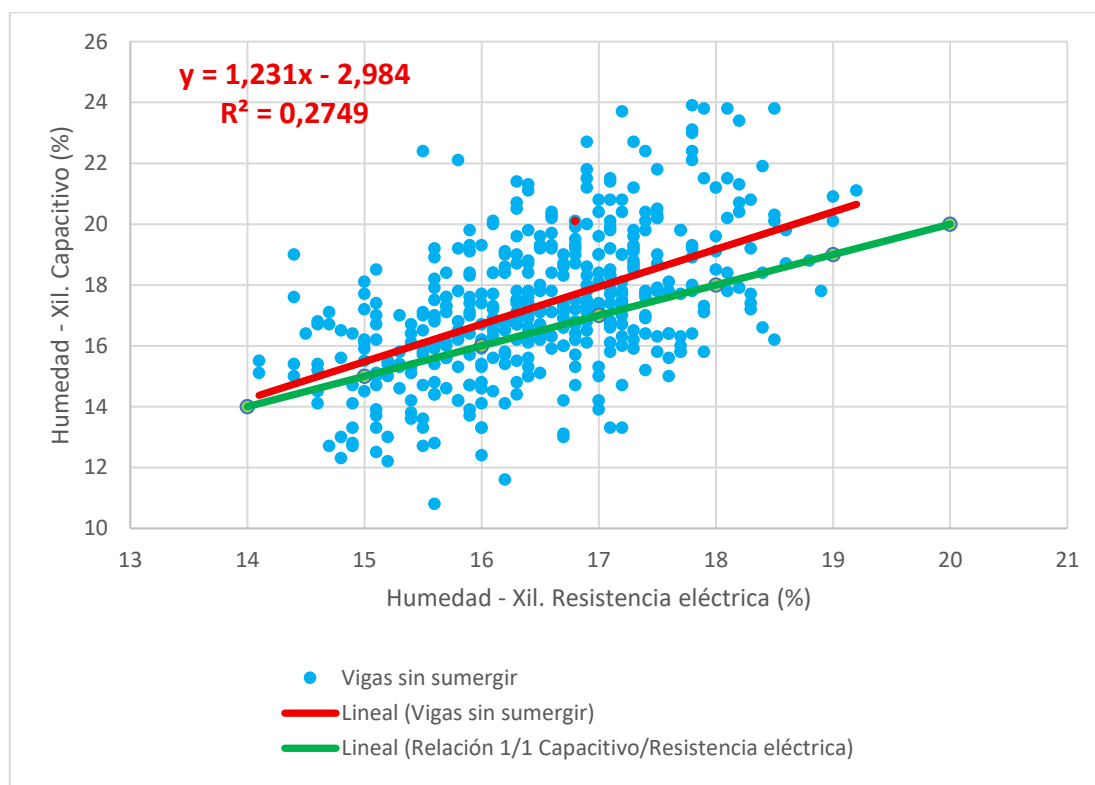


Ilustración 41: Relación “Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica” en vigas no sumergidas

En esta se observa una nube de puntos sin ninguna distribución o tendencia marcada, de ahí que se obtenga un valor de R^2 reducido. No obstante, cabe referir que la recta

de regresión es sensiblemente paralela (tangente 1,231) a la línea verde (que representa una igualdad de las medidas de humedad tomadas con ambos xilohigrómetros, es decir una tangente de 1.00); si bien, la distribución de los puntos indica que, en general, el xilohigrómetro capacitivo tiende a sobreestimar el contenido de humedad en relación al xilohigrómetro de resistencia eléctrica, sobre todo para humedades por encima del 16%.

Posteriormente, se probaron otras funciones de regresión (logarítmicas o potenciales), ver Ilustración 42, pero estas alternativas no arrojaron mejores resultados.

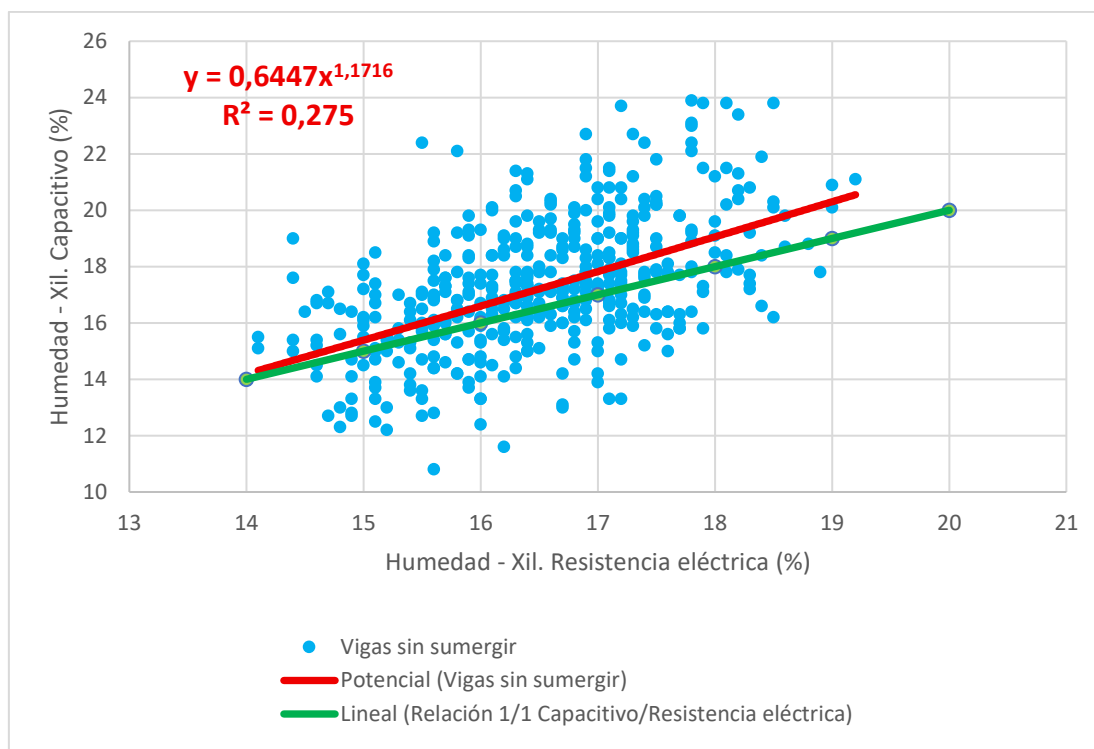


Ilustración 42: Relación “Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica” en vigas no sumergidas con estimación potencial

Finalmente, se procedió al cálculo del promedio de estos al igual que su desviación típica, dando lugar a los siguientes resultados para **vigas no sumergidas**, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 7: Humedad (%) de la madera de pino silvestre sin tratamiento, no sumergida

		Humedad (%)		
		Xilohigrómetro de resistencia eléctrica	Xilohigrómetro capacitivo	$H_{cap}/H_{pta.electr.}$
Global	Promedio	16,354	17,368	1.062
	Desv. Típica	0,896	1,584	-
GL-18	Promedio	16,506	17,875	1.083
	Desv. Típica	0,779	2,294	-
GL-24	Promedio	16,165	17,830	1.103
	Desv. Típica	0,983	2,196	-
GL-28	Promedio	16,139	17,039	1.056
	Desv. Típica	0,842	1,393	-



Tabla 8: Humedad (%) de la madera de pino silvestre tanalizado, no sumergida

		Humedad (%)		
		Xilohigrómetro de resistencia eléctrica	Xilohigrómetro capacitivo	$H_{cap}/H_{pta.electr.}$
Global	Promedio	17,195	18,675	1,086
	Desv. Típica	0,837	2,449	-
GL-18	Promedio	16,861	19,255	1,142
	Desv. Típica	0,810	2,422	-
GL-24	Promedio	17,445	18,643	1,069
	Desv. Típica	0,8678	2,653	-
GL-28	Promedio	17,264	18,148	1,051
	Desv. Típica	0,741	1,976	-

Tabla 9: Humedad (%) de la madera de abeto sin tratamiento, no sumergida

		Humedad (%)		
		Xilohigrómetro de resistencia eléctrica	Xilohigrómetro capacitivo	$H_{cap}/H_{pta.electr.}$
Global	Promedio	16,086	16,102	1,001
	Desv. Típica	0,867	2,170	-
GL-18	Promedio	15,915	16,598	1,043
	Desv. Típica	0,725	1,800	-
GL-24	Promedio	16,316	16,826	1,031
	Desv. Típica	0,946	1,609	-
GL-28	Promedio	15,962	14,789	0,927
	Desv. Típica	0,856	2,524	-

A la vista de los resultados, una primera conclusión que puede formularse es que, efectivamente como se había constatado en la Ilustración 41, el xilohigrómetro capacitivo tiende a sobreestimar ligeramente (entre el 6-8%) el contenido de humedad en relación al xilohigrómetro de resistencia eléctrica para el Pino Silvestre, mientras que en el caso del Abeto las medidas están bastante ajustadas. Por su parte, dentro de cada especie, cabe referir que no existe una diferencia notoria entre las distintas clases resistentes, al ser los valores bastante similares entre sí.

En cuanto a las similitudes y diferencias entre ambos xilohigrómetros, tanto el capacitivo como el de resistencia eléctrica presentan resultados muy similares, aunque el primero posee una mayor desviación típica, que puede deberse a que la medición de la humedad se realiza de forma más superficial, resultando menos preciso que el xilohigrómetro de resistencia eléctrica.

También se observa que la madera de pino silvestre tanalizado presenta una humedad ligeramente mayor que su variante sin tratar. Y resultando ambas superiores a las presentes en las vigas de abeto.

Finalmente, es destacable mencionar que donde si se aprecian diferencias notables es con las **maderas sumergidas** sin tratamiento superficial, observándose aumentos del 14% y el 46% con xilohigrómetro de resistencia eléctrica y capacitivo respectivamente, para la madera de pino silvestre, y del 16% y el 43% para la madera de abeto. En el

caso de la madera de pino silvestre tanalizado estas diferencias fueron de tan solo el 5 y el 13%, esto se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10: Comparativa entre la humedad (%) de la madera sumergida y la no sumergida

		No Sumergidas		Sumergidas			
		Xilohigrómetro de resistencia eléctrica (%)	Xilohigrómetro capacitivo (%)	Xilohigrómetro de resistencia eléctrica (%)		Xilohigrómetro capacitivo (%)	
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	16,354	17,368	18,596	↑ 14%	25,364	↑ 46%
	Desv. Típica	0,896	1,584	0,899	-	2,769	-
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	17,195	18,675	18,031	↑ 5%	21,017	↑ 13%
	Desv. Típica	0,837	2,449	0,666	-	1,921	-
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	16,086	16,102	18,669	↑ 16%	22,958	↑ 43%
	Desv. Típica	0,867	2,170	0,729	-	3,253	-

A su vez, en la Ilustración 43 puede observarse como la humedad registrada en las vigas sumergidas, aun habiendo estado en un mismo ambiente tras la inmersión, es muy superior a las no sumergidas. Además, la recta de regresión para las vigas que fueron objeto de inmersión ya no es sensiblemente paralela (tangente 2,078) a la línea verde (que representa una igualdad de las medidas de humedad tomadas con ambos xilohigrómetros, es decir una tangente de 1.00); no obstante, como viene observándose, el xilohigrómetro capacitivo tiende a sobreestimar el contenido de humedad en relación al xilohigrómetro de resistencia eléctrica, en este caso sensiblemente debido a los altos contenidos de humedad registrados en el grupo de las vigas que fueron objeto de inmersión.

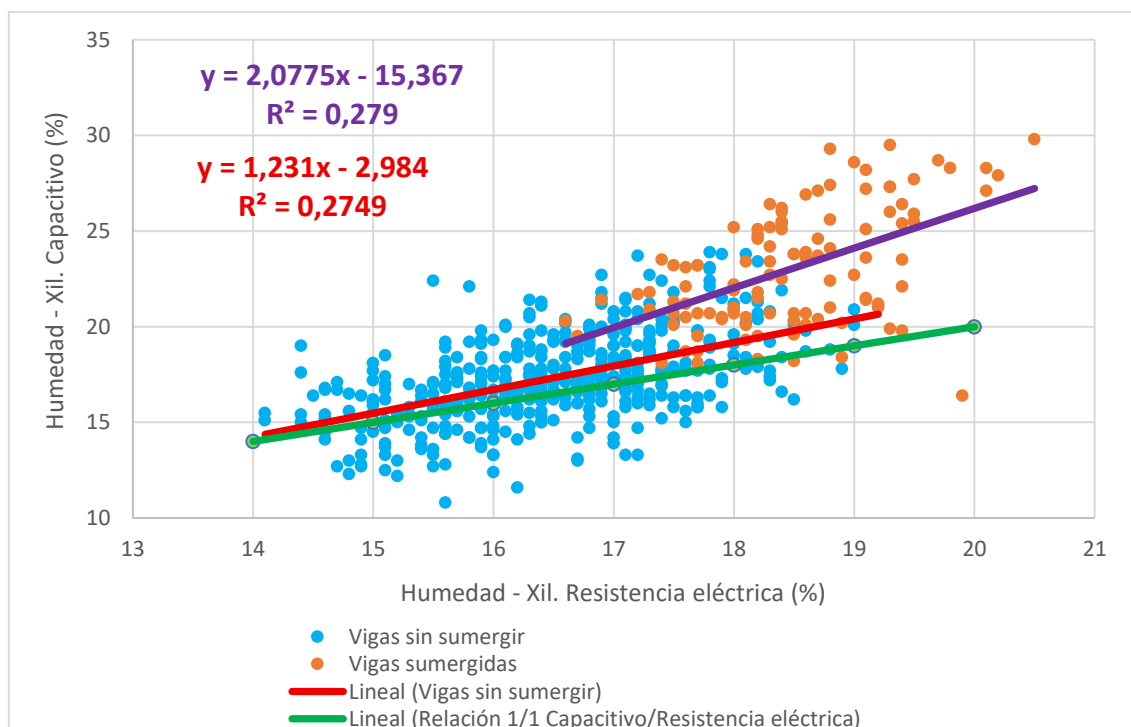


Ilustración 43: Relación "Xilohigrómetro capacitivo / Xilohigrómetro de resistencia eléctrica" para vigas sumergidas y no sumergidas

4.3.2. Relación entre velocidades ultrasónicas indirectas (velocidad longitudinal o // fibra) y relación entre velocidades ultrasónicas directas (velocidad transversal o $\perp$ fibra), registradas con el Microsecond timer y el Ultrasonic timer

Para su cálculo se decidió promediar las velocidades directas e indirectas obtenidas de los ensayos, hasta reducirlos a dos únicos valores en direcciones ortogonales entre sí (paralela y transversal a la dirección de las fibras de la madera), que permitan su comparación en este y futuros apartados como se explica a continuación.

Para cada uno de los dos equipos empleados (Microsecond timer y Ultrasonic timer) se procedió de la siguiente forma:

- Para la dirección longitudinal o // fibra (velocidades obtenidas por el método indirecto) se promediaron, por una parte, las velocidades de la parte superior e inferior de cada viga, y, por otra, las velocidades frontal y posterior.
- Para la dirección transversal o $\perp$ fibra (velocidades obtenidas por el método directo) se promediaron las velocidades obtenidas en las dos caras ensayadas.

Con posterioridad, se representaron gráficamente las velocidades, indirecta (Ilustración 44) y directa (Ilustración 45), obtenidas por ambos aparatos. A pesar de no haberse logrado una gran correlación entre ambos, se aprecia cierta concentración de los puntos alrededor de la línea verde (que representa una igualdad de las medidas de velocidad tomadas con ambos equipos ultrasónicos). Además, parece que el Ultrasonic Timer tiende a sobreestimar la velocidad de propagación obtenida con el método indirecto en relación al Microsecond Timer. Dicho comportamiento parece no registrarse en el caso del método directo.

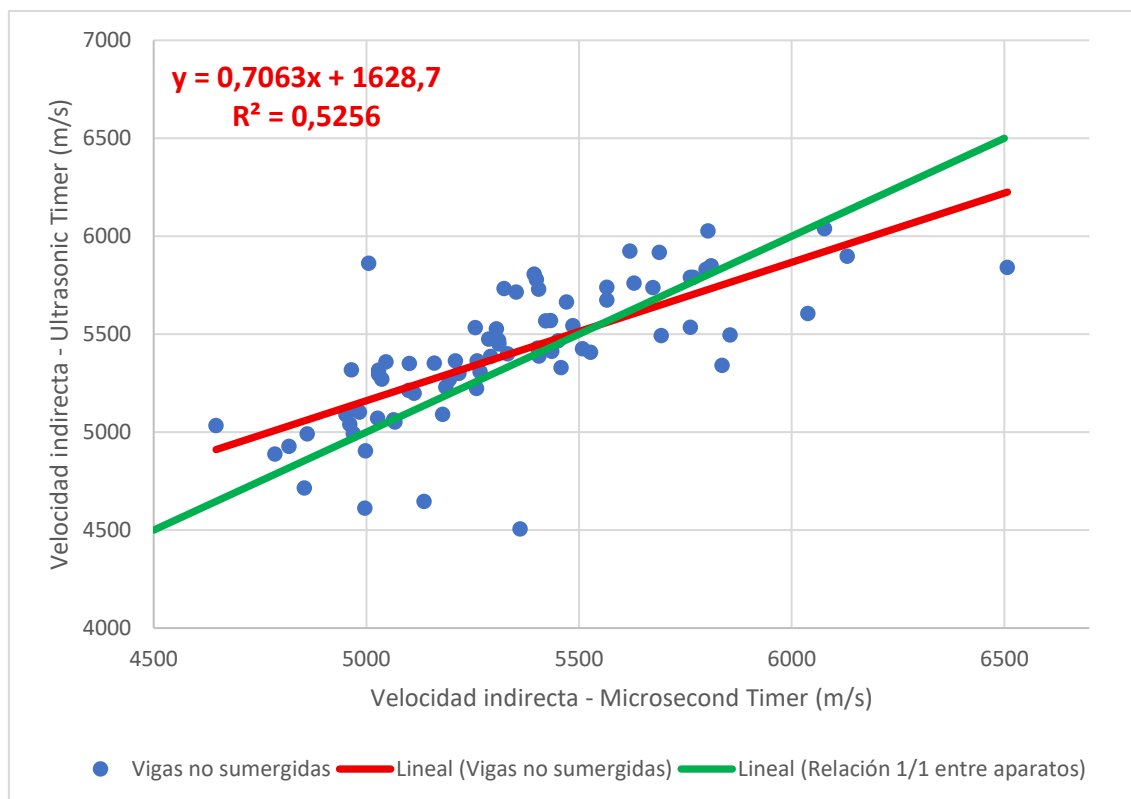


Ilustración 44: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad indirecta Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas no sumergidas

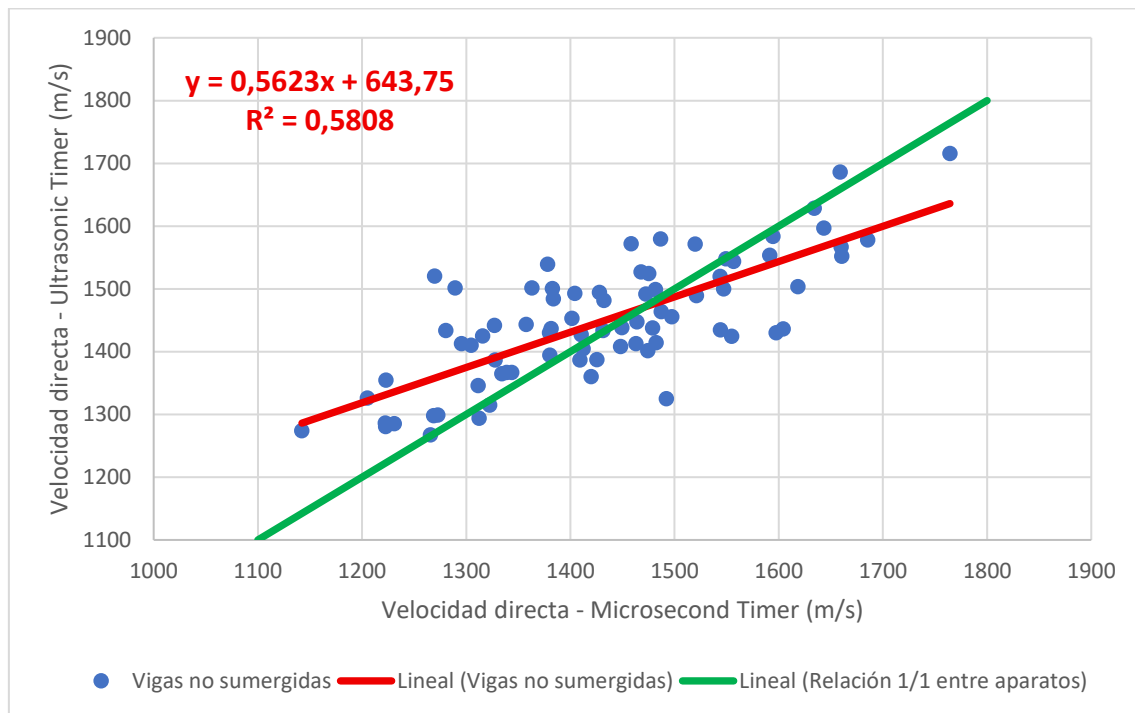


Ilustración 45: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad directa Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas no sumergidas

A la vista de los resultados obtenidos y contrastados con sus valores medios de la Tabla 11, cabe referir que la diferencia final entre ambos aparatos es muy reducida, siendo en una gran parte de los ensayos despreciable, presentando variaciones del orden del 1% en la mayor parte de los casos, sin llegar nunca al 3%.

Tabla 11: Velocidades promedio de propagación corregidas para las especies de madera estudiadas

		Velocidades indirectas (m/s)			Velocidades directas (m/s)		
		Microsecond Timer (transductores clavados) (m/s)	Ultrasonic Timer (transductores atornillados) (m/s)	$1 - \frac{V_{MS}}{V_{UT}}$ (%)	Microsecond Timer (transductores clavados) (m/s)	Ultrasonic Timer (transductores atornillados) (m/s)	$1 - \frac{V_{MS}}{V_{UT}}$ (%)
Pino silvestre s/trat no sumergido	Prom.	5076,37	5120,72	0.87%	1510,31	1516,90	0.43%
	Desv. Típ.	210,05	286,01	-	124,42	110,25	-
Pino silvestre s/trat sumergido	Prom.	5064,94	5105,06	0.79%	1565,90	1534,46	-2.05%
	Desv. Típ.	324,77	355,86	-	54,90	54,73	-
Pino silvest. tanaliz. no sumergido	Prom.	5519,15	5648,59	2.29%	1407,50	1424,33	1.18%
	Desv. Típ.	336,13	225,99	-	123,16	87,15	-
Pino silvest. tanaliz. sumergido	Prom.	5493,35	5494,54	0.02%	1416,76	1408,18	-0.61%
	Desv. Típ.	395,61	501,50	-	69,38	119,21	-
Abeto no sumergido	Prom.	5422,58	5429,54	0.13%	1380,29	1420,61	2.84%
	Desv. Típ.	318,36	269,88	-	113,56	94,32	-
Abeto sumergido	Prom.	5417,23	5558,47	2.54%	1465,31	1481,11	1.07%
	Desv. Típ.	213,71	185,85	-	94,89	75,68	-

Adicionalmente, cabe referir que las correlaciones obtenidas para las **vigas sumergidas** mejoran los resultados previos, tanto para velocidades indirectas

(Ilustración 46) como directas (Ilustración 47), a la par que se presentan una tangente similar a la línea verde de relación 1/1 entre ensayos (sobre todo en el ensayo indirecto); es decir, que estos casos, ambos instrumentos presentan una mayor semejanza en cuanto a sus resultados.

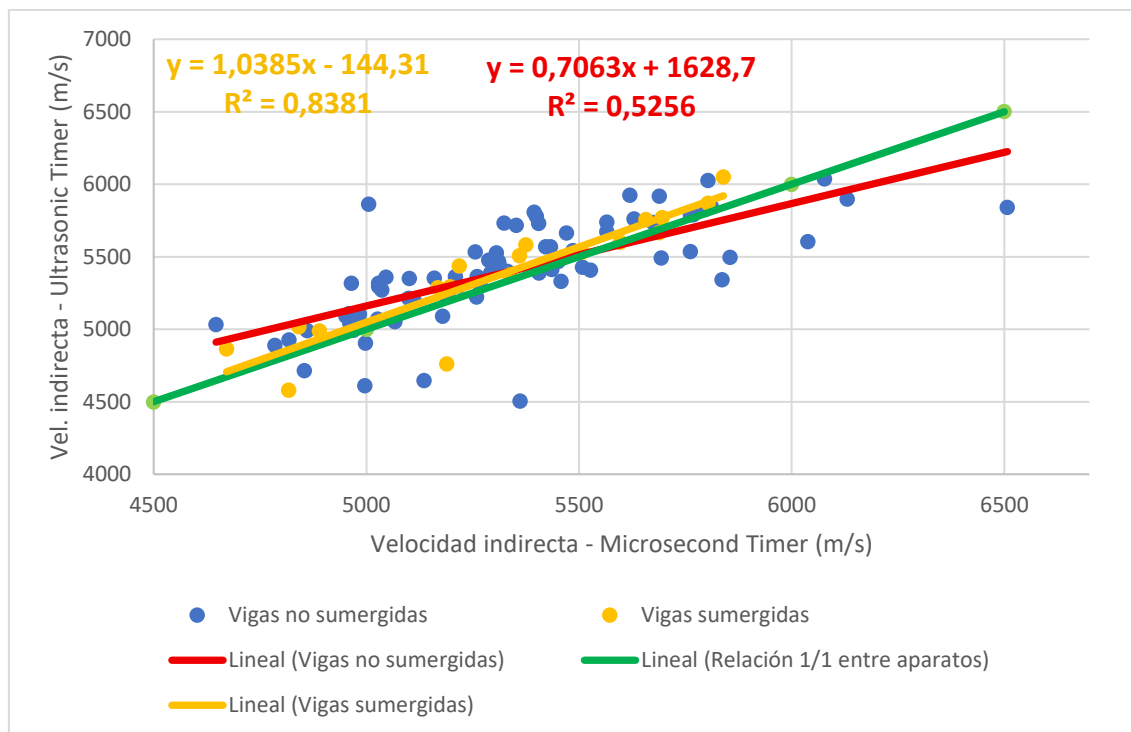


Ilustración 46: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad indirecta Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas sumergidas y no sumergidas

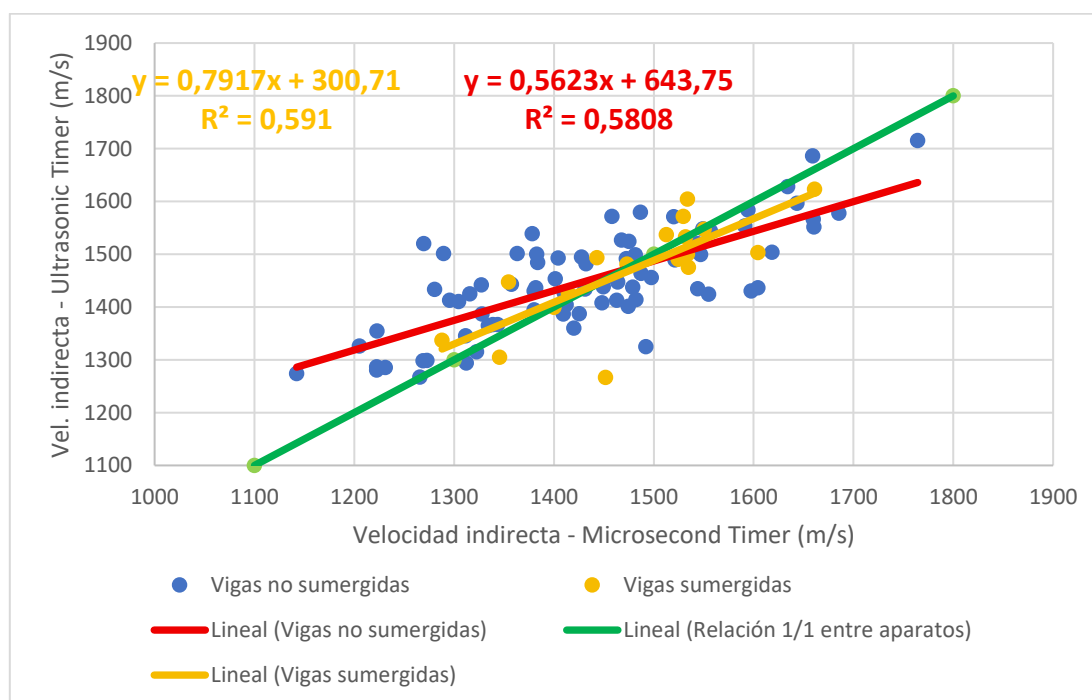


Ilustración 47: Relación entre dispositivos de ultrasonidos para velocidad directa Ultrasonic Timer / Microsecond Timer para vigas sumergidas y no sumergidas

4.3.3. Relación entre velocidades ultrasónicas indirectas (velocidad longitudinal o // fibra) y velocidades ultrasónicas directas (velocidad transversal o $\perp$ fibra), empleando el Microsecond timer

Una vez justificado en el apartado anterior que las medidas ultrasónicas registradas por ambos aparatos, globalmente hablando, son bastante similares, en este únicamente se emplearán las medidas de velocidad registradas, tanto indirectas como directas, con el Microsecond timer. Así, para su análisis, las velocidades de propagación han sido corregidas previamente aplicando los procedimientos descritos en el apartado 4.3.2.

De entrada, cabe referir que, aunque la comparación directa de estos dos parámetros (velocidad longitudinal y transversal) no pueda parecer lógica debido al carácter anisótropo de la madera, se ha considerado pertinente realizarla en aras de tratar de establecer alguna relación entre ambos.

Como era de esperar, la correlación lineal obtenida fue muy pobre. El error es incluso más significativo que en el caso anterior, reflejándose este hecho en la Ilustración 48. Además, a la vista de la referida gráfica, puede apreciarse la tendencia que a medida que la velocidad longitudinal (método indirecto) disminuye, la velocidad transversal (método directo) aumenta, circunstancia que no parece muy lógica.

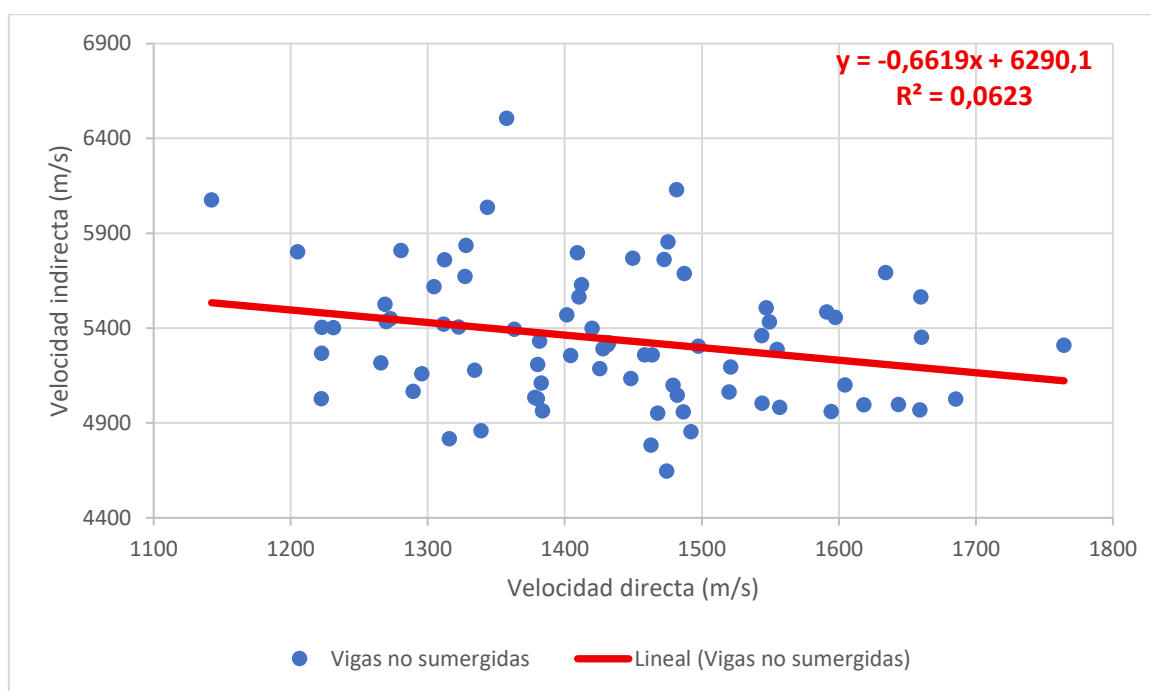


Ilustración 48 Relación entre las velocidades directa / indirecta por Microsecond Timer para vigas no sumergidas

A continuación, para las **probetas no sumergidas**, se muestran los promedios y desviaciones de los resultados obtenidos y corregidos, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14.

Un primer comentario que puede realizarse es que, globalmente, para las especies de coníferas estudiadas, la velocidad longitudinal es del orden de 3,9 veces la transversal en el caso del pino silvestre tanalizado y el abeto, mientras que dicha relación cae a 3,3 en el caso del pino silvestre sin tratamiento.



Tras las relaciones, se ha observado una tendencia directamente proporcional en la que los tipos de madera con mayor velocidad longitudinal (método indirecto), como el pino silvestre tanalizado y el abeto, presentan menores velocidades transversales (método directo) que el pino silvestre sin tratamiento. Este último, por el contrario, presenta mayor velocidad transversal y menor longitudinal. Este comportamiento resulta muy interesante, ya que sugiere que los tratamientos químicos o el tipo de especie no solo influyen en la resistencia mecánica de las vigas, sino que también afectan de forma distinta a la velocidad de propagación de ondas.

Tabla 12: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad indirecta / directa (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Velocidad directa (m/s)	V_{long}/V_{transv}
Global	Promedio	5076,371	1510,307	3,361
	Desv. Típica	210,045	124,422	-
GL-18	Promedio	5101,363	1496,181	3,410
	Desv. Típica	149,967	115,859	-
GL-24	Promedio	5096,191	1560,725	3,265
	Desv. Típica	281,033	124,787	-
GL-28	Promedio	5013,477	1495,794	3,352
	Desv. Típica	264,068	96,541	-

Tabla 13: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para pino silvestre tanalizado, no sumergido

		Velocidad indirecta / directa (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Velocidad directa (m/s)	V_{long}/V_{transv}
Global	Promedio	5519,155	1407,496	3,921
	Desv. Típica	336,133	123,156	-
GL-18	Promedio	5472,122	1452,482	3,767
	Desv. Típica	178,895	110,689	-
GL-24	Promedio	5536,293	1403,363	3,945
	Desv. Típica	456,694	123,397	-
GL-28	Promedio	5547,588	1355,781	4,092
	Desv. Típica	236,764	136,738	-

Tabla 14: $V_{indirecta} / V_{directa} (\equiv V_{longitudinal} / V_{transversal})$ para abeto sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad indirecta / directa (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Velocidad directa (m/s)	V_{long}/V_{transv}
Global	Promedio	5422,581	1380,286	3,929
	Desv. Típica	318,362	113,560	-
GL-18	Promedio	5428,027	1457,654	3,724
	Desv. Típica	349,636	128,344	-
GL-24	Promedio	5323,688	1347,179	3,952
	Desv. Típica	306,800	91,652	-
GL-28	Promedio	5540,750	1344,302	4,122
	Desv. Típica	297,912	94,327	-

Es destacable mencionar que, en las **vigas sumergidas**, Ilustración 49, dicha relación entre velocidad longitudinal y transversal es todavía más acusada que en el caso de las no sumergidas, llegando hasta casi triplicarse esta característica. Este patrón es incluso más marcado en las vigas de pino silvestre tanalizado, mientras que en el caso de las de abeto no aparece.

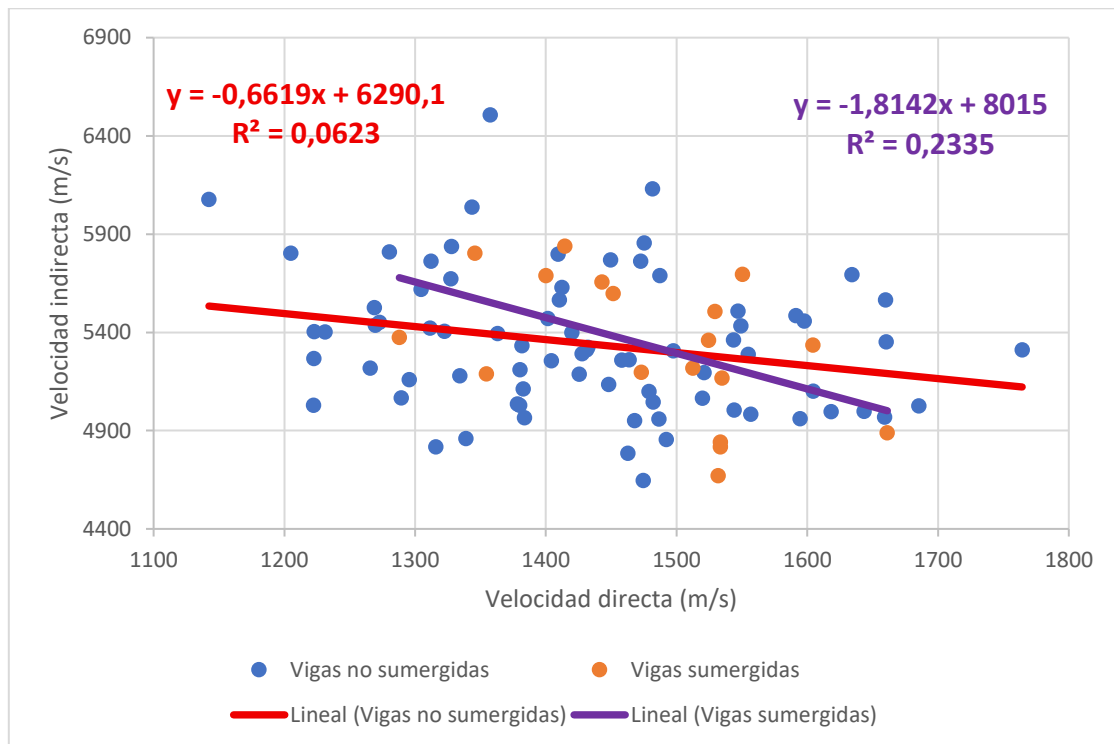


Ilustración 49 Relación entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas

Dado que a la vista de la gráfica anterior no pueden sacarse conclusiones claras, en la Tabla 15 puede apreciarse que no se produjeron variaciones significativas en la velocidad indirecta de las vigas que fueron sumergidas durante más de 300 días. Por el contrario, se detectó un incremento del 4 y 6 % de la velocidad directa para las maderas sin tratar de pino silvestre y abeto respectivamente; mientras que en el caso del pino silvestre tanalizado, debido a su tratamiento, apenas sufrió variaciones.

Tabla 15: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas

		No Sumergidas		Sumergidas	
		Velocidad indirecta (m/s)	Velocidad directa (m/s)	Velocidad indirecta (m/s)	Velocidad directa (m/s)
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	5076,37	1510,31	5064,94	1565,90
	Desv. Típica	210,05	124,42	324,77	54,898
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	5519,16	1407,50	5493,35	1416,76
	Desv. Típica	336,13	123,16	395,61	69,38
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	5422,58	1380,29	5417,23	1465,31
	Desv. Típica	318,36	113,56	213,71	94,892

4.3.4. Relación peso específico / velocidad directa (velocidad transversal o $\perp$ fibra)

Para realizar la comparación entre ambos parámetros se ha realizado el promedio de los resultados de las velocidades directas de cada viga, a partir de los datos tomados con el Microsecond Timer, y se ha comparado directamente con el peso específico de la misma, Ilustración 50 (cada punto representa los valores obtenidos para una viga).

A la vista de los resultados, la correlación existente entre ambos parámetros es adecuada, sobre todo en comparación con otras relaciones entre parámetros estudiadas.

