

ÍNDICE

ÍNDICE	1
1. RESUMEN	3
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1. La madera como elemento estructural	7
2.2. Ensayos no destructivos (END) aplicados a la madera	11
2.2.1. Métodos mecánicos	13
2.2.2. Métodos acústicos	16
2.2.3. Métodos electromagnéticos	18
2.2.4. Métodos nucleares	19
2.3. Termografía infrarroja	19
2.3.1. Origen y evolución de la tecnología	20
2.3.2. Procedimiento del ensayo termográfico	21
2.3.3. Aplicaciones y técnicas basadas en la termografía infrarroja	22
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	23
3.1. Justificación de hipótesis	23
3.2. Objetivos	24
4. MATERIAL Y MÉTODOS	25
4.1. Introducción	25
4.2. Propiedades termofísicas y caracterización de la madera	25
4.3. Medios, instrumental y materiales del procedimiento experimental	28
4.3.1. Equipo humano	28
4.3.2. Medios e instrumental	28
4.3.3. Material ensayado	30
4.4. Metodología del procedimiento experimental	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1. Estadística descriptiva	34
5.1.1. Samba	34
5.1.2. Abeto	34
5.1.3. Pino	35
5.1.4. Iroko	35
5.1.5. Haya	35
5.1.6. Bubinga	35
5.1.7. Elondo	36
5.2. Comparación de los espesores	37
5.2.1. Samba	37
5.2.2. Abeto	38
5.2.3. Pino	39
5.2.4. Iroko	40
5.2.5. Haya	41
5.2.6. Bubinga	42
5.2.7. Elondo	43
5.3. Comparación de las especies	44
5.3.1. Grosor 25 mm	44
5.3.2. Grosor 50 mm	45
5.3.3. Grosor 70 mm	46
5.4. Anova multifactorial	47
5.5. Análisis componentes de la varianza	48
5.6. Modelización según grosores y especies	48
5.7. Modelo lineal general	53
6. CONCLUSIONES	54
7. ANEXOS	55
7.1. Condiciones ambientales del laboratorio	55
7.2. Humedad de equilibrio hidrosκόpico de la madera	76
7.3. Comparación de las muestras	77
7.3.1. Samba (25, 50, 70)	78
7.3.2. Abeto (25, 50, 70)	80
7.3.3. Pino (25, 50, 70)	82

7.3.4.	Iroko (25, 50, 70)	84
7.3.5.	Haya (25, 50, 70).....	86
7.3.6.	Bubinga (25, 50, 70).....	88
7.3.7.	Elondo (25, 50, 70).....	90
7.4.	Análisis de residuos de regresiones	93
7.4.1.	Samba (25, 50, 70).....	93
7.4.2.	Abeto (25, 50, 70).....	94
7.4.3.	Pino (25, 50, 70)	94
7.4.4.	Iroko (25, 50, 70)	95
7.4.5.	Haya (25, 50, 70).....	95
7.4.6.	Bubinga (25, 50, 70).....	96
7.4.7.	Elondo (25, 50, 70).....	96
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	97

1. RESUMEN

El trabajo de investigación que a continuación se desarrolla estudia, de un modo fundamentalmente cualitativo, el potencial y la capacidad de la termografía infrarroja (TI) en la estimación de la densidad de la madera, con el objetivo de ampliar las prestaciones de esta técnica.

Este sistema instrumental y no destructivo se ha empezado a utilizar en la inspección de estructuras de madera desde hace escaso tiempo. Sin embargo, debido al alto rendimiento que ofrecen otras técnicas, los progresos en esta técnica se han ralentizado.

En este trabajo se analizan conjuntamente los principios físicos de la TI y de la transmisión de calor y se propone como hipótesis el desarrollo de esta vía para incrementar las aplicaciones de esta técnica.

Los ensayos realizados se han llevado a cabo sobre una serie de probetas de diversas especies de madera representativas, en general, del amplio surtido existente en la naturaleza y también en el mercado: samba, abeto, pino, iroko, haya, bubinga y elondo.

Se ha fijado como objetivo fundamental la estimación del valor de la densidad en la madera, una de las principales propiedades para determinar la calidad de la madera junto con la resistencia y rigidez.

El análisis de los resultados obtenidos revela que la TI ofrece una alternativa muy interesante para la estimación de la densidad y, por tanto, de la calidad de la madera.

Se propone, finalmente, una metodología para la aplicación práctica de la TI en la estimación de la densidad de la madera.

2. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la utilización de la madera como material estructural ya es una realidad. Después de sufrir un largo periodo de abandono motivado por la expectación que generó la aparición de nuevos materiales con excelentes prestaciones mecánicas, el uso de la madera ha vuelto a reactivarse. La novedad que supuso la entrada en el mercado de la construcción del acero laminado y el hormigón armado desplazó definitivamente la atención de los investigadores hacia estos nuevos materiales, desatendiendo, si no despreciando, el extraordinario servicio prestado por la madera hasta el momento.

Este renacimiento se podría deber, en parte, a la recuperación del valor que históricamente ha tenido la madera, merced a la gran trascendencia que está adquiriendo el Patrimonio Cultural y la restauración arquitectónica. No obstante, debido a su naturaleza biológica, las propiedades de la madera pueden verse alteradas y las patologías de origen biótico como los hongos xilófagos o los insectos sociales (termitas) asociadas a un alto contenido de humedad pueden degradar su estructura provocando una merma de densidad y un descenso de su resistencia. Esta problemática, muy extendida en estructuras antiguas, y la necesidad de localizar las zonas afectadas, cuando el deterioro no es superficial, ha llevado a los investigadores a experimentar con técnicas que posibiliten el desarrollo de una metodología de trabajo para enfrentarnos a tales situaciones, con el objetivo de establecer un diagnóstico adecuado del estado de deterioro de una estructura. En ese contexto se encuadra, a priori, la termografía de infrarrojos, como técnica de inspección no destructiva que permite localizar defectos situados debajo de la superficie sin necesidad de establecer un contacto con la superficie a inspeccionar.

Para la conservación y recuperación de estas piezas estructurales se requiere, lógicamente, una caracterización previa de la madera que proporcione los datos de juicio indispensables para examinar su integridad física, dictaminar sobre su capacidad portante y evaluar, en definitiva, su seguridad y viabilidad. Es aquí donde tropezamos con una de las dificultades más significativas del trabajo, estimar las propiedades físicas de un material cuyo origen orgánico le confiere una gran variabilidad, incertidumbre que se mantiene incluso en la elaboración de los nuevos elementos estructurales. Mientras que en el resto de materiales alternativos, las propiedades resistentes pueden ser estrechamente controladas en el proceso de producción, en la madera vienen dadas por la propia naturaleza y hay que averiguarlas.

Aunque existen diversos sistemas de clasificación mecánica y otros basados en visión artificial, en el estado presente del conocimiento, el procedimiento más extendido en la actualidad para la determinación de las propiedades elastomecánicas de la madera, de acuerdo al sistema de clases resistentes normalizado a nivel europeo por la norma UNE-EN 338: 2003, es la clasificación visual. A partir de ciertas reglas y limitaciones, definidas en España por las normas UNE 56544: 2007 (coníferas) y UNE 56546: 2007 (frondosas), se establece la calidad de la madera¹ a la que se asigna, junto con su especie de procedencia, la correspondiente clase resistente; todas ellas definidas por una serie de propiedades de resistencia, rigidez y densidad.

¹ La norma UNE 56544: 2007 "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas", aplicada en España distingue dos calidades para las piezas con grosor menor o igual a 70 mm, la ME-1 o madera estructural de calidad alta y la ME-2 o madera estructural de calidad normal, y una única calidad para las piezas con espesor mayor que 70 mm, la MEG.

Sin embargo, en los últimos 25 años se ha producido un acelerado desarrollo de las técnicas denominadas no destructivas, proceso iniciado a comienzos del siglo XX, que ha permitido evaluar objetivamente las propiedades físicas de la madera y contrastarlas con los valores deducidos por el método visual. Estos procedimientos instrumentales posibilitan la determinación de las propiedades elásticas y resistentes, por tanto, su clasificación estructural, de un modo automático o semiautomático, eliminando cualquier criterio subjetivo que sí conlleva el sistema visual. Los buenos y estimulantes resultados alcanzados por estas técnicas las están convirtiendo no sólo en un excelente complemento de la clasificación visual, sino que probablemente la terminarán reemplazando.

En un principio estas técnicas surgieron para la evaluación no destructiva de estructuras y su gran eficacia ha conseguido que la industria las incorpore en sus líneas de producción de los productos de madera, ya sea en bruto o derivados, como la madera laminada, contralaminada o los tableros de partículas, entre otros. Además contribuyen a reducir y, seguramente en un futuro próximo, a eliminar, la elevada incertidumbre que rodea a las propiedades físicas de la madera, permitiendo garantizar y certificar los productos ofertados, elevando la calidad de los mismos en un mercado en constante crecimiento.

Entre los procedimientos no destructivos más empleados en la actualidad para la evaluación de piezas estructurales de madera se pueden destacar las técnicas de ultrasonidos, las técnicas de vibración, los métodos de penetración superficial o profunda y el método de resistencia al arranque de tornillo. En los últimos años se están agregando asimismo otras técnicas más tecnológicas basadas en el uso de ondas electromagnéticas como los rayos X, rayos gamma, microondas e incluso la moderna resonancia magnética nuclear. Es precisamente en este segundo grupo donde se encuadra la técnica objeto de esta investigación, la *termografía infrarroja* que, como su propio nombre indica, se encarga de analizar la región del espectro electromagnético que ocupan los rayos conocidos como infrarrojos.

La **Termografía Infrarroja** (TI en adelante) es una técnica relativamente nueva cuya característica principal, en el contexto de este trabajo, consiste en visualizar la temperatura de la superficie de los objetos sin contacto alguno. Su uso está comenzando a popularizarse en el campo de la Evaluación No Destructiva (END en lo sucesivo) fundamentalmente porque la mayor parte de sus aplicaciones no causan ningún daño en el material objeto de dicha evaluación, pues no llegan a tocarlo. Hay que exceptuar algún tipo de termografía activa, en donde la excitación térmica externa sea muy extrema.



Fig. 1. Imagen de la radiación visible.

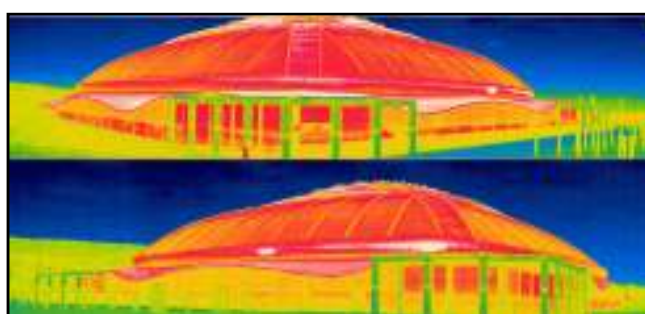


Fig. 2. Imagen de la radiación infrarroja.

En definitiva, esta novedosa técnica instrumental proporciona, de una forma remota y no invasiva, una imagen visible de la radiación infrarroja invisible emitida por la superficie del elemento analizado, que es reflejo de su propia condición térmica.

En principio, a partir de la información térmica suministrada por el dispositivo se podrían revelar los procesos patológicos que habitualmente padecen las estructuras antiguas de madera y abordar sus causas de un modo más inmediato, seguro y económico, que con la mayoría de los procedimientos actuales. Seguramente por esta razón la TI se está convirtiendo en los últimos años en una técnica muy prometedora dentro del dilatado grupo de técnicas que habitualmente se usan en la END.

No obstante, en algunos círculos se empieza a detectar cierto escepticismo en la aplicación práctica del análisis termográfico para la END de estructuras de madera, a causa de su naturaleza eminentemente superficial. De hecho, dichas aplicaciones se están limitando exclusivamente a las interpretaciones más obvias e inmediatas que se deducen de una imagen visible de la temperatura como, por ejemplo, la localización de zonas muy húmedas o bastante deterioradas, que cualquier observador experimentado lograría con una sencilla inspección visual.

De alguna manera, se empieza a creer que en la evaluación de las estructuras históricas de madera esta técnica no consigue mejorar, de momento, las prestaciones que otros métodos no destructivos proporcionan.

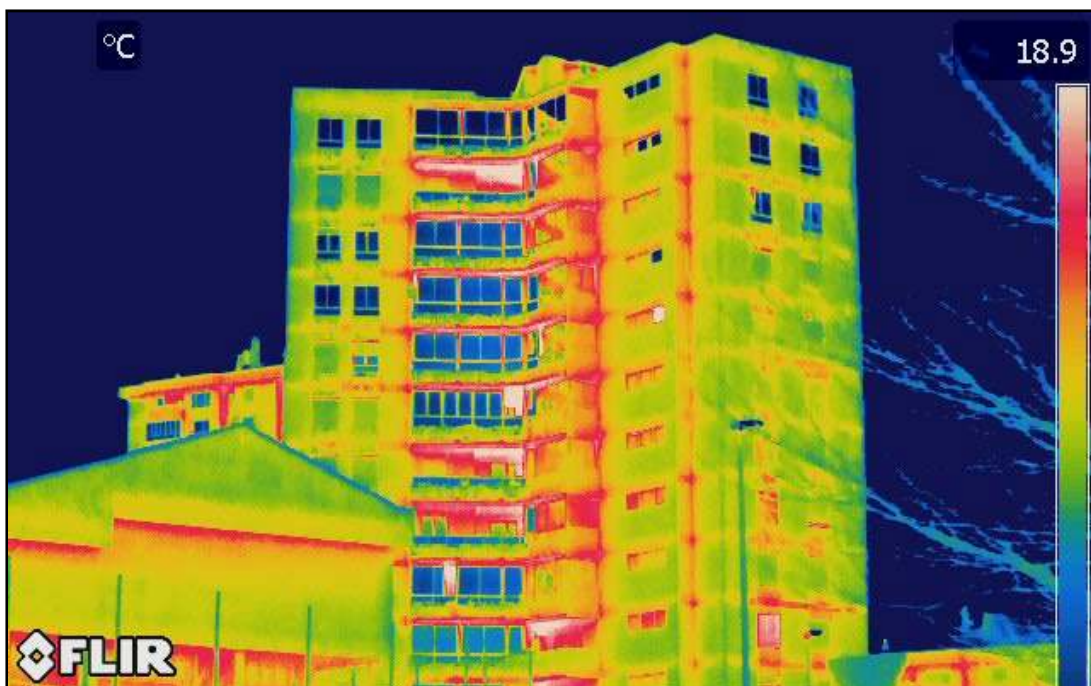


Fig. 3. Imagen termográfica de la fachada de un edificio.

Este trabajo forma parte de la línea de investigación que persiguen, conjuntamente y desde hace años, el Departamento de Maderas de la E.T.S de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid y el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la E.T.S de Arquitectura de la Universidad de Valladolid con el objetivo de analizar y determinar la calidad de la madera según sus propiedades.

2.1. La madera como elemento estructural

El comportamiento mecánico de la madera obedece a su anatomía microscópica y heterogénea que, como es bien sabido, puede asimilarse a un haz de tubos huecos específicamente diseñado para soportar esfuerzos en la dirección paralela a los mismos (Fig. 4 y Fig. 5). Perpendicularmente, sin embargo, su comportamiento es muy distinto, viéndose muy mermada su capacidad resistente. Esto se denomina **anisotropía**, y es una característica fundamental que va a condicionar fuertemente la construcción con madera. Entre 1894 y 1904 fue cuando Joaquín M^o Castellana y Lleopart apuntó datos relevantes desde el punto de vista anatómico en un trabajo considerado como el primero en importancia a nivel de identificación microscópica de la madera (García Esteban 1999). Actualmente, el estudio de la estructura interna del material leñoso está ampliamente desarrollado, encontrando multitud de publicaciones que describen con todo detalle la anatomía del mismo.

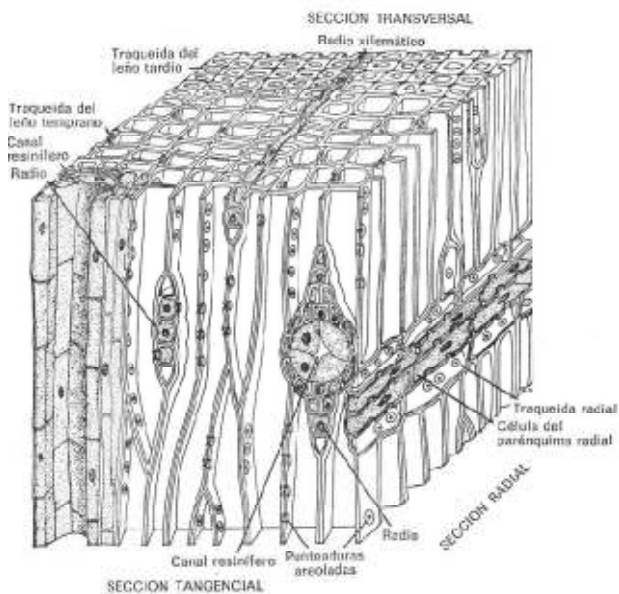


Fig. 4. Configuración microscópica (conífera).

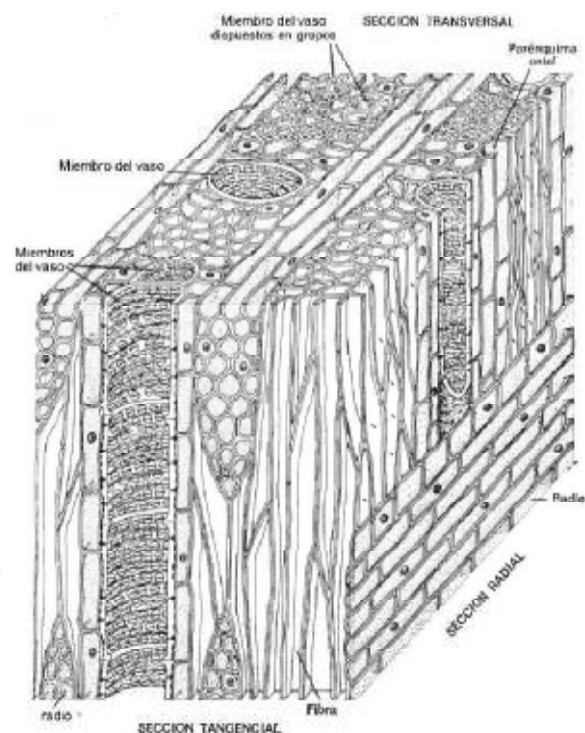


Fig. 5. Configuración microscópica (frondosa).