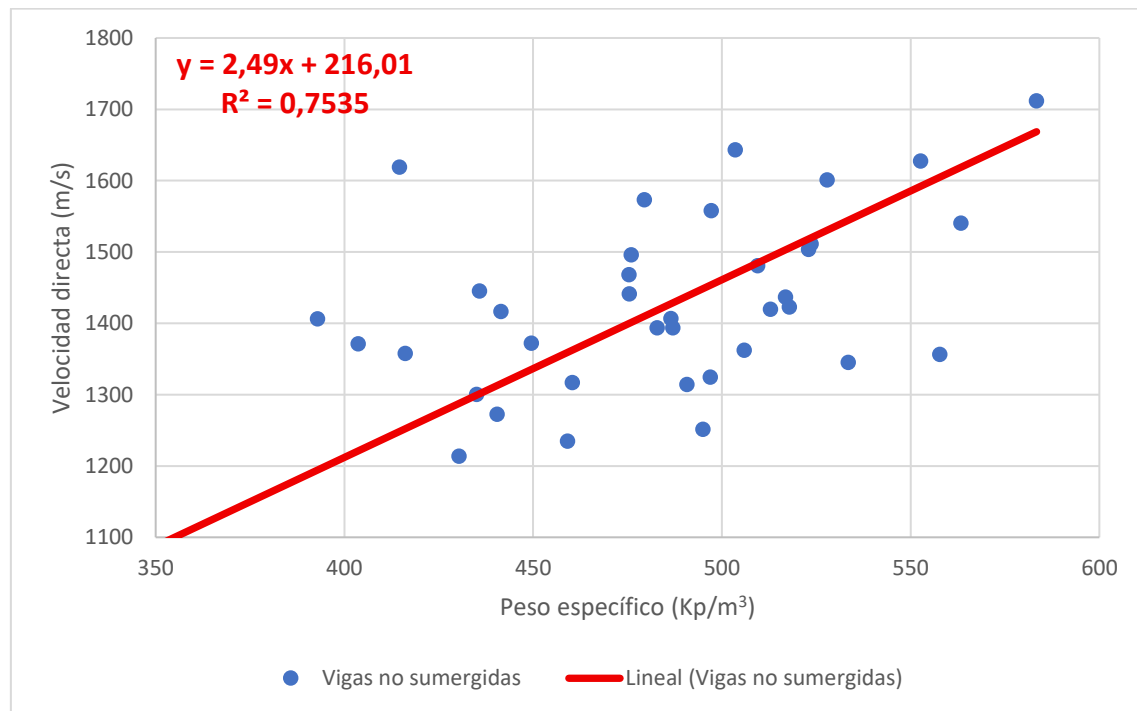


Ilustración 50 Relación “Velocidad directa (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas no sumergidas

De forma complementaria se ha recurrido a los promedios y desviaciones de los resultados obtenidos y corregidos para **vigas no sumergidas**, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18.

Tabla 16: $V_{directa}$ / Peso específico para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad directa / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad directa (m/s)	Peso específico (Kg/m³)	V_{dir}/γ_{esp}
Global	Promedio	1510,307	532,498	2,836
	Desv. Típica	124,422	26,300	-
GL-18	Promedio	1496,181	520,893	2,872
	Desv. Típica	115,859	9,611	-
GL-24	Promedio	1560,725	556,977	2,802
	Desv. Típica	124,787	18,537	-
GL-28	Promedio	1495,794	501,698	2,981
	Desv. Típica	96,541	15,838	-



Tabla 17 $V_{directa}$ / Peso específico para pino silvestre tanalizado, no sumergido

		Velocidad directa / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad directa (m/s)	Peso específico (Kg/m ³)	V_{dir}/γ_{esp}
Global	Promedio	1407,496	487,084	2,890
	Desv. Típica	123,156	21,491	-
GL-18	Promedio	1452,482	488,807	2,971
	Desv. Típica	110,689	13,499	-
GL-24	Promedio	1403,363	497,325	2,822
	Desv. Típica	123,397	11,528	-
GL-28-	Promedio	1355,781	452,914	2,993
	Desv. Típica	136,738	23,531	-

Tabla 18: $V_{directa}$ / Peso específico para abeto sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad directa / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad directa (m/s)	Peso específico (Kg/m ³)	V_{dir}/γ_{esp}
Global	Promedio	1380,286	439,930	3,128
	Desv. Típica	113,560	27,518	-
GL-18	Promedio	1457,654	437,096	3,335
	Desv. Típica	128,344	16,336	-
GL-24	Promedio	1347,179	452,904	2,975
	Desv. Típica	91,652	28,665	-
GL-28	Promedio	1344,302	426,322	3,153
	Desv. Típica	94,327	29,102	-

Una primera reflexión que puede formularse es que, independientemente de la correlación encontrada entre parámetros, si comparamos sus valores considerando los promedios globales por especies y tratamientos, la velocidad transversal en m/s (obtenida mediante el método directo) es del orden de 2,8-3,1 veces el peso específico en kp/m³. Por otra parte, no se aprecia ninguna relación especial a destacar más allá de un mayor peso específico de la madera de pino silvestre sin tratar frente a la tanalizada, globalmente hablando, lo cual puede resultar contradictorio, pues la segunda no es más que la primera con un tratamiento químico para mejorar su durabilidad.

Finalmente, en las **vigas que fueron sumergidas** se apreció que conforme aumentaba el peso específico, la velocidad transversal (obtenida por el método directo) no crecía de la misma forma que en el caso de las vigas no sumergidas, Ilustración 51. Este efecto puede explicarse ya que la velocidad de propagación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso específico⁹ y, por ende, al aumentar este parámetro en vigas que habían estado sumergidas (que tenían mayor % de humedad que las no sumergidas, ver Ilustración 43), la velocidad de propagación en las mismas era menor que sus contrapartidas no sumergidas.

⁹ $V = \sqrt{\frac{MOE_{din,US}}{\gamma_{esp}}}$, siendo $MOE_{din,US}$ el módulo de elasticidad dinámico obtenido en una dirección mediante ultrasonidos.

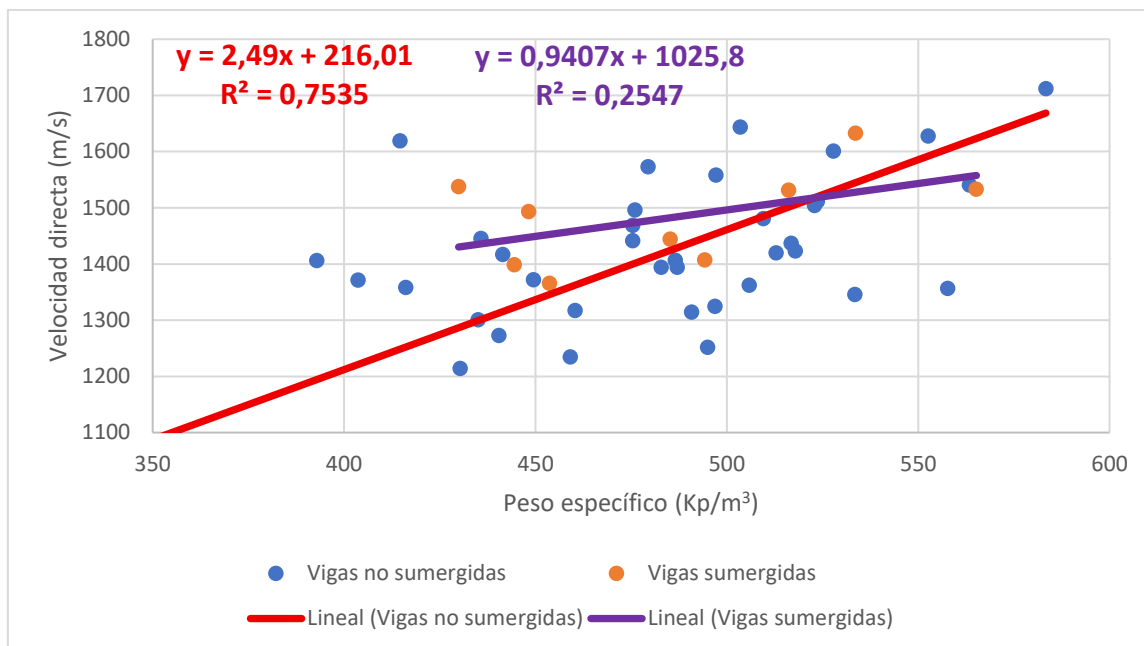


Ilustración 51 Relación “Velocidad directa (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas

Finalmente, en la Tabla 19 se presenta para diferentes especies de madera y tratamiento, la variación porcentual de la velocidad transversal (obtenida por el método directo) y del peso específico, de vigas no sometidas y vigas sometidas a procesos previos de inmersión. En este sentido cabe referir que las variaciones, por regla general, son reducidas.

Tabla 19: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas

		No Sumergidas		Sumergidas			
		Velocidad directa (m/s)	Peso específico (Kp/m³)	Velocidad directa (m/s)		Peso específico (Kp/m³)	
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	1510,31	532,50	1565,90	↑ 4%	538,32	↑ 1%
	Desv. Típica	124,42	26,30	54,898	-	24,87	-
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	1407,50	487,08	1416,76	↑ 1%	474,64	↓ 2%
	Desv. Típica	123,16	21,49	69,38	-	26,50	-
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	1380,29	439,93	1465,31	↑ 6%	443,96	↑ 1%
	Desv. Típica	113,56	27,52	94,892	-	12,45	-

4.3.5. Relación peso específico / velocidad indirecta (velocidad longitudinal o // fibra)

El modus operandi es similar al del apartado anterior; es decir, comparando el promedio de los resultados de las velocidades longitudinales (obtenidas por el método indirecto) de cada viga, a partir de los datos tomados con el Microsecond Timer, con el peso específico de la misma, Ilustración 52 (cada punto representa los valores obtenidos para una viga).

En este caso, a la vista de los resultados y contrariamente a lo que cabría esperar, la correlación entre ambos parámetros es inexistente.

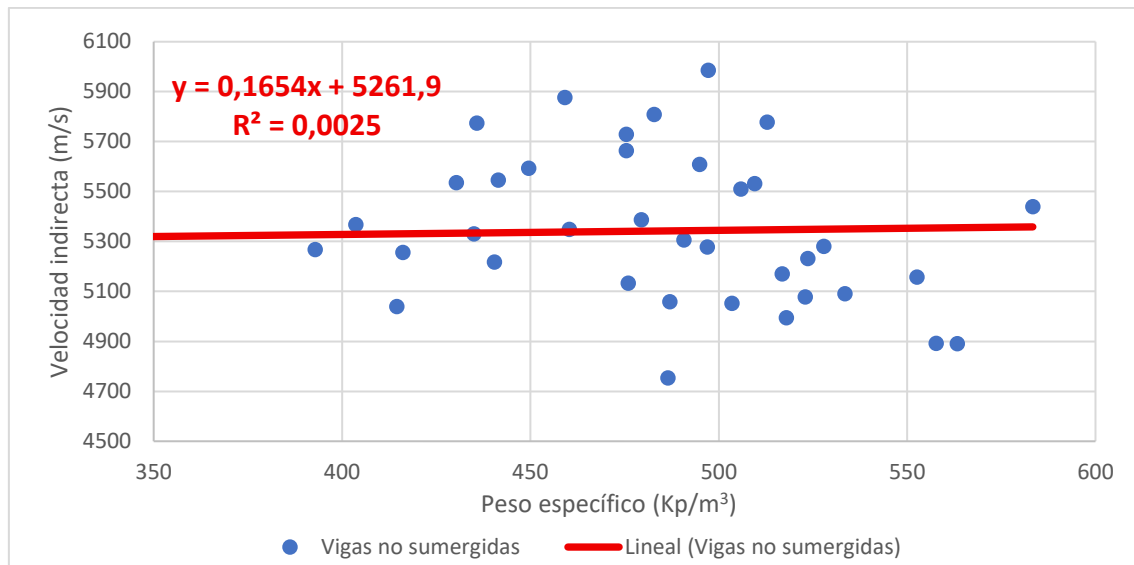


Ilustración 52 Relación “Velocidad indirecta (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas no sumergidas

A continuación, se muestran los promedios y desviaciones de los resultados obtenidos y corregidos para las **vigas no sumergidas**, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 20: $V_{indirecta}$ / Peso específico para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad indirecta / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Peso específico (Kp/m³)	V_{ind}/γ_{esp}
Global	Promedio	5076,371	532,498	9,533
	Desv. Típica	210,045	26,208	-
GL-18	Promedio	5101,363	518,313	9,842
	Desv. Típica	149,967	12,413	-
GL-24	Promedio	5096,191	556,110	9,164
	Desv. Típica	281,033	17,197	-
GL-28	Promedio	5013,477	506,506	9,898
	Desv. Típica	264,068	14,325	-

Tabla 21: $V_{indirecta}$ / Peso específico para pino silvestre tanalizado, no sumergido

		Velocidad indirecta / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Peso específico (Kp/m³)	V_{ind}/γ_{esp}
Global	Promedio	5519,155	487,084	11,331
	Desv. Típica	336,133	21,491	-
GL-18	Promedio	5472,122	488,807	11,195
	Desv. Típica	178,895	13,499	-
GL-24	Promedio	5536,293	497,325	11,132
	Desv. Típica	456,694	11,528	-
GL-28	Promedio	5547,588	452,914	12,249
	Desv. Típica	236,764	23,531	-



Tabla 22: $V_{indirecta}$ / Peso específico para abeto sin tratamiento, no sumergido

		Velocidad indirecta / peso específico (Microsecond Timer)		
		Velocidad indirecta (m/s)	Peso específico (Kp/m ³)	V_{ind}/γ_{esp}
Global	Promedio	5422,581	439,930	12,236
	Desv. Típica	318,362	27,518	-
GL-18	Promedio	5428,027	437,096	12,418
	Desv. Típica	349,636	16,336	-
GL-24	Promedio	5323,688	452,904	11,755
	Desv. Típica	306,800	28,665	-
GL-28	Promedio	5540,750	426,322	12,997
	Desv. Típica	297,912	29,102	-

Independientemente de la correlación encontrada entre parámetros, si comparamos sus valores considerando los promedios globales por especies y tratamientos, la velocidad longitudinal en m/s (obtenida mediante el método indirecto) es del orden de 9,5-12,2 veces el peso específico en kp/m³.

Por otra parte, al igual que se detectó en el apartado 4.3.4 anterior, en las **vigas sumergidas** se apreció que conforme aumentaba el peso específico, la velocidad longitudinal (obtenida por el método indirecto) decrecía en el caso de las vigas no sumergidas, Ilustración 53. Como ya se ha referido, este efecto podría explicarse ya que la velocidad de propagación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso específico y, por ende, al aumentar este parámetro en vigas que habían estado sumergidas (que tenían mayor % de humedad que las no sumergidas, ver Ilustración 43), la velocidad de propagación en las mismas decrecía.

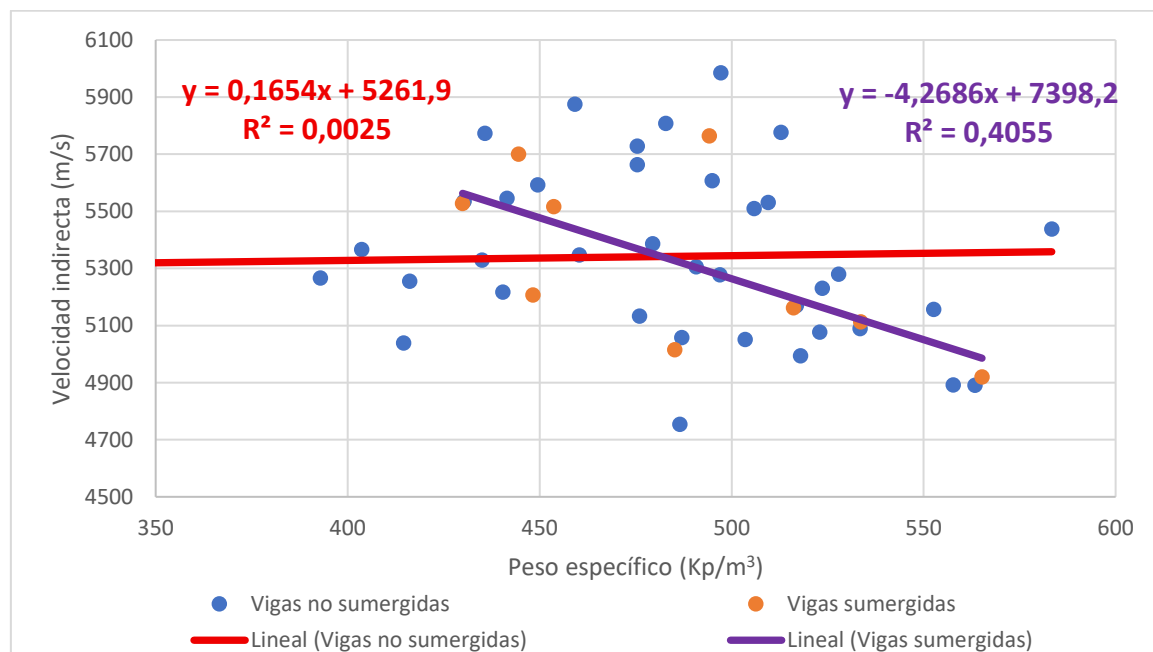


Ilustración 53 Relación “Velocidad indirecta (Microsecond Timer) / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas

Finalmente, en la Tabla 23 se presenta para diferentes especies de madera y tratamiento, la variación porcentual de la velocidad longitudinal (indirecta) y del peso

específico, de vigas no sometidas y vigas sometidas a procesos previos de inmersión. En este sentido cabe referir que las variaciones, por regla general, son reducidas.

Tabla 23: Comparativa entre las velocidades directa/indirecta por Microsecond para vigas sumergidas y no sumergidas

		No Sumergidas		Sumergidas			
		Velocidad indirecta (m/s)	Peso específico (Kp/m ³)	Velocidad indirecta (m/s)		Peso específico (Kp/m ³)	
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	5076,37	532,50	5064,94	≈ 0%	538,32	↑ 1%
	Desv. Típica	210,05	26,30	324,77	-	24,87	-
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	5519,16	487,08	5493,35	≈ 0%	474,64	↓ 2%
	Desv. Típica	336,13	21,49	395,61	-	26,50	-
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	5422,58	439,93	5417,23	≈ 0%	443,96	↑ 1%
	Desv. Típica	318,36	27,52	213,71	-	12,45	-

4.3.6. Relación entre la Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico

Para realizar la comparación entre ambos parámetros se ha realizado el promedio de los resultados de los ensayos de arrancamiento de tornillos de cada viga, y se ha comparado directamente con el peso específico de la misma, Ilustración 54 (cada punto representa los valores obtenidos para una viga). A la vista de los resultados, contrariamente a lo que cabría esperar (ya que a medida que el peso específico aumenta la fuerza de arrancamiento disminuye), la correlación entre ambos parámetros es inexistente.

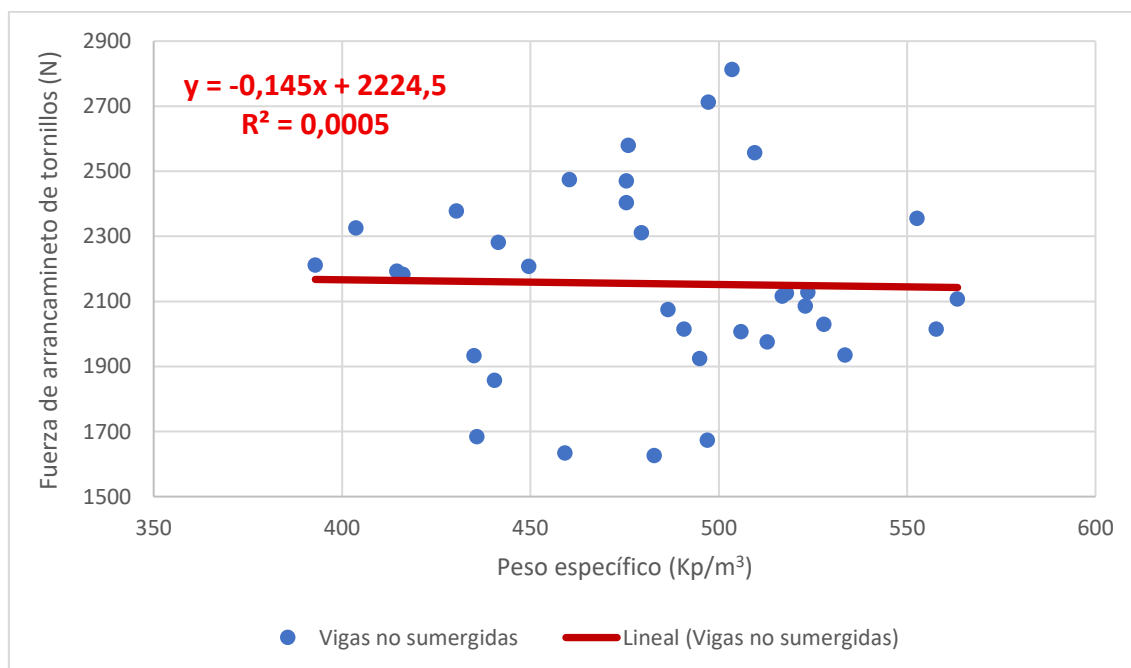


Ilustración 54 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para vigas no sumergidas

A continuación, se muestran los promedios y desviaciones de los resultados obtenidos y corregidos para las **vigas no sumergidas**, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26.



Tabla 24: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Peso específico (Kp/m ³)	$F_{arr,torn}/\gamma_{esp}$
Global	Promedio	2223,687	532,498	4,176
	Desv. Típica	427,680	26,208	-
GL-18	Promedio	2313,556	518,313	4,464
	Desv. Típica	518,208	12,413	-
GL-24	Promedio	2305,679	556,110	4,146
	Desv. Típica	533,972	17,197	-
GL-28	Promedio	2095,500	506,506	4,137
	Desv. Típica	314,113	14,325	-

Tabla 25: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para pino silvestre tanalizado, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Peso específico (Kp/m ³)	$F_{arr,torn}/\gamma_{esp}$
Global	Promedio	2250,541	487,084	4,620
	Desv. Típica	459,440	21,491	-
GL-18	Promedio	2317,111	488,807	4,740
	Desv. Típica	433,877	13,499	-
GL-24	Promedio	2152,056	497,325	4,327
	Desv. Típica	494,287	11,528	-
GL-28	Promedio	2428,909	452,914	5,363
	Desv. Típica	392,8972	23,531	-

Tabla 26: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico para abeto sin tratamiento, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Peso específico (Kp/m ³)	$F_{arr,torn}/\gamma_{esp}$
Global	Promedio	2071,946	439,930	4,710
	Desv. Típica	389,531	27,518	-
GL-18	Promedio	2144,783	437,096	4,907
	Desv. Típica	382,654	16,336	-
GL-24	Promedio	2003,123	452,904	4,423
	Desv. Típica	411,199	28,665	-
GL-28	Promedio	2084,667	426,322	4,890
	Desv. Típica	360,740	29,102	-

Independientemente de la correlación encontrada entre parámetros, si comparamos sus valores considerando los promedios globales por especies y tratamientos, la fuerza de arrancamiento de tornillos en N es del orden de 4,2-4,7 veces el peso específico en kp/m³.

A la vista de la Ilustración 54, y considerando las potenciales relaciones por especies de madera (Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26), en la Ilustración 55 se representa nuevamente la relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” pero diferenciando por especie. Puede apreciarse que los coeficientes R^2 obtenidos siguen siendo bastante precarios ya que la dispersión de los resultados es muy notable, y las relaciones igual de contradictorias pues la fuerza de arrancamiento sigue disminuyendo a medida que aumenta el peso específico.

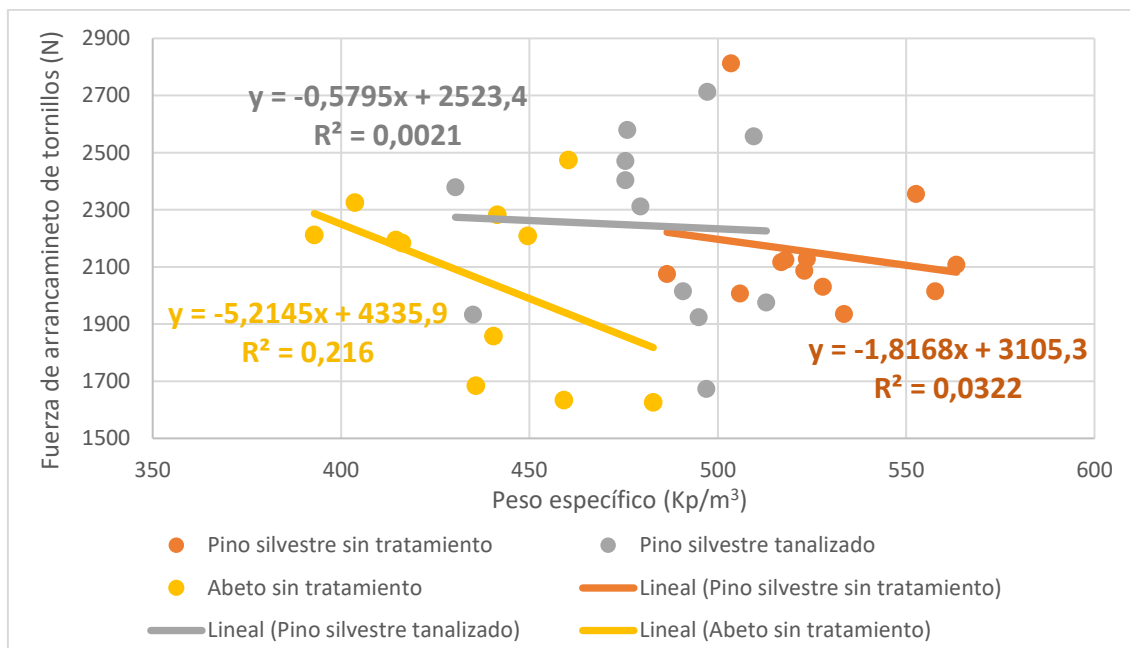


Ilustración 55 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para los distintos tipos de vigas no sumergidas

Por su parte, las **vigas sumergidas** sí que presentan una clara correlación, y lógica, entre la fuerza de arrancamiento y su peso específico, $R^2=0,91$, ver Ilustración 56.

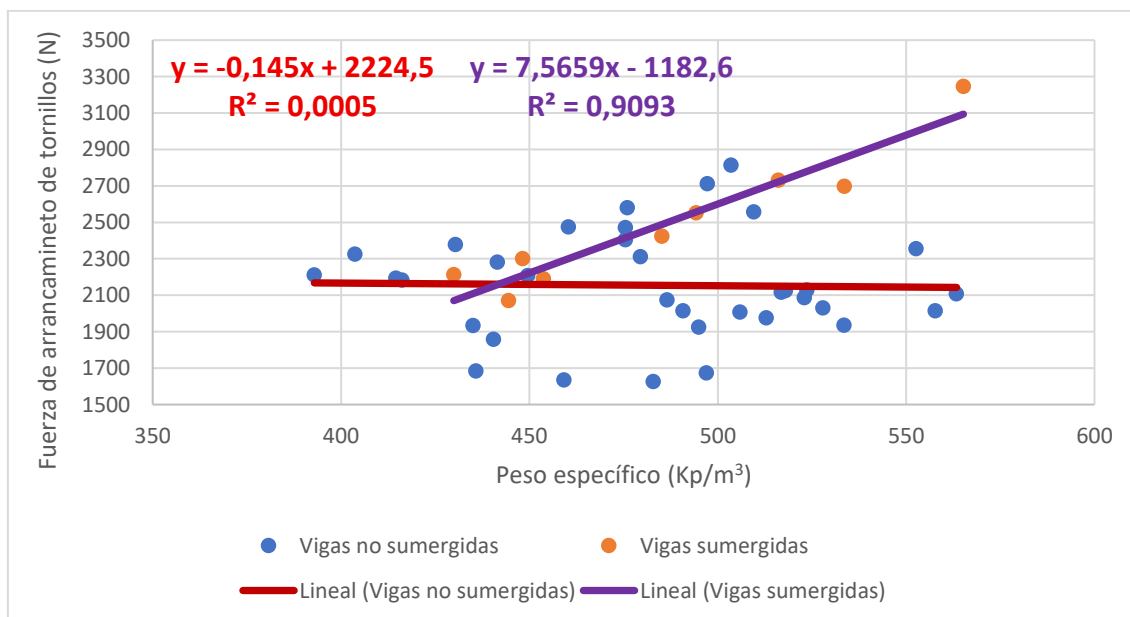


Ilustración 56 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Peso específico” para vigas sumergidas y no sumergidas



Finalmente, en la Tabla 27 se presenta para diferentes especies de madera y tratamiento, la variación porcentual de la fuerza de arrancamiento de tornillos y del peso específico, de vigas no sometidas y vigas sometidas a procesos previos de inmersión. Cabe referir que mientras que las variaciones del peso específico fueron reducidas, en el caso de la fuerza de arrancamiento de tornillos sí que se tornaron en significativas, alcanzando valores de hasta un 30% para madera de pino silvestre sin tratamiento.

Ahora bien, además de dicha diferencia porcentual, lo que no resulta lógico es que dicha fuerza de arrancamiento sea mayor en vigas sometidas previamente a procesos de inmersión frente a las no sumergidas, dado que las primeras debieran de presentar peores condiciones debido al proceso de hinchamiento por absorción de agua durante la fase de inmersión y su posterior merma. Este aspecto puede estar asociado con el reducido campo muestral de probetas sometidas a procesos de inmersión (9 en total, 3 de cada especie/tratamiento), por lo que las conclusiones alcanzadas podrían carecer de rigor, siendo recomendable analizar a futuro un mayor número de vigas previamente sumergidas.

Tabla 27: Comparativa entre la Fuerza de arrancamiento de tornillos y el Peso específico para vigas sumergidas y no sumergidas

		No Sumergidas		Sumergidas			
		Fuerza arranc. de tornillos (N)	Peso específico (Kp/m ³)	Fuerza arranc. de tornillos (N)		Peso específico (Kp/m ³)	
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	2223,69	532,50	2891,94	↑ 30%	538,32	↑ 1%
	Desv. Típica	427,68	26,30	307,35	-	24,87	-
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	2250,54	487,08	2348,83	↑ 4%	474,64	↓ 2%
	Desv. Típica	459,44	21,49	249,25	-	26,50	-
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	2071,95	439,93	2234,17	↑ 8%	443,96	↑ 1%
	Desv. Típica	389,53	27,52	58,33	-	12,45	-

4.3.7. Relación de Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (velocidad transversal o $\perp$ fibra)

En primer lugar, cabe referir que se ha decidido realizar la comparativa entre la fuerza de arrancamiento de tornillos y la velocidad transversal (obtenida por el método directo de transmisión de ondas ultrasónicas) en tanto que sendos parámetros obtenidos se relación con propiedades asociadas a la dirección perpendicular a las fibras de los elementos estructurales.

Para ello, en cada viga se ha comparado el promedio de los resultados de la fuerza de arrancamiento de tornillos con el promedio de la velocidad transversal, Ilustración 57 (cada punto representa los valores obtenidos para una viga). Aunque la correlación obtenida es relativamente pobre, $R^2 = 0.33$, la misma es mejor que la obtenida para otras combinaciones de parámetros estudiadas.

De la misma forma, como viene siendo habitual, se muestran los promedios y desviaciones de los resultados obtenidos y corregidos para las **vigas no sumergidas**, agrupándolos por especie de madera junto con su tratamiento y clase resistente, ver Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30.

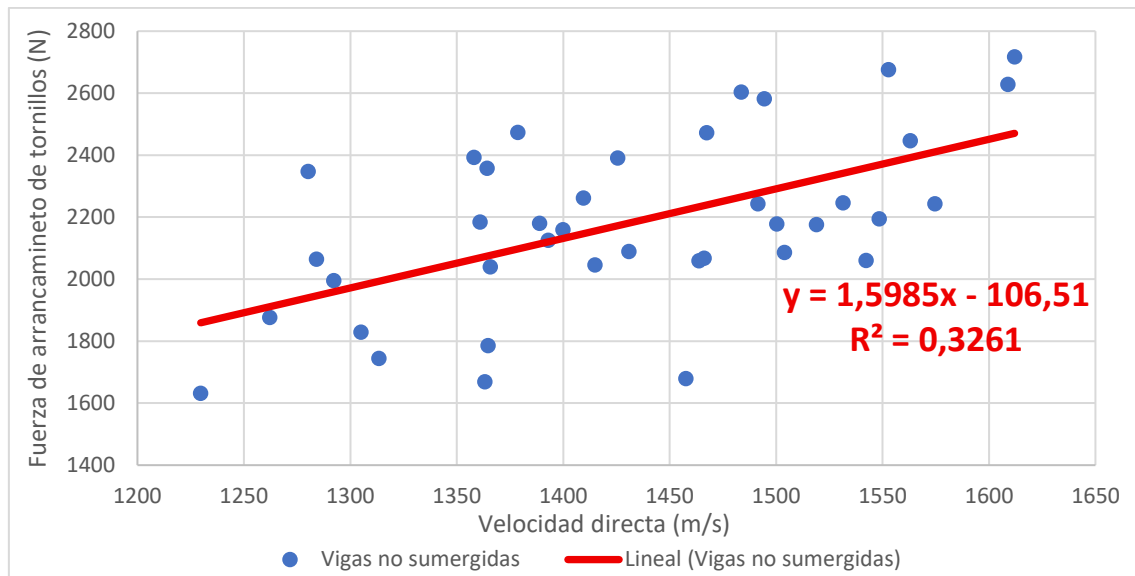


Ilustración 57 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para vigas no sumergidas

Tabla 28: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para pino silvestre sin tratamiento, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Velocidad directa (m/s)	$F_{arr,torn}/V_{dir}$
Global	Promedio	2223,687	1510,307	1,472
	Desv. Típica	427,680	124,422	-
GL-18	Promedio	2313,556	1496,181	1,546
	Desv. Típica	518,208	115,859	-
GL-24	Promedio	2305,679	1560,725	1,477
	Desv. Típica	533,972	124,787	-
GL-28	Promedio	2095,500	1495,794	1,401
	Desv. Típica	314,113	96,541	-

Tabla 29: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para pino silvestre tanalizado, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Velocidad directa (m/s)	$F_{arr,torn}/V_{dir}$
Global	Promedio	2250,541	1407,496	1,599
	Desv. Típica	459,440	123,156	-
GL-18	Promedio	2317,111	1452,482	1,595
	Desv. Típica	433,877	110,689	-
GL-24	Promedio	2152,056	1403,363	1,533
	Desv. Típica	494,287	123,397	-
GL-28	Promedio	2428,909	1355,781	1,792
	Desv. Típica	392,8972	136,738	-

Tabla 30: Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer) para abeto sin tratamiento, no sumergido

		Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)		
		Fuerza arrancamiento de tornillos (N)	Velocidad directa (m/s)	$F_{arr,torn}/V_{dir}$
Global	Promedio	2071,946	1380,286	1,501
	Desv. Típica	389,531	113,560	-
GL-18	Promedio	2144,783	1457,654	1,471
	Desv. Típica	382,654	128,344	-
GL-24	Promedio	2003,123	1347,179	1,487
	Desv. Típica	411,199	91,652	-
GL-28	Promedio	2084,667	1344,302	1,551
	Desv. Típica	360,740	94,327	-

Independientemente de la correlación encontrada entre parámetros, si comparamos sus valores considerando los promedios globales por especies y tratamientos, la fuerza de arrancamiento de tornillos en N es del orden de 1,5-1,6 veces la velocidad de propagación transversal en m/s.

A la vista de la Ilustración 57, y considerando las potenciales relaciones por especies de madera (Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30), en la Ilustración 58 se representa nuevamente la relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (transversal)” pero diferenciando por especie. Puede apreciarse que los coeficientes R^2 obtenidos son mejores en el caso de las vigas de pino silvestre, tanto con como sin tratamiento, pero empeora sustancialmente para el caso del abeto.

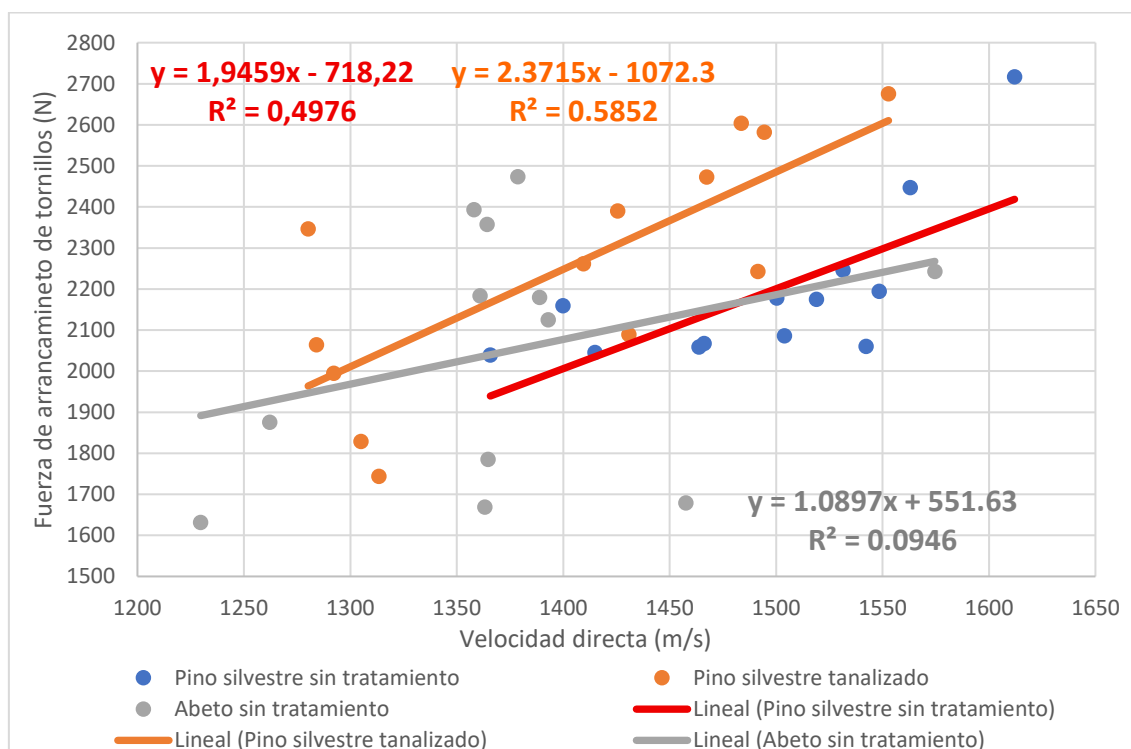


Ilustración 58 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para los distintos tipos de vigas no sumergidas

Finalmente, como se comentó en el apartado 4.3.6, observando las tendencias de la Ilustración 59 y contrariamente a lo esperado, la **madera sumergida** posee una fuerza al arrancamiento de tornillos superior al de la madera no sumergida (concretamente, la pendiente de la recta de regresión es del orden de un 25% mayor); apreciándose igualmente como dicha fuerza parece crecer a medida que la velocidad transversal también aumenta.

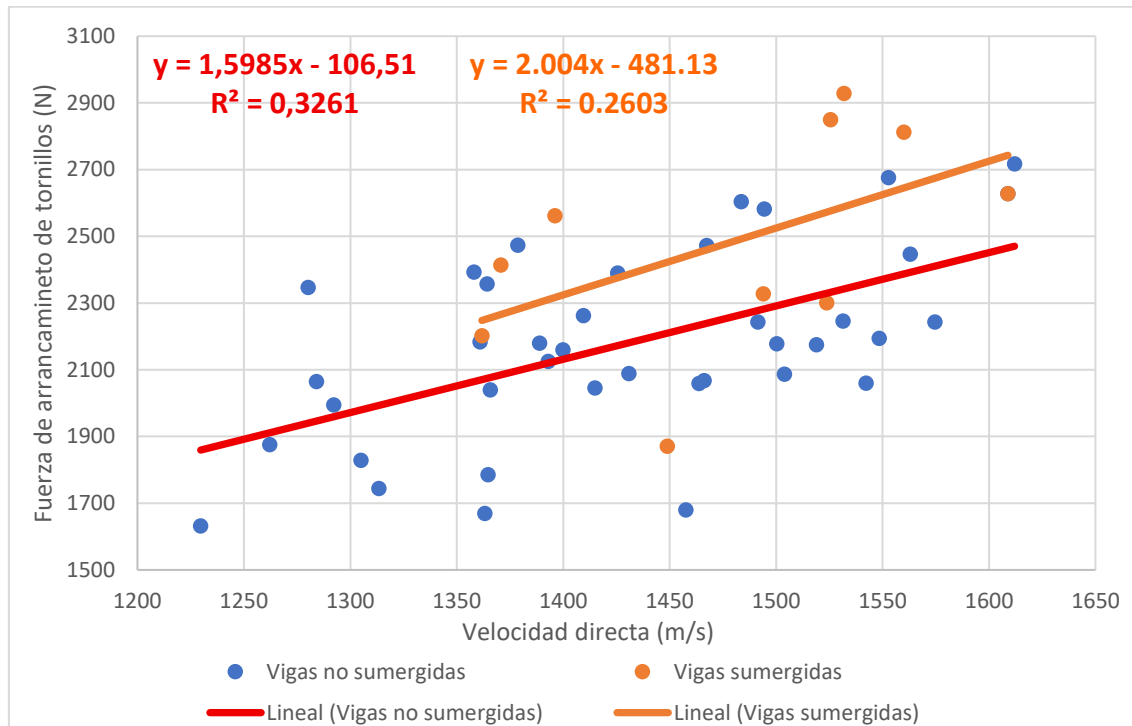


Ilustración 59 Relación “Fuerza de arrancamiento de tornillos / Velocidad directa (Microsecond Timer)” para vigas sumergidas y no sumergidas

Finalmente, en la Tabla 31 se presenta para diferentes especies de madera y tratamiento, la variación porcentual de la fuerza de arrancamiento de tornillos y de la velocidad transversal (medida por el método directo empleando el aparato Microsecond Timer), de vigas no sometidas y vigas sometidas a procesos previos de inmersión. Cabe referir que mientras que las variaciones de la velocidad transversal fueron reducidas, en el caso de la fuerza de arrancamiento de tornillos sí que se tornaron en significativas (se remite al lector al final del apartado 4.3.6 para recordar las reflexiones manifestadas).

Tabla 31: Comparativa entre las fuerzas de arrancamiento de tornillo y velocidades transversales directas (Microsecond Timer) para vigas sumergidas y no sumergidas

		No Sumergidas		Sumergidas	
		Fuerza arranc. de tornillos (N)	Velocidad directa (m/s)	Fuerza arranc. de tornillos (N)	Velocidad directa (m/s)
Pino Silvestre Sin Tratamiento	Promedio	2223,69	1510,31	2891,94 ↑ 30%	1565,90 ↑ 4%
	Desv. Típica	427,68	124,42	307,35 -	54,898 -
Pino Silvestre Tanalizado	Promedio	2250,54	1407,50	2348,83 ↑ 4%	1416,76 ↑ 1%
	Desv. Típica	459,44	123,16	249,25 -	69,38 -
Abeto Sin Tratamiento	Promedio	2071,95	1380,29	2234,17 ↑ 8%	1465,31 ↑ 6%
	Desv. Típica	389,53	113,56	58,33 -	94,892 -



Para concluir, me gustaría recalcar que en la mayor parte de los casos no se han podido obtener correlaciones razonables (ni lineales, logarítmicas, exponenciales o potenciales) debido a que los resultados se han agrupado en forma de nube de puntos con forma aproximadamente circular, ello da fe de la complejidad del material estudiado y de la reducida repetitividad de los resultados obtenidos.

Referir igualmente que, a la vista de dicha variabilidad, el campo muestral debiera ser mayor al considerado, pese a que estuvo conformada por un total de 48 vigas de madera laminada (39 sin haber estado sometidas a procesos de inmersión y 9 habiendo estado sumergidas durante 304 días previamente).



5. Conclusiones

Durante el desarrollo de los ensayos y su correspondiente análisis, se evaluó la madera laminada encolada (Glulam) mediante diversas técnicas de caracterización, tanto no destructivas como ligeramente destructivas, con el propósito de determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Para ello, se utilizaron distintos instrumentos de medición, tales como xilohigrómetros, dispositivos para la medición de la velocidad de propagación de ondas y aparatos para la determinación de la fuerza de arrancamiento de tornillos. Estas herramientas permitieron la obtención de datos representativos relacionados con la humedad, la densidad y la integridad estructural del material.

El objetivo principal fue establecer correlaciones entre los métodos empleados, con el fin de evaluar la viabilidad y pertinencia de utilizar técnicas complementarias que permitan estimar propiedades reales del material a partir de mediciones indirectas. En este contexto, se consideraron como variables principales la humedad, la velocidad de propagación de ondas, el peso específico y la fuerza de arrancamiento de tornillos.

Uno de los aspectos centrales del estudio consistió en analizar la posibilidad de correlacionar los datos obtenidos a partir de diferentes métodos de ensayo. Las correlaciones más relevantes se identificaron en las pruebas de velocidad de propagación de ondas, donde se observó una alta precisión en la relación entre la distancia recorrida y el tiempo de vuelo, obteniéndose coeficientes de correlación (R^2) superiores a 0,99 en numerosos casos.

No obstante, la mayoría de las comparaciones entre otras variables —como la humedad frente a la velocidad de propagación de ondas, o la resistencia al arrancamiento frente al peso específico— no evidenciaron relaciones lineales consistentes. Esta falta de linealidad impidió la formulación de modelos predictivos válidos basados en regresiones de funciones simples. Como consecuencia, se optó por sintetizar la información mediante el cálculo de valores promedios y desviaciones estándar, dada la gran dispersividad de los datos observados en los diagramas de dispersión, los cuales presentaron nubes de puntos con configuraciones predominantemente elípticas o circulares.

En general, las correlaciones presentaron ciertas desviaciones. A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes del estudio.

5.1. Sintetización de los resultados de los ensayos

Durante la ejecución de los ensayos, se evaluó un total de 48 vigas de madera laminada encolada (Glulam), divididas en tres grupos de dieciséis unidades, de los cuales una viga de cada tipo de madera y clase resistente fue sometida a inmersión prolongada durante un período de 304 días. Las categorías de madera consideradas fueron las siguientes:

- *Pino Silvestre* de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* con tratamiento de tanalizado, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Pino Silvestre* con tratamiento de tanalizado sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.



- *Abeto* de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.
- *Abeto* sometido previamente, durante 304 días, a condiciones de inmersión en agua dulce a 20°C, de clases resistentes GL18, GL24 y GL 28.

Este planteamiento experimental permitió analizar el comportamiento físico y mecánico de la madera tanto en condiciones estándar como bajo la influencia prolongada del agua.

A partir de los distintos análisis realizados, se extrajeron las siguientes conclusiones respecto al comportamiento de las distintas especies y tratamientos de madera, tanto en estado natural como tras su exposición a condiciones de inmersión prolongada.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis comparativo entre las mediciones de humedad obtenidas mediante xilohigrómetros de resistencia eléctrica y capacitivos en vigas no sumergidas. Los resultados revelaron una baja correlación entre ambos métodos, aunque con una pendiente de regresión cercana a la unidad. El xilohigrómetro capacitivo mostró una tendencia a sobreestimar ligeramente los valores de humedad respecto al dispositivo de resistencia eléctrica, especialmente para contenidos superiores al 16%, con una diferencia media del 6–8% en el caso del pino silvestre. En el abeto, las mediciones fueron más concordantes entre ambos equipos. No se observaron diferencias relevantes entre las distintas clases resistentes dentro de cada especie. El xilohigrómetro capacitivo presentó una mayor dispersión, atribuible a su sensibilidad superficial. Asimismo, se constató que el pino silvestre tanalizado presentó una humedad algo superior respecto al pino sin tratar, y ambas especies superaron en contenido de humedad al abeto. Las variaciones más significativas se identificaron en las vigas sumergidas sin tratamiento, con incrementos de humedad del 14% al 46% en pino silvestre y del 16% al 43% en abeto, según el dispositivo utilizado. En el caso del pino tanalizado, los aumentos fueron menores (5% y 13%). En estas condiciones, se intensificó la tendencia del xilohigrómetro capacitivo a sobreestimar la humedad, especialmente ante niveles elevados derivados de la inmersión.

Posteriormente, se compararon las velocidades ultrasónicas directas (transversal a la fibra) e indirectas (longitudinal a la fibra) registradas con los equipos Microsecond Timer y Ultrasonic Timer. Para ello, se calcularon promedios de las mediciones en ambas direcciones ortogonales, a fin de reducir la información a dos valores representativos por equipo. Los resultados evidencian una ligera sobreestimación de las velocidades indirectas por parte del Ultrasonic Timer en comparación con el Microsecond Timer, mientras que en las velocidades directas no se observaron diferencias sistemáticas. En general, las discrepancias entre ambos equipos fueron mínimas, con variaciones del orden del 1%, por lo que pueden considerarse despreciables en la mayoría de los casos.

En el análisis de la relación entre velocidades ultrasónicas longitudinales (indirectas) y transversales (directas), empleando exclusivamente el Microsecond Timer, se observó una baja correlación lineal entre ambas, lo cual era previsible debido al comportamiento anisótropo de la madera. De hecho, se identificó una tendencia inversa entre las dos velocidades en ciertos casos, especialmente en muestras no tratadas, lo que sugiere una relación no lógica ni sistemática entre ambas direcciones de propagación. De forma general, la velocidad longitudinal fue entre 3,3 y 3,9 veces superior a la transversal, dependiendo del tipo de madera y tratamiento aplicado. El pino silvestre tanalizado y el abeto presentaron mayores velocidades longitudinales y menores transversales, mientras que el pino sin tratar mostró el comportamiento inverso, lo que indica que tanto la especie como los tratamientos químicos modifican el modo en que se propagan las



ondas en las diferentes direcciones. En las vigas sumergidas, esta relación se acentuó, especialmente en el pino silvestre tanalizado, mientras que en el abeto no se observó el mismo patrón. Aunque la velocidad longitudinal apenas varió tras la inmersión prolongada, sí se detectó un aumento de entre el 4% y el 6% en la velocidad transversal de las maderas sin tratar, mientras que en el pino tratado las variaciones fueron mínimas.

El análisis muestra que la velocidad ultrasónica transversal (directa) presenta una correlación aceptable con el peso específico, siendo aproximadamente 2,8 a 3,1 veces mayor que este último. Sin embargo, en vigas sumergidas, el aumento del peso específico no se refleja proporcionalmente en la velocidad, debido al mayor contenido de humedad que afecta negativamente la propagación de la onda. Las variaciones entre vigas sumergidas y no sumergidas fueron, en general, reducidas.

Por otro lado, no se encontró correlación significativa entre el peso específico y la velocidad ultrasónica longitudinal (indirecta). En vigas no sumergidas, la velocidad longitudinal es entre 9,5 y 12,2 veces el peso específico. En vigas sumergidas, a medida que aumenta el peso específico, la velocidad longitudinal tiende a disminuir, efecto atribuido al incremento de humedad y la relación inversa entre velocidad y raíz cuadrada del peso específico. Las diferencias porcentuales entre ambos grupos resultaron también poco significativas.

El análisis de la relación entre la fuerza de arrancamiento de tornillos y el peso específico no revela una correlación consistente en vigas no sumergidas. Los resultados muestran una alta dispersión y tendencias opuestas en algunos casos (decrementos en la fuerza de arrancamiento al incrementarse el peso específico), incluso al agrupar los valores por especie. En promedio, la fuerza de arrancamiento en N representa entre 4,2 y 4,7 veces el peso específico expresado en kp/m^3 , aunque los coeficientes de determinación obtenidos siguen siendo bajos. En contraste, las vigas sometidas a inmersión presentan una correlación positiva y significativa entre ambos parámetros ($R^2 = 0,91$). Aunque las variaciones del peso específico fueron reducidas, la fuerza de arrancamiento mostró diferencias significativas, llegando hasta un aumento del 30% en pino silvestre sin tratar tras la inmersión. Resulta contradictorio que la fuerza de arrancamiento sea mayor en vigas previamente sumergidas, dado que el proceso de hinchamiento y posterior merma por absorción de agua debería deteriorar esta propiedad. Esta anomalía podría estar influida por el reducido tamaño de la muestra de vigas sumergidas, por lo que se recomienda ampliar el número de ensayos para obtener conclusiones más sólidas.

El análisis de la relación entre la fuerza de arrancamiento de tornillos y la velocidad transversal, medida mediante transmisión ultrasónica directa, revela una correlación débil ($R^2 = 0,33$), aunque superior a la observada con otros parámetros. La discriminación por especie muestra una mejora en la correlación para el pino silvestre, en contraste con una disminución significativa en el caso del abeto. En términos generales, la fuerza de arrancamiento, expresada en N, representa entre 1,5 y 1,6 veces la velocidad transversal en m/s. En las vigas sometidas a inmersión, se observa un comportamiento anómalo: una mayor fuerza de arrancamiento que en vigas no sumergidas, a pesar de su exposición prolongada al agua. Esta tendencia, acompañada de un incremento de la fuerza con el aumento de la velocidad transversal y una pendiente de regresión un 25 % superior, contrasta con las reducidas variaciones en la velocidad y refuerza la necesidad de ampliar la investigación.



En conjunto, los resultados evidencian que el tipo de madera, su tratamiento y la exposición a condiciones extremas influyen de manera significativa y no siempre lineal en sus propiedades físicas y mecánicas. Estos hallazgos sugieren la necesidad de profundizar en la caracterización multivariable del comportamiento estructural de la madera laminada, especialmente en contextos de rehabilitación, donde resulta especialmente relevante disponer de métodos que permitan evaluar el estado de la estructura in situ, sin requerir la extracción de muestras ni causar daños.

5.2. Limitaciones y reflexiones

Durante el desarrollo del estudio se identificaron diversas limitaciones que afectan tanto la interpretación de los resultados como la generalización de las conclusiones. Entre ellas, destacan principalmente dos aspectos:

En primer lugar, la representatividad muestral constituyó un factor limitante, especialmente en el caso de las vigas sumergidas, de las cuales únicamente se dispuso de nueve unidades. Este reducido tamaño muestral dificulta la realización de análisis estadísticos robustos y condiciona la fiabilidad de los patrones observados, los cuales podrían estar influenciados por casos atípicos o por la variabilidad natural propia de la madera. Si bien se identificaron tendencias interesantes, estas deben considerarse preliminares hasta su validación con un mayor número de muestras.

En segundo lugar, se evidenció una dificultad considerable para establecer relaciones lineales o funcionales simples entre las variables físicas y mecánicas analizadas. En la mayoría de los casos, los datos se agruparon en nubes de puntos con distribuciones elipsoidales o circulares, sin patrones claros que permitieran ajustar modelos lineales, polinómicos, logarítmicos, potenciales o exponenciales. Esta dispersión es inherente al comportamiento de la madera, material naturalmente heterogéneo y anisótropo, cuyas propiedades dependen no solo de la especie, sino también del grado de humedad, tratamiento recibido, orientación de las fibras y otros factores difícilmente controlables.

En este sentido, se considera necesario que futuros trabajos incorporen metodologías multivariantes más avanzadas, tales como análisis de componentes principales, regresión múltiple o algoritmos de aprendizaje automático, que permitan el estudio simultáneo de múltiples variables en lugar de relaciones bivariadas. Este enfoque facilitaría la identificación de patrones ocultos y mejoraría la capacidad predictiva de los modelos.

Finalmente, se debe señalar que algunos efectos ambientales y de fabricación no fueron completamente controlados, como las condiciones de secado tras la inmersión o posibles variaciones entre lotes de madera. Aunque estos aspectos resultan difíciles de eliminar totalmente en estudios experimentales, su impacto podría haberse reducido mediante la implementación de protocolos más estandarizados y un registro más exhaustivo de metadatos por muestra.

5.3. Trabajos futuros

En función de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas, se proponen diversas líneas de investigación para futuros estudios orientados a profundizar en el



conocimiento del comportamiento de la madera laminada encolada y a optimizar los métodos de ensayo y análisis comparativo.

En primer lugar, resulta imprescindible ampliar el tamaño muestral, especialmente en lo relativo a las vigas sumergidas, dado que la baja representatividad de este subconjunto (nueve unidades) ha condicionado la solidez estadística de las conclusiones. Un incremento en la muestra permitiría validar o refutar con mayor rigor los patrones observados, en particular aquellos relacionados con la mejora inesperada de ciertas propiedades mecánicas tras prolongados periodos de inmersión.

Asimismo, ante la ausencia de correlaciones consistentes entre numerosas variables analizadas, se plantea la necesidad de incorporar modelos de análisis multivariante y técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático. Estas herramientas facilitarían la detección de relaciones no evidentes entre múltiples parámetros simultáneamente, así como el desarrollo de modelos predictivos más precisos y robustos que los empleados en el presente estudio.

Otra línea de interés corresponde a la evaluación del comportamiento a largo plazo del Glulam bajo condiciones ambientales variables, tales como la exposición a ciclos higrotérmicos, agentes biológicos o ambientes agresivos. Este enfoque permitiría analizar no solo la evolución de la resistencia mecánica, sino también fenómenos asociados como la aparición de fisuras, delaminaciones o procesos de biodeterioro, aspectos determinantes para la durabilidad en servicio del material y no abordados directamente en el presente trabajo.

Asimismo, sería conveniente ampliar el estudio a otras especies de madera, así como a distintas variantes de adhesivos y configuraciones de encolado, con el fin de contrastar o extrapolar los resultados obtenidos. Dado que la investigación se centró únicamente en pino silvestre y abeto, la inclusión de nuevos materiales incrementaría significativamente el alcance y aplicabilidad de las conclusiones.

Finalmente, se considera especialmente relevante el desarrollo de protocolos integrados de inspección estructural no destructiva que combinen diversas metodologías (ultrasónicas, dinámicas, mecánicas, entre otras) en un sistema de evaluación conjunto. La validación de estos protocolos en obra real y bajo condiciones operativas contribuiría a facilitar su futura aplicación en tareas de diagnóstico y mantenimiento preventivo, especialmente en estructuras en servicio o construcciones de valor patrimonial, donde las intervenciones invasivas deben minimizarse.

5.4. Relación entre el uso de madera laminada, su diagnóstico no-ligeramente destructivo, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La madera laminada se ha consolidado como una alternativa estructural eficiente y sostenible en el ámbito de la construcción moderna. Este material, compuesto por láminas de madera encoladas longitudinalmente, no solo permite crear estructuras de gran resistencia y estabilidad, sino que también contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático, al actuar como sumidero de carbono y requerir menor consumo energético durante su fabricación en comparación con materiales tradicionales como el acero o el hormigón.



El empleo de métodos de evaluación no-ligeramente destructivos, como los tratados en este TFM, para el diagnóstico de estructuras de madera laminada representa un enfoque alineado con la sostenibilidad, al permitir la inspección y el mantenimiento de construcciones sin comprometer su integridad física. Estos métodos reducen los residuos y prolongan la vida útil de las construcciones, lo cual contribuye a una gestión más eficiente de los recursos naturales.

La integración del uso de madera laminada y las tecnologías de diagnóstico no-ligeramente destructivo se vincula directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los que destacan:

ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura): Promueve infraestructuras resilientes y sostenibles mediante el uso de materiales innovadores y tecnologías avanzadas de mantenimiento.

ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles): Fomenta la construcción de edificaciones seguras, accesibles y sostenibles, en consonancia con prácticas de urbanismo ecológico.

ODS 12 (Producción y consumo responsables): Incentiva el uso eficiente de los recursos y la reducción del impacto ambiental en el ciclo de vida de los materiales.

ODS 13 (Acción por el clima): La madera como recurso renovable captura CO₂, y su uso en sustitución de materiales con alta huella de carbono apoya la lucha contra el cambio climático.

En conclusión, la aplicación de madera laminada en construcción, complementada con métodos de diagnóstico no-ligeramente destructivos, representa una práctica que no solo responde a los estándares técnicos actuales, sino que además se alinea plenamente con los principios de sostenibilidad promovidos por los ODS, aportando valor tanto ambiental como social y económico.



Bibliografía

- Gavric, I. , F. M. , & C. A. (2016). *Cyclic behaviour of typical metal connectors used in European timber structures*. *Structures*. 6, 1-12.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012416000023?via%3Dihub>
- American Wood Council. (s. f.). *Wood Products & Carbon*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://awc.org/issues/wood-product-carbon/>
- APA – The Engineered Wood Association. (s. f.). *Glulam - Versatile Engineered Wood Product Delivers Strength, Beauty, and Reliability*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://www.apawood.org/glulam>
- Atsushi Takano (Aalto University). (2021). *Wood in sustainable construction - a materialperspective*. <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/db2fe215-7d1b-4926-973a-fe65a04cb4a2/content>
- Blanchette, R. A. (2000). *A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 46(3), 189-204.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830500000779?via%3Dihub>
- CuriosaWeb. (s. f.). *La historia de la madera: desde sus orígenes hasta la actualidad*. Recuperado 22 de junio de 2025, de https://curiosaweb.com/la-historia-de-la-madera-desde-sus-origenes-hasta-la-actualidad/?damemas_lectura=1
- Eurocode 5: Design of timber structures (2011). <https://gaprojekt.com/wp-content/uploads/2021/11/Eurocode-5-Design-of-timber-structures.pdf>
- Exotek Instruments. (s. f.). *User's guide MC-380XCA*. Recuperado 24 de junio de 2025, de https://img.izm.by/d/mc_380xca.manual.pdf
- Fakopp Enterprise Bt. (s. f.). *User's guide ULTRASONIC TIMER*. Recuperado 24 de junio de 2025, de <https://fakopp.com/docs/products/ultrasonic/UltrasonicGuide.pdf>
- Fakopp Enterprise Bt. (2010). *User's guide Screw withdrawal resistance meter*. https://fakopp.com/docs/products/withdrawal/withdrawal_guide.pdf
- Fakopp Enterprise Bt. (2024). *User's guide Microsecond Timer Manual*. https://files.fakopp.com/mstimer/mstimer_manual.pdf
- Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material (FPL-GTR-190)*. https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- Forest Stewardship Council. (s. f.). *Forest managers*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://fsc.org/en/forest-managers>
- Forestal Maderero. (s. f.). *Historia del revestimiento de madera*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/historia-del-revestimiento-de-madera.html>
- Franz-F-P-Kollmann & Wilfred-a-Cote-Jr-Vol-I. (1968). *Principles of wood science and technology*. <https://es.scribd.com/document/397681560/Franz-F-P-Kollmann-Wilfred-a-Cote-Jr-Vol-I>



- GANN Mess- u. Regeltechnik GmbH. (s. f.). *GANN Hydromette RTU 600*. Recuperado 24 de junio de 2025, de https://www.gann.de/Resources/Persistent/f9ef3c631126bf34393f6e98535eaa89e4106e58/RTU600_ES.pdf
- Jordahl Rhude, A. (1999). *Historia de los orígenes y primeros desarrollos*. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2946_13160.pdf
- LaHistoria. (s. f.). *Historia de la madera*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://lahistoria.info/historia-de-la-madera/>
- Menvardelcaribe. (s. f.). *Partes de la madera y sus funciones*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://menvardelcaribe.com/novedades/partes-de-la-madera-y-sus-funciones/>
- Migliani, A. (2019, noviembre 13). *¿Qué es la madera laminada encolada (MLE o Glulam)?* <https://www.archdaily.cl/cl/928179/que-es-la-madera-laminada-encolada-mle-o-Glulam>
- Moelven. (2023). *Mjøstårnet: The world's tallest timber building*. <https://www.moelven.com/contentassets/45063567b84944dab52c6d890dceb38f/wcte2023-mjostarnet.-the-worlds-tallest-timber-building.pdf>
- Niall Patrick Walsh. (s. f.). *4 Projects That Show Mass Timber is the Future of American Cities*. Recuperado 23 de junio de 2025, de <https://www.archdaily.com/905601/4-projects-that-show-mass-timber-is-the-future-of-american-cities>
- PEFC. (s. f.). *Programme for the Endorsement of Forest Certification*. Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://pefc.org/for-business>
- Schmidt, O. (2006). *Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use*. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/0104/53/L-G-0000010453-0002344189.pdf>
- Structural Timber Association. (s. f.). *Why structural timber?* Recuperado 22 de junio de 2025, de <https://www.structuraltimber.co.uk/timber-systems/why-structural-timber/>
- StructureCraf. (2013). *Bow River Pedestrian Bridge*. <https://structurecraft.com/projects/bow-river-pedestrian-bridge/>
- University of Washington. (2006). *CES Information Guide - Materials Science Engineering*. https://depts.washington.edu/matseed/ces_guide/background.htm
- Wikipedia contributors. (s. f.). *London Aquatics Centre*. Wikipedia. Recuperado 23 de junio de 2025, de https://en.wikipedia.org/wiki/London_Aquatics_Centre
- WWF. (2014). *Web page quick facts*. https://assets.wwf.org.uk/downloads/web_page_quick_facts_v5.pdf



Anexo Nº 1: Fichas de resultados



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Material				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D066	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	9,65	17,20	10,00	105,00	534,330	

Día 8

20,4 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,3	18,7	Derecha	111,500	Derecha	115,444	10 cm	30,000	10 cm	23,160	Derecha	1888
	18,3	19,2	Centro	121,625	Centro	120,244	15 cm	39,625	15 cm	33,082	Centro	2114
	17,6	17,7	Izquierda	118,500	Izquierda	123,338	20 cm	48,435	20 cm	42,825	Izquierda	2122
							25 cm	58,875	25 cm	52,300		
							30 cm	67,000	30 cm	61,810		
Cara inferior	16,8	17,5					10 cm	30,000	10 cm	25,067	Derecha	2478
	18,4	18,4					15 cm	40,571	15 cm	34,900	Centro	1972
	17,3	18,8					20 cm	51,333	20 cm	44,910	Izquierda	3806
							25 cm	62,500	25 cm	54,100		
							30 cm	72,111	30 cm	64,857		
Cara Frontal	18	21,2	Derecha	69,000	Derecha	68,192	10 cm	32,778	10 cm	24,800	Derecha	2392
	16,5	16,4	Centro	69,500	Centro	68,267	15 cm	43,000	15 cm	35,463	Centro	1370
	17,3	19,2	Izquierda	70,429	Izquierda	60,745	20 cm	54,556	20 cm	89,920	Izquierda	1948
							25 cm	64,250	25 cm	59,622		
							30 cm	74,625	30 cm	69,544		
Cara Posterior	17,1	16,8					10 cm	28,500	10 cm	26,525	Derecha	2622
	16,7	16,9					15 cm	39,125	15 cm	35,175	Centro	1916
	17,7	19,8					20 cm	48,625	20 cm	44,378	Izquierda	2128
							25 cm	59,125	25 cm	53,300		
							30 cm	69,778	30 cm	62,692		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,42%	522,97	5195,54	5077,62	1521,15	1503,85	Paralelo	14,17
			Cara frontal y posterior			4959,69		1486,56		Perpendicular	3,27
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5269,55	5188,46	1488,92	1543,65	Paralelo	14,80
			Cara frontal y posterior			5107,37		1579,55		Perpendicular	3,70
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,38%	520,90	5213,95	5102,04	1530,48	1513,08	Paralelo	14,43
			Cara frontal y posterior			4990,12		1495,68		Perpendicular	3,33
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5301,88	5220,29	1498,06	1543,65	Paralelo	15,10
			Cara frontal y posterior			5138,70		1589,25		Perpendicular	3,76
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,42%	519,86	5036,11	4928,01	1469,42	1452,71	Paralelo	13,31
			Cara frontal y posterior			4819,92		1436,00		Perpendicular	3,05
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5121,04	5042,23	1438,29	1451,97	Paralelo	13,93
			Cara frontal y posterior			4963,43		1525,84		Perpendicular	3,44
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,38%	517,28	5036,11	4928,01	1469,42	1452,71	Paralelo	13,36
			Cara frontal y posterior			4819,92		1436,00		Perpendicular	3,06
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5121,04	5042,23	1438,29	1451,97	Paralelo	13,99
			Cara frontal y posterior			4963,43		1525,84		Perpendicular	3,46

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,709	2,876	4,263	1,578
		Ultrasonic Timer		9,921	2,934		1,616
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,795	2,905	4,280	1,569
		Ultrasonic Timer		10,022	2,963		1,606
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,480	2,794	4,289	1,634
		Ultrasonic Timer		9,699	2,793		1,673
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,527	2,808	4,310	1,634
		Ultrasonic Timer		9,748	2,807		1,673

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,416	3,376
			Cara frontal y posterior	3,336	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,539	3,386
			Cara frontal y posterior	3,233	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,407	3,372
			Cara frontal y posterior	3,336	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,427	3,392
			Cara frontal y posterior	3,356	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,474
			Cara frontal y posterior	3,387	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,427	3,392
			Cara frontal y posterior	3,356	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,474
			Cara frontal y posterior	3,387	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,044	1,056
Cara frontal y posterior	1,068	
Cara superior e inferior	1,044	
Cara frontal y posterior	1,068	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Material				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D028	Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	0 empalmes	9,15	17,20	9,80	105,00	516,984	

Día 8
20,2 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,9	13,7	Derecha	124,571	Derecha	123,889	10 cm	29,375	10 cm	22,200	Derecha	1874
	16,5	15,1	Centro	124,750	Centro	133,475	15 cm	38,500	15 cm	31,642	Centro	1786
	16	12,9	Izquierda	127,000	Izquierda	136,122	20 cm	49,250	20 cm	40,856	Izquierda	1784
							25 cm	58,375	25 cm	49,938		
							30 cm	71,125	30 cm	59,638		
Cara inferior	17,5	18,7					10 cm	28,429	10 cm	21,250	Derecha	2096
	19	20,9					15 cm	38,000	15 cm	31,688	Centro	2138
	18,2	20,4					20 cm	46,625	20 cm	38,678	Izquierda	2086
							25 cm	54,875	25 cm	47,233		
							30 cm	64,375	30 cm	56,100		
Cara Frontal	17,8	19,2	Derecha	80,125	Derecha	75,900	10 cm	27,286	10 cm	20,878	Derecha	1902
	18,5	16,2	Centro	80,556	Centro	75,067	15 cm	35,500	15 cm	29,275	Centro	1718
	18,2	17,9	Izquierda	73,125	Izquierda	65,838	20 cm	45,750	20 cm	37,750	Izquierda	2132
							25 cm	53,625	25 cm	46,075		
							30 cm	63,444	30 cm	54,880		
Cara Posterior	17,6	17,8					10 cm	33,000	10 cm	23,622	Derecha	1946
	19,2	21,1					15 cm	44,000	15 cm	33,613	Centro	2020
	15,1	17,6					20 cm	52,000	20 cm	42,175	Izquierda	2606
							25 cm	62,250	25 cm	50,763		
							30 cm	70,250	30 cm	59,550		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,46%	505,90	5400,01	5509,71	1419,92	1362,28	Paralelo	16,20
			Cara frontal y posterior			5619,41		1304,64		Perpendicular	2,44
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5780,32	5852,80	1360,11	1386,54	Paralelo	18,28
			Cara frontal y posterior			5925,28		1410,04		Perpendicular	2,85
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,63%	505,56	5393,61	5509,47	1421,42	1363,71	Paralelo	16,22
			Cara frontal y posterior			5625,33		1306,01		Perpendicular	2,45
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5786,40	5858,96	1361,55	1386,54	Paralelo	18,34
			Cara frontal y posterior			5931,51		1411,53		Perpendicular	2,86
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,46%	502,87	5234,71	5347,16	1371,27	1315,61	Paralelo	15,16
			Cara frontal y posterior			5459,61		1259,94		Perpendicular	2,27
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5615,94	5686,35	1313,51	1305,93	Paralelo	17,15
			Cara frontal y posterior			5756,77		1361,73		Perpendicular	2,66
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,63%	502,44	5234,71	5347,16	1371,27	1315,61	Paralelo	15,17
			Cara frontal y posterior			5459,61		1259,94		Perpendicular	2,27
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5615,94	5686,35	1313,51	1305,93	Paralelo	17,16
			Cara frontal y posterior			5756,77		1361,73		Perpendicular	2,66

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	10,891	2,693	3,968	1,381
			Ultrasonic Timer	11,569	2,738		1,443
		Capacitivo	Microsecond Timer	10,898	2,697	3,971	1,379
			Ultrasonic Timer	11,589	2,743		1,442
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	10,633	2,616	3,992	1,430
			Ultrasonic Timer	11,308	2,597		1,495
		Capacitivo	Microsecond Timer	10,642	2,618	3,995	1,430
			Ultrasonic Timer	11,317	2,599		1,495

	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,803	4,055
				Cara frontal y posterior	4,307	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,250	4,226
				Cara frontal y posterior	4,202	
	Unterweiser	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,795	4,051
				Cara frontal y posterior	4,307	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,250	4,226
				Cara frontal y posterior	4,202	
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,817	4,075
				Cara frontal y posterior	4,333	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,276	4,355
				Cara frontal y posterior	4,434	
		Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,817	4,075
				Cara frontal y posterior	4,333	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,276	4,355
				Cara frontal y posterior	4,434	

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,986	1,009
Cara frontal y posterior	1,032	
Cara superior e inferior	0,986	
Cara frontal y posterior	1,032	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D027	Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	1 empalme	9,05	17,20	9,90	105,00	506,169	

Día 8

18,5 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	16,4	18,4	Derecha	145,429	Derecha	171,471	10 cm	31,286	10 cm	21,022	Derecha	2144
	17,3	19,1	Centro	149,714	Centro	142,243	15 cm	41,375	15 cm	31,686	Centro	2138
	17,3	19,8	Izquierda	142,429	Izquierda	122,513	20 cm	49,750	20 cm	38,025	Izquierda	2158
							25 cm	58,000	25 cm	46,329		
							30 cm	64,857	30 cm	54,780		
Cara inferior	17	15,3					10 cm	35,429	10 cm	26,600	Derecha	1858
	17,7	15,8					15 cm	45,250	15 cm	36,863	Centro	1698
	17,3	16,2					20 cm	58,000	20 cm	47,340	Izquierda	1892
							25 cm	68,375	25 cm	56,771		
							30 cm	79,500	30 cm	66,288		
Cara Frontal	17,8	17,8	Derecha	85,429	Derecha	73,390	10 cm	29,714	10 cm	21,156	Derecha	1716
	20,3	20	Centro	76,750	Centro	69,933	15 cm	38,857	15 cm	29,457	Centro	2074
	18,8	18,8	Izquierda	78,750	Izquierda	71,500	20 cm	46,556	20 cm	37,800	Izquierda	1998
							25 cm	57,000	25 cm	46,144		
							30 cm	64,375	30 cm	54,488		
Cara Posterior	18,3	17,2					10 cm	35,625	10 cm	23,625	Derecha	1794
	15,7	17,6					15 cm	42,571	15 cm	32,982	Centro	1956
	17,6	16,4					20 cm	51,857	20 cm	44,000	Izquierda	1666
							25 cm	62,286	25 cm	52,089		
							30 cm	70,714	30 cm	60,738		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,63%	494,98	5404,96	5607,77	1222,87	1251,67	Paralelo	16,45
			Cara frontal y posterior			5810,58		1280,47		Perpendicular	2,30
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5729,73	5790,02	1249,49	1342,20	Paralelo	17,54
			Cara frontal y posterior			5850,31		1433,64		Perpendicular	2,89
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,70%	494,83	5392,61	5602,97	1223,45	1252,26	Paralelo	16,43
			Cara frontal y posterior			5813,33		1281,08		Perpendicular	2,31
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5732,45	5792,77	1250,08	1342,20	Paralelo	17,56
			Cara frontal y posterior			5853,09		1434,32		Perpendicular	2,89
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,63%	491,93	5231,27	5435,33	1179,73	1207,52	Paralelo	15,35
			Cara frontal y posterior			5639,40		1235,30		Perpendicular	2,14
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5560,93	5619,45	1205,41	1293,85	Paralelo	16,41
			Cara frontal y posterior			5677,96		1383,07		Perpendicular	2,68
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,70%	491,74	5231,27	5435,33	1179,73	1207,52	Paralelo	15,36
			Cara frontal y posterior			5639,40		1235,30		Perpendicular	2,14
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5560,93	5619,45	1205,41	1293,85	Paralelo	16,41
			Cara frontal y posterior			5677,96		1383,07		Perpendicular	2,68

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,329	2,529	3,888	1,620
			Ultrasonic Timer	11,697	2,710		1,615
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,323	2,531	3,889	1,619
			Ultrasonic Timer	11,707	2,712		1,615
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,049	2,455	3,912	1,679
			Ultrasonic Timer	11,423	2,630		1,674
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,053	2,456	3,913	1,679
			Ultrasonic Timer	11,428	2,631		1,674

	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,420	4,479
				Cara frontal y posterior	4,538	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,586	4,333
				Cara frontal y posterior	4,081	
	Unterweiser	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,408	4,473
				Cara frontal y posterior	4,538	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,586	4,333
				Cara frontal y posterior	4,081	
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,434	4,500
				Cara frontal y posterior	4,565	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,613	4,360
				Cara frontal y posterior	4,108	
		Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,434	4,500
				Cara frontal y posterior	4,565	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,613	4,360
				Cara frontal y posterior	4,108	

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D037	Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	3 empalmes	9,20	17,00	9,80	110,00	502,019	

Día 7
20,5 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,2	13,8	Derecha	123,571	Derecha	114,113	10 cm	31,750	10 cm	26,800	Derecha	2394
	19,8	21,6	Centro	129,429	Centro	119,314	15 cm	42,286	15 cm	34,200	Centro	2382
	18,6	19,8	Izquierda	135,500	Izquierda	119,000	20 cm	52,000	20 cm	43,543	Izquierda	2372
							25 cm	62,143	25 cm	52,225		
							30 cm	69,857	30 cm	61,955		
Cara inferior	17	18,4					10 cm	28,429	10 cm	21,943	Derecha	1768
	18,3	20,8					15 cm	38,143	15 cm	30,111	Centro	1878
	16,6	19,2					20 cm	48,571	20 cm	39,086	Izquierda	1990
							25 cm	56,750	25 cm	48,933		
							30 cm	66,857	30 cm	57,111		
Cara Frontal	17,2	17,5	Derecha	76,857	Derecha	80,656	10 cm	30,000	10 cm	23,250	Derecha	1964
	19,5	17,4	Centro	85,000	Centro	85,971	15 cm	39,875	15 cm	32,263	Centro	1444
	17,5	19	Izquierda	79,429	Izquierda	74,710	20 cm	49,571	20 cm	41,925	Izquierda	2332
							25 cm	59,571	25 cm	54,343		
							30 cm	69,429	30 cm	62,200		
Cara Posterior	17,9	17,1					10 cm	33,857	10 cm	25,338	Derecha	1876
	20	21,2					15 cm	43,714	15 cm	35,338	Centro	2030
	15,7	15,6					20 cm	53,250	20 cm	46,529	Izquierda	1748
							25 cm	62,714	25 cm	54,600		
							30 cm	73,857	30 cm	63,011		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,69%	490,79	5394,75	5306,27	1363,25	1314,51	Paralelo	14,57
			Cara frontal y posterior			5217,79		1265,78		Perpendicular	2,23
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5807,62	5554,44	1501,28	1391,04	Paralelo	15,97
			Cara frontal y posterior			5301,27		1267,46		Perpendicular	2,24
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,45%	489,27	5407,67	5325,29	1369,81	1320,84	Paralelo	14,77
			Cara frontal y posterior			5242,92		1271,88		Perpendicular	2,26
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5835,58	5581,19	1508,51	1391,04	Paralelo	16,23
			Cara frontal y posterior			5326,79		1273,56		Perpendicular	2,27
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,69%	487,73	5221,01	5141,48	1314,60	1267,61	Paralelo	13,63
			Cara frontal y posterior			5061,94		1220,62		Perpendicular	2,07
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5634,15	5388,54	1447,71	1312,60	Paralelo	14,97
			Cara frontal y posterior			5142,93		1222,23		Perpendicular	2,08
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,45%	485,83	5221,01	5141,48	1314,60	1267,61	Paralelo	13,67
			Cara frontal y posterior			5061,94		1220,62		Perpendicular	2,08
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5634,15	5388,54	1447,71	1312,60	Paralelo	15,02
			Cara frontal y posterior			5142,93		1222,23		Perpendicular	2,09

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,812	2,678	4,105	1,566
		Ultrasonic Timer		11,317	2,821		1,420
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,884	2,700	4,118	1,559
		Ultrasonic Timer		11,407	2,843		1,413
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,542	2,599	4,131	1,624
		Ultrasonic Timer		11,048	2,691		1,473
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,583	2,609	4,147	1,624
		Ultrasonic Timer		11,091	2,702		1,473

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,957	4,040
			Cara frontal y posterior	4,122	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,868	4,026
			Cara frontal y posterior	4,183	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,948	4,035
			Cara frontal y posterior	4,122	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,868	4,026
			Cara frontal y posterior	4,183	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,972	4,059
			Cara frontal y posterior	4,147	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,892	4,130
			Cara frontal y posterior	4,368	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,972	4,059
			Cara frontal y posterior	4,147	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,892	4,130
			Cara frontal y posterior	4,368	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,087	1,044
Cara frontal y posterior	1,000	
Cara superior e inferior	1,087	
Cara frontal y posterior	1,000	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D051	Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	4 empalmes	8,00	17,20	10,00	105,00	442,968	