La capacidad mecánica que ofrece la madera le permite competir sobradamente con los otros materiales estructurales sobre todo observando la relación de la resistencia con su densidad, con el coste y esfuerzo energético invertido para su fabricación. Sin embargo, hay que prestar especial atención a una de las más importantes particularidades que presenta el material lúneo, su sensibilidad ante una serie de factores que alteran significativamente sus propiedades mecánicas. Entre ellos, se pueden destacar la humedad, la duración de la carga, el tamaño del elemento, la calidad de la madera y la susceptibilidad a enfermedades y ataques de hongos e insectos xilófagos.

La madera ha sido un material arquitectónico fundamental a lo largo de la historia. Su disponibilidad, ligereza y relativa facilidad de manipulación y labra, junto a una comprensión empírica de su comportamiento y fiabilidad, propició su utilización en muchos de los elementos que integran una construcción. De ahí que sea habitual encontrarlo en los suelos, paredes y techos formando los entramados que las envuelven. Además de los sistemas constructivos realizados parcial o totalmente con madera, también ha intervenido intensamente en mecanismos auxiliares y provisionales destinados a posibilitar la construcción con otros materiales (andamios, apeos y cimbras o encofrados para la ejecución de bóvedas y arcos).

Durante siglos ha sido el único material capaz de trabajar de forma eficaz a flexión, a diferencia de la piedra y el adobe. Esta singularidad, unida a su fragilidad frente a los frecuentes incendios, originó su paulatina eliminación de los armazones verticales y su aplicación principal y casi exclusiva en las estructuras horizontales y de cubierta, donde no había alternativas. Esta forzosa especialización ha permitido un extenso y dilatado desarrollo que se inició con los griegos, tuvo su plenitud en la época de las basílicas paleocristianas, se frenó durante la Edad Media y se paraliza casi definitivamente a partir de la Revolución Industrial de mitad del siglo XVIII (García y de la Peña 2001).

Sin embargo, fruto de su prolongada evolución es la creación de una rica tipología de estructuras de pisos y cubiertas de madera. De hecho, las posibles aplicaciones prácticas de este trabajo se dirigen principalmente al análisis de este tipo de estructuras (Fig. 6 y Fig. 7) presentes tanto en la edificación monumental como residencial y que se extienden a lo largo de todo el territorio.



Fig. 6. Entramado del forjado de madera



Fig. 7. Cubierta del Monasterio de San José

No fue hasta la vulgarización del hierro en el siglo XVIII y, sobre todo, la fabricación industrial del acero a mediados del XIX y la aparición del hormigón armado, ya bien entrado el siglo XX, cuando empezó a desaparecer como estructura incluso de los forjados de pisos. En este tiempo es cuando estos nuevos materiales comienzan a utilizarse profusamente como elemento estructural en edificación, reemplazando a la madera de las funciones resistentes que hasta entonces únicamente ésta garantizaba.

Desde ese momento la madera va cayendo en un progresivo abandono hasta relegarla casi a cometidos meramente ornamentales y decorativos, desdeñando las significativas cualidades mecánicas que a lo largo de la historia ha demostrado. En España, en concreto, el uso de la

madera en la construcción y, más específicamente, su aplicación como material estructural, se ha ido reduciendo gradualmente en los últimos treinta años hasta niveles anecdóticos.

En los últimos años, sin embargo, gracias a la importancia que está adquiriendo el Patrimonio Cultural y la restauración arquitectónica, así como a la influencia de las teorías y principios que guían a esta última, se ha empezado a recuperar el valor que históricamente ha tenido la madera y a mostrar la riqueza y valía que este material atesora. Otro vector que impulsa este incipiente renacimiento es la importancia que se le está progresivamente dando a la huella ecológica de los materiales de construcción, a sus posibilidades de reciclado tras su vida útil, a la energía necesaria para su fabricación, transporte y puesta en obra, y a la capacidad de almacenamiento de CO₂ que la madera tiene, aportando ventajas medioambientales indiscutibles con su gestión forestal sostenible. Todo ello se ha visto acompañado paralelamente por el creciente desarrollo de normativa de referencia desde la década de los 90, por una mayor comprensión de su funcionamiento mecánico, y la posibilidad de certificar el origen medioambientalmente sostenible del material. Factores que permiten competir a la madera con el acero y el hormigón armado, como mínimo, en igualdad de condiciones.

Las causas que desencadenaron el abandono de la madera como material estructural se podrían concretar por un lado en los problemas de deterioro y envejecimiento propios de su naturaleza orgánica y celular, a los que hay que añadir los temores que suscitaba y aún hoy suscita su conservación y durabilidad. Pero, por otro lado y, sin duda, de mayor alcance, el desconocimiento e incertidumbre que existía acerca de su comportamiento estructural al mismo tiempo que se cuantificaba, determinaba e incluso normalizaba el del hormigón armado y el acero, motivaron definitivamente su desplazamiento como alternativa seria para constituir parte de la estructura de una construcción. En España llegó a ser prohibido expresamente su empleo como material estructural por las normas de diseño de las viviendas de protección oficial de los años 70.

Es indudable que para abordar de forma rigurosa, fiable y segura el diseño y cálculo de cualquier estructura, es indispensable el conocimiento de las características físicas de los materiales que se vayan a emplear, en concreto, aquellas propiedades relacionadas con su comportamiento resistente y de rigidez. En el caso de la madera, estas propiedades son fundamentalmente la densidad, elasticidad y resistencia.

En los últimos años, algunos países, entre los que se encuentra España, han incorporado a su marco normativo técnico algunas normas sobre construcción de estructuras de madera mediante la adaptación al contexto nacional de la familia de los EN Eurocodes que, como ya se ha indicado anteriormente, son de carácter experimental en el entorno europeo.

En España esta armonización ha fructificado en el Código Técnico de la Edificación del año 2006, concretamente en su Documento Básico CTE DB SE-M. El éxito del renacimiento que últimamente está experimentando la madera se fundamenta principalmente en la existencia de esta nueva normativa, que iguala a todos los materiales que pugnan por ser estructurales. Sin embargo, se precisa una labor pedagógica de medio plazo para eliminar los prejuicios que se han generado en torno al comportamiento estructural de la misma, y que han llevado al barrido prácticamente total de la enseñanza de la técnica de la carpintería de armar en los planes de estudio de las carreras técnicas. Proceso que ha tenido su consecuencia funesta en la formación de las últimas generaciones de técnicos españoles de nivel universitario, así como, por razones paralelas, ha sucedido igualmente en los operarios especializados y muchas empresas del sector.

También debe tenerse en cuenta la posibilidad de contemplar el empleo de la madera en construcción como una interesante estrategia de oposición al problema mundial del cambio climático dado que una de sus causas, la ingente producción de CO₂ y el consiguiente avance del efecto invernadero, puede contrarrestarse empleando el material leñoso como un eficaz sumidero de dicho gas carbónico.

En definitiva, la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, la comprensión de su comportamiento resistente, la publicación de normativa de referencia, y la posibilidad de obtenerla a partir de una gestión forestal sostenible certificada, ha propiciado su reincorporación al repertorio de materiales estructurales. Además, la aparición en los últimos tiempos de materiales más tecnológicos derivados de la madera o su transformación, ha desviado el foco de atención hacia las nuevas posibilidades y expectativas que se abren ahora gracias a este material tan antiguo. La madera laminada, microlaminada, tableros macizos y de partículas, y la mejora en el diseño de las uniones permiten piezas que, si no fuera por las restricciones en el transporte, podrían tener longitud indefinida e incluso la construcción de estructuras estáticamente indeterminadas.

2.2. Ensayos no destructivos (END) aplicados a la madera

A pesar de la tendencia que hemos sufrido a lo largo del último siglo a sustituir la madera de las antiguas estructuras por los nuevos materiales, aún hoy se conservan multitud de construcciones con forjados y cubiertas basados en este material. Como ya se ha señalado previamente, la enorme trascendencia social y económica que paralelamente está alcanzando este Patrimonio y la restauración arquitectónica, plantea el aparente inconveniente de intentar preservar unos elementos que han de satisfacer las nuevas prestaciones exigidas por la normativa de referencia y, cuyo comportamiento, hasta fechas recientes, estaba lejos de ser predecible.

Surge entonces la necesidad de evaluar el estado de conservación de unas construcciones que cuentan con una prolongada existencia sin alterar ni modificar su integridad física, tanto exterior como interiormente, según los principios instaurados por la citada teoría de la restauración arquitectónica. Esta labor demanda una serie de reglas, medios e instrumentos técnicos que proporcionen al profesional información fiable sobre la condición real del material para poder estimar su capacidad portante y, por encima de todo, dictaminar sobre su seguridad y viabilidad estructural. Este es uno de los principales motivos que han estimulado la aparición de los ensayos no destructivos aplicados sobre el material lúneo.

Otra de las causas que han fomentado la evolución de estas técnicas no destructivas es la propia naturaleza orgánica de la madera. No hay que olvidar que es un material vivo, cuyas propiedades físicas dependen de numerosos parámetros y muestran una gran variabilidad. Esta elevada incertidumbre en la determinación de sus características mecánicas suscita una seria dificultad en la industria para establecer procedimientos que aseguren la obtención de productos con una garantía equivalente a los materiales fabricados por el hombre. Los ensayos no destructivos permiten elevar el control de calidad sobre la fabricación de estos productos, ya sean de madera en bruto o compuestos derivados de la misma, de modo que se garantice la calidad final de los mismos.

La END es la ciencia que identifica las propiedades físicas y mecánicas de un elemento sin alterar sus prestaciones finales, y que utiliza esta información para tomar las decisiones apropiadas con respecto a determinadas aplicaciones (Pellerin and Ross 2002). En la práctica, la obtención de estas características internas requiere, por lo general, efectuar una serie de pruebas o ensayos que son realmente los que tienen el carácter de no destructivos, y cuya principal característica es no modificar las citadas propiedades del material, ni su integridad física, en el momento de su aplicación.

Es preciso subrayar las diferencias existentes entre la madera y otros materiales, como los metales, plásticos o cerámicas, pues el uso de estas técnicas no es exclusivo de la madera. Estos últimos son materiales homogéneos, con un comportamiento isótropo y cuyas propiedades mecánicas son conocidas y estrechamente controladas en el proceso de elaboración. La aplicación de los ensayos no destructivos en su caso se emplea, fundamentalmente, para mejorar el control de calidad del producto y localizar posibles defectos o irregularidades en la estructura interna del mismo, de ninguna manera para caracterizarlo o determinar alguna de sus propiedades físicas.

Por el contrario, la madera, como ya se ha comentado en reiteradas ocasiones, es un material muy heterogéneo, que presenta un comportamiento anisótropo y donde podemos encontrar dos tipos de irregularidades: las denominadas singularidades propias de su origen, y los defectos propiamente dichos. Las primeras son habituales en la madera, ocurren de forma natural y siempre están presentes en mayor o menor medida en las piezas estructurales. Los segundos se entienden del mismo modo que en el resto de materiales, y los efectos y síntomas que producen en su estructura interna son similares en ambos casos.

Por este motivo, la evaluación no destructiva de este material se ha enfocado en dos sentidos: en la obtención de sus propiedades físicas y mecánicas y, por otro lado, en la detección de los defectos y singularidades de un modo análogo al empleado con otros materiales.

El principio que subyace en las técnicas no destructivas consiste en establecer una relación entre un parámetro medido a través de estos ensayos y una propiedad mecánica del material analizado. Un funcionamiento parecido al que gobierna un termómetro clásico de mercurio. La temperatura se mide en función del cambio de volumen que experimenta el mencionado mercurio frente a distintas temperaturas, después de calibrar la relación existente entre ambos parámetros para poder cuantificarla.

Antes de sintetizar las técnicas instrumentales no destructivas que encontramos en el estado actual del conocimiento, es imprescindible subrayar que el primer método de END, y de clasificación resistente de la madera, fue la inspección visual. Este método se viene utilizando ya desde los orígenes de la madera como material de construcción para determinar su calidad, pero la estandarización del procedimiento para clasificarla para uso estructural no se produjo hasta los años 20 del pasado siglo.

Este sistema es aún hoy el más recurrido para la clasificación de la madera. Se fundamenta en localizar y medir las singularidades y defectos que habitualmente encontramos en las piezas de este material. La cantidad y tamaño de ambos determinarán su calidad según las especificaciones establecidas en la normativa de referencia. Así, cada país ha publicado su propia normativa, definiendo independientemente diversas categorías o calidades en función de dichas limitaciones y, también, de la especie de madera involucrada.

A pesar de que la estimación de la calidad estructural de la madera mediante métodos visuales cuenta con una larga tradición histórica, en un futuro no muy lejano su clasificación estará probablemente subordinada con exclusividad a los medios instrumentales. El acelerado desarrollo que se está produciendo en este campo en los últimos años está elevando exponencialmente el número de técnicas y dispositivos automáticos o semi-automáticos capaces de evaluar y caracterizar la madera.

A continuación se recogen algunos de los distintos métodos instrumentales no des utilizados en la actualidad para la caracterización mecánica de la madera y la evaluación de su estado de conservación, clasificados según la naturaleza de la técnica, y acompañados por una breve descripción y sus principales aplicaciones.

2.2.1. Métodos mecánicos

Los métodos mecánicos se basan en poner a prueba alguna de las propiedades físicas de la pieza analizada (rigidez, dureza superficial, resistencia a la penetración...) mediante la aplicación de una sollicitación exterior por contacto directo.

Prueba de carga:

Consiste en el análisis de la flecha de una pieza de madera cuando se le aplica una carga conocida. Aunque normalmente requiere un dispositivo complejo para su ejecución in situ, pueden plantearse sistemas portátiles que faciliten su aplicación. En laboratorio su uso es más sencillo y preciso, y vienen desarrollándose desde hace años máquinas como la Computermatic y la conocida como Cook-Bolinder, que tiene su origen en el modelo diseñado en 1979 por el Princess Risborough Laboratory de Gran Bretaña (Fernández-Golfín 2001). Pero en la madera puesta en obra se tiene la dificultad, casi insalvable, de tener que retirar el elemento de su ubicación en la construcción inspeccionada, o bien tener que considerar la posible intervención de otros elementos constructivos por contacto directo.

Sondeo superficial:

Este método relaciona la profundidad de penetración de una aguja clavada sobre un elemento de madera directamente con su densidad e, indirectamente, con su resistencia. Este ensayo se realiza normalmente con el denominado "pilodyn" o penetrómetro, un aparato que consiste básicamente en un cilindro metálico con una escala graduada en su superficie y que aloja en su interior la barra circular que se clava en la pieza analizada (Fig. 6). Su reducido tamaño le confiere una gran manejabilidad y una fácil aplicación en obra (Fig. 7).

Además, su uso es muy elemental y rápido, y no necesita nada más que un operador para su manipulación. No obstante, las medidas que se obtienen son puntuales y los coeficientes de correlación no son demasiado buenos.



Fig. 6. Pilodyn o penetrómetro.



Fig. 7. Aplicación en obra del pilodyn.

Sondeo en profundidad (resistógrafo):

Esta técnica se basa en relacionar la densidad de la madera, en este caso, con la resistencia que opone a la penetración de una broca. El taladro mecánico lo efectúa el resistógrafo, dispositivo que permite perforar el elemento inspeccionado a velocidad constante y medir la resistencia en función de la cantidad consumida de energía (Fig.8). El equipo registra el proceso en un gráfico denominado resistograma, que representa la variación de la energía invertida en la perforación a medida que avanza, manteniendo la velocidad (Fig. 9).

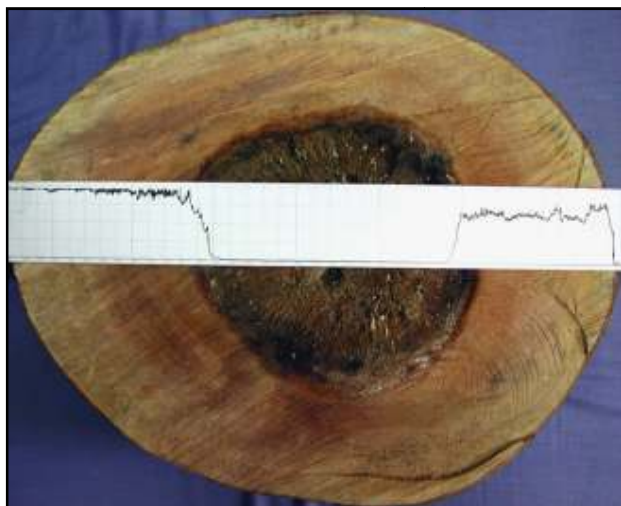


Fig. 8. Resistograma resultante.



Fig. 9. Aplicación en arbolado del resistógrafo.

Es un instrumento portátil, algo pesado, con un alto grado de sensibilidad y precisión, capaz de detectar incluso las diferencias de densidad entre la madera de primavera y de verano. Su uso es bastante sencillo y su aplicación en la END de estructuras de madera está muy extendida. A pesar de que ofrece unos coeficientes de determinación muy elevados, las medidas son, igual que en el penetrómetro, muy puntuales.

El resistógrafo es ampliamente utilizado asimismo para localizar lesiones internas, sobre todo, en las cabezas empotradas e inaccesibles de algunas piezas de madera que forman el entramado estructural.

Arranque de tornillo:

Este método consiste, actualmente, en relacionar la resistencia que ofrece la madera a la extracción de un tornillo con su densidad y, combinado con otras técnicas no destructivas, también con el módulo de rotura (MOR). Se lleva a cabo con el llamado extractor de tornillos, dispositivo que registra la máxima fuerza que se precisa para arrancar un tirafondo previamente enroscado sobre el elemento analizado según unas determinadas condiciones (Fig. 10).

El equipo es portátil, de manejo relativamente sencillo, y de fácil aplicación en la inspección de una estructura de madera (Fig. 11). Está compuesto básicamente por un husillo para la extracción del tornillo y un transductor que registra la fuerza máxima de arranque. Algunos de los parámetros que hay que considerar en la ejecución del ensayo son el diámetro del tornillo, la profundidad de penetración, la zona de aplicación y el número de medidas.



Fig. 10. Equipo de extractor de tornillos.



Fig. 11. Aplicación en obra del extractor de tornillos.

Por el momento, no se han hallado relaciones aceptables entre la fuerza de extracción y otras propiedades físicas de la madera, sin embargo, sí se ha comprobado que este sistema es un buen predictor de daños bióticos, ya que su presencia reduce significativamente la resistencia de la madera (Basterra et al. 2006).

Fractómetro:

Se trata de un dispositivo portátil que mide la tensión de rotura y el módulo de elasticidad en flexión radial y la energía de rotura, en una probeta cilíndrica de 5 mm de diámetro extraída en dirección radial. Este equipo se emplea en la inspección de árboles y no se conocen referencias de su utilización en madera de estructuras. El equipo está pensado para un ensayo rápido al pie del mismo árbol que se está inspeccionando y con la madera en verde.



2.2.2. Métodos acústicos

Los métodos acústicos se basan en el análisis de las características y velocidad de propagación de ondas acústicas en el interior del elemento de madera inspeccionado. Existen numerosas y diversas técnicas según el tipo y frecuencia de la onda utilizada y la configuración del ensayo. Su aplicación sobre el material leñoso se remonta a mediados de los años 80 del siglo pasado (Beall 1999), aunque su aparición es anterior y su campo de actuación es verdaderamente amplio y variado y abarca, además, todo tipo de materiales y disciplinas.

Ultrasonidos:

Esta técnica consiste, fundamentalmente, en relacionar la velocidad de propagación de una onda ultrasónica a través del material, con la resistencia y la rigidez de una pieza de densidad conocida.

Su ejecución se lleva cabo por medio de dos palpadores, un transmisor y un receptor, que se clavan sobre el elemento inspeccionado a cierta distancia, y miden el tiempo que tarda en recorrerla una onda ultrasónica generada por un impulso eléctrico. En función de la disposición de los palpadores se distinguen a su vez dos métodos, el directo, cuando los palpadores se colocan de testa a testa paralelos al eje de la pieza (Fig. 12), y el indirecto o semidirecto, en los demás casos (Fig. 13).

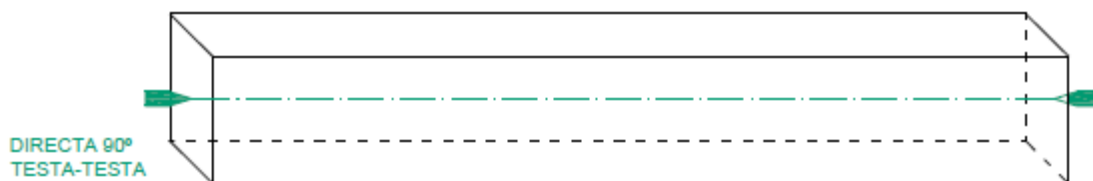


Fig. 12. Posición de los palpadores en la medición directa.

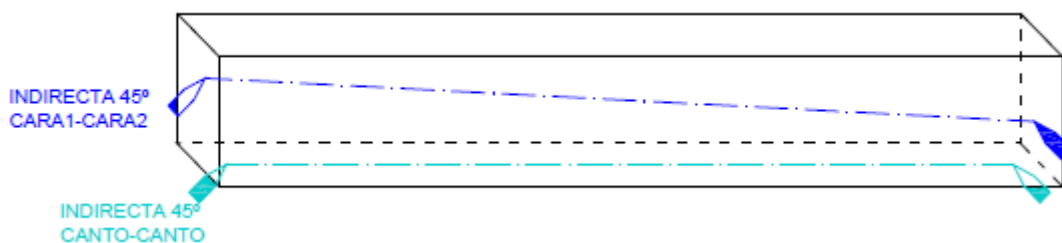


Fig. 13. Posiciones de los palpadores en la medición indirecta.

Es, posiblemente, uno de los métodos más extendidos en el campo de la END de estructuras de madera, y en la bibliografía se pueden encontrar numerosos estudios que se ocupan del mismo. En algunos de ellos se contrasta su capacidad con la clasificación visual para establecer la calidad estructural de la madera, mejorando notablemente el rendimiento con esta técnica instrumental (Acuña et al. 2007).

En el mercado se pueden encontrar varios instrumentos para llevar a la práctica esta técnica, entre los que podemos destacar el Sylvatest (Fig. 14). Son equipos portátiles de fácil manejo, aunque requieren una preparación previa algo más elaborada a causa de los numerosos factores que afectan al proceso. Se obtienen buenos resultados en relación al módulo de elasticidad y algo más discretos respecto a la resistencia, sin embargo, su eficacia mejora en ambos casos si se aplica simultáneamente con alguna otra técnica no destructiva.



Fig. 14. Equipo de ultrasonidos sylvatest

Ondas de impacto:

Los principios en los que se basa este método son los mismos que en el caso anterior, también relaciona la velocidad de propagación de una onda con la resistencia y la rigidez. El instrumental y el procedimiento para su ejecución, e incluso su grado de predicción, son muy parecidos. La diferencia se encuentra en el tipo concreto de onda utilizada y su origen.

En esta técnica se analiza la propagación de una onda sónica generada por el impacto de un martillo sobre uno de los palpadores. Estas ondas tienen una frecuencia más baja y permiten estudiar mayores distancias, aunque con menor precisión.

Análisis de vibraciones inducidas:

Esta técnica relaciona la frecuencia natural de vibración de una pieza prismática de madera de dimensiones y densidad conocidas con su resistencia y rigidez. Si provocamos una vibración en la dirección longitudinal de la pieza analizada, se puede determinar el módulo de elasticidad dinámico a partir de la frecuencia natural de dicha vibración.

Para la realización de este ensayo, es preciso provocar la vibración del elemento inspeccionado mediante un impacto, y disponer de un detector adosado a la superficie de dicho elemento que reciba la señal de la onda de presión generada. El equipo con el que habitualmente se lleva a cabo es el PLG, Portable Lumber Grader (El PLG fue desarrollado por el laboratorio de NDT en madera de la Universidad del Este de Hungría), que está compuesto por una balanza, un micrófono y un software específico para el procesado de la señal (Fig. 15).

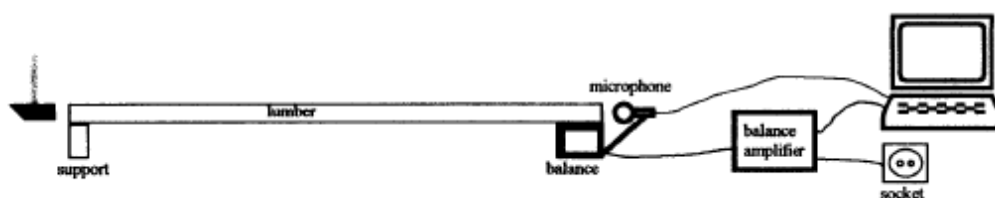


Fig. 15. Esquema del ensayo con el PLG (FAKOPP).

2.2.3. Métodos electromagnéticos

Estos métodos se basan en la interacción entre la radiación electromagnética y el elemento de madera inspeccionado. Las diferentes ondas que componen el espectro electromagnético se caracterizan normalmente en función de su frecuencia o de su longitud de onda y dan lugar a diferentes técnicas no destructivas según la magnitud de estos dos parámetros. A partir de las distintas variables físicas medidas por cada una de estas ondas se puede reconstruir la imagen de la estructura interna de la madera, sin cortarla, por medio de la moderna tomografía computarizada (Bucur 2003).

Rayos X y rayos gamma:

Este tipo de ondas son las de menor longitud de onda y, en consecuencia, las que mayor energía contienen, motivo por el que también se las conoce como radiaciones ionizantes. La técnica se basa en relacionar el coeficiente de atenuación de la radiación con las variaciones de densidad. Los defectos o irregularidades internas, como galerías o nudos, causan cambios en la densidad de la madera y pueden ser detectados mediante el uso de este tipo de ondas. En la actualidad se han desarrollado equipos portátiles para su aplicación in situ, no obstante, todavía son muy caros y hay que tomar muchas precauciones debido a la agresividad de este tipo de radiaciones. En cualquier caso, esta técnica proporciona mejores resultados que ninguna otra.

Termografía infrarroja:

Este método se sirve de las ondas infrarrojas, que se encuentran en la banda espectral comprendida entre la radiación visible y las microondas. Se basa, fundamentalmente, en relacionar la transmisión del calor con las propiedades termofísicas de la madera. El seguimiento de los procesos térmicos, naturales o forzados, se realiza con dispositivos que miden la temperatura a partir de la radiación infrarroja. Estos equipos son portátiles de uso rápido y sencillo, permiten cubrir superficies relativamente grandes, y no requieren más que un operador para su manejo.

Las únicas aplicaciones encontradas hasta la fecha han sido la detección de defectos y de zonas húmedas, ya que alteran las propiedades de la madera e influyen en su comportamiento térmico. En este trabajo de investigación se aborda la ampliación, precisamente, de las prestaciones que ofrece esta técnica para la END de estructuras de madera.

Microondas:

Las microondas se sitúan inmediatamente después de la radiación infrarroja con frecuencias inferiores a las de esta última. Es una técnica relativamente nueva que se basa en el análisis de las propiedades dieléctricas de la madera, que están relacionadas con este tipo de ondas. En la actualidad se emplea principalmente en la industria para la detección de lesiones e irregularidades internas.

El xilohigrómetro es un instrumento ampliamente utilizado en la END de estructuras de madera para la determinación del contenido de humedad que entraría dentro de este grupo. Su funcionamiento se basa en la relación lineal existente entre el logaritmo de la resistencia óhmica y el contenido de humedad de la madera hasta el punto de saturación de las fibras. Por medio de dos púas de acero clavadas sobre la pieza ofrece una lectura inmediata del grado de humedad de la misma.

Técnicas radar (Georradar o GPR – Ground Penetrating Radar):

La técnica de radar es una aplicación en desarrollo, basada en el estudio de las reflexiones de ondas electromagnéticas. Se emplea para el estudio de estructuras verticales y horizontales de fábrica y hormigón, y es la técnica por excelencia para la localización y cartografía de servicios urbanos enterrados.

Las aplicaciones más habituales en el sector de la rehabilitación son la localización de grandes vacíos e inclusiones de materiales diferentes (como acero, madera, etc.), la identificación del estado de conservación o daño de estructuras, la definición de la presencia y nivel de humedad, el control de la eficacia de reparación por técnicas de inyección y, en fábricas, descubrir la morfología de la sección de muros de múltiples hojas de piedra y/o ladrillo.

Al igual que las ondas acústicas en sólidos, la longitud de onda electromagnética es inversamente proporcional a la frecuencia (a mayor frecuencia, menor longitud de onda y mayor poder resolutivo). A su vez las ondas de frecuencias más altas presentan gran atenuación de energía y por tanto limitan la profundidad de la inspección.

2.2.4. Métodos nucleares

Los métodos nucleares, como la resonancia magnética o la radiografía de neutrones, son técnicas que se han trasladado del campo de la medicina al de la ciencia de los materiales no hace mucho tiempo. Son herramientas muy potentes y de gran eficacia para la caracterización de la madera, aunque, a día de hoy, están fuertemente condicionados por el alto coste de los equipos y su manejabilidad en obra. En este grupo también se pueden incluir las técnicas, vistas antes, basadas en la utilización de la radiación ionizante del espectro electromagnético.

2.3. Termografía infrarroja

Tal y como se ha indicado en el apartado precedente, es dentro de los llamados métodos electromagnéticos donde se encuadra la termografía infrarroja (TI en lo sucesivo). Con el término termografía se denominan, en general, todas las técnicas que permiten visualizar la temperatura de la superficie de los objetos, y con el término infrarrojo, a aquellas técnicas que lo hacen a partir de las ondas infrarrojas.

A grandes rasgos, este sistema se basa en analizar, de un modo no invasivo, la interacción entre la radiación infrarroja y el material inspeccionado por medio de dispositivos capaces de captar y medir dicha radiación.

Antes de profundizar en el ensayo propiamente dicho, y en los mecanismos que lo articulan, vamos a hacer un breve repaso por los principales avances tecnológicos que se han producido en la reciente historia de la TI.

2.3.1. Origen y evolución de la tecnología

Desde un punto de vista científico, fue en el año 1800 cuando William Herschell descubrió los rayos infrarrojos. Este modo “invisible” de propagación del calor se denominó, con el tiempo, radiación infrarroja o, más coloquialmente, radiación térmica. Forma parte del conjunto del espectro electromagnético, ubicándose, aproximadamente, entre el color rojo de la región visible y las microondas.

Durante el siglo XIX, una vez conocida la existencia de estos rayos, el esfuerzo de los investigadores estuvo orientado, prácticamente en exclusiva, a diseñar dispositivos capaces de detectar y cuantificar este nuevo tipo de radiación. Así, podemos destacar la aparición en 1829 del primer termopar, inventado por Nobili. En 1840, el hijo de William Herschel, John, consiguió la primera imagen visible de la radiación infrarroja usando un evaporígrafo. El bolómetro fue inventado por Samuel P. Langley alrededor de 1880, detector térmico que permite medir la radiación electromagnética procedente de un cuerpo a partir de los cambios que sufre su conductividad eléctrica causados por el calentamiento que genera dicha radiación. Con este instrumento se consiguió sentir el calor de seres vivos a más de 400 metros.

Sin embargo, fue en el siglo XX cuando el progreso de la tecnología infrarroja se aceleró considerablemente gracias, principalmente, al fuerte estímulo que suponen siempre las motivaciones militares. En la Primera Guerra Mundial, concretamente en 1914, se patentó el primer sensor infrarrojo para detectar icebergs. Las tropas alemanas usaron un sistema de detección térmica para inspeccionar el mar del Norte con un alcance de hasta 10 km (Heinrich 2000). Pero quizás, el impulso más significativo lo causó la Segunda Guerra Mundial. Durante los seis años que se prolongó se desarrollaron multitud de tipos y sistemas de detección, así como se descubrieron nuevas y variadas aplicaciones. La puesta en práctica de todas ellas demostró no sólo el gran potencial de la TI, sino también su utilidad y extraordinaria eficacia.

Después de la Segunda Guerra Mundial, buena parte de esta tecnología militar se desclasificó y los avances experimentados por la TI comenzaron a penetrar en la sociedad civil, fundamentalmente, en el campo de la ingeniería. En las décadas de los años 60 y 70 se empezaron a recoger los frutos de la investigación realizada sobre la radiación infrarroja. Buena prueba de ello es el hecho de que, en la Convención de la Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos celebrada en 1965, alrededor del 40% de las comunicaciones presentadas estaban dedicadas a los métodos infrarrojos (Vavilov 1992).

Es precisamente en estos años, además, cuando surgen algunas compañías que iniciaron la comercialización de la tecnología infrarroja, como INFRAMETRICS en Estados Unidos (Boston), o AGA en Europa (Suecia), empresa, esta última, que distribuyó el primer escáner infrarrojo en 1965. Sirvan como ejemplo de su entrada en el mercado Noruega, que compró el primer equipo termográfico comercial en 1972 (Grimnes 2000), y Alemania, que en 1976 disponía de un termógrafo profesional que contaba con un dispositivo AGA para llevar a cabo su trabajo (Heinrich 2000).

Finalmente, podríamos decir que el último gran salto evolutivo se produjo a comienzos de la década de los 80, gracias al desarrollo de los sensores de efecto térmico o microbolómetros. Son detectores que no necesitan ningún tipo de refrigeración y, por tanto, permiten reducir el tamaño y el peso, y también el coste, de los sistemas termográficos (González 2006). Esta nueva tecnología

supuso una mejora considerable en la calidad de las cámaras infrarrojas, capaces de conseguir desde entonces, una mayor resolución espacial y menor ruido, entre otras cosas (Maldague 2001).

En la actualidad, la tecnología infrarroja está totalmente implantada en numerosos campos de investigación, como demuestra la existencia de innumerables publicaciones, congresos y conferencias internacionales, dedicados parcial o íntegramente a la TI. Por citar alguno, podríamos destacar en América la THERMOSENSE CONFERENCE, conferencia anual que empezó a celebrarse en 1978 y, en Europa, la QIRT CONFERENCE, que lo hace, bianualmente, desde 1992. Ambas se ocupan exclusivamente de la tecnología basada en la radiación infrarroja y sus aplicaciones. La segunda de las conferencias, concretamente, comenzó en la década de los 90, años en los que emergió con fuerza el concepto de termografía infrarroja cuantitativa (quantitative infrared thermography). Este tipo de termografía usa modelos térmicos sencillos para predecir el comportamiento térmico del cuerpo que mejoran el diagnóstico y le permiten, además, cuantificar algunos parámetros (Balageas 2007).

2.3.2. Procedimiento del ensayo termográfico

En el conjunto de un procedimiento termográfico, desde el planteamiento, preparación y ejecución del ensayo, hasta la toma de decisiones, se combinan simultáneamente y, en todo momento, dos áreas o disciplinas, la TI y la transmisión de calor. La TI se refiere a la transformación de la energía de radiación en temperatura considerando, entre otras cosas, la emisividad del cuerpo observado, la longitud de onda o la transparencia de la atmósfera.

La transmisión de calor, por su parte, es un proceso físico que experimentan los cuerpos y que está determinado por una ecuación diferencial según las condiciones particulares de cada caso. En resumen, un procedimiento de esta naturaleza consiste en analizar la transmisión de calor en un cuerpo a través de las diversas técnicas que ofrece la TI.