Día 7
20,3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,8	16,3	Derecha	137,125	Derecha	134,500	10 cm	27,500	10 cm	22,600	Derecha	2060
	16,4	16,6	Centro	157,429	Centro	148,788	15 cm	35,571	15 cm	30,813	Centro	1798
	15,6	16,9	Izquierda	138,750	Izquierda	131,378	20 cm	44,571	20 cm	40,389	Izquierda	1974
							25 cm	54,143	25 cm	49,850		
							30 cm	63,143	30 cm	58,200		
Cara inferior	16	14,8					10 cm	34,429	10 cm	25,171	Derecha	1568
	17,6	15,6					15 cm	45,143	15 cm	33,429	Centro	2784
	15,9	14,7					20 cm	55,250	20 cm	43,771	Izquierda	1950
							25 cm	65,571	25 cm	54,457		
							30 cm	74,571	30 cm	64,000		
Cara Frontal	16,9	17,3	Derecha	58,429	Derecha	57,136	10 cm	29,429	10 cm	23,000	Derecha	2540
	17,2	17	Centro	78,429	Centro	76,567	15 cm	40,286	15 cm	32,133	Centro	1540
	16,4	15,6	Izquierda	68,857	Izquierda	62,762	20 cm	49,250	20 cm	41,271	Izquierda	1974
							25 cm	59,143	25 cm	51,013		
							30 cm	69,714	30 cm	60,088		
Cara Posterior	15,5	17					10 cm	29,714	10 cm	21,963	Derecha	1718
	18,2	21,3					15 cm	40,125	15 cm	30,863	Centro	1684
	17,5	20,5					20 cm	47,667	20 cm	40,457	Izquierda	1606
							25 cm	58,286	25 cm	49,700		
							30 cm	68,333	30 cm	58,500		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,58%	435,04	5402,70	5329,46	1231,13	1377,41	Paralelo	12,92
			Cara frontal y posterior			5256,23		1523,69		Perpendicular	2,84
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5429,03	5481,66	1285,19	1444,08	Paralelo	13,67
			Cara frontal y posterior			5534,28		1596,03		Perpendicular	3,12
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,97%	434,35	5401,80	5335,35	1234,09	1380,73	Paralelo	13,00
			Cara frontal y posterior			5268,90		1527,36		Perpendicular	2,86
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5442,12	5494,87	1288,29	1444,08	Paralelo	13,78
			Cara frontal y posterior			5547,63		1599,88		Perpendicular	3,14
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,58%	432,82	5264,46	5199,70	1195,51	1337,56	Paralelo	12,24
			Cara frontal y posterior			5134,95		1479,61		Perpendicular	2,68
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5303,76	5355,17	1248,01	1388,07	Paralelo	12,98
			Cara frontal y posterior			5406,59		1549,86		Perpendicular	2,94
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,97%	431,97	5264,46	5199,70	1195,51	1337,56	Paralelo	12,26
			Cara frontal y posterior			5134,95		1479,61		Perpendicular	2,68
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5303,76	5355,17	1248,01	1388,07	Paralelo	13,00
			Cara frontal y posterior			5406,59		1549,86		Perpendicular	2,94

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,251	3,166	4,443	1,659
		Ultrasonic Timer		12,600	3,311		1,586
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,284	3,179	4,450	1,655
		Ultrasonic Timer		12,651	3,325		1,582
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,014	3,090	4,466	1,709
		Ultrasonic Timer		12,373	3,207		1,633
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,037	3,096	4,475	1,709
		Ultrasonic Timer		12,397	3,213		1,633

	Relación Velocidades indirecto/directo				
	Promedio	Promedio Total			
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,388	3,919
		Cara frontal y posterior	3,450		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,224	3,846
			Cara frontal y posterior	3,468	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,377	3,913
		Cara frontal y posterior	3,450		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,224	3,846
			Cara frontal y posterior	3,468	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,404	3,937
		Cara frontal y posterior	3,470		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,250	3,894
			Cara frontal y posterior	3,538	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,404	3,937
		Cara frontal y posterior	3,470		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,250	3,894
			Cara frontal y posterior	3,538	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	0,975	1,022
Cara frontal y posterior	1,069	
Cara superior e inferior	0,975	
Cara frontal y posterior	1,069	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D073	Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	2 empalmes	10,35	17,20	10,00	105,20	572,000	

Día 7
20.7 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,9	14,7	Derecha	119,833	Derecha	120,983	10 cm	30,333	10 cm	26,983	Derecha	2044
	15,5	16,5	Centro	121,667	Centro	128,800	15 cm	39,500	15 cm	34,567	Centro	2366
	15	16,1	Izquierda	120,167	Izquierda	124,917	20 cm	50,000	20 cm	45,000	Izquierda	2204
							25 cm	63,333	25 cm	59,983		
							30 cm	73,333	30 cm	70,400		
Cara inferior	16,3	17					10 cm	32,333	10 cm	30,433	Derecha	1880
	17,5	17,9					15 cm	43,667	15 cm	46,417	Centro	1638
	16,3	19,6					20 cm	53,000	20 cm	52,717	Izquierda	1754
							25 cm	63,833	25 cm	61,967		
							30 cm	74,167	30 cm	71,283		
Cara Frontal	15,5	17,1	Derecha	64,000	Derecha	68,083	10 cm	31,167	10 cm	27,433	Derecha	2814
	16,4	18,8	Centro	69,500	Centro	68,300	15 cm	40,167	15 cm	39,283	Centro	2664
	15	18,1	Izquierda	57,667	Izquierda	51,400	20 cm	52,667	20 cm	53,933	Izquierda	2096
							25 cm	60,833	25 cm	67,767		
							30 cm	71,333	30 cm	74,833		
Cara Posterior	16	17,7					10 cm	29,667	10 cm	27,817	Derecha	2010
	17	17,3					15 cm	40,333	15 cm	41,133	Centro	2458
	15,2	15,4					20 cm	51,000	20 cm	50,583	Izquierda	1362
							25 cm	60,333	25 cm	58,317		
							30 cm	71,167	30 cm	74,467		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,88%	563,38	4784,91	4890,59	1462,87	1540,64	Paralelo	13,96
			Cara frontal y posterior			4996,27		1618,40		Perpendicular	4,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4889,71	4631,23	1412,85	1552,67	Paralelo	12,52
			Cara frontal y posterior			4372,76		1667,27		Perpendicular	4,38
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,18%	560,37	4812,63	4924,91	1474,85	1553,25	Paralelo	14,31
			Cara frontal y posterior			5037,19		1631,65		Perpendicular	4,22
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4929,75	4669,16	1424,42	1552,67	Paralelo	12,86
			Cara frontal y posterior			4408,57		1680,92		Perpendicular	4,47
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,88%	560,89	4683,88	4793,16	1426,79	1502,64	Paralelo	13,39
			Cara frontal y posterior			4902,43		1578,48		Perpendicular	3,92
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4797,87	4544,25	1378,00	1422,23	Paralelo	12,03
			Cara frontal y posterior			4290,63		1626,15		Perpendicular	4,16
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,18%	557,18	4683,88	4793,16	1426,79	1502,64	Paralelo	13,46
			Cara frontal y posterior			4902,43		1578,48		Perpendicular	3,94
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4797,87	4544,25	1378,00	1422,23	Paralelo	12,10
			Cara frontal y posterior			4290,63		1626,15		Perpendicular	4,18

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,681	2,735	3,741	1,354
		Ultrasonic Timer		8,220	2,734		1,403
	Capacitivo	Microsecond Timer		8,789	2,772	3,761	1,343
		Ultrasonic Timer		8,332	2,771		1,392
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,546	2,679	3,757	1,389
		Ultrasonic Timer		8,102	2,536		1,439
	Capacitivo	Microsecond Timer		8,603	2,697	3,782	1,389
		Ultrasonic Timer		8,156	2,553		1,439

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,271	3,179
			Cara frontal y posterior	3,087	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,461	3,042
			Cara frontal y posterior	2,623	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,263	3,175
			Cara frontal y posterior	3,087	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,283	3,194
			Cara frontal y posterior	3,106	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,482	3,204
			Cara frontal y posterior	2,926	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,283	3,194
			Cara frontal y posterior	3,106	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,482	3,204
			Cara frontal y posterior	2,926	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,066	1,082
Cara frontal y posterior	1,098	
Cara superior e inferior	1,066	
Cara frontal y posterior	1,098	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D023	Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	4 empalmes	9,65	17,20	9,90	108,00	524,735	

Día 6
20,3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,1	16,1	Derecha	134,167	Derecha	130,200	10 cm	26,500	10 cm	22,750	Derecha	1656
	18,3	17,4	Centro	133,000	Centro	120,783	15 cm	34,667	15 cm	32,633	Centro	1430
	17	17,2	Izquierda	127,333	Izquierda	120,400	20 cm	44,667	20 cm	46,633	Izquierda	1620
							25 cm	52,333	25 cm	48,933		
							30 cm	62,167	30 cm	58,733		
Cara inferior	19	20,1					10 cm	27,000	10 cm	30,567	Derecha	1810
	19,4	23,3					15 cm	35,000	15 cm	33,550	Centro	1740
	18,1	20,2					20 cm	45,500	20 cm	41,183	Izquierda	1668
							25 cm	53,667	25 cm	50,667		
							30 cm	53,500	30 cm	60,783		
Cara Frontal	17	20,4	Derecha	71,667	Derecha	75,217	10 cm	27,667	10 cm	23,117	Derecha	2568
	17,1	20,1	Centro	69,167	Centro	68,533	15 cm	38,667	15 cm	39,183	Centro	1950
	16,1	20	Izquierda	67,167	Izquierda	74,486	20 cm	46,167	20 cm	48,133	Izquierda	2504
							25 cm	56,667	25 cm	51,683		
							30 cm	65,333	30 cm	61,333		
Cara Posterior	17,8	18					10 cm	33,500	10 cm	28,150	Derecha	2188
	18,5	20,3					15 cm	44,833	15 cm	38,850	Centro	1728
	17,5	20,2					20 cm	56,500	20 cm	50,333	Izquierda	2844
							25 cm	67,333	25 cm	60,367		
							30 cm	78,667	30 cm	69,767		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,74%	512,89	6507,32	5776,92	1357,52	1419,88	Paralelo	17,99
			Cara frontal y posterior			5046,51		1482,23		Perpendicular	3,20
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6244,48	5801,97	1443,15	1444,19	Paralelo	18,14
			Cara frontal y posterior			5359,45		1414,18		Perpendicular	2,91
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,44%	509,34	6563,83	5832,58	1372,27	1435,30	Paralelo	18,61
			Cara frontal y posterior			5101,33		1498,33		Perpendicular	3,30
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6312,31	5864,99	1458,83	1444,19	Paralelo	18,82
			Cara frontal y posterior			5417,67		1429,54		Perpendicular	3,00
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,74%	509,67	6297,36	5595,79	1308,67	1368,78	Paralelo	16,88
			Cara frontal y posterior			4894,23		1428,89		Perpendicular	2,97
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6056,05	5626,89	1391,22	1385,80	Paralelo	17,06
			Cara frontal y posterior			5197,73		1363,29		Perpendicular	2,70
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,44%	505,21	6297,36	5595,79	1308,67	1368,78	Paralelo	17,00
			Cara frontal y posterior			4894,23		1428,89		Perpendicular	2,99
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6056,05	5626,89	1391,22	1385,80	Paralelo	17,19
			Cara frontal y posterior			5197,73		1363,29		Perpendicular	2,72

Relaciones entre los Resultados											
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa				
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio				
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,263	2,768	3,852	1,219				
		Ultrasonic Timer		11,312	2,786		1,149				
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,451	2,818	3,879	1,206				
		Ultrasonic Timer		11,515	2,835		1,137				
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,979	2,686	3,876	1,265				
		Ultrasonic Timer		11,040	2,719		1,192				
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,076	2,709	3,910	1,265				
		Ultrasonic Timer		11,138	2,743		1,192				

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,794	4,099
			Cara frontal y posterior	3,405	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,327	4,058
			Cara frontal y posterior	3,790	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,783	4,094
			Cara frontal y posterior	3,405	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,327	4,058
			Cara frontal y posterior	3,790	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,812	4,119
			Cara frontal y posterior	3,425	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,353	4,059
			Cara frontal y posterior	3,765	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,812	4,119
			Cara frontal y posterior	3,425	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,353	4,059
			Cara frontal y posterior	3,765	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,050	1,097
Cara frontal y posterior	1,144	
Cara superior e inferior	1,050	
Cara frontal y posterior	1,144	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D067	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	2 empalmes	9,65	17,20	10,00	105,30	532,808	

Día 5
20,5 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,2	16,3	Derecha	114,333	Derecha	109,200	10 cm	31,667	10 cm	27,867	Derecha	1974
	17,9	15,8	Centro	118,000	Centro	121,900	15 cm	41,833	15 cm	39,183	Centro	1564
	17,2	16	Izquierda	111,667	Izquierda	118,867	20 cm	53,000	20 cm	55,667	Izquierda	1944
							25 cm	66,108	25 cm	67,150		
							30 cm	75,500	30 cm	75,017		
Cara inferior	14,7	17,1					10 cm	34,667	10 cm	35,217	Derecha	1984
	15,7	17,1					15 cm	41,500	15 cm	46,433	Centro	1838
	15,1	17					20 cm	50,500	20 cm	58,717	Izquierda	1976
							25 cm	59,500	25 cm	69,083		
							30 cm	67,333	30 cm	76,800		
Cara Frontal	16,8	15,3	Derecha	69,167	Derecha	74,633	10 cm	24,667	10 cm	26,667	Derecha	2448
	16,7	18,6	Centro	73,500	Centro	76,833	15 cm	36,000	15 cm	36,750	Centro	2830
	16	15,4	Izquierda	66,333	Izquierda	64,450	20 cm	47,857	20 cm	45,850	Izquierda	1986
							25 cm	56,167	25 cm	56,617		
							30 cm	65,000	30 cm	64,833		
Cara Posterior	15,9	19,3					10 cm	28,833	10 cm	27,883	Derecha	2754
	16,5	19,6					15 cm	38,333	15 cm	36,050	Centro	2420
	17,1	17,7					20 cm	49,667	20 cm	46,400	Izquierda	1822
							25 cm	57,667	25 cm	55,450		
							30 cm	69,000	30 cm	68,150		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,40%	523,66	5361,91	5230,77	1543,70	1511,40	Paralelo	14,94
			Cara frontal y posterior			5099,64		1479,09		Perpendicular	3,22
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4506,20	4860,54	1519,97	1485,33	Paralelo	12,90
			Cara frontal y posterior			5214,89		1437,65		Perpendicular	3,04
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,10%	522,16	5374,34	5248,22	1550,50	1518,06	Paralelo	15,13
			Cara frontal y posterior			5122,11		1485,61		Perpendicular	3,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4526,06	4881,96	1526,67	1485,33	Paralelo	13,10
			Cara frontal y posterior			5237,87		1443,98		Perpendicular	3,07
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,40%	521,09	5233,31	5110,50	1500,77	1469,36	Paralelo	14,21
			Cara frontal y posterior			4987,70		1437,96		Perpendicular	3,04
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4407,29	4753,85	1477,69	1399,20	Paralelo	12,29
			Cara frontal y posterior			5100,42		1397,66		Perpendicular	2,87
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,10%	519,22	5233,31	5110,50	1500,77	1469,36	Paralelo	14,25
			Cara frontal y posterior			4987,70		1437,96		Perpendicular	3,05
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4407,29	4753,85	1477,69	1399,20	Paralelo	12,33
			Cara frontal y posterior			5100,42		1397,66		Perpendicular	2,88

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,989	2,886	4,064	1,217
		Ultrasonic Timer		9,282	2,824		1,237
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,051	2,907	4,076	1,211
		Ultrasonic Timer		9,350	2,845		1,231
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,807	2,820	4,084	1,252
		Ultrasonic Timer		9,123	2,685		1,272
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,843	2,830	4,099	1,252
		Ultrasonic Timer		9,156	2,695		1,272

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,473	3,461
			Cara frontal y posterior	3,448	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,965	3,296
			Cara frontal y posterior	3,627	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,466	3,457	
		Cara frontal y posterior	3,448		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,965	3,296	
		Cara frontal y posterior	3,627		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,487	3,478
			Cara frontal y posterior	3,469	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,983	3,422
			Cara frontal y posterior	3,862	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,487	3,478
			Cara frontal y posterior	3,469	
Ultrasonic Timer		Cara superior e inferior	2,983	3,422	
		Cara frontal y posterior	3,862		

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,015	1,043
Cara frontal y posterior	1,070	
Cara superior e inferior	1,015	
Cara frontal y posterior	1,070	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D057	Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	0 empalmes	9,40	18,10	10,10	105,20	488,779	

Día 10

19.9 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,1	15,1	Derecha	131,500	Derecha	121,200	10 cm	21,333	10 cm	25,286	Derecha	1342
	16,7	16,6	Centro	120,333	Centro	118,283	15 cm	30,650	15 cm	37,500	Centro	1320
	14,1	15,5	Izquierda	124,333	Izquierda	124,283	20 cm	38,767	20 cm	44,167	Izquierda	1896
							25 cm	47,100	25 cm	55,333		
							30 cm	55,500	30 cm	62,000		
Cara inferior	13,8	13,6					10 cm	22,483	10 cm	28,167	Derecha	1420
	15,5	15,8					15 cm	31,633	15 cm	36,333	Centro	1602
	13,8	14,5					20 cm	40,817	20 cm	45,333	Izquierda	1494
							25 cm	49,583	25 cm	57,000		
							30 cm	58,017	30 cm	64,500		
Cara Frontal	15,6	17	Derecha	79,167	Derecha	78,017	10 cm	21,733	10 cm	26,000	Derecha	1424
	17,1	19,8	Centro	77,667	Centro	79,950	15 cm	30,800	15 cm	35,667	Centro	1976
	14,4	19	Izquierda	78,833	Izquierda	81,150	20 cm	41,833	20 cm	46,500	Izquierda	1652
							25 cm	49,383	25 cm	56,167		
							30 cm	58,600	30 cm	65,333		
Cara Posterior	15,1	17,4					10 cm	24,550	10 cm	29,167	Derecha	1386
	16,8	16,4					15 cm	33,217	15 cm	39,167	Centro	2218
	14,8	16,5					20 cm	40,750	20 cm	46,500	Izquierda	1782
							25 cm	49,450	25 cm	56,333		
							30 cm	58,500	30 cm	63,167		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)	Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)		
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,15%	482,88	5855,33	5808,60	1475,24	1393,77	Paralelo	16,77
			Cara frontal y posterior			5761,86		1312,30		Perpendicular	2,31
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5496,46	5515,99	1524,10	1420,20	Paralelo	15,12
			Cara frontal y posterior			5535,51		1293,62		Perpendicular	2,24
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,43%	480,32	5887,59	5847,90	1487,11	1404,99	Paralelo	17,19
			Cara frontal y posterior			5808,22		1322,86		Perpendicular	2,36
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5540,69	5560,37	1536,37	1420,20	Paralelo	15,54
			Cara frontal y posterior			5580,05		1304,03		Perpendicular	2,29
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,15%	481,08	5757,16	5718,35	1445,45	1365,62	Paralelo	16,23
			Cara frontal y posterior			5679,54		1285,80		Perpendicular	2,22
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5417,94	5437,18	1493,32	1386,13	Paralelo	14,67
			Cara frontal y posterior			5456,43		1267,50		Perpendicular	2,15
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,43%	477,94	5757,16	5718,35	1445,45	1365,62	Paralelo	16,32
			Cara frontal y posterior			5679,54		1285,80		Perpendicular	2,23
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5417,94	5437,18	1493,32	1386,13	Paralelo	14,76
			Cara frontal y posterior			5456,43		1267,50		Perpendicular	2,17

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,029	2,886	3,367	1,025
		Ultrasonic Timer		11,423	2,918		0,994
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,175	2,925	3,385	1,017
		Ultrasonic Timer		11,576	2,957		0,986
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,886	2,839	3,380	1,046
		Ultrasonic Timer		11,302	2,881		1,014
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,964	2,857	3,402	1,046
		Ultrasonic Timer		11,376	2,900		1,014

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,969	4,180
			Cara frontal y posterior	4,391	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,606	3,943
			Cara frontal y posterior	4,279	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,959	4,175
			Cara frontal y posterior	4,391	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,606	3,943
			Cara frontal y posterior	4,279	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,983	4,200
			Cara frontal y posterior	4,417	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,628	3,947
			Cara frontal y posterior	4,266	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,983	4,200
			Cara frontal y posterior	4,417	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,628	3,947
			Cara frontal y posterior	4,266	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,035	1,083
Cara frontal y posterior	1,131	
Cara superior e inferior	1,035	
Cara frontal y posterior	1,131	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D065	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	4 empalmes	9,80	17,20	10,00	105,10	542,119	

Día 5

19,3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	16	14,6	Derecha	125,857	Derecha	113,650	10 cm	28,857	10 cm	22,457	Derecha	1816
	17,6	16,4	Centro	129,571	Centro	121,811	15 cm	38,714	15 cm	32,733	Centro	1942
	16,1	16,5	Izquierda	127,714	Izquierda	117,943	20 cm	48,286	20 cm	41,563	Izquierda	2064
							25 cm	58,286	25 cm	50,380		
							30 cm	66,857	30 cm	59,650		
Cara inferior	14,6	16,8					10 cm	32,714	10 cm	28,144	Derecha	1990
	15,3	15,8					15 cm	41,429	15 cm	40,667	Centro	2284
	14,6	16,7					20 cm	52,143	20 cm	49,478	Izquierda	2542
							25 cm	63,571	25 cm	61,233		
							30 cm	74,143	30 cm	70,411		
Cara Frontal	17	20,8	Derecha	78,286	Derecha	67,063	10 cm	31,429	10 cm	23,143	Derecha	2230
	16,2	16,8	Centro	85,714	Centro	66,550	15 cm	40,286	15 cm	32,944	Centro	1726
	16,9	18,3	Izquierda	81,000	Izquierda	71,778	20 cm	51,857	20 cm	43,720	Izquierda	1594
							25 cm	61,143	25 cm	53,975		
							30 cm	71,714	30 cm	64,471		
Cara Posterior	15,9	17					10 cm	31,857	10 cm	20,988	Derecha	2032
	16,8	16,2					15 cm	41,286	15 cm	32,478	Centro	1438
	16,1	15,6					20 cm	51,857	20 cm	42,017	Izquierda	1568
							25 cm	61,714	25 cm	51,433		
							30 cm	71,625	30 cm	60,729		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,09%	533,49	5112,15	5089,74	1382,81	1320,83	Paralelo	14,38
			Cara frontal y posterior			5067,33		1258,85		Perpendicular	2,37
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5199,42	5125,76	1500,16	1507,31	Paralelo	14,58
			Cara frontal y posterior			5052,11		1501,25		Perpendicular	3,37
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,79%	531,96	5121,51	5105,56	1388,89	1326,64	Paralelo	14,55
			Cara frontal y posterior			5089,62		1264,39		Perpendicular	2,40
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5222,29	5148,31	1506,76	1507,31	Paralelo	14,80
			Cara frontal y posterior			5074,33		1507,86		Perpendicular	3,41
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,09%	531,03	4996,80	4981,24	1346,95	1286,57	Paralelo	13,72
			Cara frontal y posterior			4965,68		1226,20		Perpendicular	2,24
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5095,12	5022,94	1461,26	1479,07	Paralelo	13,95
			Cara frontal y posterior			4950,76		1462,32		Perpendicular	3,19
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,79%	529,13	4996,80	4981,24	1346,95	1286,57	Paralelo	13,76
			Cara frontal y posterior			4965,68		1226,20		Perpendicular	2,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5095,12	5022,94	1461,26	1479,07	Paralelo	13,99
			Cara frontal y posterior			4950,76		1462,32		Perpendicular	3,20

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,540	2,476	3,628	1,524
		Ultrasonic Timer		9,608	2,813		1,407
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,598	2,494	3,638	1,518
		Ultrasonic Timer		9,678	2,834		1,401
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,380	2,423	3,645	1,565
		Ultrasonic Timer		9,459	2,785		1,444
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,414	2,431	3,658	1,565
		Ultrasonic Timer		9,493	2,795		1,444

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,697	3,861
			Cara frontal y posterior	4,025	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,466	3,416
			Cara frontal y posterior	3,365	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,687	3,856
			Cara frontal y posterior	4,025	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,710	3,880
			Cara frontal y posterior	4,050	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,487	3,397
			Cara frontal y posterior	3,307	
UNE	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,710	3,880
			Cara frontal y posterior	4,050	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,487	3,397
			Cara frontal y posterior	3,307	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,028	1,043
Cara frontal y posterior	1,059	
Cara superior e inferior	1,028	
Cara frontal y posterior	1,059	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D071	Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	4 empalmes	10,10	17,20	10,00	105,00	559,247	

Día 10
19.3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,4	17,6	Derecha	109,667	Derecha	104,083	10 cm	31,667	10 cm	28,933	Derecha	2464
	15,6	17,5	Centro	109,667	Centro	113,683	15 cm	42,333	15 cm	40,017	Centro	2338
	14,1	16,8	Izquierda	110,833	Izquierda	115,367	20 cm	54,000	20 cm	51,383	Izquierda	2170
							25 cm	64,500	25 cm	64,467		
							30 cm	75,167	30 cm	74,533		
Cara inferior	14,7	16,7					10 cm	29,500	10 cm	28,850	Derecha	2710
	16,4	19,8					15 cm	40,500	15 cm	34,817	Centro	2828
	15,1	18,5					20 cm	50,167	20 cm	44,167	Izquierda	2372
							25 cm	59,000	25 cm	53,833		
							30 cm	68,500	30 cm	63,833		
Cara Frontal	14,4	15,4	Derecha	64,500	Derecha	66,833	10 cm	29,167	10 cm	28,400	Derecha	2352
	16,4	15,3	Centro	64,667	Centro	69,783	15 cm	39,500	15 cm	35,267	Centro	1688
	14,4	15	Izquierda	56,000	Izquierda	61,217	20 cm	48,000	20 cm	42,800	Izquierda	2136
							25 cm	57,500	25 cm	53,033		
							30 cm	66,000	30 cm	61,750		
Cara Posterior	15	17,7					10 cm	27,000	10 cm	26,567	Derecha	3168
	16,6	17,1					15 cm	38,000	15 cm	34,650	Centro	2320
	14	16,8					20 cm	45,833	20 cm	44,767	Izquierda	1724
							25 cm	57,333	25 cm	53,767		
							30 cm	66,333	30 cm	63,700		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,09%	552,63	4961,14	5157,00	1594,52	1627,48	Paralelo	15,08
			Cara frontal y posterior			5352,85		1660,44		Perpendicular	4,23
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5041,43	5378,97	1583,55	1586,62	Paralelo	16,41
			Cara frontal y posterior			5716,51		1551,72		Perpendicular	3,69
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,02%	548,25	5009,65	5213,67	1613,83	1647,19	Paralelo	15,67
			Cara frontal y posterior			5417,69		1680,55		Perpendicular	4,37
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5102,50	5444,13	1602,73	1586,62	Paralelo	17,09
			Cara frontal y posterior			5785,75		1570,52		Perpendicular	3,82
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,09%	550,60	4880,75	5079,52	1562,89	1595,19	Paralelo	14,65
			Cara frontal y posterior			5278,29		1627,50		Perpendicular	4,06
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4971,21	5304,05	1552,13	1508,38	Paralelo	15,97
			Cara frontal y posterior			5636,88		1520,94		Perpendicular	3,55
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,02%	545,22	4880,75	5079,52	1562,89	1595,19	Paralelo	14,77
			Cara frontal y posterior			5278,29		1627,50		Perpendicular	4,09
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4971,21	5304,05	1552,13	1508,38	Paralelo	16,11
			Cara frontal y posterior			5636,88		1520,94		Perpendicular	3,58

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,332	2,945	4,263	1,555
		Ultrasonic Timer		9,733	2,837		1,567
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,510	3,004	4,297	1,536
		Ultrasonic Timer		9,930	2,894		1,548
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,225	2,897	4,279	1,587
		Ultrasonic Timer		9,633	2,740		1,599
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,316	2,926	4,321	1,587
		Ultrasonic Timer		9,728	2,767		1,599

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,111	3,168
			Cara frontal y posterior	3,224	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,184	3,434
			Cara frontal y posterior	3,684	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,104	3,164
			Cara frontal y posterior	3,224	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,123	3,183
			Cara frontal y posterior	3,243	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,203	3,526
			Cara frontal y posterior	3,849	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,123	3,183
			Cara frontal y posterior	3,243	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,203	3,526
			Cara frontal y posterior	3,849	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,184	1,128
Cara frontal y posterior	1,072	
Cara superior e inferior	1,184	
Cara frontal y posterior	1,072	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D068	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	1 empalme	9,55	17,20	10,00	105,20	527,788	

Día 9

19,6 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,3	15,9	Derecha	120,625	Derecha	124,767	10 cm	29,375	10 cm	23,700	Derecha	2102
	18,2	20,7	Centro	119,125	Centro	114,633	15 cm	39,625	15 cm	33,900	Centro	2000
	16,8	19,2	Izquierda	122,750	Izquierda	109,960	20 cm	49,429	20 cm	44,010	Izquierda	1806
							25 cm	59,429	25 cm	54,010		
							30 cm	70,125	30 cm	63,833		
Cara inferior	16,9	17,8					10 cm	29,500	10 cm	23,550	Derecha	2392
	17,2	18,1					15 cm	41,000	15 cm	34,863	Centro	2268
	16,4	17,7					20 cm	51,750	20 cm	44,589	Izquierda	2182
							25 cm	61,714	25 cm	55,011		
							30 cm	72,286	30 cm	63,956		
Cara Frontal	16,8	16,7	Derecha	72,429	Derecha	63,973	10 cm	28,857	10 cm	21,789	Derecha	2040
	16,3	17,4	Centro	76,250	Centro	67,410	15 cm	38,286	15 cm	31,921	Centro	2946
	15,7	18,4	Izquierda	75,857	Izquierda	69,840	20 cm	48,286	20 cm	41,044	Izquierda	2188
							25 cm	58,125	25 cm	50,600		
							30 cm	67,125	30 cm	57,863		
Cara Posterior	17,4	17					10 cm	31,143	10 cm	26,150	Derecha	1688
	16,2	18,4					15 cm	42,857	15 cm	36,811	Centro	2062
	16,1	17,7					20 cm	53,000	20 cm	47,188	Izquierda	1826
							25 cm	64,333	25 cm	58,130		
							30 cm	74,286	30 cm	67,770		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,78%	517,93	4952,09	4994,09	1467,84	1423,06	Paralelo	13,49
			Cara frontal y posterior			5036,08		1378,29		Perpendicular	2,77
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5090,29	5180,81	1527,03	1544,17	Paralelo	14,52
			Cara frontal y posterior			5271,34		1539,15		Perpendicular	3,46
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,92%	515,51	4975,45	5023,96	1478,45	1433,35	Paralelo	13,79
			Cara frontal y posterior			5072,47		1388,25		Perpendicular	2,83
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5127,06	5218,25	1538,06	1544,17	Paralelo	14,88
			Cara frontal y posterior			5309,43		1550,27		Perpendicular	3,52
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,78%	515,19	4819,98	4866,97	1423,66	1380,23	Paralelo	12,79
			Cara frontal y posterior			4913,96		1336,80		Perpendicular	2,60
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4966,85	5055,19	1481,07	1502,19	Paralelo	13,79
			Cara frontal y posterior			5143,52		1492,82		Perpendicular	3,25
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,92%	512,17	4819,98	4866,97	1423,66	1380,23	Paralelo	12,85
			Cara frontal y posterior			4913,96		1336,80		Perpendicular	2,62
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4966,85	5055,19	1481,07	1502,19	Paralelo	13,86
			Cara frontal y posterior			5143,52		1492,82		Perpendicular	3,26

Relaciones entre los Resultados											
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa				
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio				
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,642	2,748	4,103	1,447				
		Ultrasonic Timer		10,003	2,960		1,399				
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,746	2,780	4,122	1,437				
		Ultrasonic Timer		10,123	2,995		1,389				
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,447	2,679	4,125	1,492				
		Ultrasonic Timer		9,812	2,916		1,442				
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,503	2,695	4,149	1,492				
		Ultrasonic Timer		9,870	2,933		1,442				

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,374	3,514
			Cara frontal y posterior	3,654	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,333	3,379
			Cara frontal y posterior	3,425	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,365	3,510
			Cara frontal y posterior	3,654	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,333	3,379
			Cara frontal y posterior	3,425	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,386	3,531
			Cara frontal y posterior	3,676	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,354	3,365
			Cara frontal y posterior	3,377	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,386	3,531
			Cara frontal y posterior	3,676	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,354	3,365
			Cara frontal y posterior	3,377	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,064	1,068	
Cara frontal y posterior	1,072		
Cara superior e inferior	1,064		
Cara frontal y posterior	1,072		



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D079	Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	2 empalmes	9,45	17,10	10,00	105,10	525,815	

Día 4
19,3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,6	15,4	Derecha	125,667	Derecha	140,778	10 cm	31,714	10 cm	25,829	Derecha	1944
	14,8	15,6	Centro	122,333	Centro	119,371	15 cm	40,857	15 cm	34,014	Centro	2028
	14,6	15,2	Izquierda	122,143	Izquierda	122,188	20 cm	51,571	20 cm	44,157	Izquierda	1770
							25 cm	61,000	25 cm	54,743		
							30 cm	70,143	30 cm	63,129		
Cara inferior	16,7	18,3					10 cm	30,429	10 cm	24,429	Derecha	2558
	18	19,1					15 cm	41,571	15 cm	34,943	Centro	2264
	16,6	19,7					20 cm	51,286	20 cm	44,750	Izquierda	2480
							25 cm	61,571	25 cm	55,089		
							30 cm	70,750	30 cm	64,475		
Cara Frontal	17,4	19,8	Derecha	69,429	Derecha	69,700	10 cm	30,143	10 cm	24,613	Derecha	2556
	16,1	17,3	Centro	71,667	Centro	72,756	15 cm	40,625	15 cm	35,688	Centro	1622
	17	19	Izquierda	72,000	Izquierda	77,063	20 cm	50,857	20 cm	44,925	Izquierda	1980
							25 cm	60,429	25 cm	57,089		
							30 cm	70,000	30 cm	68,900		
Cara Posterior	16,9	17,4					10 cm	27,833	10 cm	31,888	Derecha	2512
	16,3	18,7					15 cm	85,714	15 cm	43,711	Centro	2018
	17,4	17,7					20 cm	48,143	20 cm	48,075	Izquierda	1662
							25 cm	57,286	25 cm	54,800		
							30 cm	65,857	30 cm	60,588		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)	Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)		
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,37%	516,86	5186,74	6560,69	1425,55	1436,86	Paralelo	23,13
			Cara frontal y posterior			7934,65		1448,17		Perpendicular	3,04
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5230,29	5642,70	1387,19	1409,87	Paralelo	17,11
			Cara frontal y posterior			6055,11		1407,81		Perpendicular	2,87
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,77%	513,89	5219,65	6612,27	1438,16	1449,58	Paralelo	23,78
			Cara frontal y posterior			8004,89		1460,99		Perpendicular	3,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5276,58	5692,64	1399,47	1409,87	Paralelo	17,63
			Cara frontal y posterior			6108,71		1420,27		Perpendicular	2,94
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,37%	514,33	5061,35	6411,73	1386,19	1397,19	Paralelo	22,07
			Cara frontal y posterior			7762,11		1408,19		Perpendicular	2,87
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5116,55	5520,00	1348,89	1376,74	Paralelo	16,36
			Cara frontal y posterior			5923,44		1368,94		Perpendicular	2,72
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,77%	510,65	5061,35	6411,73	1386,19	1397,19	Paralelo	22,20
			Cara frontal y posterior			7762,11		1408,19		Perpendicular	2,89
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5116,55	5520,00	1348,89	1376,74	Paralelo	16,46
			Cara frontal y posterior			5923,44		1368,94		Perpendicular	2,73

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,693	2,780	4,094	1,526
		Ultrasonic Timer		10,917	2,704		1,578
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,867	2,821	4,118	1,512
		Ultrasonic Timer		11,077	2,744		1,565
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,466	2,716	4,114	1,569
		Ultrasonic Timer		10,732	2,677		1,623
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,556	2,736	4,144	1,569
		Ultrasonic Timer		10,810	2,696		1,623

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,638	4,559
			Cara frontal y posterior	5,479	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,770	4,036
			Cara frontal y posterior	4,301	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,629	4,554	
		Cara frontal y posterior	5,479		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,770	4,036	
		Cara frontal y posterior	4,301		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,651	4,582
			Cara frontal y posterior	5,512	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,793	4,005
			Cara frontal y posterior	4,217	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,651	4,582
			Cara frontal y posterior	5,512	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,793	4,005
			Cara frontal y posterior	4,217	

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	

Cara superior e inferior	1,084	1,085
Cara frontal y posterior	1,087	
Cara superior e inferior	1,084	
Cara frontal y posterior	1,087	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D052	Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	3 empalmes	8,10	17,20	10,00	105,00	448,505	

Día 4
19,3 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	16,5	17,2	Derecha	133,857	Derecha	132,600	10 cm	31,714	10 cm	33,300	Derecha	1678
	17,1	16,8	Centro	129,000	Centro	137,663	15 cm	43,429	15 cm	45,814	Centro	1724
	16,7	17,2	Izquierda	139,286	Izquierda	133,940	20 cm	52,143	20 cm	58,963	Izquierda	2272
							25 cm	62,429	25 cm	65,663		
							30 cm	71,714	30 cm	76,500		
Cara inferior	15,6	16,1					10 cm	29,857	10 cm	24,156	Derecha	1962
	16,3	16,7					15 cm	39,750	15 cm	34,211	Centro	1702
	16	16,2					20 cm	48,750	20 cm	42,690	Izquierda	1706
							25 cm	56,857	25 cm	49,867		
							30 cm	66,857	30 cm	59,267		
Cara Frontal	16,6	16,3	Derecha	86,857	Derecha	81,850	10 cm	34,286	10 cm	25,800	Derecha	1884
	16	16,1	Centro	83,286	Centro	83,190	15 cm	46,286	15 cm	37,100	Centro	1914
	17	17,3	Izquierda	82,714	Izquierda	75,544	20 cm	57,143	20 cm	47,533	Izquierda	1980
							25 cm	66,714	25 cm	59,538		
							30 cm	77,000	30 cm	64,667		
Cara Posterior	17,8	18,9					10 cm	31,000	10 cm	24,278	Derecha	1760
	16,3	16,8					15 cm	41,286	15 cm	35,027	Centro	1918
	17,1	17,4					20 cm	50,286	20 cm	42,478	Izquierda	1796
							25 cm	61,286	25 cm	52,900		
							30 cm	70,000	30 cm	62,020		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,58%	440,47	5406,34	5217,53	1322,65	1272,50	Paralelo	12,54
			Cara frontal y posterior			5028,73		1222,36		Perpendicular	1,85
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5388,43	5342,12	1314,95	1303,40	Paralelo	13,15
			Cara frontal y posterior			5295,82		1286,39		Perpendicular	2,05
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,92%	439,87	5405,03	5222,15	1325,42	1275,17	Paralelo	12,60
			Cara frontal y posterior			5039,27		1224,92		Perpendicular	1,86
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5399,72	5353,32	1317,71	1303,40	Paralelo	13,24
			Cara frontal y posterior			5306,92		1289,09		Perpendicular	2,06
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,58%	438,23	5269,27	5090,98	1284,39	1235,69	Paralelo	11,88
			Cara frontal y posterior			4912,69		1186,99		Perpendicular	1,74
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5264,09	5218,86	1276,91	1244,41	Paralelo	12,48
			Cara frontal y posterior			5173,62		1249,18		Perpendicular	1,93
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,92%	437,48	5269,27	5090,98	1284,39	1235,69	Paralelo	11,90
			Cara frontal y posterior			4912,69		1186,99		Perpendicular	1,75
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5264,09	5218,86	1276,91	1244,41	Paralelo	12,50
			Cara frontal y posterior			5173,62		1249,18		Perpendicular	1,93

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,845	2,889	4,218	1,396
			Ultrasonic Timer	12,128	2,953		1,399
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,872	2,899	4,224	1,393
			Ultrasonic Timer	12,170	2,963		1,396
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,617	2,820	4,240	1,437
			Ultrasonic Timer	11,909	2,840		1,441
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,637	2,825	4,247	1,437
			Ultrasonic Timer	11,929	2,844		1,441

				Relación Velocidades indirecto/directo		
				Promedio	Promedio Total	
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,088	4,101
				Cara frontal y posterior	4,114	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,098	4,107	
				Cara frontal y posterior		4,117
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,078	4,096	
				Cara frontal y posterior		4,114
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,098	4,107	
				Cara frontal y posterior		4,117
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,103	4,121
					Cara frontal y posterior	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,123	4,196	
				Cara frontal y posterior		4,269
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,103	4,121	
				Cara frontal y posterior		4,139
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,123	4,196	
				Cara frontal y posterior		4,269

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,020	1,020
Cara frontal y posterior	1,020	
Cara superior e inferior	1,020	
Cara frontal y posterior	1,020	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D074	Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	1 empalme	10,30	17,20	10,00	105,00	570,321	

Día 3
19,5 °c

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	16,7	16,6	Derecha	129,286	Derecha	110,400	10 cm	32,429	10 cm	23,271	Derecha	2580
	16,3	17,5	Centro	132,571	Centro	135,100	15 cm	44,000	15 cm	33,056	Centro	1656
	16,1	16,3	Izquierda	124,857	Izquierda	117,400	20 cm	52,429	20 cm	43,245	Izquierda	1968
							25 cm	63,286	25 cm	52,363		
							30 cm	75,143	30 cm	62,111		
Cara inferior	15,6	15,9					10 cm	34,429	10 cm	23,763	Derecha	2154
	18,9	17,2					15 cm	45,286	15 cm	32,810	Centro	1790
	16,5	16,2					20 cm	55,429	20 cm	42,740	Izquierda	1992
							25 cm	64,857	25 cm	52,825		
							30 cm	76,286	30 cm	62,107		
Cara Frontal	16,9	16,5	Derecha	76,143	Derecha	74,125	10 cm	34,143	10 cm	24,500	Derecha	1906
	16,8	15,7	Centro	97,571	Centro	102,460	15 cm	45,000	15 cm	34,788	Centro	1754
	16,4	16,2	Izquierda	81,571	Izquierda	71,400	20 cm	56,571	20 cm	43,220	Izquierda	2110
							25 cm	66,143	25 cm	52,773		
							30 cm	76,286	30 cm	65,550		
Cara Posterior	21,3	16,9					10 cm	33,000	10 cm	22,645	Derecha	1920
	21,4	16,8					15 cm	42,571	15 cm	31,980	Centro	2048
	18,4	16,6					20 cm	53,714	20 cm	40,389	Izquierda	2302
							25 cm	64,714	25 cm	56,867		
							30 cm	76,143	30 cm	64,888		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,61%	557,75	4965,26	4891,83	1383,80	1307,58	Paralelo	14,17
			Cara frontal y posterior			4818,40		1231,36		Perpendicular	2,40
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5319,06	5123,71	1484,27	1376,37	Paralelo	15,54
			Cara frontal y posterior			4928,36		1287,15		Perpendicular	2,62
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,53%	560,22	4919,93	4852,92	1374,47	1298,76	Paralelo	13,82
			Cara frontal y posterior			4785,90		1223,05		Perpendicular	2,36
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5283,19	5089,16	1474,26	1376,37	Paralelo	15,19
			Cara frontal y posterior			4895,12		1278,47		Perpendicular	2,57
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,61%	554,33	4807,92	4742,43	1335,12	1261,58	Paralelo	13,17
			Cara frontal y posterior			4676,94		1188,04		Perpendicular	2,23
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5162,91	4973,29	1432,06	1297,30	Paralelo	14,48
			Cara frontal y posterior			4783,67		1241,87		Perpendicular	2,44
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,53%	557,39	4807,92	4742,43	1335,12	1261,58	Paralelo	13,10
			Cara frontal y posterior			4676,94		1188,04		Perpendicular	2,22
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5162,91	4973,29	1432,06	1297,30	Paralelo	14,41
			Cara frontal y posterior			4783,67		1241,87		Perpendicular	2,43

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,771	2,344	3,613	1,462
		Ultrasonic Timer		9,186	2,484		1,359
	Capacitivo	Microsecond Timer		8,662	2,318	3,597	1,471
		Ultrasonic Timer		9,084	2,457		1,368
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,555	2,276	3,635	1,515
		Ultrasonic Timer		8,972	2,340		1,408
	Capacitivo	Microsecond Timer		8,508	2,263	3,615	1,515
		Ultrasonic Timer		8,922	2,327		1,408

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,588	3,751
			Cara frontal y posterior	3,913	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,584	3,706
			Cara frontal y posterior	3,829	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,580	3,746
			Cara frontal y posterior	3,913	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,584	3,706
			Cara frontal y posterior	3,829	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,601	3,769
			Cara frontal y posterior	3,937	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,605	3,860
			Cara frontal y posterior	4,115	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,601	3,769
			Cara frontal y posterior	3,937	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,605	3,860
			Cara frontal y posterior	4,115	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	0,996	0,942
Cara frontal y posterior	0,888	
Cara superior e inferior	0,996	
Cara frontal y posterior	0,888	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D072		Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	3 empalmes	9,65	17,10	10,00	105,20	536,433			
Día 2 18,6 °C		D066 (pino silvestre)											
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
		Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
Cara superior		16,2	15,7	Derecha	114,571	Derecha	127,467	10 cm	27,143	10 cm	28,350	Derecha	2474
		16,2	19,1	Centro	102,857	Centro	186,536	15 cm	38,250	15 cm	34,600	Centro	1888
		15,8	15,3	Izquierda	113,000	Izquierda	118,400	20 cm	46,714	20 cm	44,329	Izquierda	1890
								25 cm	57,143	25 cm	59,350		
								30 cm	65,143	30 cm	63,913		
Cara inferior		15,6	16,8					10 cm	28,286	10 cm	27,117	Derecha	2124
		15,7	17,3					15 cm	39,000	15 cm	37,114	Centro	4506
		15,3	17					20 cm	47,143	20 cm	50,071	Izquierda	2096
								25 cm	56,429	25 cm	57,500		
								30 cm	65,857	30 cm	64,714		
Cara Frontal		16,7	17,1	Derecha	65,875	Derecha	73,214	10 cm	26,286	10 cm	24,088	Derecha	2038
		15	15,9	Centro	57,000	Centro	66,110	15 cm	35,857	15 cm	33,471	Centro	2350
		16,3	17,1	Izquierda	70,625	Izquierda	75,875	20 cm	46,714	20 cm	44,938	Izquierda	1886
								25 cm	57,375	25 cm	53,743		
								30 cm	67,625	30 cm	62,914		
Cara Posterior		16,9	17,4					10 cm	32,000	10 cm	23,800	Derecha	1940
		16,3	15,5					15 cm	40,714	15 cm	37,213	Centro	1814
		17,2	17,4					20 cm	51,143	20 cm	43,743	Izquierda	1828
								25 cm	59,750	25 cm	53,700		
								30 cm	70,571	30 cm	62,014		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,10%	527,88	5457,83	5279,53	1597,61	1601,04	Paralelo	15,31
			Cara frontal y posterior			5101,23		1604,47		Perpendicular	3,81
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5330,34	5340,77	1267,09	1357,56	Paralelo	15,66
			Cara frontal y posterior			5351,19		1436,13		Perpendicular	3,05
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,80%	526,36	5468,61	5296,14	1604,64	1608,08	Paralelo	15,50
			Cara frontal y posterior			5123,67		1611,53		Perpendicular	3,85
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5353,79	5364,26	1272,66	1357,56	Paralelo	15,90
			Cara frontal y posterior			5374,73		1442,45		Perpendicular	3,09
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,10%	525,44	5335,17	5166,91	1556,10	1559,44	Paralelo	14,60
			Cara frontal y posterior			4998,65		1562,78		Perpendicular	3,61
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5223,15	5233,36	1234,17	1336,70	Paralelo	14,98
			Cara frontal y posterior			5243,57		1398,81		Perpendicular	2,89
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,80%	523,56	5335,17	5166,91	1556,10	1559,44	Paralelo	14,65
			Cara frontal y posterior			4998,65		1562,78		Perpendicular	3,62
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5223,15	5233,36	1234,17	1336,70	Paralelo	15,03
			Cara frontal y posterior			5243,57		1398,81		Perpendicular	2,90

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,001	3,033	4,236	1,552
		Ultrasonic Timer		10,117	2,560		2,137
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,062	3,055	4,248	1,545
		Ultrasonic Timer		10,191	2,579		2,127
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,834	2,968	4,256	1,593
		Ultrasonic Timer		9,960	2,544		2,194
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,869	2,979	4,271	1,593
		Ultrasonic Timer		9,996	2,553		2,194

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,416	3,298
			Cara frontal y posterior	3,179	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,207	3,966
			Cara frontal y posterior	3,726	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,408	3,294
			Cara frontal y posterior	3,179	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,429	3,314
			Cara frontal y posterior	3,199	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,232	3,938
			Cara frontal y posterior	3,643	
Unterweiser	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,429	3,314
			Cara frontal y posterior	3,199	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,232	3,938
			Cara frontal y posterior	3,643	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,068	1,044
Cara frontal y posterior	1,020	
Cara superior e inferior	1,068	
Cara frontal y posterior	1,020	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D078	Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	3 empalmes	8,85	17,10	10,00	105,20	491,962	

Día 1
19,5°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,8	16,2	Derecha	132,143	Derecha	131,200	10 cm	31,857	10 cm	37,200	Derecha	1854
	16,2	15,8	Centro	127,429	Centro	136,992	15 cm	40,833	15 cm	46,375	Centro	1786
	16,1	14,5	Izquierda	133,429	Izquierda	118,180	20 cm	51,429	20 cm	56,850	Izquierda	1846
							25 cm	60,429	25 cm	66,240		
							30 cm	79,667	30 cm	77,820		
Cara inferior	15,1	14,7					10 cm	30,571	10 cm	25,357	Derecha	2538
	15,7	16					15 cm	40,714	15 cm	36,238	Centro	2232
	15	16,2					20 cm	50,429	20 cm	46,300	Izquierda	2572
							25 cm	59,857	25 cm	56,248		
							30 cm	69,286	30 cm	66,891		
Cara Frontal	16,5	17,8	Derecha	80,429	Derecha	64,686	10 cm	36,143	10 cm	28,090	Derecha	2066
	14,5	16,4	Centro	60,571	Centro	53,467	15 cm	47,714	15 cm	42,700	Centro	1790
	15,9	17,6	Izquierda	70,429	Izquierda	84,229	20 cm	60,286	20 cm	53,509	Izquierda	1912
							25 cm	72,857	25 cm	62,873		
							30 cm	86,286	30 cm	73,067		
Cara Posterior	16,3	16,7					10 cm	31,143	10 cm	22,600	Derecha	2060
	16,4	17,6					15 cm	40,429	15 cm	33,140	Centro	2386
	17,2	17,3					20 cm	50,286	20 cm	41,970	Izquierda	1856
							25 cm	60,143	25 cm	51,267		
							30 cm	70,000	30 cm	60,375		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,89%	484,53	4860,81	4753,74	1338,95	1406,72	Paralelo	11,38
			Cara frontal y posterior			4646,66		1474,49		Perpendicular	2,94
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4992,05	5012,86	1366,62	1474,69	Paralelo	12,65
			Cara frontal y posterior			5033,68		1573,39		Perpendicular	3,35
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,40%	483,52	4865,42	4763,44	1343,21	1411,20	Paralelo	11,48
			Cara frontal y posterior			4661,47		1479,19		Perpendicular	2,97
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5007,95	5028,84	1370,98	1474,69	Paralelo	12,79
			Cara frontal y posterior			5049,72		1578,40		Perpendicular	3,38
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,89%	482,39	4758,63	4658,89	1305,86	1371,95	Paralelo	10,88
			Cara frontal y posterior			4559,15		1438,05		Perpendicular	2,80
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4898,03	4918,45	1332,85	1520,49	Paralelo	12,12
			Cara frontal y posterior			4938,88		1534,50		Perpendicular	3,19
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,40%	481,14	4758,63	4658,89	1305,86	1371,95	Paralelo	10,90
			Cara frontal y posterior			4559,15		1438,05		Perpendicular	2,80
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4898,03	4918,45	1332,85	1520,49	Paralelo	12,15
			Cara frontal y posterior			4938,88		1534,50		Perpendicular	3,19

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,811	2,903	4,282	1,599
			Ultrasonic Timer	10,346	3,034		1,567
		Capacitivo	Microsecond Timer	9,852	2,919	4,291	1,594
			Ultrasonic Timer	10,401	3,050		1,562
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,658	2,844	4,301	1,639
			Ultrasonic Timer	10,196	3,152		1,607
		Capacitivo	Microsecond Timer	9,683	2,851	4,312	1,639
			Ultrasonic Timer	10,223	3,160		1,607

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,630	3,391
			Cara frontal y posterior	3,151	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,653	3,426
			Cara frontal y posterior	3,199	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,622	3,387
			Cara frontal y posterior	3,151	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,653	3,426
			Cara frontal y posterior	3,199	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,644	3,407
			Cara frontal y posterior	3,170	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,675	3,283
			Cara frontal y posterior	2,891	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,644	3,407
			Cara frontal y posterior	3,170	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,675	3,283
			Cara frontal y posterior	2,891	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,995	1,031	
Cara frontal y posterior	1,068		
Cara superior e inferior	0,995		
Cara frontal y posterior	1,068		



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D047	Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	1 empalme	7,80	17,00	9,85	105,00	443,629	

Día 11
19.9 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,8	17,8	Derecha	133,500	Derecha	125,043	10 cm	22,583	10 cm	26,667	Derecha	1740
	17,1	18,3	Centro	128,833	Centro	129,050	15 cm	31,460	15 cm	34,833	Centro	1892
	15,7	17,6	Izquierda	128,500	Izquierda	130,083	20 cm	40,883	20 cm	45,500	Izquierda	1874
							25 cm	48,933	25 cm	54,333		
							30 cm	56,183	30 cm	63,833		
Cara inferior	15,6	17,9					10 cm	24,367	10 cm	27,000	Derecha	1496
	17,2	17,8					15 cm	31,733	15 cm	35,667	Centro	1406
	16,1	16,9					20 cm	40,517	20 cm	44,833	Izquierda	1586
							25 cm	49,600	25 cm	52,500		
							30 cm	58,033	30 cm	63,000		
Cara Frontal	16,7	17,3	Derecha	68,333	Derecha	64,267	10 cm	22,050	10 cm	27,667	Derecha	1748
	17,1	17,9	Centro	61,667	Centro	68,733	15 cm	31,767	15 cm	35,667	Centro	1814
	15,8	16,8	Izquierda	67,000	Izquierda	70,100	20 cm	41,233	20 cm	45,833	Izquierda	1826
							25 cm	51,500	25 cm	56,500		
							30 cm	57,917	30 cm	64,943		
Cara Posterior	16,7	17,4					10 cm	23,367	10 cm	28,000	Derecha	1848
	18	18,5					15 cm	32,733	15 cm	38,333	Centro	1472
	16,4	17,8					20 cm	42,533	20 cm	47,167	Izquierda	1510
							25 cm	51,433	25 cm	56,167		
							30 cm	61,183	30 cm	65,667		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,52%	435,81	6038,06	5773,16	1343,62	1445,36	Paralelo	15,14
			Cara frontal y posterior			5508,26		1547,10		Perpendicular	2,93
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5605,61	5516,45	1366,89	1443,73	Paralelo	13,82
			Cara frontal y posterior			5427,28		1499,74		Perpendicular	2,75
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,67%	433,75	6067,08	5807,68	1353,39	1455,86	Paralelo	15,47
			Cara frontal y posterior			5548,28		1558,34		Perpendicular	2,99
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5646,34	5556,53	1376,82	1443,73	Paralelo	14,16
			Cara frontal y posterior			5466,72		1510,64		Perpendicular	2,81
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,52%	433,61	5886,80	5635,10	1305,30	1404,13	Paralelo	14,39
			Cara frontal y posterior			5383,41		1502,97		Perpendicular	2,76
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5478,56	5391,42	1327,90	1405,39	Paralelo	13,17
			Cara frontal y posterior			5304,27		1456,96		Perpendicular	2,60
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,67%	431,06	5886,80	5635,10	1305,30	1404,13	Paralelo	14,46
			Cara frontal y posterior			5383,41		1502,97		Perpendicular	2,78
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5478,56	5391,42	1327,90	1405,39	Paralelo	13,24
			Cara frontal y posterior			5304,27		1456,96		Perpendicular	2,61

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		13,247	3,317	3,865	1,240
		Ultrasonic Timer		12,658	3,289		1,219
	Capacitivo	Microsecond Timer		13,389	3,356	3,883	1,231
		Ultrasonic Timer		12,810	3,328		1,211
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,996	3,238	3,884	1,276
		Ultrasonic Timer		12,434	3,241		1,255
	Capacitivo	Microsecond Timer		13,073	3,257	3,907	1,276
		Ultrasonic Timer		12,507	3,260		1,255

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,494	4,027
			Cara frontal y posterior	3,560	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,101	3,860
			Cara frontal y posterior	3,619	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,483	4,022	
		Cara frontal y posterior	3,560		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,101	3,860	
		Cara frontal y posterior	3,619		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,510	4,046
			Cara frontal y posterior	3,582	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,126	3,851
			Cara frontal y posterior	3,577	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,510	4,046
			Cara frontal y posterior	3,582	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,126	3,851		
	Cara frontal y posterior	3,577			

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,090	1,070
Cara frontal y posterior	1,050	
Cara superior e inferior	1,090	
Cara frontal y posterior	1,050	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D059	Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	4 empalmes	8,35	17,00	10,00	105,00	467,787

Día 10

19,8 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	16,6	15,9	Derecha	150,875	Derecha	137,182	10 cm	26,286	10 cm	21,386	Derecha	1518
	16,4	17,3	Centro	157,571	Centro	142,150	15 cm	34,857	15 cm	29,678	Centro	1606
	16,4	16,9	Izquierda	151,875	Izquierda	133,511	20 cm	44,000	20 cm	38,438	Izquierda	1588
							25 cm	52,000	25 cm	46,871		
							30 cm	59,571	30 cm	55,567		
Cara inferior	16,8	20,1					10 cm	26,286	10 cm	21,673	Derecha	1716
	17,2	20,8					15 cm	34,429	15 cm	30,563	Centro	1646
	16,6	20,3					20 cm	42,857	20 cm	38,738	Izquierda	1736
							25 cm	52,286	25 cm	46,730		
							30 cm	60,000	30 cm	55,644		
Cara Frontal	16,5	17,1	Derecha	75,000	Derecha	71,633	10 cm	27,000	10 cm	20,718	Derecha	1902
	17	17,4	Centro	78,250	Centro	73,009	15 cm	35,714	15 cm	30,020	Centro	1794
	16,7	17,3	Izquierda	79,857	Izquierda	69,864	20 cm	45,125	20 cm	38,486	Izquierda	1436
							25 cm	53,571	25 cm	47,210		
							30 cm	63,000	30 cm	56,756		
Cara Posterior	16,4	21,3					10 cm	29,000	10 cm	49,678	Derecha	1456
	17,2	19					15 cm	40,429	15 cm	35,156	Centro	1550
	16,8	25,6					20 cm	48,571	20 cm	46,650	Izquierda	1660
							25 cm	56,571	25 cm	55,400		
							30 cm	66,286	30 cm	63,810		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,72%	459,16	6077,43	5875,54	1142,30	1234,81	Paralelo	16,46
			Cara frontal y posterior			5673,65		1327,32		Perpendicular	2,28
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6038,61	7093,83	1274,04	1378,46	Paralelo	24,00
			Cara frontal y posterior			8149,04		1441,90		Perpendicular	2,69
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,08%	454,73	6153,99	5956,62	1159,54	1253,44	Paralelo	17,27
			Cara frontal y posterior			5759,26		1347,35		Perpendicular	2,37
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6129,73	7200,86	1293,27	1378,46	Paralelo	25,24
			Cara frontal y posterior			8272,00		1463,66		Perpendicular	2,80
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,72%	456,76	5917,67	5727,89	1108,33	1198,08	Paralelo	15,69
			Cara frontal y posterior			5538,10		1287,84		Perpendicular	2,14
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5894,34	6924,35	1236,15	1309,50	Paralelo	22,93
			Cara frontal y posterior			7954,35		1399,02		Perpendicular	2,53
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,08%	451,22	5917,67	5727,89	1108,33	1198,08	Paralelo	15,85
			Cara frontal y posterior			5538,10		1287,84		Perpendicular	2,16
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5894,34	6924,35	1236,15	1309,50	Paralelo	23,17
			Cara frontal y posterior			7954,35		1399,02		Perpendicular	2,55

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	12,796	2,689	3,559	1,432
			Ultrasonic Timer	15,450	2,958		1,284
		Capacitivo	Microsecond Timer	13,099	2,756	3,593	1,410
			Ultrasonic Timer	15,836	3,031		1,265
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	12,540	2,623	3,577	1,476
			Ultrasonic Timer	15,160	2,867		1,323
		Capacitivo	Microsecond Timer	12,694	2,655	3,621	1,476
			Ultrasonic Timer	15,346	2,902		1,323

				Relación Velocidades indirecto/directo		
				Promedio	Promedio Total	
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,320	4,797
				Cara frontal y posterior	4,275	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,740	5,196	
				Cara frontal y posterior		5,652
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,307	4,791	
				Cara frontal y posterior		4,275
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,740	5,196	
				Cara frontal y posterior		5,652
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,339	4,820
					Cara frontal y posterior	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,768	5,260	
				Cara frontal y posterior		5,752
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,339	4,820	
				Cara frontal y posterior		4,300
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,768	5,260	
				Cara frontal y posterior		5,752

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,113	1,141
Cara frontal y posterior	1,170	
Cara superior e inferior	1,113	
Cara frontal y posterior	1,170	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D063	Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	0 empalmes	9,30	22,50	9,90	104,90	398,006	

Día 12
21,6 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,3	14,6	Derecha	166,500	Derecha	155,214	10 cm	29,286	10 cm	22,600	Derecha	2278
	15,5	13,3	Centro	167,571	Centro	157,144	15 cm	38,833	15 cm	32,055	Centro	1742
	14,8	12,3	Izquierda	165,571	Izquierda	185,500	20 cm	47,750	20 cm	41,425	Izquierda	2474
							25 cm	58,375	25 cm	50,822		
							30 cm	67,143	30 cm	59,011		
Cara inferior	15,8	14,2					10 cm	32,000	10 cm	24,500	Derecha	2536
	16	13,3					15 cm	41,125	15 cm	33,920	Centro	2238
	15,2	13					20 cm	51,625	20 cm	43,892	Izquierda	2226
							25 cm	61,429	25 cm	53,238		
							30 cm	72,000	30 cm	63,800		
Cara Frontal	14,9	13,3	Derecha	69,625	Derecha	68,260	10 cm	27,250	10 cm	24,378	Derecha	1876
	14,8	13	Centro	71,857	Centro	74,456	15 cm	38,125	15 cm	32,140	Centro	2154
	15,5	13,6	Izquierda	70,429	Izquierda	63,033	20 cm	46,000	20 cm	40,671	Izquierda	1938
							25 cm	56,250	25 cm	49,225		
							30 cm	65,500	30 cm	58,611		
Cara Posterior	14,9	12,8					10 cm	27,875	10 cm	22,589	Derecha	2254
	16	12,4					15 cm	38,571	15 cm	32,044	Centro	2136
	15,2	12,2					20 cm	47,125	20 cm	41,210	Izquierda	2686
							25 cm	56,750	25 cm	50,543		
							30 cm	66,857	30 cm	59,238		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,33%	392,92	5209,88	5266,98	1380,35	1406,28	Paralelo	11,40
			Cara frontal y posterior			5324,08		1432,22		Perpendicular	2,24
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5365,13	5549,43	1394,43	1419,00	Paralelo	12,65
			Cara frontal y posterior			5733,72		1481,70		Perpendicular	2,40
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,17%	396,46	5127,85	5190,67	1362,04	1387,64	Paralelo	10,87
			Cara frontal y posterior			5253,48		1413,23		Perpendicular	2,16
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5293,99	5475,84	1375,94	1419,00	Paralelo	12,10
			Cara frontal y posterior			5657,69		1462,05		Perpendicular	2,32
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,33%	391,39	5116,94	5179,62	1351,00	1376,38	Paralelo	10,85
			Cara frontal y posterior			5242,31		1401,77		Perpendicular	2,15
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5282,73	5464,19	1364,78	1377,39	Paralelo	12,07
			Cara frontal y posterior			5645,65		1450,20		Perpendicular	2,30
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,17%	395,68	5116,94	5179,62	1351,00	1376,38	Paralelo	10,74
			Cara frontal y posterior			5242,31		1401,77		Perpendicular	2,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5282,73	5464,19	1364,78	1377,39	Paralelo	11,95
			Cara frontal y posterior			5645,65		1450,20		Perpendicular	2,27

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	13,405	3,579	5,628	1,629
			Ultrasonic Timer	14,124	3,660		1,627
		Capacitivo	Microsecond Timer	13,092	3,500	5,578	1,651
			Ultrasonic Timer	13,812	3,579		1,649
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	13,234	3,517	5,650	1,664
			Ultrasonic Timer	13,961	3,519		1,663
		Capacitivo	Microsecond Timer	13,090	3,478	5,589	1,664
			Ultrasonic Timer	13,809	3,481		1,663

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,774	3,746
			Cara frontal y posterior	3,717	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,848	3,859
			Cara frontal y posterior	3,870	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,765	3,741
			Cara frontal y posterior	3,717	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,848	3,859
			Cara frontal y posterior	3,870	
	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,788	3,764
			Cara frontal y posterior	3,740	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,871	3,966
			Cara frontal y posterior	4,062	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,788	3,764
			Cara frontal y posterior	3,740	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,871	3,966
			Cara frontal y posterior	4,062	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,871	0,859
Cara frontal y posterior	0,847	
Cara superior e inferior	0,871	
Cara frontal y posterior	0,847	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D061	Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	2 empalmes	9,85	22,50	10,20	105,00	408,756	

Día 12

21,6 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,9	14,1	Derecha	203,143	Derecha	169,633	10 cm	31,286	10 cm	23,060	Derecha	2658
	15	17,2	Centro	168,000	Centro	181,882	15 cm	40,429	15 cm	32,229	Centro	2270
	14,7	12,7	Izquierda	160,000	Izquierda	161,933	20 cm	52,571	20 cm	41,475	Izquierda	2536
							25 cm	60,429	25 cm	51,036		
							30 cm	69,714	30 cm	59,538		
Cara inferior	15,1	13,3					10 cm	29,000	10 cm	22,150	Derecha	2372
	15,1	12,5					15 cm	38,250	15 cm	31,600	Centro	1840
	15,4	13,6					20 cm	47,429	20 cm	40,178	Izquierda	2094
							25 cm	56,667	25 cm	49,275		
							30 cm	65,286	30 cm	58,564		
Cara Frontal	15,6	12,8	Derecha	74,125	Derecha	69,450	10 cm	29,714	10 cm	22,013	Derecha	3048
	15,1	13,7	Centro	80,000	Centro	76,157	15 cm	40,143	15 cm	31,722	Centro	2624
	14,9	12,7	Izquierda	65,662	Izquierda	59,878	20 cm	49,500	20 cm	41,067	Izquierda	2186
							25 cm	57,429	25 cm	49,363		
							30 cm	67,000	30 cm	58,625		
Cara Posterior	16	14,1					10 cm	31,857	10 cm	23,350	Derecha	2530
	16	15,9					15 cm	40,125	15 cm	32,160	Centro	2340
	15,1	15					20 cm	50,500	20 cm	42,244	Izquierda	2132
							25 cm	62,250	25 cm	51,940		
							30 cm	70,571	30 cm	61,189		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,24%	403,67	5421,95	5366,82	1311,60	1371,39	Paralelo	12,11
			Cara frontal y posterior			5311,70		1431,19		Perpendicular	2,30
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5569,49	5510,36	1345,56	1429,29	Paralelo	12,76
			Cara frontal y posterior			5451,23		1535,70		Perpendicular	2,65
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,97%	405,81	5366,47	5318,18	1301,27	1360,60	Paralelo	11,76
			Cara frontal y posterior			5269,89		1419,92		Perpendicular	2,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5525,65	5466,98	1334,97	1429,29	Paralelo	12,43
			Cara frontal y posterior			5408,32		1523,61		Perpendicular	2,59
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,24%	402,13	5328,73	5280,78	1284,38	1342,93	Paralelo	11,58
			Cara frontal y posterior			5232,83		1401,49		Perpendicular	2,20
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5486,79	5428,54	1317,64	1360,82	Paralelo	12,23
			Cara frontal y posterior			5370,28		1503,83		Perpendicular	2,54
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,97%	404,74	5328,73	5280,78	1284,38	1342,93	Paralelo	11,51
			Cara frontal y posterior			5232,83		1401,49		Perpendicular	2,19
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5486,79	5428,54	1317,64	1360,82	Paralelo	12,16
			Cara frontal y posterior			5370,28		1503,83		Perpendicular	2,52

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		13,295	3,397	5,910	1,779
		Ultrasonic Timer		13,651	3,569		1,705
	Capacitivo	Microsecond Timer		13,105	3,353	5,879	1,794
		Ultrasonic Timer		13,472	3,522		1,719
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		13,132	3,340	5,933	1,817
		Ultrasonic Timer		13,499	3,384		1,741
	Capacitivo	Microsecond Timer		13,047	3,318	5,895	1,817
		Ultrasonic Timer		13,413	3,362		1,741

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,134	3,923
			Cara frontal y posterior	3,711	
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,139	3,844	
		Cara frontal y posterior	3,550		
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,124	3,918	
		Cara frontal y posterior	3,711		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,139	3,844	
		Cara frontal y posterior	3,550		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,149	3,941
			Cara frontal y posterior	3,734	
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,164	3,995	
		Cara frontal y posterior	3,825		
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,149	3,941
			Cara frontal y posterior	3,734	
Ultrasonic Timer		Cara superior e inferior	4,164	3,995	
		Cara frontal y posterior	3,825		

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,925	0,916
Cara frontal y posterior	0,908	
Cara superior e inferior	0,925	
Cara frontal y posterior	0,908	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D026	Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	2 empalmes	8,50	16,00	10,00	105,00	505,952

Día 11

19,8 °C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,8	16,8	Derecha	120,000	Derecha	108,956	10 cm	29,286	10 cm	24,656	Derecha	2358
	14	15,4	Centro	119,222	Centro	134,550	15 cm	39,286	15 cm	33,867	Centro	2200
	17,7	15,8	Izquierda	118,875	Izquierda	106,025	20 cm	49,833	20 cm	42,940	Izquierda	1970
							25 cm	59,714	25 cm	52,820		
							30 cm	69,222	30 cm	63,438		
Cara inferior	16,9	16,1					10 cm	28,375	10 cm	23,490	Derecha	1376
	17,7	16					15 cm	38,625	15 cm	32,840	Centro	1556
	16,4	15					20 cm	49,143	20 cm	42,300	Izquierda	1468
							25 cm	59,143	25 cm	52,080		
							30 cm	70,000	30 cm	61,847		
Cara Frontal	17	13,9	Derecha	83,900	Derecha	80,500	10 cm	34,143	10 cm	28,136	Derecha	1666
	17,2	14,7	Centro	78,125	Centro	79,550	15 cm	45,500	15 cm	37,800	Centro	1102
	15,4	14,2	Izquierda	81,625	Izquierda	77,989	20 cm	56,000	20 cm	47,550	Izquierda	1958
							25 cm	66,143	25 cm	59,140		
							30 cm	76,143	30 cm	67,378		
Cara Posterior	17,7	17,7					10 cm	28,857	10 cm	22,827	Derecha	1524
	17,4	15,2					15 cm	45,143	15 cm	31,522	Centro	1228
	15,5	14,7					20 cm	47,000	20 cm	40,613	Izquierda	972
							25 cm	56,875	25 cm	49,946		
							30 cm	64,500	30 cm	58,569		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,56%	496,94	5029,14	5278,15	1380,16	1324,50	Paralelo	14,57
			Cara frontal y posterior			5527,16		1268,85		Perpendicular	2,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5317,52	5363,28	1430,06	1354,61	Paralelo	15,04
			Cara frontal y posterior			5409,04		1297,86		Perpendicular	2,35
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,46%	499,21	4982,30	5235,79	1370,70	1315,42	Paralelo	14,20
			Cara frontal y posterior			5489,28		1260,15		Perpendicular	2,21
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5281,07	5326,52	1420,26	1354,61	Paralelo	14,70
			Cara frontal y posterior			5371,96		1288,97		Perpendicular	2,31
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,56%	494,42	4901,71	5151,09	1340,44	1286,39	Paralelo	13,72
			Cara frontal y posterior			5400,48		1232,34		Perpendicular	2,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5195,64	5240,35	1388,91	1319,28	Paralelo	14,20
			Cara frontal y posterior			5285,06		1260,51		Perpendicular	2,22
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,46%	497,20	4901,71	5151,09	1340,44	1286,39	Paralelo	13,65
			Cara frontal y posterior			5400,48		1232,34		Perpendicular	2,11
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5195,64	5240,35	1388,91	1319,28	Paralelo	14,13
			Cara frontal y posterior			5285,06		1260,51		Perpendicular	2,21

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,621	2,665	3,250	1,320
		Ultrasonic Timer		10,793	2,745		1,292
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,488	2,635	3,235	1,329
		Ultrasonic Timer		10,670	2,714		1,301
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,418	2,602	3,266	1,359
		Ultrasonic Timer		10,599	2,668		1,330
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,360	2,587	3,248	1,359
		Ultrasonic Timer		10,540	2,653		1,330

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,644	4,000
			Cara frontal y posterior	4,356	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,718	3,943
			Cara frontal y posterior	4,168	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,635	3,995
Cara frontal y posterior			4,356		
Ultrasonic Timer		Cara superior e inferior	3,718	3,943	
		Cara frontal y posterior	4,168		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,657	4,020
			Cara frontal y posterior	4,382	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,741	3,985
			Cara frontal y posterior	4,229	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,657	4,020
			Cara frontal y posterior	4,382	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,741	3,985		
	Cara frontal y posterior	4,229			

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,965	0,934
Cara frontal y posterior	0,902	
Cara superior e inferior	0,965	
Cara frontal y posterior	0,902	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D060		Abeto	GL-28	Sin Tratamiento	3 empalmes	10,60	22,50	9,80	105,00	457,834		
D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica		Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
Cara superior	16	13,3	Derecha	169,250	Derecha	162,729	10 cm	28,714	10 cm	22,725	Derecha	1906
	16,2	11,6	Centro	170,125	Centro	157,178	15 cm	39,857	15 cm	32,388	Centro	2032
	15,6	10,8	Izquierda	157,375	Izquierda	158,711	20 cm	50,167	20 cm	42,167	Izquierda	1780
							25 cm	59,857	25 cm	51,675		
Cara inferior							30 cm	70,286	30 cm	61,110		
	16,7	14,2					10 cm	28,143	10 cm	21,229	Derecha	2514
	17	14,2					15 cm	37,429	15 cm	29,800	Centro	2230
	16,8	14,7					20 cm	45,250	20 cm	38,367	Izquierda	2454
							25 cm	53,429	25 cm	46,625		
Cara Frontal							30 cm	63,143	30 cm	55,479		
	17,5	15,8	Derecha	76,625	Derecha	71,330	10 cm	27,857	10 cm	20,813	Derecha	3316
	17,6	15	Centro	95,714	Centro	77,911	15 cm	36,000	15 cm	29,320	Centro	2618
	15,5	12,7	Izquierda	75,429	Izquierda	69,700	20 cm	45,375	20 cm	37,540	Izquierda	2184
							25 cm	53,714	25 cm	45,929		
Cara Posterior							30 cm	62,857	30 cm	54,113		
	16,7	13,1					10 cm	28,167	10 cm	21,113	Derecha	2226
	17,7	16,3					15 cm	39,875	15 cm	31,860	Centro	2138
	16,3	14,4					20 cm	51,167	20 cm	43,600	Izquierda	3404
							25 cm	63,429	25 cm	54,944		
							30 cm	74,571	30 cm	66,056		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,63%	449,54	5470,53	5294,40	1401,52	1319,19	Paralelo	13,36
			Cara frontal y posterior			5118,28		1236,85		Perpendicular	1,93
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5664,98	5503,67	1453,09	1395,32	Paralelo	14,44
			Cara frontal y posterior			5342,37		1386,45		Perpendicular	2,43
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,84%	454,77	5364,41	5197,27	1377,39	1296,47	Paralelo	12,57
			Cara frontal y posterior			5030,13		1215,55		Perpendicular	1,85
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5567,41	5408,89	1428,07	1395,32	Paralelo	13,62
			Cara frontal y posterior			5250,36		1362,58		Perpendicular	2,32
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,63%	447,23	5330,80	5164,70	1360,55	1280,62	Paralelo	12,48
			Cara frontal y posterior			4998,61		1200,69		Perpendicular	1,82
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5532,53	5375,00	1410,61	1363,24	Paralelo	13,52
			Cara frontal y posterior			5217,46		1345,92		Perpendicular	2,29
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	13,84%	453,62	5330,80	5164,70	1360,55	1280,62	Paralelo	12,32
			Cara frontal y posterior			4998,61		1200,69		Perpendicular	1,80
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5532,53	5375,00	1410,61	1363,24	Paralelo	13,35
			Cara frontal y posterior			5217,46		1345,92		Perpendicular	2,26

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,777	2,935	5,339	1,538
		Ultrasonic Timer		12,243	3,158		1,482
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,428	2,851	5,278	1,565
		Ultrasonic Timer		11,894	3,068		1,508
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,548	2,863	5,367	1,585
		Ultrasonic Timer		12,018	3,048		1,527
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,386	2,823	5,291	1,585
		Ultrasonic Timer		11,849	3,005		1,527

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,903	4,021
			Cara frontal y posterior	4,138	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,899	3,876
			Cara frontal y posterior	3,853	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,895	4,016
			Cara frontal y posterior	4,138	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,899	3,876
			Cara frontal y posterior	3,853	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,918	4,041
			Cara frontal y posterior	4,163	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,922	3,944
			Cara frontal y posterior	3,965	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,918	4,041
			Cara frontal y posterior	4,163	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,922	3,944
			Cara frontal y posterior	3,965	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,802	0,832
Cara frontal y posterior	0,862	
Cara superior e inferior	0,802	
Cara frontal y posterior	0,862	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D053		Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	2 empalmes	7,80	17,30	10,10	105,10	424,741		
0	D066 (pino silvestre)											
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
0	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
Cara superior	16,7	16	Derecha	135,000	Derecha	130,913	10 cm	26,000	10 cm	24,113	Derecha	2178
	17,4	16,4	Centro	138,000	Centro	136,300	15 cm	40,167	15 cm	34,944	Centro	2506
	16,9	17,1	Izquierda	129,333	Izquierda	126,213	20 cm	50,833	20 cm	45,600	Izquierda	2620
							25 cm	59,833	25 cm	56,500		
Cara inferior							30 cm	69,833	30 cm	66,013		
	16,7	13					10 cm	27,143	10 cm	23,567	Derecha	1386
	17,2	13,3					15 cm	35,143	15 cm	33,488	Centro	2032
	17,1	13,3					20 cm	45,000	20 cm	43,371	Izquierda	2080
Cara Frontal							25 cm	54,000	25 cm	52,888		
							30 cm	64,000	30 cm	62,263		
	16,8	16,8	Derecha	75,875	Derecha	72,438	10 cm	28,429	10 cm	23,670	Derecha	2158
	17,3	16,5	Centro	77,625	Centro	72,033	15 cm	38,714	15 cm	34,263	Centro	2672
Cara Posterior	17,5	16,3	Izquierda	73,286	Izquierda	73,571	20 cm	50,000	20 cm	44,250	Izquierda	2216
							25 cm	59,500	25 cm	54,175		
							30 cm	69,333	30 cm	63,800		
	17,1	15,8					10 cm	27,167	10 cm	21,922	Derecha	2014
Cara Posterior	17,9	17,3					15 cm	38,143	15 cm	32,470	Centro	2150
	17,4	17,6					20 cm	45,833	20 cm	41,111	Izquierda	2188
							25 cm	55,286	25 cm	49,550		
							30 cm	64,000	30 cm	58,671		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,17%	416,14	5179,16	5255,51	1334,25	1357,97	Paralelo	12,17
			Cara frontal y posterior			5331,87		1381,69		Perpendicular	2,24
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5091,47	5245,55	1364,82	1388,52	Paralelo	12,12
			Cara frontal y posterior			5399,63		1436,41		Perpendicular	2,43
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,78%	418,52	5122,89	5204,35	1322,73	1346,24	Paralelo	11,79
			Cara frontal y posterior			5285,81		1369,76		Perpendicular	2,19
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5047,49	5200,24	1353,03	1388,52	Paralelo	11,78
			Cara frontal y posterior			5352,99		1424,00		Perpendicular	2,37
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,17%	413,77	5029,81	5109,79	1290,91	1313,86	Paralelo	11,36
			Cara frontal y posterior			5189,78		1336,81		Perpendicular	2,10
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4955,78	5105,76	1320,49	1359,35	Paralelo	11,34
			Cara frontal y posterior			5255,73		1389,75		Perpendicular	2,27
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,78%	416,71	5029,81	5109,79	1290,91	1313,86	Paralelo	11,29
			Cara frontal y posterior			5189,78		1336,81		Perpendicular	2,09
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4955,78	5105,76	1320,49	1359,35	Paralelo	11,27
			Cara frontal y posterior			5255,73		1389,75		Perpendicular	2,26