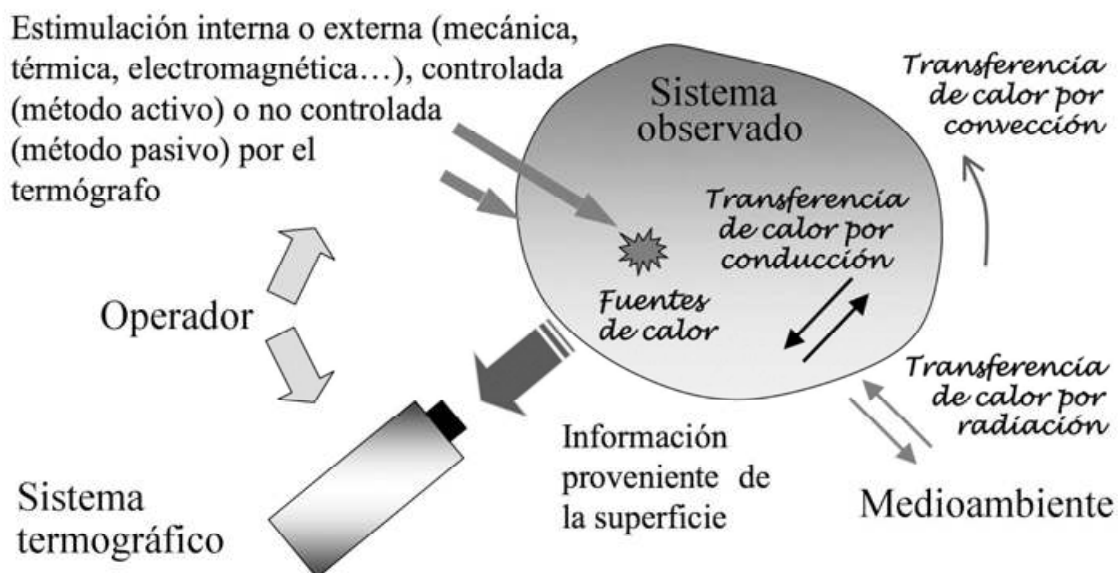


Fig. 16. Esquema del procedimiento de un ensayo termográfico (Balageas 2007).

La TI aporta, entonces, la tecnología que permite observar la temperatura de un cuerpo de una forma remota y no invasiva, y que confiere a esta técnica el carácter de no destructiva.

Los dispositivos llamados termográficos cuentan, básicamente, con un detector térmico que convierte la radiación infrarroja en una señal eléctrica, y con un sistema electrónico, que procesa esta señal para calcular la temperatura según las características del detector

El resultado de la captura de la radiación y su procesado se traduce finalmente en una imagen de la temperatura de la superficie inspeccionada. Este mapa térmico de distribución de la temperatura en el espacio se denomina termograma espacial, y la secuencia que registra la variación de temperatura en el tiempo, termograma temporal o cronológico.

2.3.3. Aplicaciones y técnicas basadas en la termografía infrarroja

En la actualidad, la TI está totalmente asentada e integrada en muchos campos, y son innumerables las aplicaciones que se han desarrollado basadas en esta técnica. Maldague ha ordenado la mayor parte de dichas aplicaciones en función del campo de actuación (Tabla. 1).

Tabla. 1. Aplicaciones comunes de los procedimientos térmicos no destructivos (Maldague 2001).

	Applications
Buildings	Walls assemblies, moisture evaluation, roofs, liquid level in tanks Water entrapment, fresco delamination
Components/ processes	Carton sealing line inspection, automobile brake system efficiency Aircraft structural component inspection, spot welding inspection Degradation of EPROM (erasable programmable read-only memory) chips Loosening bolt detection, plastic pipe inspection
Defect detection and characterization	Metal corrosion, crack detection, disbonding, turbine blades Defects in adhesive and spot-welded lap joints Crack identification, disbonding, impact damage in CFRP Coating wear, fatigue test, closed-crack detection
Maintenance	Bearings, fan and compressors, pipelines, steam traps, refractory lining Rotating kilns, turbine blades, electric installations, gas leaks
Medical/ veterinary	Thermal coronary angiography, allergen reactions, human breast tumors Rheumatology, neuromuscular disorders, soft-tissue injuries Blood vessel flow
Properties	Glaze thickness on ceramics, crush test investigation Thermophysical properties, underalloyed and overalloyed phases in coatings on steel, moisture, anisotropic material characterization Thermal conductivity measurement in CFRP Adhesion strength, anisotropic material characterization, coating thickness in ceramics, depth profile of thermal conductivity or diffusivity, moisture
Public services	Forest fire detection, people localization in fires or at night Monitoring of road traffic, target detection (military)

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Justificación de hipótesis

La ralentización en los avances sobre la estimación de la calidad de la madera según esta técnica, nos plantea el reto de examinar a fondo su rendimiento para ampliar las aplicaciones prácticas que se pueden alcanzar a partir del control de la radiación infrarroja emitida por el elemento de madera analizado.

La mayoría de los procedimientos denominados no destructivos que se emplean en la actualidad resultan en mayor o menor grado algo intrusivos. En el mejor de los casos, su aplicación requiere practicar una ligera incisión sobre la superficie del material o, al menos, recurrir a un contacto directo que induzca vibraciones o algún tipo de onda. Aunque apenas alteran las propiedades internas y externas, esta particularidad hace que estos métodos no sean estrictamente no destructivos.

En este sentido, hay que resaltar que la técnica que nos ocupa es literalmente en un procedimiento no destructivo convirtiéndose así en un aliciente para profundizar en los principios físicos que rigen su funcionamiento.

Este trabajo de investigación se justifica entonces desde diversas perspectivas:

- Tratar de incorporar este sistema no destructivo al resto de las técnicas utilizadas normalmente en este campo.
- Suministrar a la END de estructuras de madera una nueva herramienta instrumental que permita incrementar la eficacia del proceso de diagnóstico y caracterización, preferentemente in situ.
- Proporcionar nuevos procedimientos que posibiliten mejorar la caracterización resistente de la madera, determinar su clasificación estructural, y disminuir la subjetividad del proceso.
- Reducir la incertidumbre innata de las propiedades físicas de la madera para elevar la calidad de los productos ofertados por la industria de la madera.
- Las imágenes térmicas sugieren que, tras el enorme atractivo que desprenden, se encierra más información de la que a simple vista se deduce, e inducen a desentrañar lo que aparentemente se esconde tras ellas.
- Seguir profundizando en el conocimiento de la madera como material de construcción.

La hipótesis de partida principal se fundamenta en la más que presunta influencia que ejercen simultáneamente determinadas propiedades físicas de la madera, tanto en su funcionamiento estructural como termodinámico. La variación de dichas propiedades modificará entonces la respuesta mecánica y térmica del material leñoso frente a una sollicitación exterior.

Dado que la técnica objeto de esta investigación permite controlar la temperatura de la superficie de la madera, el esfuerzo se va a orientar lógicamente a analizar su conducta térmica y diseñar procedimientos que permitan averiguar la relación o relaciones que aparentemente vinculan a la densidad con el comportamiento termodinámico y resistente. De esta forma se podrían llegar a estimar a priori la densidad que afecta a ambos, a partir de las variaciones de temperatura que experimente la madera.

No obstante, sin llegar a cuantificarlas, las alteraciones de la densidad a causa de irregularidades o lesiones internas en la madera provocarán anomalías en el funcionamiento térmico de la madera, según la recíproca dependencia supuesta previamente. En este caso, la investigación se centrará en asociar las citadas anomalías, materializadas en gradientes de temperatura que pueden ser detectados por medio de la cámara termográfica, con las mencionadas irregularidades y lesiones internas.

Resumiendo, la más que posible relación existente entre las propiedades térmicas y la densidad de la madera permitiría estimar esta última a partir del análisis de la primera o, al menos, localizar anomalías en el comportamiento térmico que se podrían vincular con singularidades y lesiones internas.

3.2. Objetivos

De manera general, el objetivo esencial de este trabajo de investigación es explorar el potencial que posee esta técnica y evaluar su rendimiento con el fin de estimular y fomentar su utilización en la END de estructuras de madera.

El propósito de esta exploración es llegar a definir, concretar y ampliar desde un punto de vista fundamentalmente cualitativo las prestaciones que proporciona en el campo que nos ocupa. Simplificar la compleja base científica que la gobierna y facilitar al profesional una herramienta de uso sencillo que le permita abordar con fiabilidad el estudio del estado de conservación de este tipo de estructuras.

Se ha optado centrar el desarrollo del trabajo en un objetivo específico, correspondiente con la estimación de la densidad de la madera con el uso de un análisis termográfico sobre estructuras de madera.

De esta manera se conseguirá llamar la atención de los profesionales e investigadores dedicados a la END de estructuras de madera sobre algunas de las prestaciones que puede proporcionar esta técnica. Podrá así incorporarse una nueva herramienta a las actualmente utilizadas, en aras a facilitar la inspección, diagnóstico y restauración de estos elementos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Introducción

La densidad es quizás una de las características físicas más importantes de la madera (Hoffmeyer 1995). Por sí sola proporciona una idea muy aproximada de su calidad global como material estructural al estar relacionada con la mayor parte de las propiedades resistentes de la madera y, por tanto, con su comportamiento mecánico.

Es, de hecho, uno de los parámetros asociados a las clases resistentes definidas en la norma UNE-EN 338: 2003, cuyo conocimiento permite, además, clasificar estructuralmente al material leñoso. Su determinación resulta entonces primordial en la END de estructuras de madera por constituir una de las referencias más significativas a la hora de dictaminar la fiabilidad y viabilidad de un elemento estructural.

4.2. Propiedades termofísicas y caracterización de la madera

La caracterización de la madera, y de cualquier material en general, es el proceso consistente en identificar las diversas y variadas propiedades físicas que la definen. Determinar el valor de dichas propiedades permite comprender y prever su funcionamiento en todos los ámbitos, incluido el estructural.

En el campo que nos ocupa interesan aquellas características relacionadas con su comportamiento resistente, de modo que sea posible, por un lado, abordar con seguridad el diseño y cálculo de una nueva estructura formada con elementos de madera y, por otro, evaluar el estado de conservación y el grado de fiabilidad de una estructura existente. Hay que recordar de nuevo que este proceso de caracterización es fundamental cuando trabajamos con este material, ya que la precisión en el conocimiento del valor de algunas de sus propiedades físicas es, en el estado actual del conocimiento, ajena al control del hombre y, en consecuencia, procede intentar averiguarlas.

Una de las propiedades que permiten caracterizar estructuralmente a la madera es precisamente su densidad.

Densidad:

La densidad forma parte de uno de los tres grupos de propiedades, junto con la resistencia y la rigidez, que se fijan para cada una de las clases resistentes establecidas en la norma UNEEN 338: 2003 ya mencionada. Se observa cómo sus valores están asociados a otras propiedades de resistencia y rigidez de tal manera que, cuanto mayor sea, más resistente y rígida es la madera. Se constata entonces la dependencia, no exclusiva, que presentan las características elastomecánicas con respecto a la densidad. La definición de todas ellas en conjunto caracterizan por completo su comportamiento estructural.

En el caso concreto de la madera, la densidad ha sido la primera de sus propiedades físicas en ser estudiada y, durante mucho tiempo, se ha aceptado incluso como el criterio más acertado y, en muchas ocasiones, único, para valorar la calidad de la misma como material de construcción.

La densidad relaciona la cantidad de masa contenida en un determinado volumen (kg/m^3).

Sin embargo, en los materiales porosos como el que nos ocupa, el asunto es algo más complejo. En primer lugar, en la madera hay que diferenciar entre la densidad real y la densidad aparente.

La densidad real se refiere a la materia leñosa de la pared celular, descontando del volumen los huecos o poros interiores que presenta la estructura interna de la misma.

La densidad aparente, por el contrario, tiene en cuenta los numerosos intersticios que posee, cuya proporción, en este caso, sí que depende de la especie de madera. Su valor es muy variable y oscila en unos límites muy amplios, desde poco más de 100 kg/m³ de la madera de balsa hasta alrededor de 1.300 kg/m³ de algunas maderas tropicales. Esta dilatada variabilidad se advierte también dentro de una misma especie, e incluso dentro de un mismo elemento leñoso.

En segundo lugar, no hay que olvidar que la madera es, además de un material poroso, un material higroscópico. Como tal, interacciona constantemente con el ambiente en el que se encuentra, absorbiendo o cediendo agua en función de las condiciones higrotérmicas del mismo. Estas variaciones en el contenido de humedad no sólo modifican la cantidad de masa de la madera, sino que generan igualmente cambios dimensionales que alteran su volumen. Un incremento de humedad produce un aumento de peso y, a la vez, un aumento de volumen o hinchazón, hasta el punto de saturación de la fibra, estipulado en el 28%, a partir del cual la hinchazón volumétrica se detiene pero no así el incremento del peso. En consecuencia, el valor de la densidad se verá afectado por estas fluctuaciones simultáneas de la masa y el volumen.

Difusividad térmica:

Alterando el equilibrio térmico de un cuerpo (normalmente aportando calor) con el medio que lo rodea, y siendo constantes los parámetros de este último, el cuerpo regresará dentro de un tiempo al estado de equilibrio previo que corresponde a esos parámetros. Este retorno al estado de equilibrio en el que se encontraba antes de la excitación térmica se llama relajación, y el intervalo de tiempo que tarda, tiempo de relajación. La difusividad térmica, o coeficiente de conductibilidad de temperatura α , es una propiedad termodinámica que determina la velocidad de este proceso de relajación.

El valor de la difusividad térmica es propio de cada cuerpo y representa entonces la rapidez a la que se adaptan a una nueva condición de temperatura, ya sea ambiental o provocada por una sollicitación exterior de naturaleza térmica. Cuanto mayor sea, antes se ajustará la temperatura del cuerpo a dichas circunstancias.

Dado que la difusividad se refiere a la velocidad de variación de la temperatura, se puede intuir lógicamente su relación de proporcionalidad inversa con la inercia térmica, o lo que es lo mismo, con la resistencia que opone un cuerpo a cambiar su temperatura. Los cuerpos con una difusividad alta tienen una reducida inercia térmica y, por el contrario, los cuerpos con una inercia térmica elevada, como la madera, poseen una baja difusividad.

En el material leñoso, el valor de la difusividad es pequeño y se mueve en un intervalo no muy amplio, que varía aproximadamente de 0,0004 a 0,0007 m²/h en función de la densidad aparente, y sobre el que el contenido de humedad apenas influye (Kollmann 1959). No obstante, a pesar de los datos publicados por Kollmann, hay muy pocas referencias en la literatura sobre la difusividad térmica de la madera (Suleiman 1999).

Conductividad térmica:

La conductividad térmica, o coeficiente de conductibilidad térmica, es una propiedad física de la materia que caracteriza su capacidad para conducir el calor. Se podría definir como la cantidad de calor que pasa por unidad de tiempo a través de una unidad de superficie, en estado de equilibrio, cuando existe una diferencia de temperaturas de 1°C.

El coeficiente de conductividad es propio de cada sustancia y su valor no es constante, sino que depende, por lo común, de una serie de parámetros como la estructura, densidad, humedad, presión y temperatura (Mijeev and Mijeeva 1979). Esta múltiple dependencia dificulta evidentemente la obtención de un valor correcto del mismo. No obstante, en la práctica habitual, la conductividad se extrae de las numerosas tablas de consulta existentes en la literatura, que establecen su valor en función de las restantes propiedades físicas del material.

En el caso de los materiales porosos, como el que nos ocupa en esta investigación, la conductividad térmica depende principalmente de la densidad y la humedad y, en menor medida, también de la temperatura. Su valor, de hecho, crece en general con todas ellas, de forma más significativa con las dos primeras. Las causas de este comportamiento se encuentran, por un lado, en que la densidad elevada conlleva una menor proporción de poros en la estructura interna del material y, por tanto, la presencia de aire, que es un buen aislante, es más reducida. Por otro lado, el grado de humedad aumenta por la acumulación de agua en los citados poros. Este agua reemplaza el aire que anteriormente contenían y favorece entonces, de un modo similar al anterior, la transmisión del calor. En los dos casos, el mecanismo es el mismo, la colmatación de los huecos interiores por el propio material constituyente o por agua, sustancias ambas con una conductividad mayor a la del aire que los ocupaba anteriormente.

Calor específico:

El calor específico es otra de las propiedades físicas que caracterizan el comportamiento termodinámico de la materia. Se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a una unidad de masa de una sustancia para aumentar 1°C su temperatura. Se expresa habitualmente en cal/g°C, aunque también se puede encontrar en Kcal/kg°C ó J/kgk.

Un calor específico elevado significa entonces que se necesita más calor para incrementar su temperatura. Sirva como referencia el valor del calor específico del agua, de sobra conocido, de 1 kcal/kg°C.

La madera, en concreto, tiene un calor específico muy elevado sobre cuyo valor la humedad ejerce una considerable influencia. Por el contrario, se ha hallado que es prácticamente independiente del peso específico aparente en el tramo comprendido entre 230 kg/m³ y 1.100 kg/m³, es decir, de su densidad y también, por extensión, de la especie y procedencia de la madera (Dunlap, citado por Kollmann 1959; Steinhagen 1977). En la bibliografía se encuentra una horquilla de valores que oscila entre 0,385 y 0,480 kcal/kg°C, dentro del dominio higroscópico, con independencia de la densidad en todo caso.

4.3. Medios, instrumental y materiales del procedimiento experimental

El procedimiento experimental que se ha realizado para la estimación de la densidad de la madera, y que se expone a continuación, se realizó desde diciembre de 2012 hasta mayo de 2013. Los ensayos se han desarrollado íntegramente en el laboratorio del Departamento de Construcciones Arquitectónicas ubicado en la planta sótano de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid. Para su ejecución se ha contado con los siguientes medios materiales y equipos:

4.3.1. Equipo humano

En la realización de los ensayos han colaborado don José María Olivar Parra técnico del laboratorio de la E.T.S. de Arquitectura de Valladolid y Gamaliel López Rodríguez doctor arquitecto y director de este trabajo.

4.3.2. Medios e instrumental

La captura de la energía de radiación se ha realizado con una cámara infrarroja modelo ThermoCAM B2, fabricada por la empresa estadounidense FLIR Systems (Fig. 17 y 18). Cuenta con un detector formado por un microbolómetro sin enfriamiento con arreglo de plano focal (FPA) y que da una resolución de 160x120 píxeles. Opera en el rango espectral comprendido entre 7,5-13 μm con una sensibilidad térmica de menos de 0,10°C a 25°C. Las imágenes termográficas o termogramas obtenidos por la cámara se han analizado con el software FLIR QuickReport 1.2 desarrollado por la misma empresa y el procesado de los datos de temperatura extraídos de las mismas con Microsoft Office Excel 2007 y con el programa matemático MATLAB. El estudio estadístico está realizado con STATGRAPHICS Centurion XV.



Fig. 17 y 18. Cámara termográfica ThermoCAM B2.

Para acondicionar las muestras a 60 °C se ha dispuesto de un horno modelo ES-6 de IBERTEST (Fig. 19) y una cámara de ensayos térmicos y climáticos WEISS WK3 (Fig. 20). El contenido de humedad se ha manipulado mediante vasos de precipitado con agua en el caso de la estufa y en la cámara climática se fijó una humedad fija del 75%.

La cámara de ensayos térmicos y climáticos tiene un rango de temperaturas entre 40°C a 180°C (-70°C opción) y control de humedad (del 10% al 95% en el rango de los 10°C a los 95°C). El control de la humedad se realiza por medio de diagrama psicrométrico, más preciso que los sensores capacitivos y la programación por medio de un ordenador integrado con pantalla táctil de 12" con control por microporcesador y ordenador industrial para registro y explotación de los datos.



Fig. 19. Horno modelo ES-6 de IBERTEST



Fig. 20 Cámara de ensayos térmicos y climáticos

La medición de las condiciones ambientales del laboratorio y el control higrotérmico en las probetas que estuvieron en la estufa se ha seguido con un instrumento de medición multifunción de la casa TESTO, modelo 635-2 (Fig. 21), a través de tres sondas inalámbricas de temperatura y humedad y una cuarta sonda especial para condiciones de alta humedad (Fig. 22).



Fig. 21. Dispositivo TESTO 635-2



Fig. 22. Sondas de transmisión por radio.

4.3.3. Material ensayado

Para el experimento se han seleccionado siete especies distintas de madera maciza aserrada: samba, abeto, pino, iroko, haya, bubinga y elondo. De cada una de las especies se han ensayado 4 muestras de 20x30 cm y tres espesores distintos: 25, 50 y 70 mm.

El criterio de elección de estas siete especies responde a un intento por abarcar, en la medida de lo posible, el amplio surtido de clases existentes en la naturaleza y también en el mercado. Se ha buscado, por tanto, variedad en el color, textura, veteado y densidad tratando de englobar una extensa horquilla dentro de estos cuatro parámetros. La densidad se ha obtenido dividiendo la masa entre el volumen:

Tabla 2. Especies de madera y características físicas de las probetas analizadas:

ESPECIE	Volumen (dm ³)	PESO (g)	DENSIDAD (kg/m ³)
Samba 25	1,50	628,5	419,00
Abeto 25	1,50	578,8	385,86
Pino 25	1,50	819,6	546,40
Iroko 25	1,50	1.015,4	676,93
Haya 25	1,50	1.049,2	699,46
Bubinga 25	1,50	1.479,0	986,00
Elondo 25	1,50	1.340,2	893,46
Samba 50	3,00	1.231,2	410,40
Abeto 50	3,00	1.175,5	391,83
Pino 50	3,00	1.730,5	576,83
Iroko 50	3,00	1.997,0	665,66
Haya 50	3,00	2.119,5	706,50
Bubinga 50	3,00	2.977,7	992,56
Elondo 50	3,00	2.677,4	892,46
Samba 70	4,20	1.656,3	394,35
Abeto 70	4,20	1.526,9	362,11
Pino 70	4,20	2.343,9	558,07
Iroko 70	4,20	2.715,1	646,45
Haya 70	4,20	2.766,3	658,63
Bubinga 70	4,20	4.076,9	970,69
Elondo 70	4,20	3.659,6	871,33

4.4. Metodología del procedimiento experimental

El proceso experimental que se ha llevado a cabo para explorar la posibilidad de evaluar cuantitativamente la densidad de la madera se ha basado en la estimulación térmica de las probetas con diversas fuentes de calor externas: horno y cámara climática, concretamente hasta alcanzar 60°C.

El régimen térmico está determinado solamente por las dimensiones y forma del cuerpo y por tres propiedades, la conductividad, el calor específico y la densidad. Motivado por esta dependencia, se aborda la evaluación cuantitativa de esta última por medio de un análisis de regresión.

Para llevarlo a la práctica, se ha optado por observar la transmisión de calor en las probetas durante su enfriamiento, desde 60°C hasta la temperatura ambiente, de alrededor de 25°C. Como es lógico, es necesario acondicionarlas previamente a una temperatura distinta a la ambiental para generar un flujo de calor entre las probetas y el entorno. Es entonces, en un régimen transitorio, cuando se puede estudiar la influencia que ejercen las propiedades del material, en particular, su densidad, sobre su comportamiento térmico.

El parámetro que permite el seguimiento de este fenómeno físico es la temperatura, en nuestro caso, su evolución descendente en función del tiempo. Se ha decidido observar el proceso de enfriamiento de las probetas durante una hora, para garantizar el establecimiento del régimen térmico regular. El control y medición de la temperatura se ha realizado con la cámara termográfica ya reseñada. Recordemos que este dispositivo captura imágenes de la radiación infrarroja que emite un cuerpo en un determinado momento. Por este motivo, durante 60 minutos se han recogido 60 imágenes observando la progresión del enfriamiento de las probetas.

El acondicionamiento térmico de las probetas a 60°C se ha conseguido introduciéndolas en la estufa o en la cámara climática durante 72 horas (Fig. 23). Se ha manipulado también la humedad relativa en el interior del contenedor, mediante agua y vasos de precipitado, con el objeto de que la humedad de la madera ensayada se encuentre en el entorno del 12% tanto en el caso del horno) como con la cámara climática (Fig.24) donde se fijó la humedad en el 75%. Para el seguimiento y control de la temperatura y la humedad relativa de la estufa se ha utilizado una sonda inalámbrica y el instrumento de medición TESTO.



Fig. 23. Interior de la cámara climática



Fig. 24. Display de la cámara climática

El ensayo realmente comienza cuando la probeta se fija en un tornillo metálico y la cámara termográfica situada a 50 cm de superficie de las probetas (Fig. 25 y Fig 26).

El control y medición de la temperatura en función del tiempo se ha realizado de nuevo tomando termogramas cada minuto, obteniendo secuencias de 60 imágenes para cada una de las muestras de madera (4 muestras x 3 espesores x 7 especies). El cómputo de la temperatura se ha promediado sobre unos 5 cm² centrados sobre la zona calentada (100x100 píxeles) con una

emisividad constante de 0,90, después de introducir la temperatura y humedad relativa ambiental, y calcular la radiación incidente sobre la superficie termografiada en la aplicación FLIR QuickReport SP2 (Fig. 27).

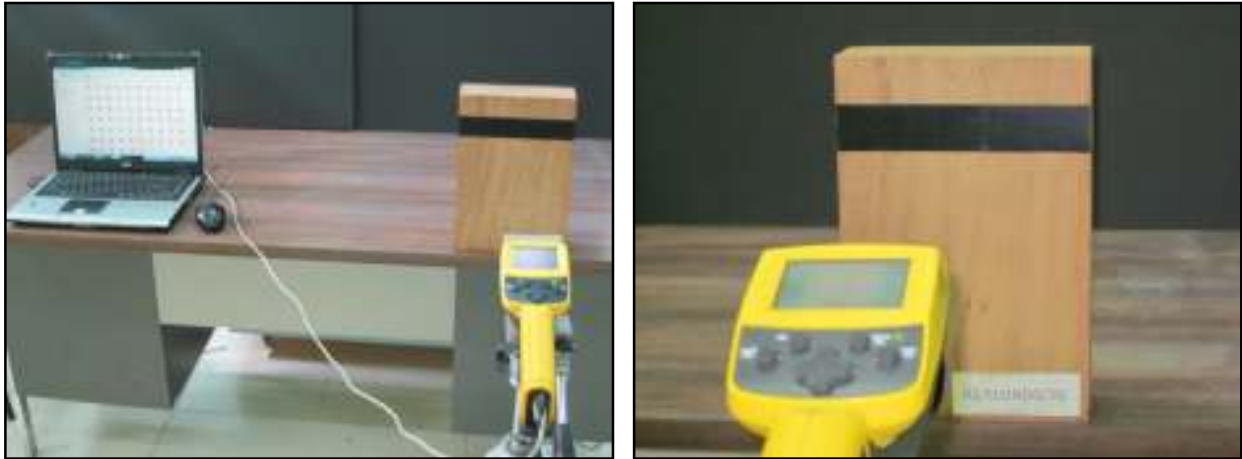


Fig. 25 y Fig. 26. Cámara montada sobre trípode y ordenador para procesar las 5.040 imágenes

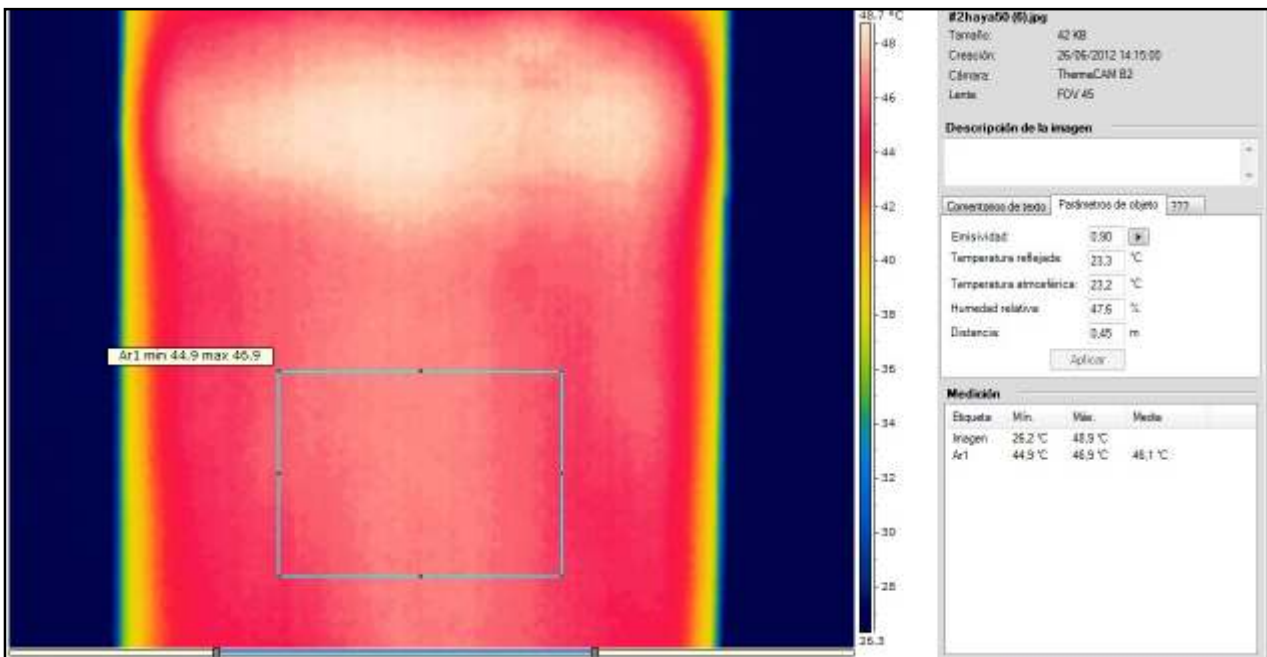


Fig. 27 Software FLIR QuickReport 1.2. SP2

En el momento de los ensayos, las condiciones ambientales de temperatura y humedad del laboratorio y las higrotérmicas de la estufa y de las probetas, se resumen en las tablas de los anexos.

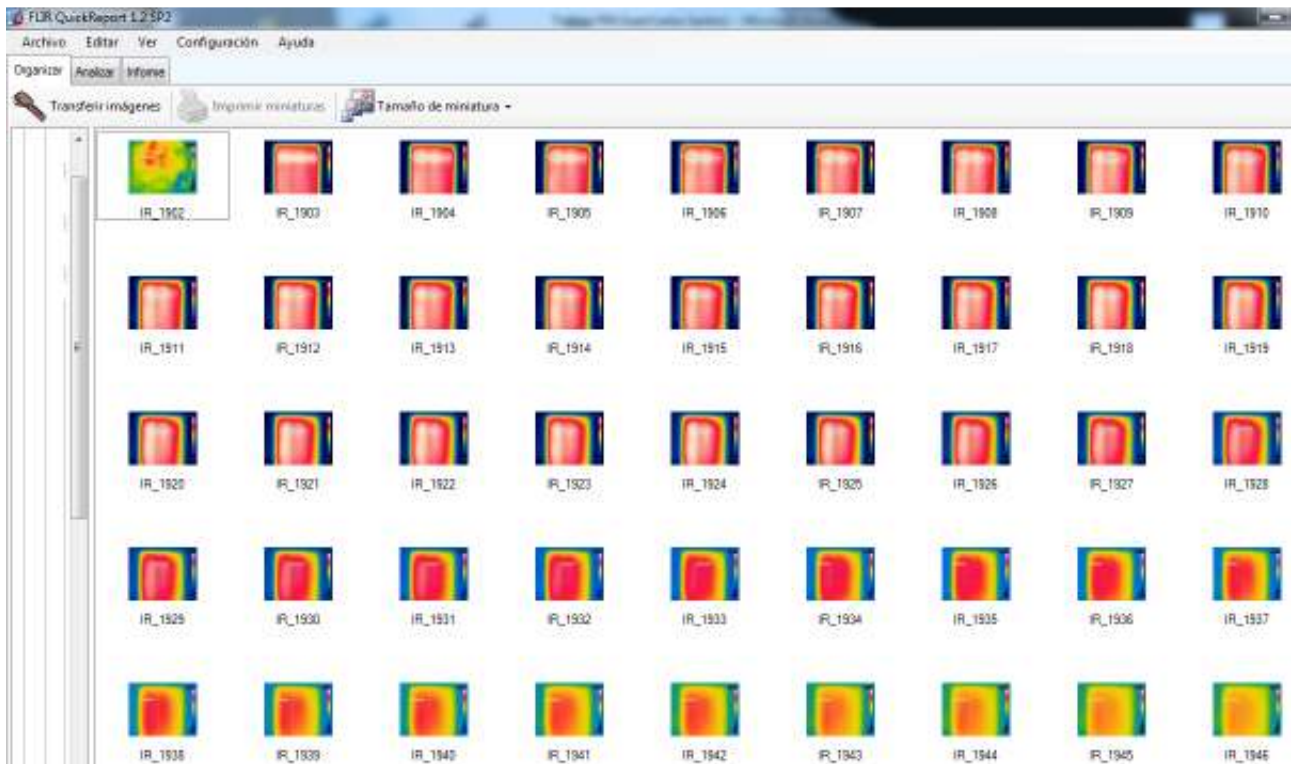


Fig. 28. Captura de la aplicación FLIR QuickReport del ensayo 1: samba 25 mm

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio estamos analizando el comportamiento térmico de la madera con el objetivo de encontrar un patrón que relacione tres de las variables que afectan al proceso de transmisión de calor, la densidad, la temperatura y el tiempo. De este modo, se está buscando una fórmula empírica o verificar una fórmula teórica que los vincule, de forma que sea viable estimar la primera de ellas a partir de las dos últimas.

Es importante resaltar que la temperatura y el tiempo son, precisamente, los parámetros que podemos medir y controlar con la cámara termográfica respectivamente, y la densidad, la propiedad que se quiere evaluar. Tras observar el fenómeno de enfriamiento de las 84 probetas durante una hora, los valores de las tres variables están ligados entre sí.

Se va a examinar su posible relación mediante métodos gráficos, representando estos valores experimentales sobre ejes cartesianos y analizando los diversos diagramas resultantes.

5.1. Estadística descriptiva

A continuación se muestra el análisis realizado para comparar los tres grosores entre sí según la especie:

5.1.1. Samba

Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	234	1,63	70,069%	-2,5257	3,3485	5,87423	-6,08027	2,61336
50	240	2,31	21,0035%	1,2267	3,3322	2,10549	-0,592923	-2,6736
70	240	2,34	14,5942%	1,2892	3,33328	2,04404	2,59043	0,169819
Total	714	2,09	38,4701%	-2,5257	3,3485	5,87423	-21,0818	30,8407

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de LOG(Exceso Temperatura) para cada uno de los 3 niveles de Grosor. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles.