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,629	3,263	5,247	1,599
		Ultrasonic Timer		12,605	3,366		1,564
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,435	3,217	5,217	1,613
		Ultrasonic Timer		12,425	3,318		1,578
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,349	3,175	5,277	1,652
		Ultrasonic Timer		12,340	3,285		1,617
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,262	3,153	5,239	1,652
		Ultrasonic Timer		12,253	3,262		1,617

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,882	3,870
			Cara frontal y posterior	3,859	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,731	3,745
			Cara frontal y posterior	3,759	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,873	3,866
			Cara frontal y posterior	3,859	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,731	3,745
			Cara frontal y posterior	3,759	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,896	3,889
			Cara frontal y posterior	3,882	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,753	3,756
			Cara frontal y posterior	3,759	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,896	3,889
			Cara frontal y posterior	3,882	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,753	3,756
			Cara frontal y posterior	3,759	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	0,874	0,919
Cara frontal y posterior	0,964	
Cara superior e inferior	0,874	
Cara frontal y posterior	0,964	



Resultados obtenidos en los ensayos																
		Código vigas				Materiales			Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
		D032		Pino silvestre		GL-28		Tanalizado	2 empalmes	8,00	17,30	10,00	105,20	439,570		
		D066 (pino silvestre)														
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos				
		Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons				
0	0	Cara superior		17,1	19,2	Derecha	150,625	Derecha	139,456	10 cm	33,714	10 cm	22,403	Derecha	3132	
				17,1	18,5	Centro	138,000	Centro	133,431	15 cm	43,714	15 cm	32,325	Centro	2642	
				16,8	18,7	Izquierda	151,375	Izquierda	147,125	20 cm	52,714	20 cm	42,038	Izquierda	3042	
										25 cm	62,875	25 cm	51,922			
		Cara inferior		16,9	12,6					10 cm	29,571	10 cm	22,411	Derecha	1710	
				17,1	16,7					15 cm	39,500	15 cm	31,550	Centro	5700	
				16,6	12,9					20 cm	50,333	20 cm	41,200	Izquierda	1684	
										25 cm	60,000	25 cm	50,756			
										30 cm	69,778	30 cm	59,967			
		Cara Frontal	16,5	16,4	Derecha	87,000	Derecha	79,367	10 cm	28,857	10 cm	21,343	Derecha	2752		
					18,1	17,8	Centro	83,125	Centro	74,573	15 cm	38,143	15 cm	29,363	Centro	2016
					17,8	16,4	Izquierda	87,571	Izquierda	80,433	20 cm	46,143	20 cm	38,456	Izquierda	2142
									25 cm	54,000	25 cm	45,967				
										30 cm	63,429	30 cm	54,867			
		Cara Posterior	16,7	16,9					10 cm	29,143	10 cm	22,078	Derecha	2150		
					18,3	17,7					15 cm	38,750	15 cm	30,875	Centro	4126
					18,9	17,8					20 cm	47,571	20 cm	39,175	Izquierda	2516
									25 cm	57,000	25 cm	48,200				
										30 cm	66,286	30 cm	56,933			

Resultados corregidos													
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)			
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,33%	430,38	5267,74	5535,43	1222,57	1213,83	Paralelo	13,93		
			Cara frontal y posterior			5803,12		1205,10		Perpendicular	1,77		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5308,65	5668,04	1280,49	1298,82	Paralelo	14,61		
			Cara frontal y posterior			6027,43		1325,75		Perpendicular	2,14		
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,80%	431,31	5237,26	5510,62	1218,54	1209,83	Paralelo	13,75		
			Cara frontal y posterior			5783,98		1201,12		Perpendicular	1,75		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5291,13	5649,34	1276,26	1298,82	Paralelo	14,45		
			Cara frontal y posterior			6007,55		1321,38		Perpendicular	2,12		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,33%	427,87	5109,46	5376,15	1181,68	1173,23	Paralelo	13,03		
			Cara frontal y posterior			5642,84		1164,79		Perpendicular	1,65		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5162,02	5511,48	1237,65	1269,06	Paralelo	13,69		
			Cara frontal y posterior			5860,95		1281,40		Perpendicular	2,00		
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,80%	429,02	5109,46	5376,15	1181,68	1173,23	Paralelo	13,00		
			Cara frontal y posterior			5642,84		1164,79		Perpendicular	1,65		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5162,02	5511,48	1237,65	1269,06	Paralelo	13,66		
			Cara frontal y posterior			5860,95		1281,40		Perpendicular	1,99		

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	12,862	2,820	6,508	2,417
			Ultrasonic Timer	13,170	3,028		2,313
		Capacitivo	Microsecond Timer	12,776	2,805	6,494	2,425
			Ultrasonic Timer	13,098	3,011		2,320
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	12,565	2,742	6,546	2,501
			Ultrasonic Timer	12,881	2,966		2,393
		Capacitivo	Microsecond Timer	12,531	2,735	6,529	2,501
			Ultrasonic Timer	12,847	2,958		2,393

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,309	4,562
			Cara frontal y posterior	4,815	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,146	4,346
			Cara frontal y posterior	4,546	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,298	4,557
			Cara frontal y posterior	4,815	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,146	4,346
			Cara frontal y posterior	4,546	
	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,324	4,584
			Cara frontal y posterior	4,845	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,171	4,339
			Cara frontal y posterior	4,507	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,324	4,584
			Cara frontal y posterior	4,845	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,171	4,339
			Cara frontal y posterior	4,507	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,970	0,970
Cara frontal y posterior	0,969	
Cara superior e inferior	0,970	
Cara frontal y posterior	0,969	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D026 (BIS)		Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	2 empalmes	13,90	17,20	15,20	104,70	507,804		
0												
23,7°C												
D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,6	18,1	Derecha	112,250	Derecha	109,643	10 cm	28,571	10 cm	23,288	Derecha	2614
	17,5	21,8	Centro	107,143	Centro	110,486	15 cm	89,857	15 cm	32,990	Centro	2546
	16,8	19,5	Izquierda	107,429	Izquierda	107,764	20 cm	51,000	20 cm	42,300	Izquierda	2990
							25 cm	58,000	25 cm	52,020		
							30 cm	67,714	30 cm	61,289		
Cara inferior	16,7	18,7					10 cm	27,625	10 cm	22,130	Derecha	2464
	17,2	20,4					15 cm	36,250	15 cm	30,880	Centro	2798
	16,9	21,2					20 cm	46,143	20 cm	40,263	Izquierda	2848
							25 cm	55,143	25 cm	50,120		
							30 cm	63,333	30 cm	58,622		
Cara Frontal	17,8	23,9	Derecha	112,000	Derecha	113,113	10 cm	26,286	10 cm	20,910	Derecha	3032
	16,3	17,5	Centro	98,286	Centro	96,011	15 cm	34,857	15 cm	29,511	Centro	2444
	17,8	19,3	Izquierda	109,143	Izquierda	107,133	20 cm	41,429	20 cm	37,750	Izquierda	2840
							25 cm	50,714	25 cm	46,125		
							30 cm	58,571	30 cm	54,489		
Cara Posterior	18,2	23,4					10 cm	27,375	10 cm	24,240	Derecha	3216
	17	19					15 cm	35,500	15 cm	34,689	Centro	2118
	18	19,6					20 cm	44,429	20 cm	42,756	Izquierda	2638
							25 cm	53,000	25 cm	52,933		
							30 cm	62,429	30 cm	60,538		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,32%	497,21	8410,91	7270,97	1634,14	1557,87	Paralelo	27,39
			Cara frontal y posterior			6131,03		1481,59		Perpendicular	3,09
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5492,89	5695,97	1628,24	1592,38	Paralelo	16,81
			Cara frontal y posterior			5899,04		1498,63		Perpendicular	3,16
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,20%	491,39	8539,24	7391,89	1664,40	1586,71	Paralelo	29,03
			Cara frontal y posterior			6244,54		1509,02		Perpendicular	3,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5594,58	5801,42	1658,39	1592,38	Paralelo	17,88
			Cara frontal y posterior			6008,26		1526,38		Perpendicular	3,32
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,32%	494,30	8152,87	7057,43	1579,56	1505,84	Paralelo	25,93
			Cara frontal y posterior			5962,00		1432,11		Perpendicular	2,88
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5341,45	5538,93	1573,86	1518,67	Paralelo	15,97
			Cara frontal y posterior			5736,41		1448,58		Perpendicular	2,95
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,20%	486,98	8152,87	7057,43	1579,56	1505,84	Paralelo	26,24
			Cara frontal y posterior			5962,00		1432,11		Perpendicular	2,92
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5341,45	5538,93	1573,86	1518,67	Paralelo	16,17
			Cara frontal y posterior			5736,41		1448,58		Perpendicular	2,99

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		14,624	3,133	5,455	1,658
		Ultrasonic Timer		11,456	3,144		1,664
	Capacitivo	Microsecond Timer		15,043	3,229	5,520	1,627
		Ultrasonic Timer		11,806	3,241		1,634
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		14,277	3,046	5,487	1,715
		Ultrasonic Timer		11,205	3,072		1,721
	Capacitivo	Microsecond Timer		14,492	3,092	5,570	1,715
		Ultrasonic Timer		11,374	3,119		1,721

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,147	4,643
			Cara frontal y posterior	4,138	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,374	3,655
			Cara frontal y posterior	3,936	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,131	4,634
			Cara frontal y posterior	4,138	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,161	4,662
			Cara frontal y posterior	4,163	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,394	3,657
			Cara frontal y posterior	3,920	
UNE	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	5,161	4,662
			Cara frontal y posterior	4,163	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,394	3,657
			Cara frontal y posterior	3,920	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,166	1,166
Cara frontal y posterior	1,167	
Cara superior e inferior	1,166	
Cara frontal y posterior	1,167	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D038		Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	2 empalmes	13,00	16,10	14,10	110,30	519,186			
0 22,6°C	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	15,8	14,2	Derecha	101,667	Derecha	100,467	10 cm	29,000	10 cm	25,788	Derecha	2046
		16,3	14,8	Centro	106,286	Centro	105,300	15 cm	39,143	15 cm	35,511	Centro	2274
		15,9	14,7	Izquierda	114,167	Izquierda	117,233	20 cm	50,000	20 cm	46,289	Izquierda	2054
								25 cm	58,714	25 cm	54,920		
								30 cm	68,000	30 cm	63,467		
	Cara inferior	17,3	19,3					10 cm	27,571	10 cm	23,000	Derecha	2504
		17,4	17,8					15 cm	36,857	15 cm	32,856	Centro	2384
		16,6	17,8					20 cm	46,750	20 cm	42,718	Izquierda	2916
								25 cm	56,000	25 cm	50,578		
								30 cm	63,833	30 cm	58,822		
	Cara Frontal	16,3	20,5	Derecha	101,000	Derecha	98,289	10 cm	24,125	10 cm	21,267	Derecha	3196
		15,8	19,2	Centro	101,500	Centro	100,243	15 cm	33,857	15 cm	30,488	Centro	3048
		17	17,1	Izquierda	106,429	Izquierda	113,150	20 cm	44,500	20 cm	39,511	Izquierda	2442
								25 cm	53,000	25 cm	48,967		
								30 cm	63,429	30 cm	57,663		
	Cara Posterior	18,1	23,8					10 cm	25,429	10 cm	21,233	Derecha	3458
		17,2	23,7					15 cm	33,571	15 cm	30,288	Centro	3706
		17,4	20,4					20 cm	41,571	20 cm	38,960	Izquierda	1808
								25 cm	50,714	25 cm	47,738		
								30 cm	59,429	30 cm	55,867		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,76%	509,52	5433,18	5531,45	1549,34	1480,86	Paralelo	16,23
			Cara frontal y posterior			5629,72		1412,38		Perpendicular	2,86
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5570,00	5665,58	1548,04	1493,66	Paralelo	17,03
			Cara frontal y posterior			5761,17		1404,55		Perpendicular	2,83
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,61%	505,67	5484,12	5590,02	1567,56	1498,27	Paralelo	16,85
			Cara frontal y posterior			5695,92		1428,99		Perpendicular	2,95
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5635,50	5732,21	1566,24	1493,66	Paralelo	17,71
			Cara frontal y posterior			5828,91		1421,07		Perpendicular	2,92
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,76%	506,83	5289,50	5391,64	1502,87	1436,44	Paralelo	15,43
			Cara frontal y posterior			5493,79		1370,01		Perpendicular	2,69
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5435,51	5528,78	1501,61	1461,09	Paralelo	16,23
			Cara frontal y posterior			5622,05		1362,42		Perpendicular	2,66
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,61%	502,03	5289,50	5391,64	1502,87	1436,44	Paralelo	15,56
			Cara frontal y posterior			5493,79		1370,01		Perpendicular	2,71
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5435,51	5528,78	1501,61	1461,09	Paralelo	16,36
			Cara frontal y posterior			5622,05		1362,42		Perpendicular	2,68

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	10,856	2,906	5,207	1,531
Ultrasonic Timer			11,119	2,897	1,537		
Capacitivo		Microsecond Timer	11,055	2,963	5,247	1,514	
		Ultrasonic Timer	11,336	2,954		1,519	
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	10,638	2,834	5,234	1,579
Ultrasonic Timer			10,908	2,883	1,584		
Capacitivo		Microsecond Timer	10,740	2,861	5,285	1,579	
		Ultrasonic Timer	11,013	2,910		1,584	

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,507	3,746
			Cara frontal y posterior	3,986	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,598	3,850
			Cara frontal y posterior	4,102	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,499	3,742
			Cara frontal y posterior	3,986	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,598	3,850
			Cara frontal y posterior	4,102	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,520	3,765
			Cara frontal y posterior	4,010	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,620	3,789
			Cara frontal y posterior	3,958	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,520	3,765
			Cara frontal y posterior	4,010	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,620	3,789
			Cara frontal y posterior	3,958	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,993	1,109	
Cara frontal y posterior	1,225		
Cara superior e inferior	0,993		
Cara frontal y posterior	1,225		



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D040		Pino silvestre	GL-18	Tanalizado	0 empalmes	13,00	17,00	15,00	105,00	485,528			
0 22,8°C	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	17,4	22,4	Derecha	108,857	Derecha	111,329	10 cm	28,286	10 cm	23,738	Derecha	2556
		17,9	23,8	Centro	145,333	Centro	130,929	15 cm	37,714	15 cm	34,538	Centro	2440
		17,8	22,1	Izquierda	110,429	Izquierda	113,289	20 cm	46,857	20 cm	43,938	Izquierda	2434
								25 cm	56,250	25 cm	52,475		
								30 cm	65,000	30 cm	61,573		
	Cara inferior	16,9	17,5					10 cm	27,714	10 cm	22,050	Derecha	2292
		16,5	19,3					15 cm	34,833	15 cm	30,044	Centro	3568
		16,2	18,6					20 cm	44,429	20 cm	38,889	Izquierda	2518
								25 cm	53,286	25 cm	47,175		
								30 cm	62,000	30 cm	55,688		
	Cara Frontal	17,5	17,8	Derecha	107,000	Derecha	106,629	10 cm	26,143	10 cm	22,438	Derecha	2206
		17,9	21,5	Centro	111,000	Centro	107,013	15 cm	34,500	15 cm	31,913	Centro	2760
		17,3	18,5	Izquierda	112,167	Izquierda	112,763	20 cm	44,714	20 cm	41,013	Izquierda	1996
								25 cm	54,286	25 cm	50,267		
								30 cm	63,286	30 cm	59,050		
	Cara Posterior	17,4	20,1					10 cm	33,286	10 cm	33,600	Derecha	2170
		17,5	20,3					15 cm	43,000	15 cm	42,450	Centro	1896
		17,1	20,8					20 cm	51,714	20 cm	51,578	Izquierda	2012
								25 cm	60,286	25 cm	59,613		
								30 cm	70,000	30 cm	68,825		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,28%	475,46	5762,11	5663,94	1472,50	1441,41	Paralelo	15,88
			Cara frontal y posterior			5565,77		1410,32		Perpendicular	2,68
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5791,08	5765,76	1491,52	1486,79	Paralelo	16,46
			Cara frontal y posterior			5740,44		1426,93		Perpendicular	2,74
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,23%	469,78	5857,13	5764,03	1500,32	1468,64	Paralelo	16,88
			Cara frontal y posterior			5670,92		1436,97		Perpendicular	2,82
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5900,48	5874,69	1519,69	1486,79	Paralelo	17,53
			Cara frontal y posterior			5848,89		1453,89		Perpendicular	2,88
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,28%	472,70	5591,22	5502,34	1423,62	1393,56	Paralelo	15,07
			Cara frontal y posterior			5413,46		1363,51		Perpendicular	2,50
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5632,60	5607,98	1442,01	1423,12	Paralelo	15,65
			Cara frontal y posterior			5583,35		1379,56		Perpendicular	2,56
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,23%	465,56	5591,22	5502,34	1423,62	1393,56	Paralelo	15,25
			Cara frontal y posterior			5413,46		1363,51		Perpendicular	2,53
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5632,60	5607,98	1442,01	1423,12	Paralelo	15,85
			Cara frontal y posterior			5583,35		1379,56		Perpendicular	2,59

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,912	3,032	5,056	1,846
		Ultrasonic Timer		12,127	3,069		1,789
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,270	3,126	5,117	1,812
		Ultrasonic Timer		12,505	3,165		1,756
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,640	2,948	5,086	1,910
		Ultrasonic Timer		11,864	3,011		1,850
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,819	2,993	5,164	1,910
		Ultrasonic Timer		12,046	3,057		1,850

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,913	3,930
			Cara frontal y posterior	3,946	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,883	3,953
			Cara frontal y posterior	4,023	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,904	3,925
			Cara frontal y posterior	3,946	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,883	3,953
			Cara frontal y posterior	4,023	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,927	3,949
			Cara frontal y posterior	3,970	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,906	3,941
			Cara frontal y posterior	3,976	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,927	3,949
			Cara frontal y posterior	3,970	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,906	3,941
			Cara frontal y posterior	3,976	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,204	1,171
Cara frontal y posterior	1,137	
Cara superior e inferior	1,204	
Cara frontal y posterior	1,137	



Resultados obtenidos en los ensayos													
0 23°C	Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
	D069	Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento	0 empalmes	15,30	16,80	16,10	110,30	512,839			
	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	16,2	15,4	Derecha	87,714	Derecha	94,663	10 cm	30,143	10 cm	25,743	Derecha	2532
		17,1	18,3	Centro	89,000	Centro	92,500	15 cm	41,143	15 cm	36,956	Centro	2550
		17,2	17,7	Izquierda	88,143	Izquierda	93,920	20 cm	51,500	20 cm	47,257	Izquierda	2562
								25 cm	60,143	25 cm	57,329		
								30 cm	70,286	30 cm	67,325		
	Cara inferior	15,9	19,8					10 cm	24,286	10 cm	24,000	Derecha	2884
		16,4	17,4					15 cm	35,571	15 cm	34,243	Centro	3240
		16,3	17,8					20 cm	46,286	20 cm	44,929	Izquierda	2758
								25 cm	57,500	25 cm	55,438		
								30 cm	66,500	30 cm	66,014		
	Cara Frontal	16,4	16,1	Derecha	105,571	Derecha	108,911	10 cm	28,286	10 cm	23,714	Derecha	2868
		16,3	16,2	Centro	96,667	Centro	99,311	15 cm	37,714	15 cm	33,275	Centro	2744
		16	16,7	Izquierda	88,000	Izquierda	82,380	20 cm	48,571	20 cm	43,629	Izquierda	3022
								25 cm	57,000	25 cm	52,743		
								30 cm	67,000	30 cm	62,138		
	Cara Posterior	17,4	22,9					10 cm	26,500	10 cm	22,875	Derecha	2908
		17,2	24,9					15 cm	35,500	15 cm	32,388	Centro	2876
		17,4	23,8					20 cm	45,857	20 cm	42,353	Izquierda	3618
							25 cm	56,429	25 cm	52,210			
							30 cm	68,125	30 cm	63,513			

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,65%	503,52	4998,21	5051,37	1960,49	1842,22	Paralelo	13,34
			Cara frontal y posterior			5104,53		1723,94		Perpendicular	4,21
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4905,69	5048,05	1847,43	1817,33	Paralelo	13,33
			Cara frontal y posterior			5190,41		1735,51		Perpendicular	4,27
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,92%	498,86	5057,60	5117,91	1988,80	1868,81	Paralelo	13,97
			Cara frontal y posterior			5178,21		1748,82		Perpendicular	4,38
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4976,50	5120,92	1874,10	1817,33	Paralelo	13,98
			Cara frontal y posterior			5265,34		1760,56		Perpendicular	4,44
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,65%	500,92	4868,56	4926,61	1902,98	1788,17	Paralelo	12,72
			Cara frontal y posterior			4984,66		1673,37		Perpendicular	3,96
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4790,49	4929,51	1793,23	1671,48	Paralelo	12,74
			Cara frontal y posterior			5068,53		1684,60		Perpendicular	4,02
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,92%	495,10	4868,56	4926,61	1902,98	1788,17	Paralelo	12,85
			Cara frontal y posterior			4984,66		1673,37		Perpendicular	4,00
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4790,49	4929,51	1793,23	1671,48	Paralelo	12,86
			Cara frontal y posterior			5068,53		1684,60		Perpendicular	4,06

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,032	3,659	5,720	1,405
		Ultrasonic Timer		10,026	3,558		1,491
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,259	3,746	5,774	1,385
		Ultrasonic Timer		10,265	3,643		1,469
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,835	3,570	5,750	1,448
		Ultrasonic Timer		9,841	3,337		1,536
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,951	3,612	5,817	1,448
		Ultrasonic Timer		9,957	3,376		1,536

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,549	2,755
			Cara frontal y posterior	2,961	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,655	2,823
			Cara frontal y posterior	2,991	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,543	2,752
			Cara frontal y posterior	2,961	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,655	2,823
			Cara frontal y posterior	2,991	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,558	2,769
			Cara frontal y posterior	2,979	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,671	2,971
			Cara frontal y posterior	3,271	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,558	2,769
			Cara frontal y posterior	2,979	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	2,671	2,971
			Cara frontal y posterior	3,271	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,074	1,136
Cara frontal y posterior	1,198	
Cara superior e inferior	1,074	
Cara frontal y posterior	1,198	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D048		Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	0 empalmes	8,70	20,90	10,10	98,10	420,129			
0 23,4°C	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	14,6	14,1	Derecha	123,714	Derecha	116,929	10 cm	32,286	10 cm	26,250	Derecha	2534
		15,6	14,4	Centro	128,714	Centro	136,200	15 cm	41,286	15 cm	36,871	Centro	2300
		15,1	13,9	Izquierda	128,000	Izquierda	134,614	20 cm	52,000	20 cm	46,667	Izquierda	2208
								25 cm	64,000	25 cm	59,556		
								30 cm	75,000	30 cm	69,775		
	Cara inferior	15,4	15,1					10 cm	27,286	10 cm	23,625	Derecha	2282
		15,7	15,6					15 cm	36,143	15 cm	33,878	Centro	2238
		15,2	15					20 cm	46,429	20 cm	43,250	Izquierda	1976
								25 cm	56,000	25 cm	51,800		
								30 cm	65,000	30 cm	60,750		
	Cara Frontal	15,4	16,7	Derecha	65,000	Derecha	67,938	10 cm	29,000	10 cm	24,543	Derecha	2320
		15,4	13,8	Centro	71,143	Centro	64,638	15 cm	40,429	15 cm	34,771	Centro	2566
		15,6	14,4	Izquierda	59,429	Izquierda	64,700	20 cm	53,200	20 cm	47,000	Izquierda	2040
								25 cm	65,333	25 cm	55,338		
								30 cm	75,429	30 cm	65,743		
	Cara Posterior	15,7	16,1					10 cm	25,286	10 cm	21,714	Derecha	2322
		15,6	14,8					15 cm	35,714	15 cm	32,538	Centro	1336
		15,7	14,6					20 cm	46,333	20 cm	42,729	Izquierda	2200
								25 cm	55,750	25 cm	51,888		
								30 cm	65,429	30 cm	60,944		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,42%	414,60	5026,85	4858,22	1685,42	1638,93	Paralelo	10,17
			Cara frontal y posterior			4689,58		1592,43		Perpendicular	2,93
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5071,29	5067,94	1661,08	1610,62	Paralelo	11,07
			Cara frontal y posterior			5064,59		1571,04		Perpendicular	2,85
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	14,88%	415,53	4998,43	4836,12	1679,75	1633,41	Paralelo	10,03
			Cara frontal y posterior			4673,81		1587,07		Perpendicular	2,90
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5054,23	5050,89	1655,49	1610,62	Paralelo	10,95
			Cara frontal y posterior			5047,55		1565,75		Perpendicular	2,82
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,42%	412,95	4935,45	4775,18	1648,65	1603,16	Paralelo	9,74
			Cara frontal y posterior			4614,92		1557,68		Perpendicular	2,80
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4990,55	4987,25	1624,84	1574,72	Paralelo	10,62
			Cara frontal y posterior			4983,95		1536,76		Perpendicular	2,72
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	14,88%	414,09	4935,45	4775,18	1648,65	1603,16	Paralelo	9,71
			Cara frontal y posterior			4614,92		1557,68		Perpendicular	2,79
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4990,55	4987,25	1624,84	1574,72	Paralelo	10,60
			Cara frontal y posterior			4983,95		1536,76		Perpendicular	2,72

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,718	3,953	5,291	1,338
			Ultrasonic Timer	12,224	3,898		1,361
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,638	3,931	5,279	1,343
			Ultrasonic Timer	12,155	3,876		1,365
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,564	3,882	5,312	1,368
			Ultrasonic Timer	12,077	3,813		1,391
		Capacitivo	Microsecond Timer	11,532	3,872	5,297	1,368
			Ultrasonic Timer	12,044	3,803		1,391

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,983	2,964
			Cara frontal y posterior	2,945	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,053	3,138
			Cara frontal y posterior	3,224	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,976	2,960
			Cara frontal y posterior	2,945	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,053	3,138
			Cara frontal y posterior	3,224	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,994	2,978
			Cara frontal y posterior	2,963	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,071	3,170
			Cara frontal y posterior	3,269	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,994	2,978
			Cara frontal y posterior	2,963	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,071	3,170
			Cara frontal y posterior	3,269	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	0,962	0,965	
Cara frontal y posterior	0,968		
Cara superior e inferior	0,962		
Cara frontal y posterior	0,968		



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D045	Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	3 empalmes	11,10	22,60	10,00	105,10	467,317	

0
23,1°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,1	16,7	Derecha	205,367	Derecha	157,671	10 cm	24,333	10 cm	21,771	Derecha	2586
	15,2	15,5	Centro	190,429	Centro	143,871	15 cm	34,000	15 cm	31,250	Centro	2410
	15	15,5	Izquierda	158,143	Izquierda	156,400	20 cm	41,625	20 cm	40,143	Izquierda	3066
							25 cm	51,250	25 cm	49,529		
							30 cm	59,714	30 cm	58,757		
Cara inferior	15,7	17,3					10 cm	26,667	10 cm	23,371	Derecha	2340
	15,9	19,1					15 cm	36,333	15 cm	33,757	Centro	2640
	15,9	17,1					20 cm	47,286	20 cm	43,214	Izquierda	2594
							25 cm	57,286	25 cm	52,875		
							30 cm	66,571	30 cm	61,833		
Cara Frontal	15,6	18,2	Derecha	58,667	Derecha	58,820	10 cm	26,667	10 cm	23,629	Derecha	2488
	16,9	17,8	Centro	70,286	Centro	68,213	15 cm	36,286	15 cm	33,344	Centro	2908
	15,9	13,9	Izquierda	57,500	Izquierda	62,457	20 cm	46,000	20 cm	42,929	Izquierda	2100
							25 cm	56,000	25 cm	52,457		
							30 cm	64,714	30 cm	62,000		
Cara Posterior	16	17,4					10 cm	27,286	10 cm	21,575	Derecha	2414
	16,9	21,8					15 cm	37,500	15 cm	31,713	Centro	3076
	15,9	15,7					20 cm	47,857	20 cm	41,557	Izquierda	2262
							25 cm	58,000	25 cm	51,671		
							30 cm	66,000	30 cm	61,214		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,83%	460,37	5435,99	5347,69	1269,71	1466,18	Paralelo	13,63
			Cara frontal y posterior			5259,40		1662,65		Perpendicular	3,56
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5413,07	5318,44	1520,10	1587,64	Paralelo	13,48
			Cara frontal y posterior			5223,81		1628,74		Perpendicular	3,41
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,17%	457,85	5467,32	5385,44	1280,38	1478,49	Paralelo	13,98
			Cara frontal y posterior			5303,56		1676,61		Perpendicular	3,64
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5458,53	5363,11	1532,87	1587,64	Paralelo	13,87
			Cara frontal y posterior			5267,68		1642,42		Perpendicular	3,49
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,83%	458,36	5321,62	5241,92	1238,78	1430,47	Paralelo	13,08
			Cara frontal y posterior			5162,23		1622,15		Perpendicular	3,38
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5313,06	5220,18	1483,07	1533,06	Paralelo	12,97
			Cara frontal y posterior			5127,30		1589,07		Perpendicular	3,24
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,17%	455,24	5321,62	5241,92	1238,78	1430,47	Paralelo	13,16
			Cara frontal y posterior			5162,23		1622,15		Perpendicular	3,40
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5313,06	5220,18	1483,07	1533,06	Paralelo	13,05
			Cara frontal y posterior			5127,30		1589,07		Perpendicular	3,26

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,616	3,185	5,590	2,064
		Ultrasonic Timer		11,552	3,420		1,718
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,762	3,229	5,621	2,047
		Ultrasonic Timer		11,714	3,468		1,704
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,436	3,121	5,615	2,115
		Ultrasonic Timer		11,389	3,345		1,761
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,515	3,142	5,653	2,115
		Ultrasonic Timer		11,467	3,368		1,761

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,281	3,722
			Cara frontal y posterior	3,163	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,384
			Cara frontal y posterior	3,207	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,270	3,717	
		Cara frontal y posterior	3,163		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,561	3,384	
		Cara frontal y posterior	3,207		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,296	3,739
			Cara frontal y posterior	3,182	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,582	3,411
			Cara frontal y posterior	3,239	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,296	3,739
			Cara frontal y posterior	3,182	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,582	3,411		
	Cara frontal y posterior	3,239			

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,091	1,084
Cara frontal y posterior	1,078	
Cara superior e inferior	1,091	
Cara frontal y posterior	1,078	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D043	Abeto	GL-18	Sin Tratamiento	4 empalmes	10,60	22,50	10,00	105,10	448,250

0
24,2°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	14,6	14,5	Derecha	169,286	Derecha	166,571	10 cm	24,667	10 cm	22,050	Derecha	2140
	15	14,5	Centro	158,333	Centro	165,613	15 cm	33,857	15 cm	31,133	Centro	2224
	15,3	15,3	Izquierda	163,833	Izquierda	166,978	20 cm	42,286	20 cm	39,186	Izquierda	2768
							25 cm	51,000	25 cm	48,050		
							30 cm	60,000	30 cm	56,814		
Cara inferior	16,2	16,7					10 cm	25,625	10 cm	22,986	Derecha	1868
	16,7	19					15 cm	34,500	15 cm	32,000	Centro	2314
	16,5	19,2					20 cm	43,571	20 cm	41,443	Izquierda	2116
							25 cm	51,286	25 cm	49,533		
							30 cm	61,429	30 cm	58,400		
Cara Frontal	16,1	16,7	Derecha	58,167	Derecha	59,857	10 cm	27,167	10 cm	22,829	Derecha	2650
	16,1	20,1	Centro	69,167	Centro	71,888	15 cm	38,500	15 cm	33,367	Centro	2428
	15,3	15,4	Izquierda	74,667	Izquierda	76,300	20 cm	47,714	20 cm	43,129	Izquierda	2362
							25 cm	58,667	25 cm	53,143		
							30 cm	69,000	30 cm	62,770		
Cara Posterior	15,5	15,7					10 cm	24,000	10 cm	21,500	Derecha	2360
	17	18,1					15 cm	33,571	15 cm	30,063	Centro	2272
	16,4	15					20 cm	41,500	20 cm	39,286	Izquierda	1882
							25 cm	51,333	25 cm	47,857		
							30 cm	60,000	30 cm	57,600		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,89%	441,48	5798,52	5545,52	1409,34	1474,40	Paralelo	14,09
			Cara frontal y posterior			5292,53		1539,47		Perpendicular	2,92
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5831,10	5609,53	1386,55	1447,62	Paralelo	14,42
			Cara frontal y posterior			5387,97		1494,37		Perpendicular	2,76
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,68%	440,04	5813,05	5565,94	1416,34	1481,73	Paralelo	14,29
			Cara frontal y posterior			5318,84		1547,12		Perpendicular	2,96
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5860,08	5637,42	1393,44	1447,62	Paralelo	14,66
			Cara frontal y posterior			5414,75		1501,80		Perpendicular	2,79
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,89%	439,53	5675,35	5434,10	1374,50	1437,96	Paralelo	13,48
			Cara frontal y posterior			5192,85		1501,42		Perpendicular	2,78
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5721,28	5503,89	1352,28	1441,57	Paralelo	13,83
			Cara frontal y posterior			5286,50		1457,44		Perpendicular	2,62
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,68%	437,75	5675,35	5434,10	1374,50	1437,96	Paralelo	13,53
			Cara frontal y posterior			5192,85		1501,42		Perpendicular	2,79
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5721,28	5503,89	1352,28	1441,57	Paralelo	13,88
			Cara frontal y posterior			5286,50		1457,44		Perpendicular	2,63

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,561	3,340	5,169	1,587
		Ultrasonic Timer		12,706	3,263		1,614
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,649	3,367	5,186	1,579
		Ultrasonic Timer		12,811	3,290		1,606
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,363	3,272	5,192	1,628
		Ultrasonic Timer		12,522	3,280		1,655
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,414	3,285	5,213	1,628
		Ultrasonic Timer		12,573	3,293		1,655

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,114	3,776
			Cara frontal y posterior	3,438	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,205	3,905
			Cara frontal y posterior	3,606	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,104	3,771
Cara frontal y posterior			3,438		
Ultrasonic Timer		Cara superior e inferior	4,205	3,905	
		Cara frontal y posterior	3,606		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,129	3,794
			Cara frontal y posterior	3,459	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,231	3,842
			Cara frontal y posterior	3,453	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,129	3,794
			Cara frontal y posterior	3,459	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,231	3,842		
	Cara frontal y posterior	3,453			

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,052	1,050
Cara frontal y posterior	1,048	
Cara superior e inferior	1,052	
Cara frontal y posterior	1,048	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D025	Pino silvestre	GL-24	Tanalizado	3 empalmes	8,80	17,20	10,00	105,00	487,265	

0
23,3°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,2	16,7	Derecha	123,500	Derecha	123,725	10 cm	27,143	10 cm	24,429	Derecha	1814
	17,2	19	Centro	123,333	Centro	124,867	15 cm	39,429	15 cm	35,022	Centro	2098
	17,4	16,9	Izquierda	119,200	Izquierda	121,622	20 cm	50,500	20 cm	45,433	Izquierda	2428
							25 cm	59,143	25 cm	56,025		
							30 cm	70,500	30 cm	65,811		
Cara inferior	17,8	23,1					10 cm	23,500	10 cm	20,975	Derecha	2906
	17,8	22,4					15 cm	32,500	15 cm	30,163	Centro	2828
	17,8	23					20 cm	40,667	20 cm	38,786	Izquierda	2534
							25 cm	51,167	25 cm	48,200		
							30 cm	59,833	30 cm	56,775		
Cara Frontal	20,6	26,6	Derecha	69,143	Derecha	75,729	10 cm	29,333	10 cm	26,771	Derecha	2680
	16,9	22,7	Centro	65,429	Centro	69,850	15 cm	40,667	15 cm	36,963	Centro	3168
	17	19,6	Izquierda	102,143	Izquierda	71,786	20 cm	53,000	20 cm	47,786	Izquierda	2718
							25 cm	66,143	25 cm	59,738		
							30 cm	74,143	30 cm	72,457		
Cara Posterior	18,4	21,9					10 cm	24,667	10 cm	22,150	Derecha	2576
	18,8	24,4					15 cm	34,333	15 cm	31,571	Centro	2916
	17,5	20,2					20 cm	43,429	20 cm	40,600	Izquierda	2290
							25 cm	53,000	25 cm	48,970		
							30 cm	62,000	30 cm	57,450		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,87%	476,02	5260,35	5132,96	1463,88	1416,03	Paralelo	13,10
			Cara frontal y posterior			5005,56		1368,18		Perpendicular	2,53
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5364,21	5277,99	1447,14	1473,49	Paralelo	13,85
			Cara frontal y posterior			5191,76		1434,44		Perpendicular	2,78
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,38%	469,27	5367,76	5243,47	1497,11	1448,17	Paralelo	14,10
			Cara frontal y posterior			5119,19		1399,23		Perpendicular	2,69
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5485,97	5397,79	1479,99	1473,49	Paralelo	14,94
			Cara frontal y posterior			5309,61		1467,00		Perpendicular	2,96
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,87%	472,97	5086,22	4968,45	1410,09	1363,99	Paralelo	12,36
			Cara frontal y posterior			4850,69		1317,90		Perpendicular	2,35
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5198,24	5114,68	1393,95	1385,01	Paralelo	13,10
			Cara frontal y posterior			5031,12		1381,73		Perpendicular	2,58
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,38%	464,42	5086,22	4968,45	1410,09	1363,99	Paralelo	12,54
			Cara frontal y posterior			4850,69		1317,90		Perpendicular	2,38
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5198,24	5114,68	1393,95	1385,01	Paralelo	13,29
			Cara frontal y posterior			5031,12		1381,73		Perpendicular	2,62

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,783	2,975	5,419	1,663
		Ultrasonic Timer		11,088	3,027		1,682
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,174	3,086	5,497	1,626
		Ultrasonic Timer		11,502	3,140		1,645
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,505	2,884	5,454	1,727
		Ultrasonic Timer		10,814	2,928		1,747
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,698	2,937	5,555	1,727
		Ultrasonic Timer		11,013	2,982		1,747

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,593	3,626
			Cara frontal y posterior	3,659	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,707	3,663
			Cara frontal y posterior	3,619	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,585	3,622
			Cara frontal y posterior	3,659	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,707	3,663
			Cara frontal y posterior	3,619	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,607	3,644
			Cara frontal y posterior	3,681	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,729	3,693
			Cara frontal y posterior	3,656	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,607	3,644
			Cara frontal y posterior	3,681	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,729	3,693
			Cara frontal y posterior	3,656	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,151	1,196
Cara frontal y posterior	1,240	
Cara superior e inferior	1,151	
Cara frontal y posterior	1,240	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D075	Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento	0 empalmes	14,40	22,60	10,20	104,70	596,633	

0
24,6°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	17,1	21,5	Derecha	132,333	Derecha	135,738	10 cm	24,667	10 cm	22,600	Derecha	3636
	17,1	22,1	Centro	132,500	Centro	134,663	15 cm	33,286	15 cm	31,456	Centro	3530
	16,9	21,5	Izquierda	131,500	Izquierda	137,243	20 cm	43,667	20 cm	41,075	Izquierda	4008
							25 cm	53,167	25 cm	50,314		
							30 cm	62,500	30 cm	59,743		
Cara inferior	16,3	21,9					10 cm	26,429	10 cm	22,875	Derecha	4258
	16,3	21,4					15 cm	35,167	15 cm	31,929	Centro	3686
	16,6	20,4					20 cm	45,333	20 cm	41,550	Izquierda	3448
							25 cm	56,000	25 cm	50,988		
							30 cm	65,000	30 cm	60,514		
Cara Frontal	16,3	21,7	Derecha	58,333	Derecha	60,570	10 cm	24,333	10 cm	22,571	Derecha	3126
	17,4	23,1	Centro	71,333	Centro	73,686	15 cm	34,143	15 cm	32,533	Centro	3146
	16,4	21,1	Izquierda	61,833	Izquierda	68,543	20 cm	44,000	20 cm	42,471	Izquierda	3018
							25 cm	53,333	25 cm	51,371		
							30 cm	62,833	30 cm	60,771		
Cara Posterior	16,6	20,2					10 cm	24,667	10 cm	22,844	Derecha	2806
	17,6	23,3					15 cm	34,000	15 cm	31,467	Centro	3292
	17,3	21,2					20 cm	44,333	20 cm	40,071	Izquierda	3048
							25 cm	53,000	25 cm	49,350		
							30 cm	59,333	30 cm	56,857		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,83%	585,37	5311,31	5438,59	1764,34	1712,08	Paralelo	17,82
			Cara frontal y posterior			5565,87		1659,82		Perpendicular	4,54
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5468,34	5571,37	1715,48	1691,90	Paralelo	18,71
			Cara frontal y posterior			5674,40		1566,42		Perpendicular	4,05
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,62%	574,04	5462,75	5600,72	1819,12	1765,24	Paralelo	19,71
			Cara frontal y posterior			5738,69		1711,36		Perpendicular	4,94
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5638,14	5744,37	1768,74	1691,90	Paralelo	20,74
			Cara frontal y posterior			5850,60		1615,05		Perpendicular	4,40
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,83%	582,24	5168,14	5298,67	1710,70	1660,03	Paralelo	17,14
			Cara frontal y posterior			5429,20		1609,36		Perpendicular	4,27
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5334,06	5434,56	1663,32	1598,73	Paralelo	18,03
			Cara frontal y posterior			5535,07		1518,79		Perpendicular	3,80
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,62%	567,94	5168,14	5298,67	1710,70	1660,03	Paralelo	17,48
			Cara frontal y posterior			5429,20		1609,36		Perpendicular	4,35
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5334,06	5434,56	1663,32	1598,73	Paralelo	18,39
			Cara frontal y posterior			5535,07		1518,79		Perpendicular	3,88