5.1.2. Abeto

Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	240	1,60726	59,1679%	-0,94160	3,4449	4,3865	-1,13322	-2,2608
50	240	2,30231	18,6667%	1,28093	3,41082	2,12988	0,577177	-2,05742
70	240	2,47743	12,8627%	1,93007	3,34427	1,4142	3,44492	-0,72649
Total	720	2,129	34,4258%	-0,94160	3,4449	4,3865	-13,322	8,84236

5.1.3. Pino*Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):*

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	240	2,06342	34,1871%	0,425268	3,50345	3,07819	-0,273841	-2,95426
50	240	2,65422	11,2335%	2,14593	3,49256	1,34663	2,36348	-1,63067
70	240	2,66273	9,9256%	2,24813	3,50646	1,25833	4,63844	0,040334
Total	720	2,46012	22,1521%	0,425268	3,50646	3,08119	-12,1111	6,80336

5.1.4. Iroko*Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):*

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	240	2,10675	32,1658%	0,71784	3,43528	2,71744	-0,199221	-3,34785
50	240	2,67161	11,2684%	2,11142	3,44106	1,32963	1,53145	-2,24881
70	240	2,68325	9,00628%	2,28646	3,40086	1,11441	3,86279	-0,53917
Total	720	2,4872	21,0718%	0,71784	3,44106	2,72322	-12,0659	5,78903

5.1.5. Haya*Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):*

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	240	2,26993	27,0878%	0,940007	3,54212	2,60211	-1,05086	-2,51414
50	240	2,69709	10,9704%	2,1564	3,46323	1,30683	1,80159	-2,10187
70	240	2,7738	8,73679%	2,33988	3,59841	1,25853	4,17739	0,370435
Total	720	2,58027	18,3221%	0,940007	3,59841	2,6584	-11,4047	7,35038

5.1.6. Bubinga*Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):*

Grosor	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
25	240	2,56546	18,5531%	1,57485	3,57655	2,0017	-0,144234	-2,98389
50	240	2,86432	8,5629%	2,3906	3,4673	1,0767	1,06683	-2,4023
70	240	2,93399	6,88215%	2,49072	3,51005	1,01933	2,49026	-0,586778
Total	720	2,78792	13,152%	1,57485	3,57655	2,0017	-9,16829	3,79785

5.1.7. Elondo

Resumen Estadístico para LOG(Exceso Temperatura):

<i>Grosor</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
25	240	2,57295	18,4971%	1,6525	3,51898	1,86648	-0,0616449	-3,30019
50	240	2,79261	8,84596%	2,35707	3,4356	1,07853	2,21488	-2,10331
70	180	2,83565	8,21716%	2,42745	3,4503	1,02285	2,45501	-1,01984
Total	660	2,72447	13,3583%	1,6525	3,51898	1,86648	-5,59341	1,11194

5.2. Comparación de los espesores

A continuación se muestra el análisis realizado para comparar los tres grosores entre sí según la especie:

5.2.1. Samba

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	110,834	0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

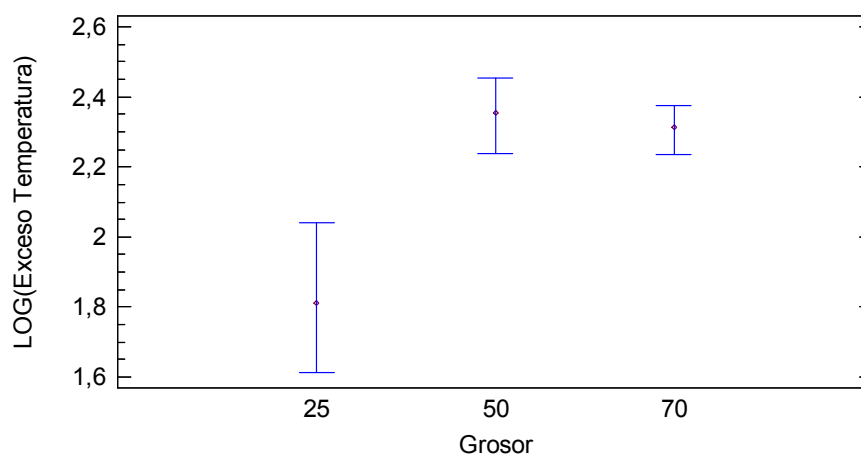
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	234	269,158
50	240	395,656
70	240	405,477

Estadístico = 64,1255 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.2.2. Abeto

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	160,981	0,0

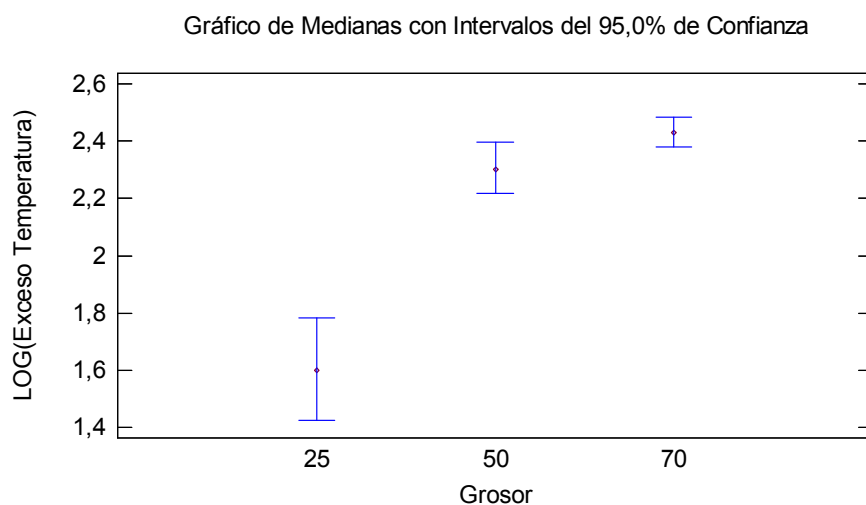
Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	241,754
50	240	384,873
70	240	454,873

Estadístico = 130,934 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



5.2.3. Pino

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	172,658	0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

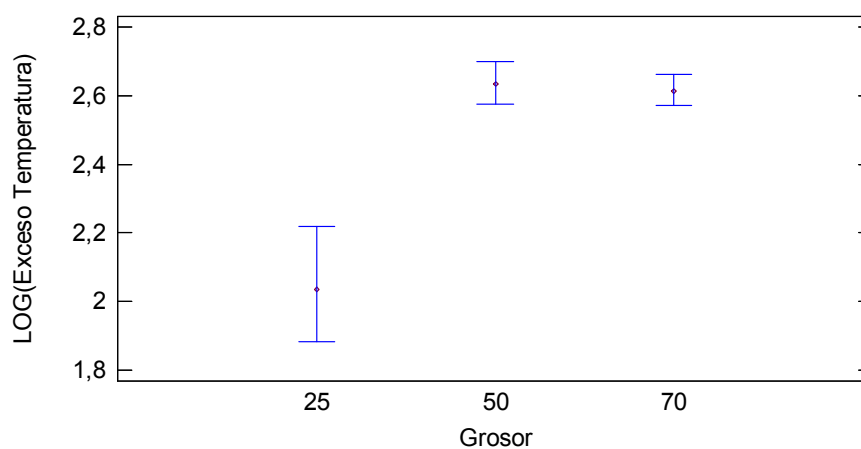
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	240,398
50	240	417,744
70	240	423,358

Estadístico = 120,125 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.2.4. Iroko

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	181,691	0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

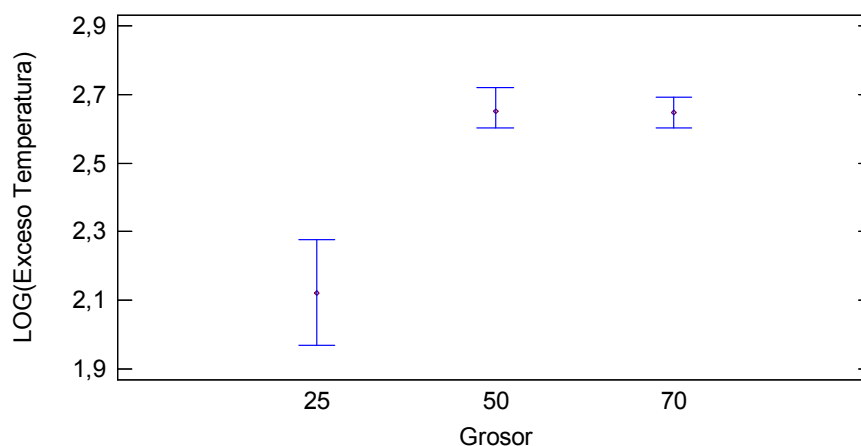
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	241,048
50	240	416,04
70	240	424,413

Estadístico = 118,937 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.2.5. Haya

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	120,713	0,0

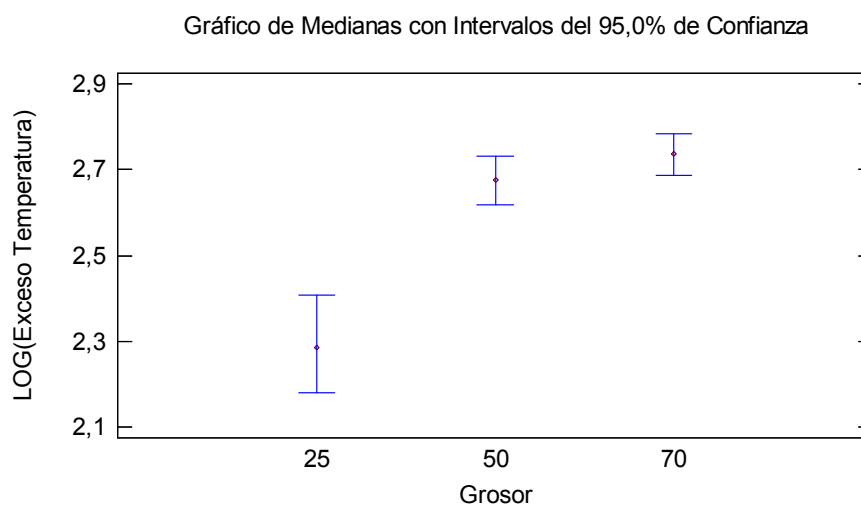
Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	248,579
50	240	392,417
70	240	440,504

Estadístico = 110,656 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



5.2.6. Bubinga

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	121,282	0,0

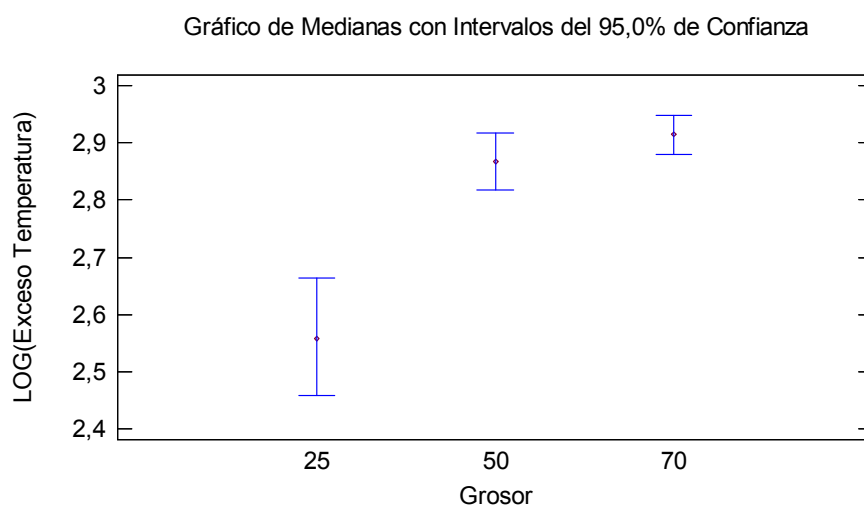
Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	259,448
50	240	386,027
70	240	436,025

Estadístico = 91,9125 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



5.2.7. Elondo

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	96,4773	0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

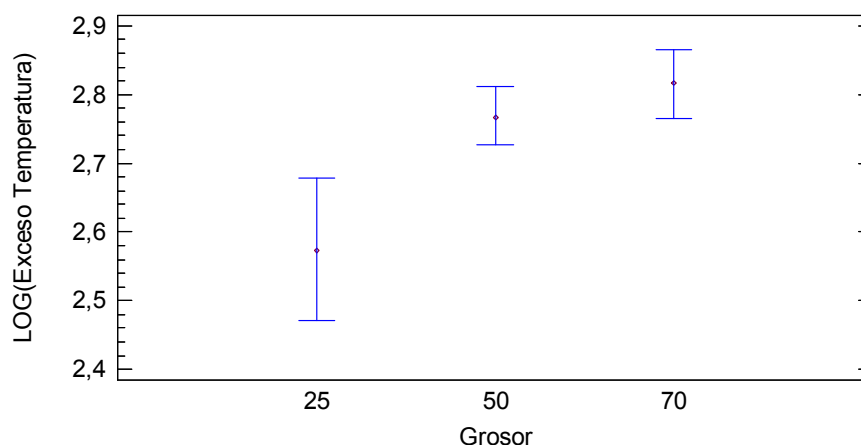
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Grosor.

Grosor	Tamaño Muestra	Rango Promedio
25	240	268,087
50	240	354,229
70	180	382,078

Estadístico = 42,604 Valor-P = 5,60617E-10

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.3. Comparación de las especies

A continuación se muestra el análisis realizado para comparar las siete especies entre sí según sus grosores:

5.3.1. Grosor 25 mm

Pruebas de Múltiple Rangos para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Método: 95,0 porcentaje LSD

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Abeto	240	1,60726	X
Samba	234	1,63078	X
Pino	240	2,06342	X
Iroko	240	2,10675	X
Haya	240	2,26993	X
Bubinga	240	2,56546	X
Elondo	240	2,57295	X

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

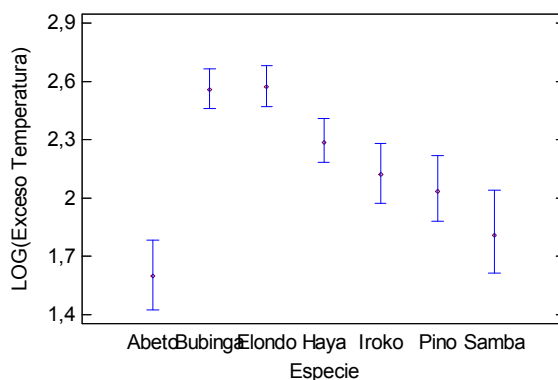
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Abeto	240	567,942
Bubinga	240	1098,47
Elondo	240	1103,7
Haya	240	895,367
Iroko	240	792,719
Pino	240	768,61
Samba	234	630,524

Estadístico = 270,641 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.3.2. Grosor 50 mm

Pruebas de Múltiple Rangos para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Método: 95,0 porcentaje LSD

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Abeto	240	1,60726	X
Samba	234	1,63078	X
Pino	240	2,06342	X
Iroko	240	2,10675	X
Haya	240	2,26993	X
Bubinga	240	2,56546	X
Elondo	240	2,57295	X

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

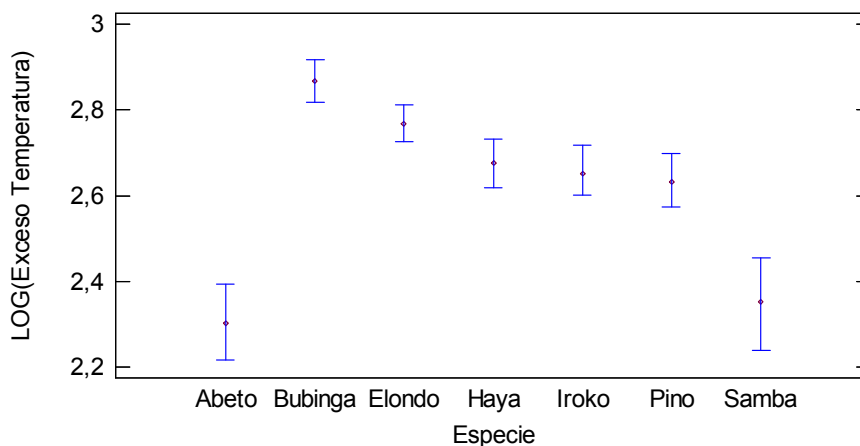
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Abeto	240	493,031
Bubinga	240	1162,06
Elondo	240	1056,3
Haya	240	910,835
Iroko	240	876,55
Pino	240	848,785
Samba	240	535,935

Estadístico = 377,103 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.3.3. Grosor 70 mm

Pruebas de Múltiple Rangos para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Método: 95,0 porcentaje LSD

Especie	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Samba	240	2,34722	X
Abeto	240	2,47743	X
Pino	240	2,66273	X
Iroko	240	2,68325	X
Haya	240	2,7738	X
Elondo	180	2,83565	X
Bubinga	240	2,93399	X

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se han identificado 6 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

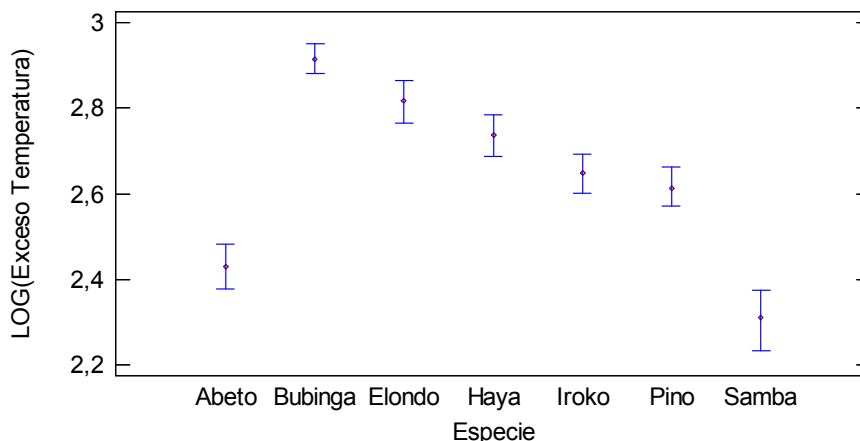
Prueba de Kruskal-Wallis para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Especie	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Abeto	240	530,694
Bubinga	240	1215,95
Elondo	180	1055,74
Haya	240	954,006
Iroko	240	809,69
Pino	240	770,931
Samba	240	397,8

Estadístico = 526,721 Valor-P = 0,0

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95,0% de Confianza



5.4. Anova multifactorial

Análisis de Varianza para LOG(Exceso Temperatura) - Suma de Cuadrados Tipo III:

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Especie	316,811	6	52,8018	584,47	0,0000
B:Grosor	315,151	2	157,576	1744,23	0,0000
C:Tiempo	851,505	59	14,4323	159,75	0,0000
RESIDUOS	443,214	4906	0,0903413		
TOTAL (CORREGIDO)	1913,13	4973			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de LOG(Exceso Temperatura) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre LOG(Exceso Temperatura) con un 95,0% de nivel de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para LOG(Exceso Temperatura) por Especie:

Método: 95,0 porcentaje LSD

Especie	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Samba	714	2,09176	0,0112493	X
Abeto	720	2,129	0,0112015	X
Pino	720	2,46012	0,0112015	X
Iroko	720	2,4872	0,0112015	X
Haya	720	2,58027	0,0112015	X
Elondo	660	2,74348	0,0117126	X
Bubinga	720	2,78792	0,0112015	X

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se han identificado 6 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

5.5. Análisis componentes de la varianza

A continuación se muestra el análisis de varianza en 3 componentes, uno para cada factor. El objetivo de este análisis normalmente es comparar la cantidad de variabilidad con la que contribuye cada uno de los factores, llamados los componentes de varianza. En este caso, el factor que más contribuye a la varianza es Tiempo. Su contribución representa **55,25%** de la variación total en LOG(Exceso Temperatura).

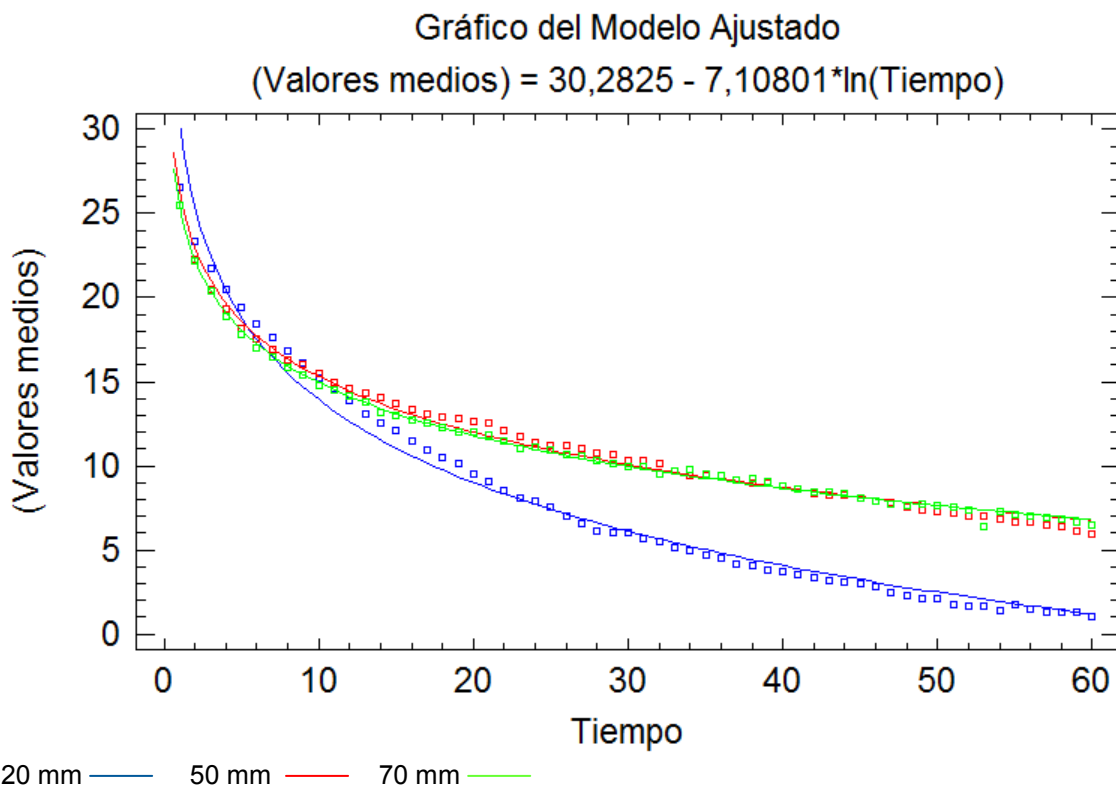
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Comp. Var.	Porcentaje
TOTAL (CORREGIDO)	1913,13	4973			
Especie	305,893	6	50,9821	0,0364706	9,24
Grosor	349,871	14	24,9908	0,101826	25,79
Tiempo	1114,81	1239	0,899766	0,218205	55,26
ERROR	142,553	3714	0,0383826	0,0383826	9,72

5.6. Modelización según grosores y especies

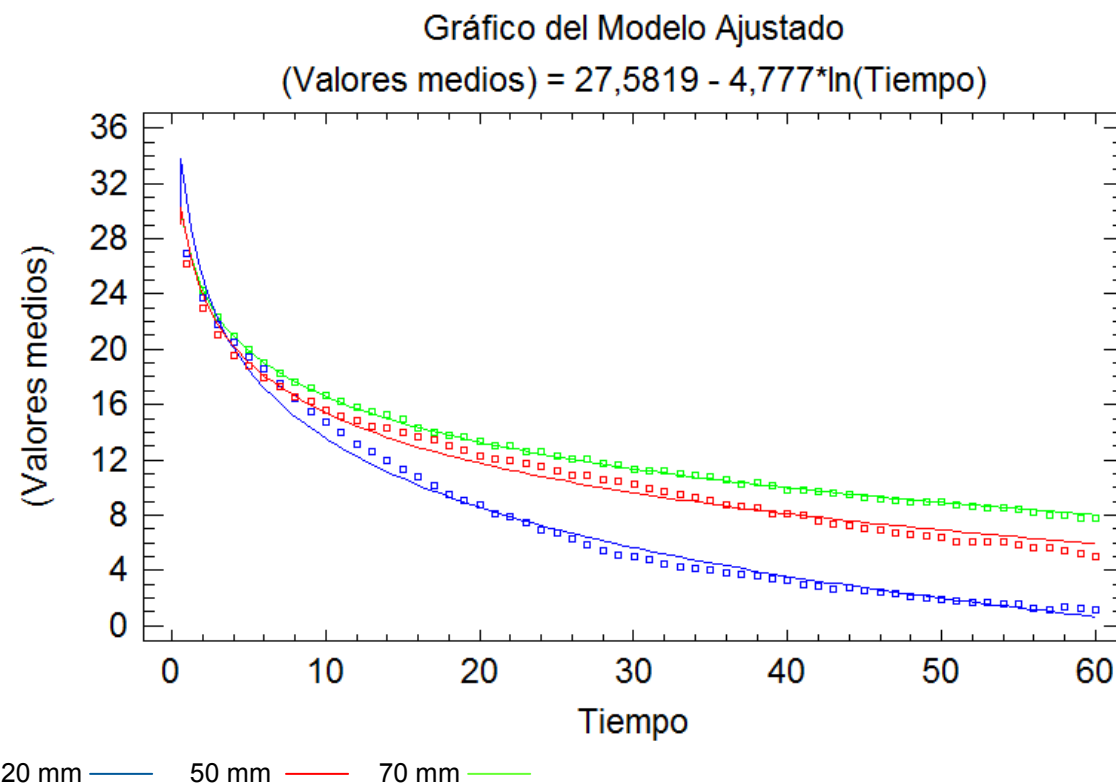
A continuación se muestra la ecuación resultante de las regresiones simples realizadas con la media de las muestras de cada espesor para cada especie:

ESPECIE	GROSOR	ECUACIÓN	Coef. Correlación	R-cuadrada
Samba	25	(Valores medios) = 30,2825 - 7,10801*ln(Tiempo)	-0,991624	98,3318
	50	(Valores medios) = 26,2286 - 4,75224*ln(Tiempo)	-0,996008	99,2032
	70	(Valores medios) = 25,3474 - 4,52697*ln(Tiempo)	-0,998746	99,7493
Abeto	25	(Valores medios) = 30,1007 - 7,19496*ln(Tiempo)	-0,993428	98,6900
	50	(Valores medios) = 27,5716 - 5,28303*ln(Tiempo)	-0,992685	98,5424
	70	(Valores medios) = 27,5819 - 4,777*ln(Tiempo)	-0,999286	99,8573
Pino	25	(Valores medios) = 33,5348 - 7,49479*ln(Tiempo)	-0,990261	98,0616
	50	(Valores medios) = 31,1563 - 5,17759*ln(Tiempo)	-0,993212	98,6469
	70	(Valores medios) = 29,818 - 4,75272*ln(Tiempo)	-0,998541	99,7084
Iroko	25	(Valores medios) = 33,3409 - 7,35106*ln(Tiempo)	-0,987118	97,4401
	50	(Valores medios) = 31,0232 - 5,05094*ln(Tiempo)	-0,986175	97,2542
	70	(Valores medios) = 28,8057 - 4,36447*ln(Tiempo)	-0,996840	99,3689
Haya	25	(Valores medios) = 34,5172 - 7,30156*ln(Tiempo)	-0,985878	97,1955
	50	(Valores medios) = 31,6960 - 5,14792*ln(Tiempo)	-0,987179	97,4522
	70	(Valores medios) = 31,1825 - 4,66378*ln(Tiempo)	-0,996871	99,3644
Bubinga	25	(Valores medios) = 37,4198 - 7,28245*ln(Tiempo)	-0,975875	95,2332
	50	(Valores medios) = 33,2852 - 4,83779*ln(Tiempo)	-0,975406	95,1416
	70	(Valores medios) = 33,051 - 4,40644*ln(Tiempo)	-0,991132	98,2342
Elondo	25	(Valores medios) = 37,8401 - 7,38127*ln(Tiempo)	-0,975286	95,1183
	50	(Valores medios) = 31,7082 - 4,72926*ln(Tiempo)	-0,984894	97,0016
	70	(Valores medios) = 32,0593 - 4,62384*ln(Tiempo)	-0,995662	99,1343

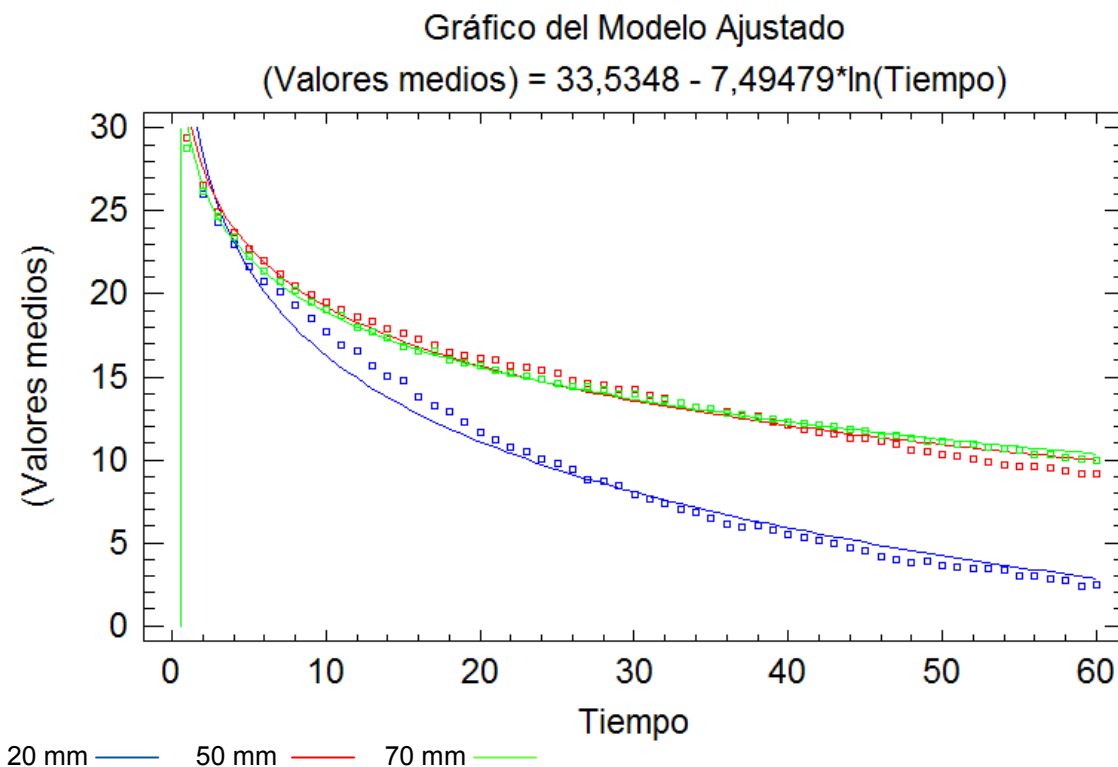
Modelo ajustado para la especie: Samba



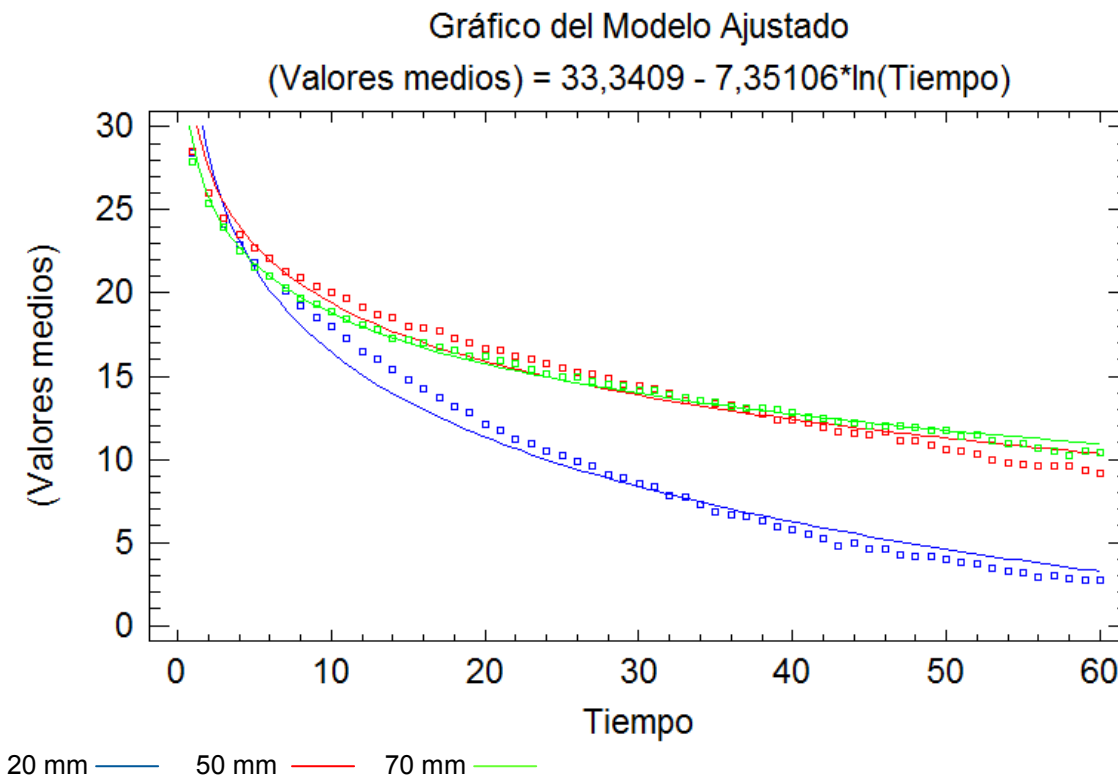
Modelo ajustado para la especie: abeto



Modelo ajustado para la especie: pino

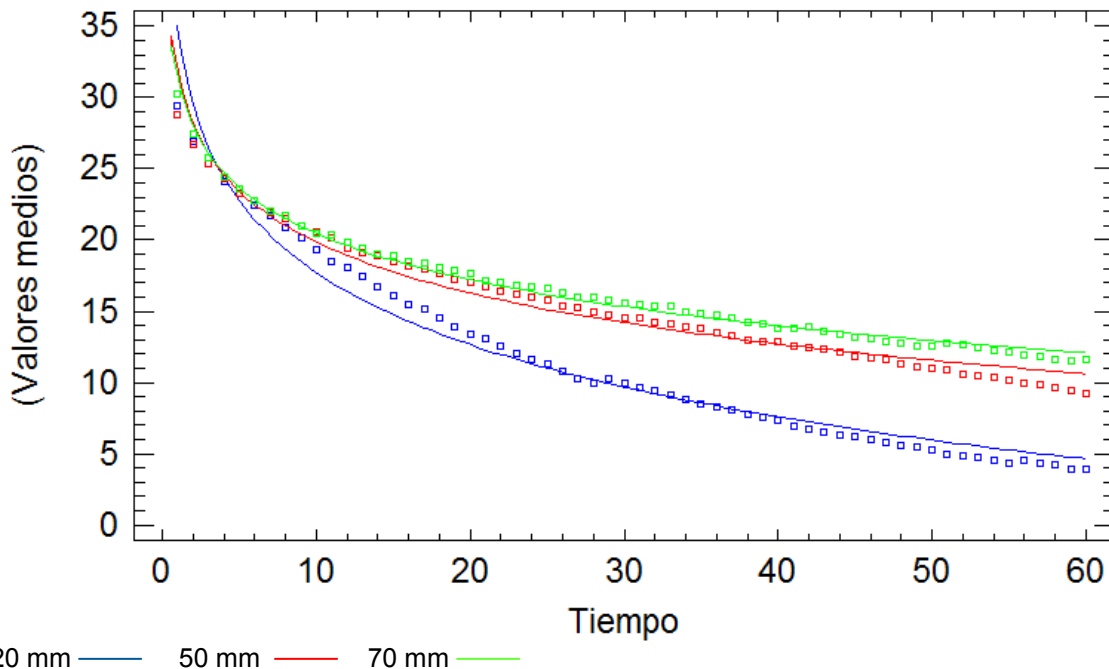


Modelo ajustado para la especie: iroko



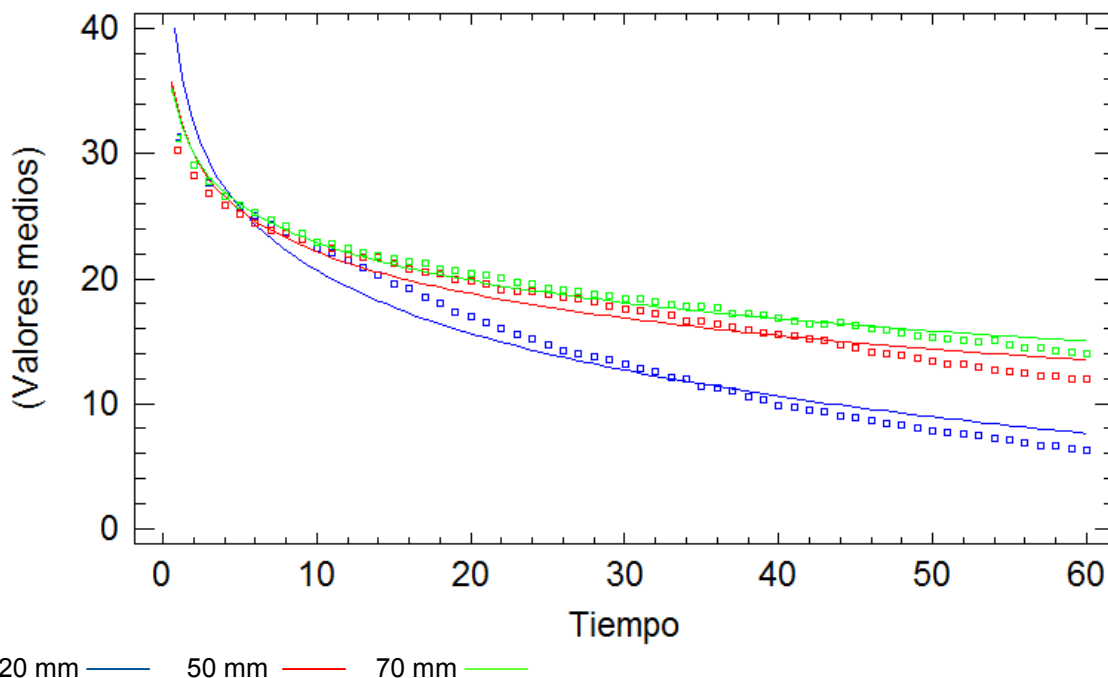
Modelo ajustado para la especie: haya

Gráfico del Modelo Ajustado
 (Valores medios) = $34,5172 - 7,30156 \cdot \ln(\text{Tiempo})$