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,291	2,925	5,837	2,132
			Ultrasonic Timer	9,518	2,803		2,193
		Capacitivo	Microsecond Timer	9,757	3,075	5,952	2,068
			Ultrasonic Timer	10,007	2,947		2,127
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,101	2,851	5,868	2,199
			Ultrasonic Timer	9,334	2,746		2,261
		Capacitivo	Microsecond Timer	9,330	2,923	6,016	2,199
			Ultrasonic Timer	9,569	2,815		2,261

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,010	3,182
			Cara frontal y posterior	3,353	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,188	3,405
			Cara frontal y posterior	3,623	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,003	3,178
			Cara frontal y posterior	3,353	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,188	3,405
			Cara frontal y posterior	3,623	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,021	3,197
			Cara frontal y posterior	3,374	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,207	3,407
			Cara frontal y posterior	3,608	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,021	3,197
			Cara frontal y posterior	3,374	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,207	3,407
			Cara frontal y posterior	3,608	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
	Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,284	1,285	
Cara frontal y posterior	1,285		
Cara superior e inferior	1,284		
Cara frontal y posterior	1,285		



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D056	Abeto	GL-24	Sin Tratamiento	1 empalme	11,50	22,60	9,80	105,10	494,038

0
23,1°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	15,9	18,4	Derecha	179,500	Derecha	177,113	10 cm	24,333	10 cm	21,813	Derecha	3048
	16,1	18,4	Centro	212,167	Centro	209,486	15 cm	30,167	15 cm	31,533	Centro	2706
	16,3	19	Izquierda	153,571	Izquierda	152,329	20 cm	44,000	20 cm	40,543	Izquierda	2828
							25 cm	52,333	25 cm	51,350		
							30 cm	62,000	30 cm	59,067		
Cara inferior	15,1	16,2					10 cm	24,000	10 cm	22,257	Derecha	2562
	15,8	16,5					15 cm	36,060	15 cm	31,771	Centro	2672
	14,9	16,4					20 cm	45,000	20 cm	41,157	Izquierda	3082
							25 cm	54,667	25 cm	51,171		
							30 cm	64,833	30 cm	60,475		
Cara Frontal	15,6	15,4	Derecha	64,333	Derecha	92,286	10 cm	24,667	10 cm	24,633	Derecha	2350
	15,6	19,2	Centro	73,500	Centro	82,626	15 cm	35,167	15 cm	35,113	Centro	2674
	16,2	19	Izquierda	64,667	Izquierda	69,900	20 cm	46,000	20 cm	46,086	Izquierda	2470
							25 cm	57,000	25 cm	56,343		
							30 cm	66,167	30 cm	66,388		
Cara Posterior	15,6	18,9					10 cm	25,000	10 cm	23,329	Derecha	3050
	15,1	15,1					15 cm	35,167	15 cm	37,286	Centro	2382
	15,9	18,3					20 cm	47,333	20 cm	45,629	Izquierda	2330
							25 cm	59,200	25 cm	56,543		
							30 cm	71,143	30 cm	69,343		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,68%	487,02	5160,21	4887,49	1295,60	1393,94	Paralelo	12,00
			Cara frontal y posterior			4614,78		1492,28		Perpendicular	3,03
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5352,74	5034,33	1310,15	1293,24	Paralelo	12,73
			Cara frontal y posterior			4715,91		1245,81		Perpendicular	2,11
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,57%	483,23	5208,88	4939,39	1311,08	1410,59	Paralelo	12,46
			Cara frontal y posterior			4669,90		1510,11		Perpendicular	3,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5416,68	5094,46	1325,80	1293,24	Paralelo	13,25
			Cara frontal y posterior			4772,25		1260,69		Perpendicular	2,18
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	15,68%	484,96	5057,29	4795,64	1265,29	1361,33	Paralelo	11,56
			Cara frontal y posterior			4534,00		1457,37		Perpendicular	2,88
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5259,04	4946,20	1279,50	1201,75	Paralelo	12,30
			Cara frontal y posterior			4633,36		1216,66		Perpendicular	2,01
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,57%	480,29	5057,29	4795,64	1265,29	1361,33	Paralelo	11,66
			Cara frontal y posterior			4534,00		1457,37		Perpendicular	2,91
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5259,04	4946,20	1279,50	1201,75	Paralelo	12,40
			Cara frontal y posterior			4633,36		1216,66		Perpendicular	2,03

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	10,036	2,862	5,502	2,201
			Ultrasonic Timer	10,337	2,624		2,175
		Capacitivo	Microsecond Timer	10,222	2,919	5,545	2,175
			Ultrasonic Timer	10,542	2,676		2,150
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	9,889	2,807	5,525	2,253
			Ultrasonic Timer	10,199	2,478		2,227
		Capacitivo	Microsecond Timer	9,985	2,834	5,579	2,253
			Ultrasonic Timer	10,298	2,502		2,227

	Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,983	3,538
				Cara frontal y posterior	3,092	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,086	3,936
				Cara frontal y posterior	3,785	
	UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,997	3,554
				Cara frontal y posterior	3,111	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,110	4,116
				Cara frontal y posterior	4,122	

	Unterweiser	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,973	3,533
				Cara frontal y posterior	3,092	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,086	3,936
				Cara frontal y posterior	3,785	
	UNE	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,997	3,554
				Cara frontal y posterior	3,111	
			Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,110	4,116
				Cara frontal y posterior	4,122	

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	



Resultados obtenidos en los ensayos															
		Código vigas				Materiales			Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
		D034		Pino silvestre		GL-28		Tanalizado	0 empalmes	8,80	17,20	10,00	105,20	486,338	
		D066 (pino silvestre)													
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos			
		Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons			
0	0	Cara superior		16,4	16,6	Derecha	120,571	Derecha	121,286	10 cm	24,667	10 cm	22,514	Derecha	2454
				16,9	18	Centro	124,500	Centro	126,171	15 cm	33,286	15 cm	31,500	Centro	2522
				16,4	16,4	Izquierda	124,167	Izquierda	124,675	20 cm	42,000	20 cm	40,700	Izquierda	2562
										25 cm	50,333	25 cm	49,029		
		Cara inferior								30 cm	58,500	30 cm	57,338		
				18,6	18,7					10 cm	26,000	10 cm	22,388	Derecha	1862
				18,5	20,1					15 cm	35,167	15 cm	31,350	Centro	2332
				18,1	18,4					20 cm	46,000	20 cm	40,175	Izquierda	2262
										25 cm	54,857	25 cm	49,611		
										30 cm	63,667	30 cm	58,710		
		Cara Frontal	17,3	18,6	Derecha	74,000	Derecha	73,378	10 cm	26,333	10 cm	22,543	Derecha	2414	
			17,7	19,8	Centro	64,833	Centro	66,975	15 cm	34,286	15 cm	30,467	Centro	2596	
18,5	23,8		Izquierda	71,000	Izquierda	72,550	20 cm	36,000	20 cm	39,063	Izquierda	2866			
							25 cm	52,286	25 cm	47,925					
										30 cm	63,000	30 cm	58,638		
		Cara Posterior	19,5	22,2					10 cm	25,000	10 cm	21,800	Derecha	2882	
			18,1	21,5					15 cm	33,833	15 cm	30,514	Centro	2470	
			16,4	17					20 cm	43,000	20 cm	38,888	Izquierda	2428	
							25 cm	52,000	25 cm	47,113					
						30 cm	60,857	30 cm	55,838						

Resultados corregidos													
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)			
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,70%	475,44	5768,91	5728,90	1449,57	1468,39	Paralelo	16,40		
			Cara frontal y posterior			5688,89		1487,22		Perpendicular	2,99		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5791,15	5854,73	1438,38	1465,49	Paralelo	17,13		
			Cara frontal y posterior			5918,30		1463,73		Perpendicular	2,89		
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,26%	472,42	5811,41	5778,44	1463,98	1483,00	Paralelo	16,91		
			Cara frontal y posterior			5745,48		1502,01		Perpendicular	3,07		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5848,75	5912,96	1452,69	1465,49	Paralelo	17,71		
			Cara frontal y posterior			5977,16		1478,29		Perpendicular	2,97		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,70%	472,48	5582,02	5550,35	1397,77	1415,92	Paralelo	15,38		
			Cara frontal y posterior			5518,68		1434,07		Perpendicular	2,77		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5617,88	5679,55	1386,98	1407,47	Paralelo	16,11		
			Cara frontal y posterior			5741,22		1411,42		Perpendicular	2,69		
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,26%	468,69	5582,02	5550,35	1397,77	1415,92	Paralelo	15,49		
			Cara frontal y posterior			5518,68		1434,07		Perpendicular	2,79		
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5617,88	5679,55	1386,98	1407,47	Paralelo	16,22		
			Cara frontal y posterior			5741,22		1411,42		Perpendicular	2,70		

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,050	3,088	5,197	1,611
		Ultrasonic Timer		12,314	3,052		1,623
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,232	3,139	5,230	1,595
		Ultrasonic Timer		12,516	3,102		1,607
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,747	2,997	5,230	1,670
		Ultrasonic Timer		12,021	2,979		1,683
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,842	3,021	5,272	1,670
		Ultrasonic Timer		12,118	3,003		1,683

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,980	3,902
			Cara frontal y posterior	3,825	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,026	4,035
			Cara frontal y posterior	4,043	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,970	3,897
			Cara frontal y posterior	3,825	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,026	4,035
			Cara frontal y posterior	4,043	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,994	3,921
			Cara frontal y posterior	3,848	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,050	4,036
			Cara frontal y posterior	4,021	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,994	3,921
			Cara frontal y posterior	3,848	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,050	4,036
			Cara frontal y posterior	4,021	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,031	1,087
Cara frontal y posterior	1,143	
Cara superior e inferior	1,031	
Cara frontal y posterior	1,143	



Resultados obtenidos en los ensayos											

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,87%	420,55	5450,86	5378,43	1272,77	1385,12	Paralelo	12,73
			Cara frontal y posterior			5305,99		1497,47		Perpendicular	2,66
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5467,29	5497,24	1298,83	1385,58	Paralelo	13,29
			Cara frontal y posterior			5527,19		1455,64		Perpendicular	2,51
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,83%	418,90	5469,91	5404,03	1280,49	1393,51	Paralelo	12,95
			Cara frontal y posterior			5338,15		1506,54		Perpendicular	2,70
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5500,43	5530,56	1306,70	1385,58	Paralelo	13,57
			Cara frontal y posterior			5560,69		1464,47		Perpendicular	2,55
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,87%	418,28	5302,06	5238,21	1233,75	1342,66	Paralelo	12,04
			Cara frontal y posterior			5174,35		1451,56		Perpendicular	2,50
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5331,64	5360,85	1259,01	1355,96	Paralelo	12,61
			Cara frontal y posterior			5390,05		1411,02		Perpendicular	2,36
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,83%	416,23	5302,06	5238,21	1233,75	1342,66	Paralelo	12,09
			Cara frontal y posterior			5174,35		1451,56		Perpendicular	2,51
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5331,64	5360,85	1259,01	1355,96	Paralelo	12,66
			Cara frontal y posterior			5390,05		1411,02		Perpendicular	2,37

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,789	3,294	6,274	2,124
		Ultrasonic Timer		13,072	3,275		2,088
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,901	3,327	6,299	2,112
		Ultrasonic Timer		13,203	3,308		2,075
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,523	3,210	6,308	2,192
		Ultrasonic Timer		12,816	3,242		2,154
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,585	3,226	6,339	2,192
		Ultrasonic Timer		12,880	3,258		2,154

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,283	3,913
			Cara frontal y posterior	3,543	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,209	4,003
			Cara frontal y posterior	3,797	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,272	3,908	
		Cara frontal y posterior	3,543		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,209	4,003	
		Cara frontal y posterior	3,797		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,298	3,931
			Cara frontal y posterior	3,565	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,235	3,972
			Cara frontal y posterior	3,710	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,298	3,931
			Cara frontal y posterior	3,565	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,235	3,972
			Cara frontal y posterior	3,710	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,023	1,056
Cara frontal y posterior	1,090	
Cara superior e inferior	1,023	
Cara frontal y posterior	1,090	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D081		Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento	0 empalmes	8,45	17,20	10,10	105,20	462,372			
0	0	D066 (pino silvestre)											
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
Resistencia eléctrica		Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior		15,4	16,4	Derecha	116,167	Derecha	114,288	10 cm	28,167	10 cm	23,186	Derecha	1984
		16,5	16,7	Centro	111,667	Centro	113,183	15 cm	38,333	15 cm	33,714	Centro	2216
		15,4	15,3	Izquierda	112,667	Izquierda	115,825	20 cm	47,333	20 cm	44,550	Izquierda	2230
								25 cm	59,000	25 cm	54,050		
							30 cm	70,000	30 cm	64,571			
Cara inferior		16,4	17,3					10 cm	26,167	10 cm	23,371	Derecha	2480
		16,9	18,6					15 cm	35,143	15 cm	33,471	Centro	2542
		16,5	18					20 cm	45,667	20 cm	42,757	Izquierda	2638
								25 cm	56,857	25 cm	52,743		
						30 cm	65,833	30 cm	62,300				
Cara Frontal	16,8	17,2	Derecha	65,667	Derecha	63,300	10 cm	27,833	10 cm	24,229	Derecha	2434	
	16,4	18,7	Centro	57,833	Centro	57,267	15 cm	38,500	15 cm	35,171	Centro	4134	
	15,9	17,4	Izquierda	64,667	Izquierda	64,500	20 cm	47,667	20 cm	45,100	Izquierda	2634	
							25 cm	58,667	25 cm	56,275			
						30 cm	70,167	30 cm	65,950				
Cara Posterior	15,5	16					10 cm	26,571	10 cm	22,889	Derecha	2302	
	16,2	16,5					15 cm	35,833	15 cm	33,125	Centro	2548	
	16	15,3					20 cm	46,167	20 cm	42,986	Izquierda	2470	
							25 cm	57,000	25 cm	52,733			
							30 cm	66,333	30 cm	63,086			

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,16%	454,89	4983,99	4976,65	1556,86	1608,00	Paralelo	11,72
			Cara frontal y posterior			4969,31		1659,14		Perpendicular	3,51
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5103,02	5048,23	1543,88	1623,04	Paralelo	12,06
			Cara frontal y posterior			4993,44		1686,13		Perpendicular	3,62
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,95%	453,41	4996,77	4995,41	1564,61	1616,01	Paralelo	11,89
			Cara frontal y posterior			4994,05		1667,40		Perpendicular	3,56
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5128,43	5073,37	1551,56	1623,04	Paralelo	12,26
			Cara frontal y posterior			5018,30		1694,52		Perpendicular	3,67
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,16%	452,76	4870,25	4868,92	1515,85	1565,65	Paralelo	11,18
			Cara frontal y posterior			4867,59		1615,44		Perpendicular	3,32
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4998,57	4944,90	1503,21	1591,42	Paralelo	11,53
			Cara frontal y posterior			4891,23		1641,72		Perpendicular	3,43
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,95%	450,93	4870,25	4868,92	1515,85	1565,65	Paralelo	11,22
			Cara frontal y posterior			4867,59		1615,44		Perpendicular	3,33
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4998,57	4944,90	1503,21	1591,42	Paralelo	11,57
			Cara frontal y posterior			4891,23		1641,72		Perpendicular	3,44

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,940	3,535	5,608	1,508
		Ultrasonic Timer		11,098	3,550		1,521
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,017	3,564	5,626	1,501
		Ultrasonic Timer		11,189	3,580		1,514
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,754	3,458	5,634	1,549
		Ultrasonic Timer		10,922	3,515		1,563
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,798	3,472	5,657	1,549
		Ultrasonic Timer		10,966	3,529		1,563

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,201	3,098
			Cara frontal y posterior	2,995	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,305	3,133
			Cara frontal y posterior	2,961	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,194	3,094	
		Cara frontal y posterior	2,995		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,305	3,133	
		Cara frontal y posterior	2,961		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,213	3,113
			Cara frontal y posterior	3,013	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,325	3,119
			Cara frontal y posterior	2,912	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,213	3,113
			Cara frontal y posterior	3,013	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,325	3,119		
	Cara frontal y posterior	2,912			

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,054	1,049
Cara frontal y posterior	1,044	
Cara superior e inferior	1,054	
Cara frontal y posterior	1,044	



Resultados obtenidos en los ensayos

		</										

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,22%	479,45	5485,78	5386,82	1591,29	1573,14	Paralelo	14,34
			Cara frontal y posterior			5287,87		1555,00		Perpendicular	3,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5543,72	5509,81	1553,59	1563,08	Paralelo	15,00
			Cara frontal y posterior			5475,89		1508,64		Perpendicular	3,06
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,48%	473,08	5586,46	5492,37	1624,52	1605,99	Paralelo	15,33
			Cara frontal y posterior			5398,28		1587,46		Perpendicular	3,44
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5659,47	5624,85	1586,03	1563,08	Paralelo	16,08
			Cara frontal y posterior			5590,22		1540,14		Perpendicular	3,24
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	16,22%	477,18	5358,24	5267,99	1548,81	1531,15	Paralelo	13,80
			Cara frontal y posterior			5177,74		1513,49		Perpendicular	3,08
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5428,27	5395,06	1512,12	1505,59	Paralelo	14,47
			Cara frontal y posterior			5361,85		1468,36		Perpendicular	2,90
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,48%	469,22	5358,24	5267,99	1548,81	1531,15	Paralelo	14,00
			Cara frontal y posterior			5177,74		1513,49		Perpendicular	3,12
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5428,27	5395,06	1512,12	1505,59	Paralelo	14,68
			Cara frontal y posterior			5361,85		1468,36		Perpendicular	2,94

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,235	3,281	5,561	1,414
		Ultrasonic Timer		11,492	3,193		1,447
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,610	3,395	5,636	1,385
		Ultrasonic Timer		11,890	3,304		1,418
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		11,040	3,209	5,587	1,453
		Ultrasonic Timer		11,306	3,155		1,487
	Capacitivo	Microsecond Timer		11,227	3,263	5,682	1,453
		Ultrasonic Timer		11,498	3,209		1,487

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,447	3,424
			Cara frontal y posterior	3,401	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,568	3,599
			Cara frontal y posterior	3,630	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,439	3,420
			Cara frontal y posterior	3,401	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,568	3,599
			Cara frontal y posterior	3,630	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,460	3,440
			Cara frontal y posterior	3,421	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,590	3,583
			Cara frontal y posterior	3,577	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,460	3,440
			Cara frontal y posterior	3,421	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,590	3,583
			Cara frontal y posterior	3,577	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,128	1,200
Cara frontal y posterior	1,272	
Cara superior e inferior	1,128	
Cara frontal y posterior	1,272	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D064		Pino silvestre	GL-18	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	9,95	17,30	10,00	105,20	546,715			
0	0	D066 (pino silvestre)											
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
Resistencia eléctrica		Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior		19,1	23,6	Derecha	109,667	Derecha	108,857	10 cm	25,500	10 cm	26,800	Derecha	2070
		18,7	24,6	Centro	108,667	Centro	112,500	15 cm	35,500	15 cm	37,214	Centro	2220
		17,8	20,7	Izquierda	106,500	Izquierda	111,057	20 cm	47,167	20 cm	46,943	Izquierda	2334
								25 cm	56,500	25 cm	56,857		
							30 cm	66,667	30 cm	66,533			
Cara inferior		17,6	22,1					10 cm	27,500	10 cm	25,583	Derecha	3300
		18,3	25,2					15 cm	39,333	15 cm	36,957	Centro	3346
		17,6	23,1					20 cm	49,667	20 cm	47,733	Izquierda	3016
								25 cm	60,333	25 cm	58,157		
						30 cm	71,333	30 cm	69,200				
Cara Frontal	18	20,7	Derecha	61,667	Derecha	61,360	10 cm	26,333	10 cm	22,871	Derecha	2364	
	18,4	22,5	Centro	65,333	Centro	74,638	15 cm	35,000	15 cm	32,600	Centro	2968	
	18,2	21,5	Izquierda	67,667	Izquierda	73,100	20 cm	45,333	20 cm	41,900	Izquierda	2578	
							25 cm	53,857	25 cm	51,700			
						30 cm	64,500	30 cm	61,250				
Cara Posterior	18,3	23,4					10 cm	25,333	10 cm	23,900	Derecha	2370	
	18,4	25,4					15 cm	38,500	15 cm	37,375	Centro	3790	
	16,6	20,3					20 cm	45,500	20 cm	44,217	Izquierda	2024	
							25 cm	56,000	25 cm	54,586			
						30 cm	65,833	30 cm	63,500				

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,08%	533,63	4889,44	5113,02	1661,23	1632,83	Paralelo	14,53
			Cara frontal y posterior			5336,59		1604,44		Perpendicular	3,91
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4989,02	5181,79	1623,39	1610,94	Paralelo	14,92
			Cara frontal y posterior			5374,56		1503,06		Perpendicular	3,43
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	22,76%	523,60	5026,22	5262,84	1711,93	1682,67	Paralelo	16,04
			Cara frontal y posterior			5499,47		1653,40		Perpendicular	4,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5141,29	5339,94	1672,94	1610,94	Paralelo	16,52
			Cara frontal y posterior			5538,59		1548,94		Perpendicular	3,73
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,08%	530,09	4719,97	4942,18	1597,98	1570,67	Paralelo	13,74
			Cara frontal y posterior			5164,38		1543,36		Perpendicular	3,62
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4828,03	5014,57	1561,59	1523,18	Paralelo	14,14
			Cara frontal y posterior			5201,12		1445,84		Perpendicular	3,17
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	22,76%	517,31	4719,97	4942,18	1597,98	1570,67	Paralelo	13,99
			Cara frontal y posterior			5164,38		1543,36		Perpendicular	3,68
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4828,03	5014,57	1561,59	1523,18	Paralelo	14,41
			Cara frontal y posterior			5201,12		1445,84		Perpendicular	3,23

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,582	3,060	5,057	1,634
		Ultrasonic Timer		9,710	2,929		1,673
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,051	3,214	5,153	1,586
		Ultrasonic Timer		10,198	3,077		1,623
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,323	2,963	5,090	1,699
		Ultrasonic Timer		9,460	2,873		1,739
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,554	3,036	5,216	1,699
		Ultrasonic Timer		9,694	2,944		1,739

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,943	3,135
			Cara frontal y posterior	3,326	
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,073	3,324	
Cara frontal y posterior		3,576			
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,936	3,131	
		Cara frontal y posterior	3,326		
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,073	3,324		
	Cara frontal y posterior	3,576			
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,954	3,150
			Cara frontal y posterior	3,346	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,092	3,297
			Cara frontal y posterior	3,503	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	2,954	3,150
			Cara frontal y posterior	3,346	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,092	3,297		
	Cara frontal y posterior	3,503			

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,277	1,258
Cara frontal y posterior	1,240	
Cara superior e inferior	1,277	
Cara frontal y posterior	1,240	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D042		Abeto	GL-18	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	10,60	22,60	10,10	105,00	442,269		
0 21,9°C	D066 (pino silvestre)											
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
	19	22,7	Derecha	155,000	Derecha	161,845	10 cm	28,875	10 cm	24,063	Derecha	1812
	18,8	21	Centro	152,875	Centro	156,411	15 cm	39,857	15 cm	34,686	Centro	1846
	18,7	20,4	Izquierda	157,429	Izquierda	157,800	20 cm	50,444	20 cm	44,343	Izquierda	1656
							25 cm	60,500	25 cm	54,825		
							30 cm	72,125	30 cm	65,250		
	18,9	18,4					10 cm	28,375	10 cm	23,210	Derecha	2584
	19,4	19,8					15 cm	36,571	15 cm	31,978	Centro	2258
	19,1	21,5					20 cm	45,625	20 cm	40,600	Izquierda	2006
							25 cm	55,429	25 cm	49,278		
							30 cm	63,429	30 cm	58,289		
	19,2	21	Derecha	70,429	Derecha	74,338	10 cm	29,143	10 cm	25,422	Derecha	2230
	19,9	16,4	Centro	64,000	Centro	61,670	15 cm	39,500	15 cm	33,500	Centro	3252
	19,2	21,2	Izquierda	70,429	Izquierda	70,056	20 cm	48,143	20 cm	42,543	Izquierda	1904
							25 cm	56,714	25 cm	51,388		
							30 cm	66,286	30 cm	60,778		
	18,5	18,2					10 cm	29,143	10 cm	24,300	Derecha	2008
	19,3	19,9					15 cm	38,500	15 cm	33,133	Centro	2604
	18,9	20,2					20 cm	46,375	20 cm	42,400	Izquierda	2384
							25 cm	56,714	25 cm	51,500		
							30 cm	65,571	30 cm	60,956		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,08%	429,94	5360,21	5527,99	1524,58	1537,53	Paralelo	14,01
			Cara frontal y posterior			5695,77		1550,49		Perpendicular	2,97
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5508,45	5639,19	1490,24	1528,53	Paralelo	14,58
			Cara frontal y posterior			5769,93		1547,65		Perpendicular	2,96
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,06%	428,22	5382,30	5557,00	1534,19	1547,23	Paralelo	14,28
			Cara frontal y posterior			5731,70		1560,27		Perpendicular	3,02
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5543,20	5674,76	1499,64	1528,53	Paralelo	14,89
			Cara frontal y posterior			5806,33		1557,41		Perpendicular	3,01
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,08%	426,62	5143,45	5310,39	1457,32	1469,71	Paralelo	12,88
			Cara frontal y posterior			5477,34		1482,09		Perpendicular	2,71
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5297,21	5422,93	1424,50	1461,35	Paralelo	13,43
			Cara frontal y posterior			5548,66		1479,38		Perpendicular	2,70
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,06%	424,45	5143,45	5310,39	1457,32	1469,71	Paralelo	12,93
			Cara frontal y posterior			5477,34		1482,09		Perpendicular	2,72
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5297,21	5422,93	1424,50	1461,35	Paralelo	13,49
			Cara frontal y posterior			5548,66		1479,38		Perpendicular	2,71

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,858	3,576	5,145	1,329
		Ultrasonic Timer		13,116	3,533		1,361
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,977	3,613	5,166	1,321
		Ultrasonic Timer		13,252	3,569		1,353
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,447	3,445	5,185	1,390
		Ultrasonic Timer		12,711	3,425		1,424
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,511	3,463	5,211	1,390
		Ultrasonic Timer		12,776	3,443		1,424

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,516	3,595
			Cara frontal y posterior	3,674	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,696	3,712
			Cara frontal y posterior	3,728	
Unterweiser	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,508	3,591
			Cara frontal y posterior	3,674	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,696	3,712
			Cara frontal y posterior	3,728	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,529	3,613
			Cara frontal y posterior	3,696	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,719	3,711
			Cara frontal y posterior	3,704	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,529	3,613
			Cara frontal y posterior	3,696	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,719	3,711		
	Cara frontal y posterior	3,704			

Relación entre Xilohigrómetros Capacitativo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,087	1,052
Cara frontal y posterior	1,017	
Cara superior e inferior	1,087	
Cara frontal y posterior	1,017	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)	
D076	Pino silvestre	GL-28	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	9,75	17,30	10,10	105,00	531,432	

0
21,9°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	18,8	22,4	Derecha	117,714	Derecha	122,964	10 cm	32,429	10 cm	24,471	Derecha	2228
	20,2	27,9	Centro	119,125	Centro	119,844	15 cm	50,500	15 cm	36,472	Centro	2344
	19,5	25,9	Izquierda	117,714	Izquierda	119,689	20 cm	62,429	20 cm	51,886	Izquierda	2354
							25 cm	71,429	25 cm	62,875		
							30 cm	82,429	30 cm	74,890		
Cara inferior	19,1	27,2					10 cm	27,143	10 cm	25,036	Derecha	2786
	18,3	22,7					15 cm	36,571	15 cm	35,088	Centro	2534
	20,5	29,8					20 cm	47,000	20 cm	46,663	Izquierda	2340
							25 cm	56,714	25 cm	55,940		
							30 cm	66,125	30 cm	65,955		
Cara Frontal	19,5	27,7	Derecha	64,875	Derecha	59,700	10 cm	29,556	10 cm	23,770	Derecha	4464
	20,1	27,1	Centro	69,875	Centro	73,660	15 cm	39,286	15 cm	33,460	Centro	3696
	19,3	29,5	Izquierda	73,333	Izquierda	70,244	20 cm	48,250	20 cm	43,411	Izquierda	2914
							25 cm	57,556	25 cm	52,311		
							30 cm	67,667	30 cm	61,290		
Cara Posterior	18,6	26,9					10 cm	27,250	10 cm	24,970	Derecha	2186
	19,4	26,4					15 cm	37,750	15 cm	33,563	Centro	2904
	18,4	25,1					20 cm	46,125	20 cm	43,188	Izquierda	2024
							25 cm	57,429	25 cm	52,611		
							30 cm	64,714	30 cm	62,613		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,31%	516,12	4817,10	5162,20	1533,70	1531,60	Paralelo	14,33
			Cara frontal y posterior			5507,31		1529,50		Perpendicular	3,48
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4581,58	5057,26	1500,27	1610,52	Paralelo	13,75
			Cara frontal y posterior			5532,93		1571,84		Perpendicular	3,67
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	26,55%	501,33	5039,80	5407,04	1608,04	1605,84	Paralelo	16,79
			Cara frontal y posterior			5774,29		1603,64		Perpendicular	3,96
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4803,69	5302,41	1573,00	1610,52	Paralelo	16,15
			Cara frontal y posterior			5801,14		1648,04		Perpendicular	4,19
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,31%	512,01	4615,57	4951,90	1463,86	1461,85	Paralelo	13,47
			Cara frontal y posterior			5288,23		1459,85		Perpendicular	3,16
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4399,33	4856,08	1431,96	1481,72	Paralelo	12,96
			Cara frontal y posterior			5312,83		1500,26		Perpendicular	3,34
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	26,55%	492,77	4615,57	4951,90	1463,86	1461,85	Paralelo	13,84
			Cara frontal y posterior			5288,23		1459,85		Perpendicular	3,25
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4399,33	4856,08	1431,96	1481,72	Paralelo	13,31
			Cara frontal y posterior			5312,83		1500,26		Perpendicular	3,43

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,002	2,968	5,292	1,585
		Ultrasonic Timer		9,799	2,976		1,621
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,785	3,203	5,448	1,512
		Ultrasonic Timer		10,577	3,213		1,546
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		9,671	2,855	5,334	1,661
		Ultrasonic Timer		9,484	2,894		1,698
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,049	2,967	5,542	1,661
		Ultrasonic Timer		9,855	3,007		1,698

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,141	3,371
			Cara frontal y posterior	3,601	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,054	3,287
			Cara frontal y posterior	3,520	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,134	3,367
			Cara frontal y posterior	3,601	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,153	3,388
			Cara frontal y posterior	3,622	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,072	3,271
			Cara frontal y posterior	3,469	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,153	3,388
			Cara frontal y posterior	3,622	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,072	3,271
			Cara frontal y posterior	3,469	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,339	1,375
Cara frontal y posterior	1,411	
Cara superior e inferior	1,339	
Cara frontal y posterior	1,411	



Resultados obtenidos en los ensayos													
0 22,5°C	Código vigas		Materiales			Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
	D070	Pino silvestre	GL-24	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	10,65	17,30	10,10	105,00	580,487			
	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	17,6	21,2	Derecha	118,571	Derecha	117,538	10 cm	27,429	10 cm	24,575	Derecha	2790
		18,7	23,7	Centro	118,000	Centro	116,020	15 cm	39,000	15 cm	34,314	Centro	3370
		18,3	26,4	Izquierda	117,000	Izquierda	119,791	20 cm	49,571	20 cm	44,613	Izquierda	3194
								25 cm	61,000	25 cm	56,888		
								30 cm	70,714	30 cm	66,525		
	Cara inferior	18,3	24,2					10 cm	29,286	10 cm	24,389	Derecha	3438
		18,7	27,1					15 cm	40,750	15 cm	35,422	Centro	3200
		18,4	25,5					20 cm	53,000	20 cm	45,656	Izquierda	3224
								25 cm	63,500	25 cm	56,675		
								30 cm	75,000	30 cm	67,111		
	Cara Frontal	19,1	25,1	Derecha	64,714	Derecha	61,400	10 cm	27,429	10 cm	23,488	Derecha	2964
		19,4	25,4	Centro	70,000	Centro	88,956	15 cm	35,857	15 cm	33,375	Centro	3028
		19	28,6	Izquierda	71,714	Izquierda	69,156	20 cm	46,429	20 cm	42,913	Izquierda	3678
								25 cm	56,857	25 cm	52,762		
								30 cm	66,429	30 cm	62,250		
	Cara Posterior	18,8	25,6					10 cm	27,625	10 cm	23,400	Derecha	3356
		18,8	27,4					15 cm	38,286	15 cm	33,550	Centro	3040
		19,1	28,2					20 cm	48,000	20 cm	43,238	Izquierda	3674
								25 cm	59,000	25 cm	53,625		
								30 cm	68,143	30 cm	63,033		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,68%	565,20	4671,18	4919,61	1531,84	1533,26	Paralelo	14,19
			Cara frontal y posterior			5168,04		1534,68		Perpendicular	3,81
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4866,01	5076,14	1533,03	1574,34	Paralelo	15,10
			Cara frontal y posterior			5286,27		1475,16		Perpendicular	3,52
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	25,70%	549,45	4877,32	5143,36	1603,39	1604,87	Paralelo	16,52
			Cara frontal y posterior			5409,41		1606,36		Perpendicular	4,32
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5093,28	5313,22	1604,63	1574,34	Paralelo	17,63
			Cara frontal y posterior			5533,16		1544,06		Perpendicular	4,00
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,68%	561,09	4492,18	4737,22	1467,92	1469,28	Paralelo	13,43
			Cara frontal y posterior			4982,25		1470,64		Perpendicular	3,50
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4691,09	4893,66	1469,06	1429,62	Paralelo	14,33
			Cara frontal y posterior			5096,24		1413,61		Perpendicular	3,23
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	25,70%	540,72	4492,18	4737,22	1467,92	1469,28	Paralelo	13,80
			Cara frontal y posterior			4982,25		1470,64		Perpendicular	3,59
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4691,09	4893,66	1469,06	1429,62	Paralelo	14,72
			Cara frontal y posterior			5096,24		1413,61		Perpendicular	3,32

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,704	2,713	5,744	2,091
		Ultrasonic Timer		8,981	2,661		2,089
	Capacitivo	Microsecond Timer		9,361	2,921	5,908	1,997
		Ultrasonic Timer		9,670	2,865		1,996
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		8,443	2,619	5,786	2,182
		Ultrasonic Timer		8,722	2,548		2,180
	Capacitivo	Microsecond Timer		8,761	2,717	6,004	2,182
		Ultrasonic Timer		9,050	2,644		2,180

Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,049	3,208
			Cara frontal y posterior	3,367	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,174	3,379
			Cara frontal y posterior	3,584	
Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,042	3,205	
		Cara frontal y posterior	3,367		
	Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,174	3,379	
		Cara frontal y posterior	3,584		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,060	3,224
			Cara frontal y posterior	3,388	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,193	3,430
			Cara frontal y posterior	3,666	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,060	3,224
			Cara frontal y posterior	3,388	
Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,193	3,430		
	Cara frontal y posterior	3,666			

Relación Velocidades indirecto/directo		
Promedio	Promedio Total	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,346	1,375
Cara frontal y posterior	1,404	
Cara superior e inferior	1,346	
Cara frontal y posterior	1,404	



Resultados obtenidos en los ensayos

Código vigas	Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)
D035	Pino silvestre	GL-18	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	9,05	17,30	10,00	105,00	498,211

0
22°C

D066 (pino silvestre)												
Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
Cara superior	18,5	19,6	Derecha	116,857	Derecha	109,830	10 cm	33,125	10 cm	26,238	Derecha	2918
	19,4	22,1	Centro	117,571	Centro	113,330	15 cm	45,429	15 cm	38,400	Centro	2308
	18,3	20,7	Izquierda	118,625	Izquierda	114,433	20 cm	56,750	20 cm	49,488	Izquierda	2520
							25 cm	68,571	25 cm	60,413		
							30 cm	80,375	30 cm	72,210		
Cara inferior	18,5	20,7					10 cm	27,375	10 cm	22,900	Derecha	2314
	18,1	19,3					15 cm	38,286	15 cm	33,040	Centro	2312
	19,4	23,5					20 cm	47,286	20 cm	42,010	Izquierda	2192
							25 cm	57,429	25 cm	51,580		
							30 cm	67,143	30 cm	60,910		
Cara Frontal	18,6	20,7	Derecha	73,750	Derecha	64,260	10 cm	35,125	10 cm	26,300	Derecha	2730
	19,1	21,4	Centro	84,714	Centro	81,260	15 cm	47,429	15 cm	39,100	Centro	2342
	18,6	20,1	Izquierda	73,571	Izquierda	72,713	20 cm	55,625	20 cm	51,363	Izquierda	2818
							25 cm	64,571	25 cm	62,925		
							30 cm	73,714	30 cm	71,718		
Cara Posterior	18,2	18,3					10 cm	32,250	10 cm	27,911	Derecha	2626
	18,2	19,5					15 cm	44,125	15 cm	39,330	Centro	2108
	18,8	24,1					20 cm	55,250	20 cm	49,890	Izquierda	1892
							25 cm	65,429	25 cm	61,570		
							30 cm	74,714	30 cm	68,633		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,64%	485,18	4841,59	5015,33	1533,69	1444,20	Paralelo	12,90
			Cara frontal y posterior			5189,06		1354,71		Perpendicular	2,55
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5016,68	4889,06	1604,36	1547,44	Paralelo	12,26
			Cara frontal y posterior			4761,44		1447,39		Perpendicular	2,91
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,83%	480,87	4899,25	5080,82	1555,37	1464,61	Paralelo	13,50
			Cara frontal y posterior			5262,38		1373,86		Perpendicular	2,65
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5087,57	4958,15	1627,03	1547,44	Paralelo	12,85
			Cara frontal y posterior			4828,73		1467,84		Perpendicular	3,02
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	18,64%	481,67	4658,55	4831,20	1470,09	1384,31	Paralelo	11,99
			Cara frontal y posterior			5003,85		1298,53		Perpendicular	2,34
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4837,62	4714,56	1537,82	1465,61	Paralelo	11,42
			Cara frontal y posterior			4591,50		1387,36		Perpendicular	2,67
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,83%	476,21	4658,55	4831,20	1470,09	1384,31	Paralelo	12,10
			Cara frontal y posterior			5003,85		1298,53		Perpendicular	2,36
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			4837,62	4714,56	1537,82	1465,61	Paralelo	11,52
			Cara frontal y posterior			4591,50		1387,36		Perpendicular	2,69

Relaciones entre los Resultados							
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,337	2,977	4,995	1,582
		Ultrasonic Timer		10,077	3,145		1,512
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,566	3,046	5,039	1,560
		Ultrasonic Timer		10,311	3,218		1,491
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		10,030	2,874	5,031	1,651
		Ultrasonic Timer		9,788	3,043		1,577
	Capacitivo	Microsecond Timer		10,145	2,907	5,089	1,651
		Ultrasonic Timer		9,900	3,078		1,577

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,157	3,494
			Cara frontal y posterior	3,830	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,127	3,208
			Cara frontal y posterior	3,290	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,150	3,490
			Cara frontal y posterior	3,830	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,127	3,208
			Cara frontal y posterior	3,290	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,169	3,511
			Cara frontal y posterior	3,853	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,146	3,220
			Cara frontal y posterior	3,295	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,169	3,511
			Cara frontal y posterior	3,853	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,146	3,220
			Cara frontal y posterior	3,295	

	Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica	
	Promedio	Promedio Total
Cara superior e inferior	1,122	1,118
Cara frontal y posterior	1,113	
Cara superior e inferior	1,122	
Cara frontal y posterior	1,113	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D058		Abeto	GL-28	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	8,05	17,10	9,60	105,10	466,580			
0 23,1°C	D066 (pino silvestre)												
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos		
	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons		
	Cara superior	18,2	24,8	Derecha	125,000	Derecha	121,220	10 cm	26,857	10 cm	22,683	Derecha	2078
		18,1	23,4	Centro	122,857	Centro	117,356	15 cm	36,667	15 cm	32,722	Centro	1994
		19,7	28,7	Izquierda	123,875	Izquierda	120,720	20 cm	46,429	20 cm	41,290	Izquierda	2178
								25 cm	55,889	25 cm	50,420		
								30 cm	64,375	30 cm	59,967		
	Cara inferior	18,4	26,2					10 cm	27,000	10 cm	21,709	Derecha	2110
		19,8	28,3					15 cm	36,857	15 cm	30,838	Centro	2122
		20,1	28,3					20 cm	46,143	20 cm	39,967	Izquierda	2176
								25 cm	53,429	25 cm	48,167		
								30 cm	63,714	30 cm	57,210		
	Cara Frontal	18,4	26	Derecha	76,875	Derecha	73,644	10 cm	28,000	10 cm	24,091	Derecha	2182
		18,8	29,3	Centro	79,625	Centro	75,300	15 cm	38,000	15 cm	33,145	Centro	2398
		19,3	27,3	Izquierda	77,375	Izquierda	76,378	20 cm	46,429	20 cm	42,288	Izquierda	2264
								25 cm	56,667	25 cm	51,200		
								30 cm	66,000	30 cm	60,440		
	Cara Posterior	19,3	26					10 cm	27,500	10 cm	24,573	Derecha	2122
		18,6	23,6					15 cm	38,000	15 cm	33,764	Centro	2412
		19,3	27,3					20 cm	47,143	20 cm	42,982	Izquierda	2246
								25 cm	58,286	25 cm	53,020		
								30 cm	66,750	30 cm	62,700		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,00%	453,71	5657,15	5516,20	1443,10	1365,52	Paralelo	14,32
			Cara frontal y posterior			5375,24		1287,94		Perpendicular	2,16
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5758,07	5670,95	1493,28	1487,06	Paralelo	15,14
			Cara frontal y posterior			5583,84		1336,82		Perpendicular	2,33
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	26,60%	440,06	5931,15	5789,98	1516,54	1435,01	Paralelo	16,91
			Cara frontal y posterior			5648,80		1353,49		Perpendicular	2,48
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			6051,11	5959,56	1569,28	1487,06	Paralelo	17,91
			Cara frontal y posterior			5868,02		1404,85		Perpendicular	2,67
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	19,00%	450,25	5430,07	5300,82	1380,09	1305,90	Paralelo	13,54
			Cara frontal y posterior			5171,58		1231,71		Perpendicular	1,97
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5539,90	5456,09	1428,09	1358,66	Paralelo	14,34
			Cara frontal y posterior			5372,27		1278,46		Perpendicular	2,13
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	26,60%	432,52	5430,07	5300,82	1380,09	1305,90	Paralelo	13,93
			Cara frontal y posterior			5171,58		1231,71		Perpendicular	2,03
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5539,90	5456,09	1428,09	1358,66	Paralelo	14,76
			Cara frontal y posterior			5372,27		1278,46		Perpendicular	2,19

Relaciones entre los Resultados						
			Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
			Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	12,158	3,010	4,827	1,462
		Ultrasonic Timer	12,499	3,119		1,413
	Capacitivo	Microsecond Timer	13,157	3,261	4,977	1,391
		Ultrasonic Timer	13,543	3,379		1,345
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,773	2,900	4,864	1,529
		Ultrasonic Timer	12,118	3,018		1,478
	Capacitivo	Microsecond Timer	12,256	3,019	5,064	1,529
		Ultrasonic Timer	12,615	3,141		1,478

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,920	4,047
			Cara frontal y posterior	4,174	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,856	4,016
			Cara frontal y posterior	4,177	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,911	4,042
			Cara frontal y posterior	4,174	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,856	4,016
			Cara frontal y posterior	4,177	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,935	4,067
			Cara frontal y posterior	4,199	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,879	4,023
			Cara frontal y posterior	4,167	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,935	4,067
			Cara frontal y posterior	4,199	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,879	4,023
			Cara frontal y posterior	4,167	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,397	1,400
Cara frontal y posterior	1,403	
Cara superior e inferior	1,397	
Cara frontal y posterior	1,403	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D050		Abeto	GL-24	Sin Tratamiento Sumergida	5 empalmes	8,20	17,00	10,00	105,10	458,947		
0	0	D066 (pino silvestre)										
		Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos
Resistencia eléctrica		Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
18,1		20,5	Derecha	119,333	Derecha	122,643	10 cm	24,667	10 cm	22,600	Derecha	2006
18,5		20,3	Centro	122,667	Centro	121,914	15 cm	34,333	15 cm	32,486	Centro	1956
18,1		20,1	Izquierda	117,667	Izquierda	113,450	20 cm	44,000	20 cm	41,529	Izquierda	2212
							25 cm	53,143	25 cm	50,650		
							30 cm	65,333	30 cm	60,400		
18		22,2					10 cm	26,000	10 cm	24,667	Derecha	2484
18,6		23,9					15 cm	37,333	15 cm	35,443	Centro	2222
18,5		23,8					20 cm	47,000	20 cm	45,650	Izquierda	2420
							25 cm	57,000	25 cm	56,229		
						30 cm	65,667	30 cm	65,064			
Cara Frontal	17,2	21,7	Derecha	57,429	Derecha	59,643	10 cm	25,500	10 cm	22,600	Derecha	2254
	17,5	23,2	Centro	79,286	Centro	69,829	15 cm	33,833	15 cm	31,833	Centro	3394
	17,7	20,7	Izquierda	73,167	Izquierda	75,083	20 cm	44,333	20 cm	40,686	Izquierda	2014
							25 cm	52,667	25 cm	49,800		
							30 cm	62,833	30 cm	59,371		
Cara Posterior	18	25,2					10 cm	26,833	10 cm	24,250	Derecha	1738
	17,7	23,2					15 cm	38,000	15 cm	35,138	Centro	2680
	17,3	21,8					20 cm	46,833	20 cm	44,575	Izquierda	2224
							25 cm	58,000	25 cm	54,243		
							30 cm	69,333	30 cm	64,011		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,93%	448,24	5196,68	5207,51	1473,14	1492,89	Paralelo	12,66
			Cara frontal y posterior			5218,34		1512,64		Perpendicular	2,92
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5293,33	5365,27	1481,38	1551,41	Paralelo	13,44
			Cara frontal y posterior			5437,20		1537,31		Perpendicular	3,01
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	22,22%	440,50	5328,67	5346,21	1514,19	1534,49	Paralelo	13,86
			Cara frontal y posterior			5363,75		1554,79		Perpendicular	3,15
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5440,83	5514,77	1522,66	1551,41	Paralelo	14,75
			Cara frontal y posterior			5588,71		1580,15		Perpendicular	3,25
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,93%	445,33	5021,69	5038,22	1418,40	1437,42	Paralelo	11,97
			Cara frontal y posterior			5054,75		1456,43		Perpendicular	2,70
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5127,38	5197,06	1426,34	1490,35	Paralelo	12,74
			Cara frontal y posterior			5266,74		1480,19		Perpendicular	2,79
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	22,22%	435,50	5021,69	5038,22	1418,40	1437,42	Paralelo	12,18
			Cara frontal y posterior			5054,75		1456,43		Perpendicular	2,75
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5127,38	5197,06	1426,34	1490,35	Paralelo	12,96
			Cara frontal y posterior			5266,74		1480,19		Perpendicular	2,84

Relaciones entre los Resultados						
			Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
			Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,618	3,331	5,132	1,504
		Ultrasonic Timer	11,970	3,367		1,497
	Capacitivo	Microsecond Timer	12,137	3,483	5,222	1,463
		Ultrasonic Timer	12,519	3,522		1,456
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,313	3,228	5,165	1,562
		Ultrasonic Timer	11,670	3,347		1,554
	Capacitivo	Microsecond Timer	11,569	3,301	5,282	1,562
		Ultrasonic Timer	11,933	3,422		1,554

				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,528	3,489
			Cara frontal y posterior	3,450	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,573	3,555
			Cara frontal y posterior	3,537	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,519	3,484
			Cara frontal y posterior	3,450	
Ultrasonic Timer		Cara superior e inferior	3,573	3,555	
		Cara frontal y posterior	3,537		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,540	3,506
			Cara frontal y posterior	3,471	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,595	3,492
			Cara frontal y posterior	3,388	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	3,540	3,506
			Cara frontal y posterior	3,471	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	3,595	3,492
			Cara frontal y posterior	3,388	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,191	1,240
Cara frontal y posterior	1,288	
Cara superior e inferior	1,191	
Cara frontal y posterior	1,288	



Resultados obtenidos en los ensayos												
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)		
D024		Pino silvestre	GL-24	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	9,20	17,30	10,00	105,10	505,987		
0	D066 (pino silvestre)											
	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)				Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)				Arrancamiento tornillos	
0	Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Microsecond Timer		Ultrasonic Timer		Newtons	
Cara superior	18	20,9	Derecha	131,500	Derecha	129,986	10 cm	24,000	10 cm	21,100	Derecha	2542
	19,5	25,5	Centro	129,833	Centro	127,867	15 cm	33,333	15 cm	29,886	Centro	2556
	18,2	21,8	Izquierda	123,800	Izquierda	127,233	20 cm	42,000	20 cm	38,557	Izquierda	2720
							25 cm	50,833	25 cm	46,825		
							30 cm	59,000	30 cm	55,588		
Cara inferior	17,7	19,5					10 cm	27,333	10 cm	22,138	Derecha	2190
	17,9	20,5					15 cm	35,000	15 cm	31,250	Centro	2026
	17,9	20,4					20 cm	45,857	20 cm	41,383	Izquierda	2022
							25 cm	56,000	25 cm	51,471		
							30 cm	64,167	30 cm	60,450		
Cara Frontal	17,5	21,3	Derecha	75,000	Derecha	73,697	10 cm	24,000	10 cm	21,743	Derecha	2690
	18	21,9	Centro	70,667	Centro	72,333	15 cm	34,500	15 cm	30,600	Centro	2960
	17,6	20,5	Izquierda	74,714	Izquierda	72,438	20 cm	42,333	20 cm	38,357	Izquierda	2740
							25 cm	51,333	25 cm	47,075		
							30 cm	58,833	30 cm	55,813		
Cara Posterior	17,4	23,5					10 cm	24,667	10 cm	21,400	Derecha	2626
	18,2	25,1					15 cm	33,167	15 cm	30,071	Centro	2926
	16,9	21,4					20 cm	42,000	20 cm	38,586	Izquierda	2630
							25 cm	50,833	25 cm	47,086		
							30 cm	61,000	30 cm	55,886		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,90%	494,25	5689,00	5764,29	1400,24	1407,40	Paralelo	17,12
			Cara frontal y posterior			5839,58		1414,56		Perpendicular	2,81
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5667,81	5859,15	1399,58	1449,09	Paralelo	17,69
			Cara frontal y posterior			6050,49		1426,00		Perpendicular	2,86
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,86%	486,36	5820,52	5905,06	1436,21	1443,56	Paralelo	18,61
			Cara frontal y posterior			5989,60		1450,90		Perpendicular	3,02
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5813,42	6009,68	1435,54	1449,09	Paralelo	19,27
			Cara frontal y posterior			6205,93		1462,63		Perpendicular	3,06
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,90%	491,06	5497,99	5577,84	1348,49	1355,39	Paralelo	16,18
			Cara frontal y posterior			5657,70		1362,29		Perpendicular	2,61
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5491,28	5676,66	1347,86	1358,78	Paralelo	16,76
			Cara frontal y posterior			5862,04		1373,30		Perpendicular	2,65
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	21,86%	481,05	5497,99	5577,84	1348,49	1355,39	Paralelo	16,44
			Cara frontal y posterior			5657,70		1362,29		Perpendicular	2,65
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5491,28	5676,66	1347,86	1358,78	Paralelo	17,03
			Cara frontal y posterior			5862,04		1373,30		Perpendicular	2,69

Relaciones entre los Resultados						
			Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa
			Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,663	2,848	5,164	1,674
		Ultrasonic Timer	11,855	2,858		1,674
	Capacitivo	Microsecond Timer	12,141	2,968	5,248	1,632
		Ultrasonic Timer	12,357	2,979		1,632
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	11,359	2,760	5,198	1,738
		Ultrasonic Timer	11,560	2,767		1,738
	Capacitivo	Microsecond Timer	11,595	2,818	5,306	1,738
		Ultrasonic Timer	11,801	2,825		1,738

			Relación Velocidades indirecto/directo		
			Promedio	Promedio Total	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,063	4,096
			Cara frontal y posterior	4,128	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,050	4,146
			Cara frontal y posterior	4,243	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,053	4,090
			Cara frontal y posterior	4,128	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,050	4,146
			Cara frontal y posterior	4,243	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,077	4,115
			Cara frontal y posterior	4,153	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,074	4,177
			Cara frontal y posterior	4,280	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,077	4,115
			Cara frontal y posterior	4,153	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,074	4,177
			Cara frontal y posterior	4,280	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio		Promedio Total
Cara superior e inferior	1,178	1,222
Cara frontal y posterior	1,266	
Cara superior e inferior	1,178	
Cara frontal y posterior	1,266	



Resultados obtenidos en los ensayos													
Código vigas		Materiales				Masa (Kg)	Anchura (cm)	Canto (cm)	Longitud (cm)	Peso específico (kg/m3)			
D029		Pino silvestre	GL-28	Tanalizado Sumergida	5 empalmes	8,05	17,20	9,80	105,10	454,400			
D066 (pino silvestre)													
0	0	Humedad (%)		Medida Directa por Ultrasonidos (microsegundos)			Medida Indirecta por Ultrasonidos (microsegundos)			Arrancamiento tornillos			
		Resistencia eléctrica	Capacitivo	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer	Microsecond Timer		Ultrasonic Timer	Newtons			
Cara superior		17,5	20,1	Derecha	128,857	Derecha	133,733	10 cm	23,500	10 cm	21,200	Derecha	2462
		17,7	23,2	Centro	127,500	Centro	136,271	15 cm	32,000	15 cm	29,843	Centro	2732
		17,3	20,9	Izquierda	141,833	Izquierda	139,843	20 cm	40,000	20 cm	38,671	Izquierda	2638
								25 cm	48,667	25 cm	47,988		
								30 cm	58,000	30 cm	55,350		
Cara inferior		17,5	20,7					10 cm	23,333	10 cm	23,700	Derecha	1754
		16,7	19,5					15 cm	31,833	15 cm	30,929	Centro	2546
		18,2	24,6					20 cm	42,000	20 cm	41,150	Izquierda	1786
								25 cm	51,333	25 cm	49,975		
								30 cm	59,833	30 cm	58,686		
Cara Frontal		17,7	18,1	Derecha	71,286	Derecha	76,688	10 cm	27,000	10 cm	25,200	Derecha	1600
		17,7	18,7	Centro	67,667	Centro	87,671	15 cm	35,167	15 cm	34,767	Centro	1472
		17,3	20,7	Izquierda	71,000	Izquierda	77,009	20 cm	46,000	20 cm	44,029	Izquierda	2514
								25 cm	55,833	25 cm	53,271		
								30 cm	63,500	30 cm	62,543		
Cara Posterior		17,4	18,1					10 cm	24,286	10 cm	22,830	Derecha	1888
		18	21					15 cm	33,333	15 cm	32,060	Centro	1882
		17,6	18,7					20 cm	43,333	20 cm	41,063	Izquierda	1576
								25 cm	52,286	25 cm	49,938		
								30 cm	60,000	30 cm	59,263		

Resultados corregidos											
				Humedad	Peso específico medio (kg/m3)	Velocidades indirectas (m/s)		Velocidades directas (m/s)		Modulo de Elasticidad (Gpa)	
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,55%	444,49	5803,44	5700,44	1345,70	1398,67	Paralelo	15,08
			Cara frontal y posterior			5597,43		1451,65		Perpendicular	2,66
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5870,70	5735,41	1304,86	1309,08	Paralelo	15,27
			Cara frontal y posterior			5600,13		1266,88		Perpendicular	2,02
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,36%	439,43	5893,36	5795,92	1369,99	1423,92	Paralelo	15,98
			Cara frontal y posterior			5698,47		1477,85		Perpendicular	2,79
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5976,67	5838,95	1328,42	1309,08	Paralelo	16,22
			Cara frontal y posterior			5701,22		1289,75		Perpendicular	2,12
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	17,55%	441,79	5620,99	5528,05	1298,84	1349,97	Paralelo	14,25
			Cara frontal y posterior			5435,11		1401,10		Perpendicular	2,47
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5700,45	5569,09	1259,43	1228,64	Paralelo	14,46
			Cara frontal y posterior			5437,73		1222,77		Perpendicular	1,88
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	20,36%	435,41	5620,99	5528,05	1298,84	1349,97	Paralelo	14,42
			Cara frontal y posterior			5435,11		1401,10		Perpendicular	2,50
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior			5700,45	5569,09	1259,43	1228,64	Paralelo	14,63
			Cara frontal y posterior			5437,73		1222,77		Perpendicular	1,90

Relaciones entre los Resultados									
				Relación velocidad indirecta / peso específico	Relación velocidad directa / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / peso específico	Relación arrancamiento de tornillos / velocidad directa		
				Promedio	Promedio	Promedio	Promedio		
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,825	3,147	4,659	1,724		
		Ultrasonic Timer		12,903	2,893		1,779		
	Capacitivo	Microsecond Timer		13,190	3,240	4,713	1,694		
		Ultrasonic Timer		13,288	2,979		1,747		
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer		12,513	3,056	4,687	1,787		
		Ultrasonic Timer		12,606	2,781		1,843		
	Capacitivo	Microsecond Timer		12,696	3,100	4,756	1,787		
		Ultrasonic Timer		12,790	2,822		1,843		

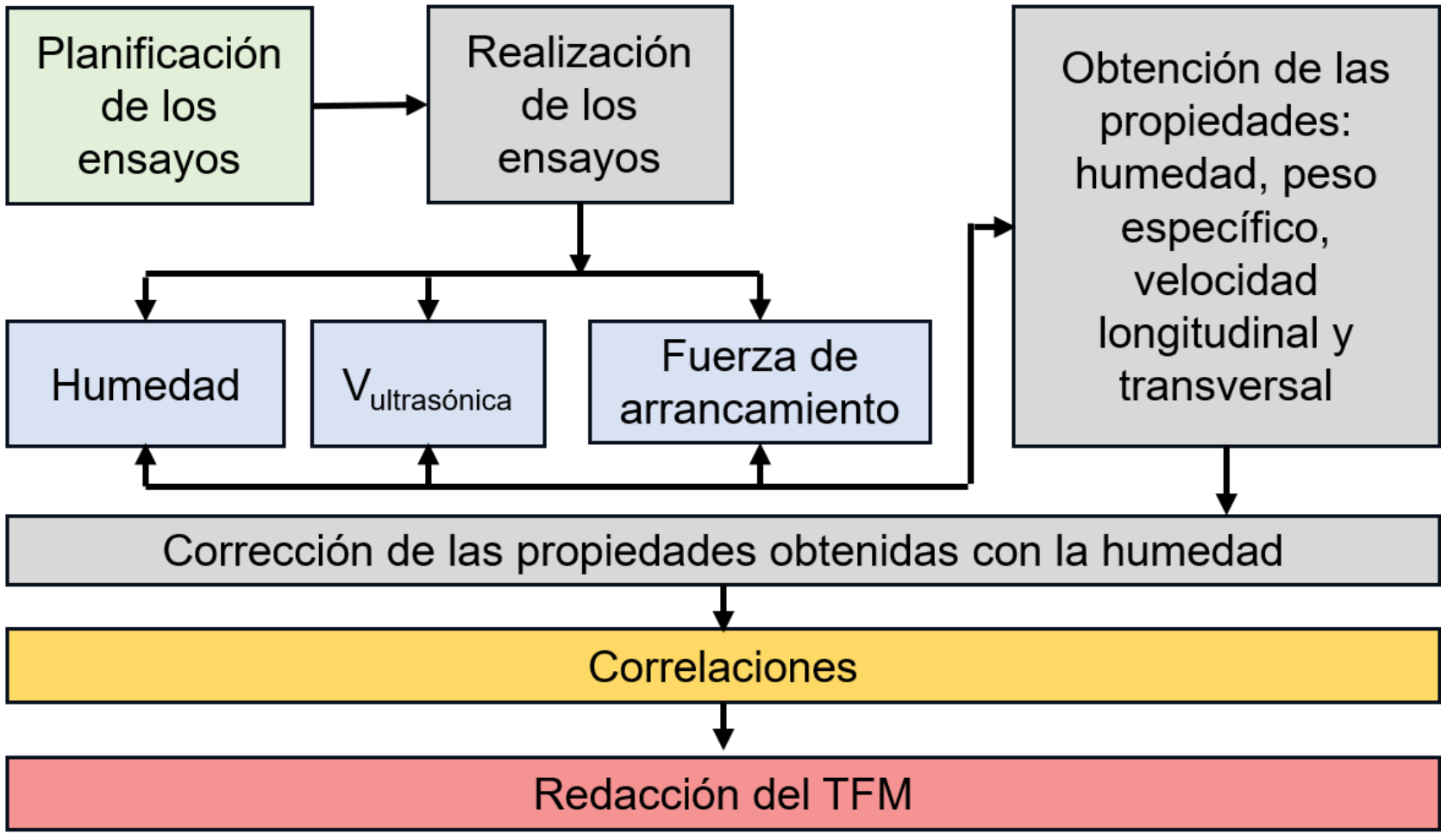
				Relación Velocidades indirecto/directo	
				Promedio	Promedio Total
Unterweiser	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,313	4,084
			Cara frontal y posterior	3,856	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,499	4,460
			Cara frontal y posterior	4,420	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,302	4,079
			Cara frontal y posterior	3,856	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,499	4,460
			Cara frontal y posterior	4,420	
UNE	Resistencia eléctrica	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,328	4,103
			Cara frontal y posterior	3,879	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,526	4,533
			Cara frontal y posterior	4,540	
	Capacitivo	Microsecond Timer	Cara superior e inferior	4,328	4,103
			Cara frontal y posterior	3,879	
		Ultrasonic Timer	Cara superior e inferior	4,526	4,533
			Cara frontal y posterior	4,540	

Relación entre Xilohigrómetros Capacitivo / Resistencia eléctrica		
Promedio	Promedio Total	
Cara superior e inferior	1,230	1,160
Cara frontal y posterior	1,091	
Cara superior e inferior	1,230	
Cara frontal y posterior	1,091	

DIAGNÓSTICO NO-LIGERAMENTE DESTRUCTIVO DE ESTRUCTURAS GLULAM MEDIANTE PROPAGACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS Y ARRANCAMIENTO DE TORNILLOS

1. Objetivo general y Metodología del TFM

El objetivo general se centra en la determinación de algunas de las características más importantes de las estructuras de madera laminada, tales como el peso específico, el módulo de elasticidad, la velocidad de la propagación de las ondas y el peso específico, con el fin de analizar posibles correlaciones entre las propiedades obtenidas por diferentes métodos de ensayo, y determinar la posibilidad de predecir el comportamiento estructural del Glulam sin necesidad de aplicar todas las pruebas en cada muestra.



2. Resumen del Estado del Arte

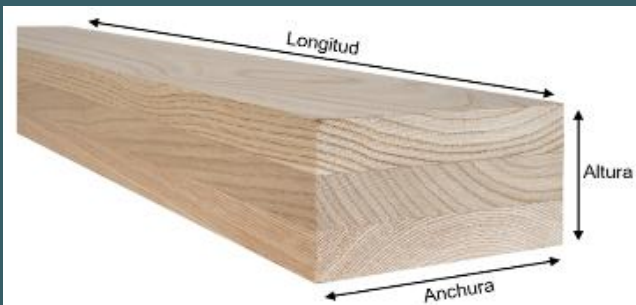
Glulam se compone de láminas de madera aserrada unidas con adhesivo. Aprovecha las propiedades de la madera maciza, pero con mayor uniformidad y resistencia estructural. A la hora de realizar los análisis se aplican dos normativas:

- Unterweiser propone métodos de corrección estadística para ajustar resultados de ensayos a escala real. Es útil cuando se trabaja con muestras pequeñas o no representativas.
- UNE-EN 384:2016+A1 regula cómo obtener propiedades mecánicas características de la madera estructural. Incluye correcciones por tamaño, forma y condiciones de ensayo.

3. Probetas empleadas

Para la realización de los ensayos se han empleado un total de 48 vigas, subdivididas en tres clases atendiendo a su categoría resistente (GL18, GL24 y GL 28.) y de las cuales una de cada ha sido sometida previamente a 304 días de inmersión en agua dulce a 20°C. Los materiales de los que se conforman son:

- Pino Silvestre sin tratamiento
- Pino Silvestre tanalizado
- Abeto sin tratamiento

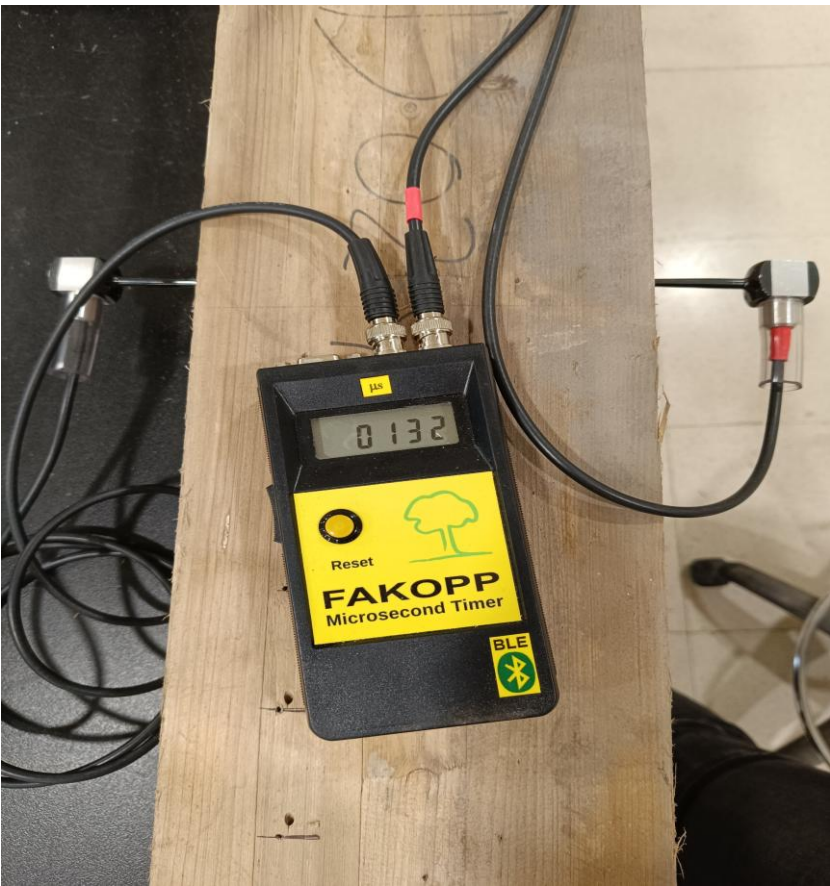


4. Equipos empleados para la realización de los ensayos

Xilohigrómetros: son aparatos avanzados diseñados para medir el contenido de humedad de manera precisa y eficiente, por medio del estudio del comportamiento del material frente al paso de la corriente eléctrica. Para la realización de las mediciones se emplearon dos variantes: resistencia eléctrica (hincado) y el capacitivo (meramente apoyado).

Aparatos de ultrasonidos: miden el tiempo de vuelo de una onda entre el emisor y el receptor, pudiendo a partir de ellos extrapolar la velocidad y el módulo de elasticidad del material. Se han empleado dos: el primero es el Microsecond Timer de hincado y accionamiento manual y el segundo es el Ultrasonic Timer, de atornillado y emite las ondas de forma autónoma.

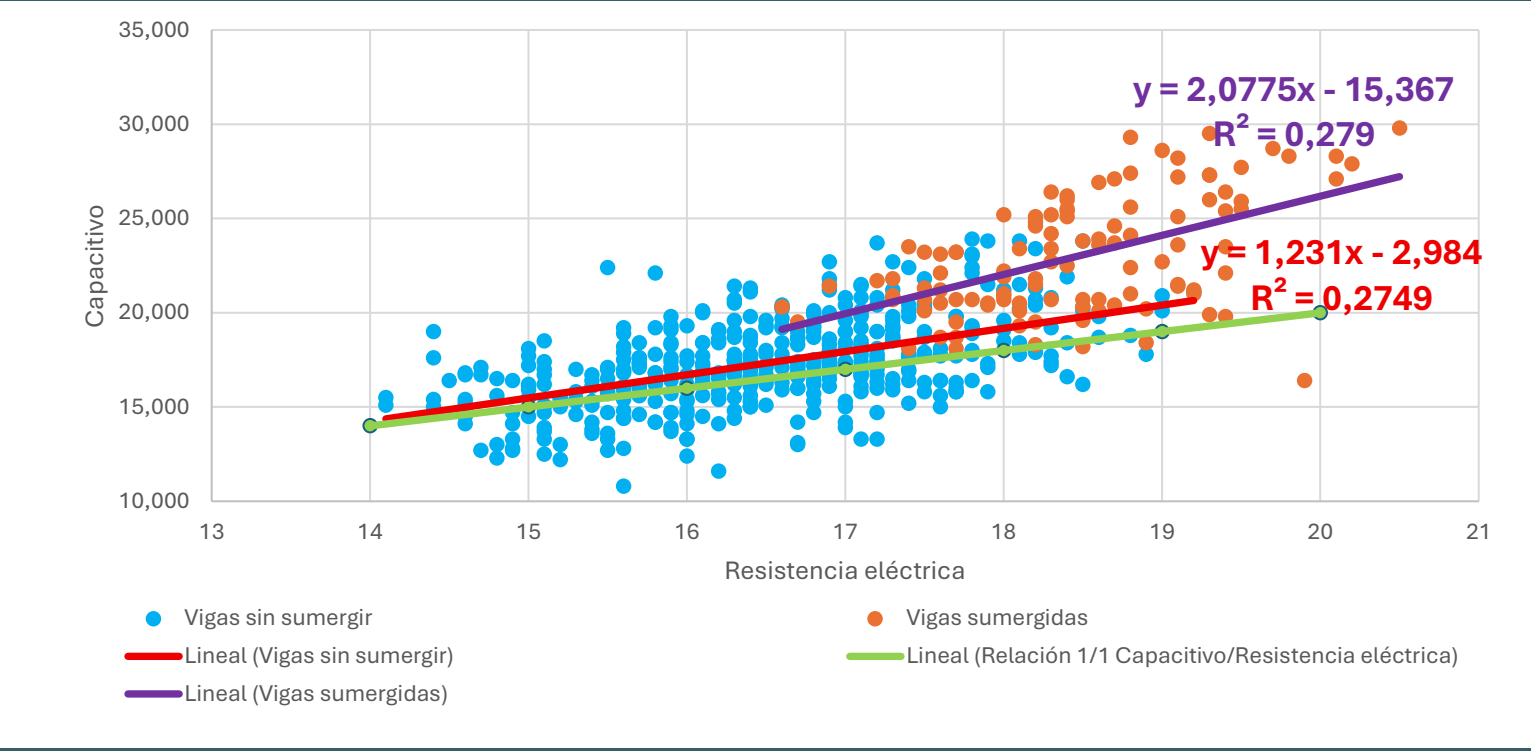
Arrancador de tornillos: correlaciona la resistencia mecánica de la viga frente al arrancado de un tornillo frente a sus propiedades (peso específico, velocidades transversales y longitudinales)



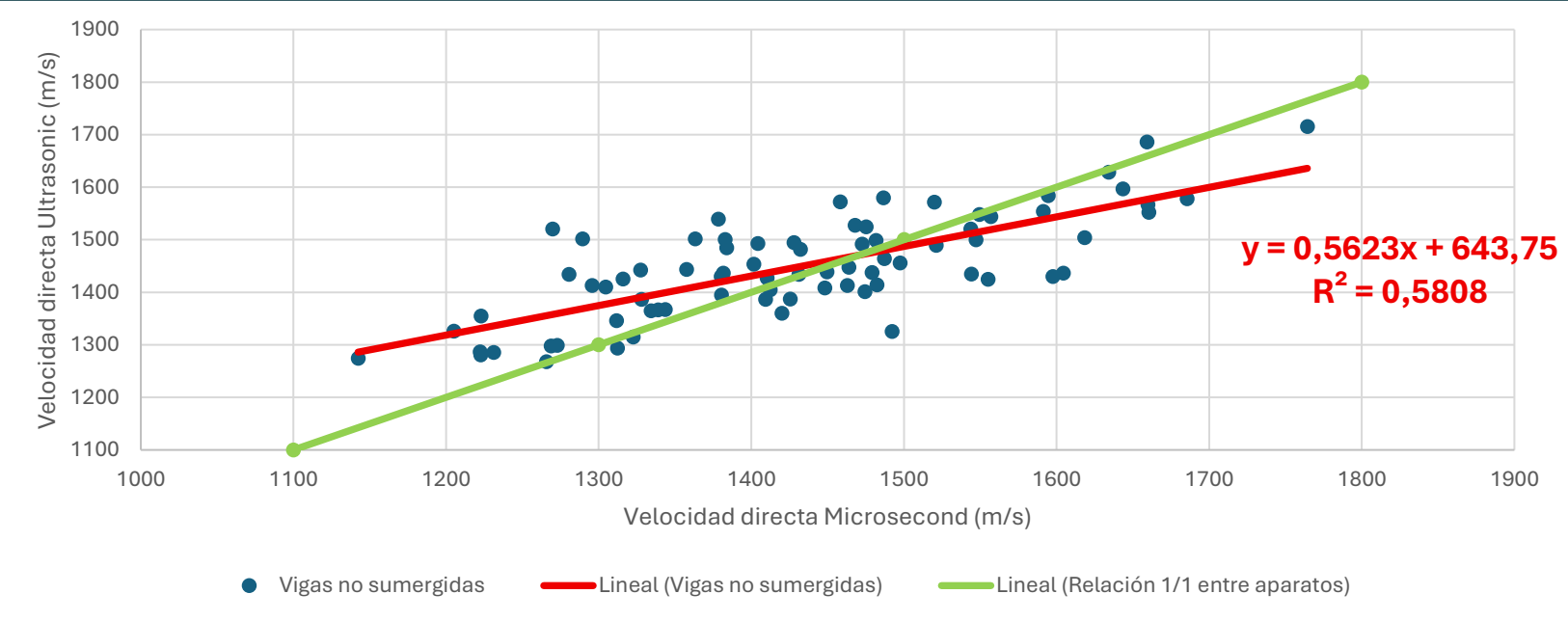
5. Resultados obtenidos y Conclusiones

A continuación, se procederá a describir las correlaciones y conclusiones más relevantes obtenidas a través de la regresión de funciones lineales y la relación entre parámetros:

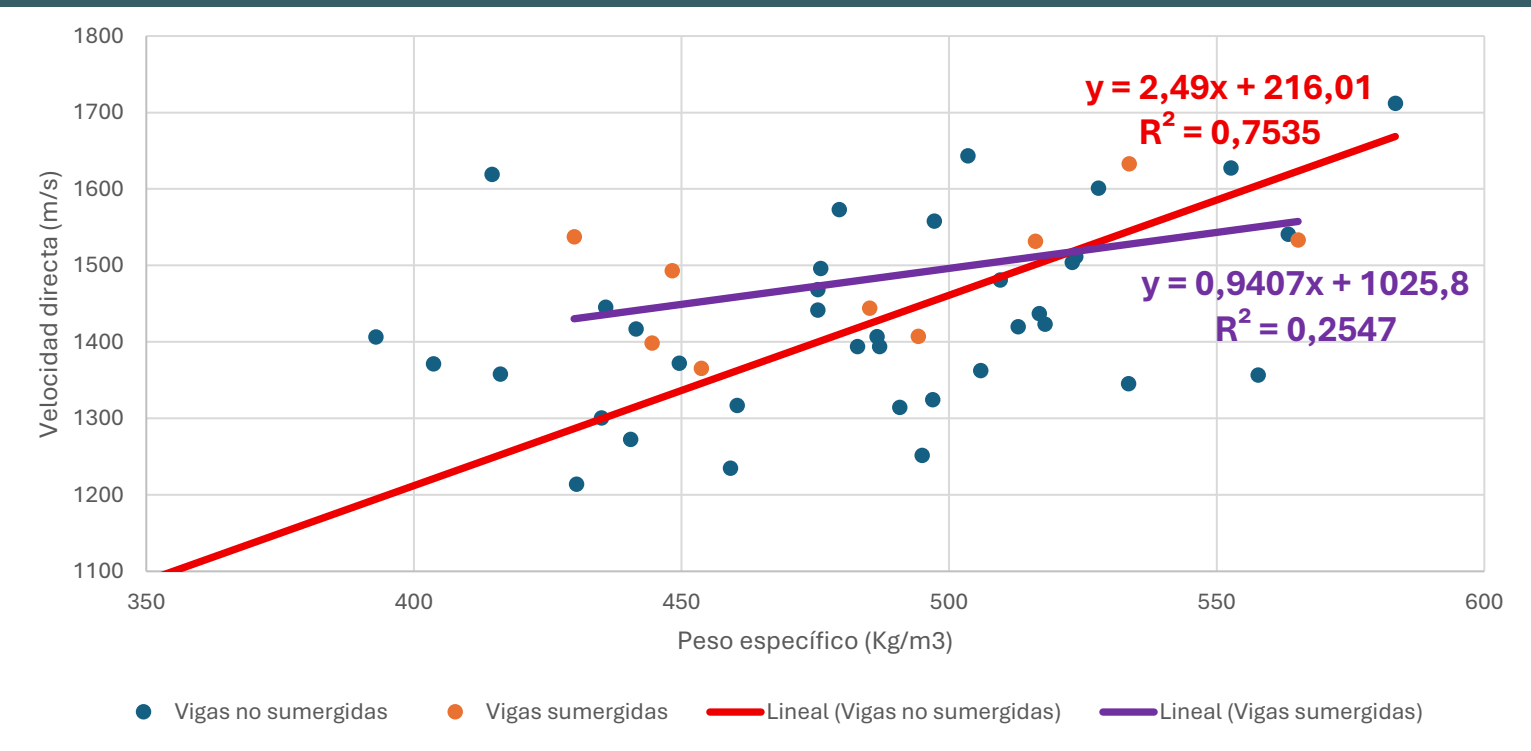
Comparación de xilohigrómetros: se detectó baja correlación entre los métodos eléctrico y capacitivo para medir humedad, siendo este último propenso a sobreestimar, especialmente en pino silvestre y con humedades superiores al 16 %. La sobreestimación se intensificó en vigas sin tratamiento tras su inmersión.



Velocidad ultrasónica: las velocidades longitudinales (indirectas) fueron entre 3,3 y 3,9 veces mayores que las transversales (directas), reflejando el carácter ortotrópico y anisotrópico de la madera. Las vigas tratadas y el abeto mostraron velocidades longitudinales más altas que las no tratadas, mientras que, tras la inmersión, las velocidades transversales aumentaron ligeramente en maderas sin tratar; las longitudinales se mantuvieron estables.



Relación con el peso específico: se observó que la velocidad directa presentaba una correlación aceptable con este en maderas secas, pero afectada por el contenido de humedad en maderas sumergidas. En el caso de las velocidades indirectas no se detectó ninguna correlación significativa con el peso específico. Finalmente, para el arrancamiento de tornillos la correlación es débil en vigas secas, pero alta (R² = 0,91) en vigas sumergidas, con incrementos inesperados de hasta el 30%.



Fuerza de arrancamiento y propiedades: en vigas secas no hubo relación clara entre la fuerza de arrancamiento y el peso específico. En las sumergidas, sí se halló una fuerte correlación (R² = 0,91), con mejoras destacadas en pino sin tratar. La velocidad transversal mostró una correlación débil pero más estable con la fuerza, mejorando en pino y empeorando en abeto