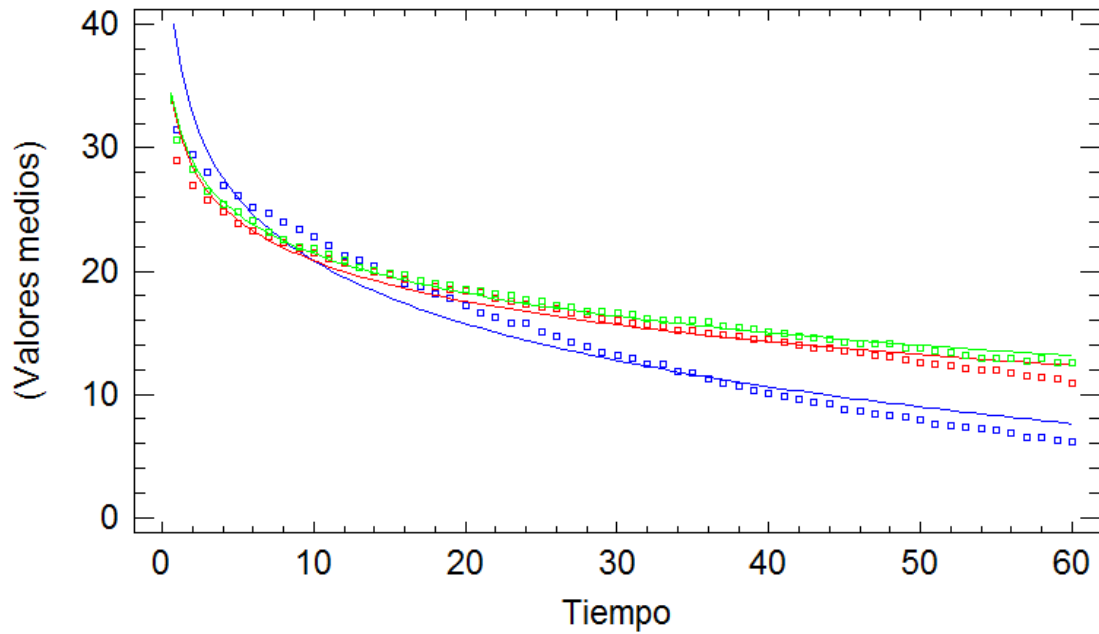
Modelo ajustado para la especie: bubinga

Gráfico del Modelo Ajustado
 (Valores medios) = $37,4198 - 7,28245 \cdot \ln(\text{Tiempo})$



Modelo ajustado para la especie: elondo

Gráfico del Modelo Ajustado
 (Valores medios) = $37,8401 - 7,38127 \cdot \ln(\text{Tiempo})$



20 mm — 50 mm — 70 mm —

5.7. Modelo lineal general

Esta tabla muestra intervalos de confianza del 95,0% para los coeficientes en el modelo:

Parámetro	Estimado	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior	V.I.F.
CONSTANTE	22,0819	0,116866	21,8528	22,3109	
Especie	-3,27962	0,141346	-3,55665	-3,00259	1,71429
Especie	3,65083	0,141346	3,37379	3,92786	1,71429
Especie	2,71705	0,141346	2,44001	2,99408	1,71429
Especie	0,916048	0,141346	0,639015	1,19308	1,71429
Especie	-0,129175	0,141346	-0,406207	0,147858	1,71429
Especie	-0,372952	0,141346	-0,649985	-0,0959195	1,71429
Grosor	-2,70943	0,0816059	-2,86937	-2,54948	1,33333
Grosor	1,05621	0,0816059	0,896269	1,21616	1,33333
Tiempo	-0,277582	0,00333201	-0,284113	-0,271052	1,0

La ecuación del modelo ajustado es:

$$(Valores\ medios) = 22,0819 - 3,27962 \cdot I1(1) + 3,65083 \cdot I1(2) + 2,71705 \cdot I1(3) + 0,916048 \cdot I1(4) - 0,129175 \cdot I1(5) - 0,372952 \cdot I1(6) - 2,70943 \cdot I2(1) + 1,05621 \cdot I2(2) - 0,277582 \cdot \text{Tiempo}$$

en donde:

$I1(1) = 1$ si Especie=Abeto, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I1(2) = 1$ si Especie=Bubinga, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I1(3) = 1$ si Especie=Elondo, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I1(4) = 1$ si Especie=Haya, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I1(5) = 1$ si Especie=Iroko, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I1(6) = 1$ si Especie=Pino, -1 si Especie=Samba, 0 de lo contrario

$I2(1) = 1$ si Grosor=25, -1 si Grosor=70, 0 de lo contrario

$I2(2) = 1$ si Grosor=50, -1 si Grosor=70, 0 de lo contrario

Los intervalos de confianza muestran con que precisión se pueden estimar los coeficientes dada la cantidad de datos disponibles y del ruido que está presente. También se incluyen los factores de inflación de varianza, los cuales pueden usarse para medir la extensión con la que están correlacionadas las variables predictoras entre ellas mismas. VIF's por encima de 10, de los cuales hay 0, generalmente se considera que indican una seria multicolinealidad. Una seria multicolinealidad aumenta considerablemente la estimación del error de los coeficientes del modelo, en comparación con una muestra ortogonal.

6. CONCLUSIONES

- 1- Dentro una misma especie (misma densidad) y un mismo espesor, se han encontrado diferencias en el comportamiento de su enfriamiento (5.2.) justificadas por la heterogeneidad de la madera.
- 2- El espesor de una muestra influye directamente en el ritmo de enfriamiento de la misma, siendo un valor más elevado en las probetas de menor masa y más pequeño en las de mayor masa.
- 3- La velocidad de transmisión de calor, relaciona teóricamente el exceso de temperatura con el tiempo según las ecuaciones del apartado 5.6.
- 4- Por medio de la expresión del apartado 5.7. se podrá calcular la densidad de una madera para una humedad del 12%, contenido habitual al que se referencian todas las propiedades de la madera con unos coeficientes de predicción muy elevados.
- 5- El método descrito requiere la elaboración previa de tablas de referencia para cada uno de los espesores que vaya a ser analizado.

7. ANEXOS

7.1. Condiciones ambientales del laboratorio

A continuación se muestran los datos de temperatura y humedad ambiental del laboratorio en el momento de cada ensayo que sirven para calibrar la radiación térmica percibida por la cámara.

ENSAYO 1 - SAMBA/25 mm/1					
SAMBA/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	22/11/2012	Temperatura (°C)	23,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:30	Humedad Relativa (%)	28,3	Humedad Relativa (%)	19,2
Hora Final	12:29	Temperatura Reflejada	25,3		

ENSAYO 2 - SAMBA/25 mm/2					
SAMBA/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	13/04/2013	Temperatura (°C)	20,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	9:58	Humedad Relativa (%)	43,9	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	10:57	Temperatura Reflejada	20,3		

ENSAYO 3 - SAMBA/25 mm/3					
SAMBA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	24/01/2013	Temperatura (°C)	23,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:00	Humedad Relativa (%)	25,3	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:59	Temperatura Reflejada	24,5		

ENSAYO 4 - SAMBA/25 mm/3					
SAMBA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	24,3	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	9:42	Humedad Relativa (%)	45,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	10:41	Temperatura Reflejada	23,9		

ENSAYO 1 - SAMBA/50 mm/1					
SAMBA/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	08/03/2013	Temperatura (°C)	24,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:23	Humedad Relativa (%)	33,0	Humedad Relativa (%)	16,9
Hora Final	19:22	Temperatura Reflejada	23,5		

ENSAYO 2 - SAMBA/50 mm/2					
SAMBA/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	24/04/2013	Temperatura (°C)	23,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:02	Humedad Relativa (%)	31,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:01	Temperatura Reflejada	24,3		

ENSAYO 3 - SAMBA/50 mm/3					
SAMBA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	06/02/2013	Temperatura (°C)	24,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:36	Humedad Relativa (%)	23,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:35	Temperatura Reflejada	23,4		

ENSAYO 4 - SAMBA/50 mm/3					
SAMBA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/02/2012	Temperatura (°C)	23,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	9:05	Humedad Relativa (%)	47,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	9:04	Temperatura Reflejada	23,3		

ENSAYO 1 - SAMBA/70 mm/1					
SAMBA/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	19/11/2012	Temperatura (°C)	22,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:31	Humedad Relativa (%)	31,2	Humedad Relativa (%)	11,5
Hora Final	12:30	Temperatura Reflejada	21,2		

ENSAYO 2 - SAMBA/70 mm/2					
SAMBA/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	03/05/2013	Temperatura (°C)	20,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:05	Humedad Relativa (%)	36,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:04	Temperatura Reflejada	22,6		

ENSAYO 3 - SAMBA/70 mm/3					
SAMBA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	23/02/2013	Temperatura (°C)	22,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:26	Humedad Relativa (%)	29,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:25	Temperatura Reflejada	22,4		

ENSAYO 4 - SAMBA/70 mm/3					
SAMBA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	27/06/2012	Temperatura (°C)	22,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	13:01	Humedad Relativa (%)	43,8	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	14:00	Temperatura Reflejada	25,6		

ENSAYO 1 - ABETO/25 mm/1					
ABETO/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	22/11/2012	Temperatura (°C)	22,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:40	Humedad Relativa (%)	30,0	Humedad Relativa (%)	25,4
Hora Final	13:39	Temperatura Reflejada	24,5		

ENSAYO 2 - ABETO/25 mm/2					
ABETO/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	13/04/2013	Temperatura (°C)	20,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:59	Humedad Relativa (%)	43,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:58	Temperatura Reflejada	20,9		

ENSAYO 3 - ABETO/25 mm/3					
ABETO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	30/01/2013	Temperatura (°C)	24,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:09	Humedad Relativa (%)	33,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:10	Temperatura Reflejada	23,2		

ENSAYO 4 - ABETO/25 mm/3					
ABETO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	25,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:54	Humedad Relativa (%)	46,3	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	10:55	Temperatura Reflejada	25,0		

ENSAYO 1 - ABETO/50 mm/1					
ABETO/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	09/03/2013	Temperatura (°C)	19,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:43	Humedad Relativa (%)	45,0	Humedad Relativa (%)	20,7
Hora Final	11:42	Temperatura Reflejada	21,6		

ENSAYO 2 - ABETO/50 mm/2					
ABETO/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	24/04/2013	Temperatura (°C)	24,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:02	Humedad Relativa (%)	29,8	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	21:01	Temperatura Reflejada	26,1		

ENSAYO 3 - ABETO/50 mm/3					
ABETO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	15/02/2013	Temperatura (°C)	23,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:18	Humedad Relativa (%)	27,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:17	Temperatura Reflejada	22,4		

ENSAYO 4 - ABETO/50 mm/3					
ABETO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2012	Temperatura (°C)	24,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:17	Humedad Relativa (%)	47,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:16	Temperatura Reflejada	24,5		

ENSAYO 1 - ABETO/70 mm/1					
ABETO/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	19/11/2012	Temperatura (°C)	21,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:27	Humedad Relativa (%)	39,9	Humedad Relativa (%)	32,9
Hora Final	12:26	Temperatura Reflejada	23,3		

ENSAYO 2 - ABETO/70 mm/2					
ABETO/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	03/05/2013	Temperatura (°C)	21,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:05	Humedad Relativa (%)	36,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:04	Temperatura Reflejada	23,4		

ENSAYO 3 - ABETO/70 mm/3					
ABETO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	23/02/2013	Temperatura (°C)	22,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:28	Humedad Relativa (%)	29,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:27	Temperatura Reflejada	23,1		

ENSAYO 4 - ABETO/70 mm/3					
ABETO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	27/06/2012	Temperatura (°C)	25,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:49	Humedad Relativa (%)	45,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:48	Temperatura Reflejada	25,6		

ENSAYO 1 - PINO/25 mm/1					
PINO/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	12/03/2013	Temperatura (°C)	20,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:06	Humedad Relativa (%)	40,2	Humedad Relativa (%)	10,1
Hora Final	20:05	Temperatura Reflejada	21,4		

ENSAYO 2 - PINO/25 mm/2					
PINO/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	13/04/2013	Temperatura (°C)	20,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:00	Humedad Relativa (%)	43,3	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:59	Temperatura Reflejada	21,7		

ENSAYO 3 - PINO/25 mm/3					
PINO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	30/01/2013	Temperatura (°C)	24,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:12	Humedad Relativa (%)	33,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	21:11	Temperatura Reflejada	24,0		

ENSAYO 4 - PINO/25 mm/3					
PINO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	25,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:30	Humedad Relativa (%)	50,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:29	Temperatura Reflejada	25,0		

ENSAYO 1 - PINO/50 mm/1					
PINO/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	09/03/2013	Temperatura (°C)	20,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:45	Humedad Relativa (%)	42,7	Humedad Relativa (%)	20,5
Hora Final	12:44	Temperatura Reflejada	21,6		

ENSAYO 2 - PINO/50 mm/2					
PINO/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/04/2013	Temperatura (°C)	23,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:19	Humedad Relativa (%)	41,2	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:18	Temperatura Reflejada	24,3		

ENSAYO 3 - PINO/50 mm/3					
PINO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	15/02/2013	Temperatura (°C)	23,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:22	Humedad Relativa (%)	27,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	19:21	Temperatura Reflejada	23,6		

ENSAYO 4 - PINO/50 mm/3					
PINO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2012	Temperatura (°C)	25,3	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:55	Humedad Relativa (%)	50,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:54	Temperatura Reflejada	25,3		

ENSAYO 1 - PINO/70 mm/1					
PINO/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	19/11/2012	Temperatura (°C)	23,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	13:59	Humedad Relativa (%)	30,0	Humedad Relativa (%)	14,6
Hora Final	14:58	Temperatura Reflejada	23,8		

ENSAYO 2 - PINO/70 mm/2					
PINO/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	03/05/2013	Temperatura (°C)	22,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:05	Humedad Relativa (%)	33,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	19:04	Temperatura Reflejada	23,1		

ENSAYO 3 - PINO/70 mm/3					
PINO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	27/02/2013	Temperatura (°C)	23,1	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:19	Humedad Relativa (%)	25,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:18	Temperatura Reflejada	22,3		

ENSAYO 4 - PINO/70 mm/3					
PINO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	27/06/2012	Temperatura (°C)	25,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	14:08	Humedad Relativa (%)	42,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	15:07	Temperatura Reflejada	25,6		

ENSAYO 1 - IROKO/25 mm/1					
IROKO/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	13/03/2013	Temperatura (°C)	21,1	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:38	Humedad Relativa (%)	35,5	Humedad Relativa (%)	16,2
Hora Final	20:37	Temperatura Reflejada	21,6		

ENSAYO 2 - IROKO/25 mm/2					
IROKO/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	17/04/2013	Temperatura (°C)	23,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:14	Humedad Relativa (%)	43,8	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:13	Temperatura Reflejada	24,6		

ENSAYO 3 - IROKO/25 mm/3					
IROKO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/02/2013	Temperatura (°C)	25,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:49	Humedad Relativa (%)	31,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:48	Temperatura Reflejada	24,7		

ENSAYO 4 - IROKO/25 mm/3					
IROKO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	25,3	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:49	Humedad Relativa (%)	38,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:48	Temperatura Reflejada	25,0		

ENSAYO 1 - IROKO/50 mm/1					
IROKO/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	12/04/2013	Temperatura (°C)	20,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	15:49	Humedad Relativa (%)	41,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	16:48	Temperatura Reflejada	20,4		

ENSAYO 2 - IROKO/50 mm/2					
IROKO/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/04/2013	Temperatura (°C)	24,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:19	Humedad Relativa (%)	39,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	19:18	Temperatura Reflejada	25,1		

ENSAYO 3 - IROKO/50 mm/3					
IROKO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	16/02/2013	Temperatura (°C)	21,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:58	Humedad Relativa (%)	30,4	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:57	Temperatura Reflejada	22,0		

ENSAYO 4 - IROKO/50 mm/3					
IROKO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2012	Temperatura (°C)	25,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	13:00	Humedad Relativa (%)	48,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:59	Temperatura Reflejada	25,3		

ENSAYO 1 - IROKO/70 mm/1					
IROKO/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	19/11/2012	Temperatura (°C)	24,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:36	Humedad Relativa (%)	31,6	Humedad Relativa (%)	22,5
Hora Final	13:35	Temperatura Reflejada	24,0		

ENSAYO 2 - IROKO/70 mm/2					
IROKO/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	03/05/2013	Temperatura (°C)	23,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:05	Humedad Relativa (%)	32,2	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:04	Temperatura Reflejada	23,9		

ENSAYO 3 - IROKO/70 mm/3					
IROKO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	27/02/2013	Temperatura (°C)	23,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:20	Humedad Relativa (%)	25,2	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	21:19	Temperatura Reflejada	23,2		

ENSAYO 4 - IROKO/70 mm/3					
IROKO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/06/2012	Temperatura (°C)	23,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	9:59	Humedad Relativa (%)	44,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	10:58	Temperatura Reflejada	23,1		

ENSAYO 1 - HAYA/25 mm/1					
HAYA/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	15/03/2013	Temperatura (°C)	19,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:01	Humedad Relativa (%)	38,4	Humedad Relativa (%)	18,9
Hora Final	17:00	Temperatura Reflejada	20,0		

ENSAYO 2 - HAYA/25 mm/2					
HAYA/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	17/04/2013	Temperatura (°C)	24,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:14	Humedad Relativa (%)	43,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	21:13	Temperatura Reflejada	25,0		

ENSAYO 3 - HAYA/25 mm/3					
HAYA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/02/2013	Temperatura (°C)	25,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:52	Humedad Relativa (%)	31,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:51	Temperatura Reflejada	25,8		

ENSAYO 4 - HAYA/25 mm/3					
HAYA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/02/2013	Temperatura (°C)	25,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:52	Humedad Relativa (%)	31,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:51	Temperatura Reflejada	25,8		

ENSAYO 1 - HAYA/50 mm/1					
HAYA/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	12/04/2013	Temperatura (°C)	20,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:50	Humedad Relativa (%)	42,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:49	Temperatura Reflejada	21,9		

ENSAYO 2 - HAYA/50 mm/2					
HAYA/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2013	Temperatura (°C)	25,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:19	Humedad Relativa (%)	38,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:18	Temperatura Reflejada	25,7		

ENSAYO 3 - HAYA/50 mm/3					
HAYA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	16/02/2013	Temperatura (°C)	21,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:02	Humedad Relativa (%)	30,4	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:01	Temperatura Reflejada	22,7		

ENSAYO 4 - HAYA/50 mm/3					
HAYA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2012	Temperatura (°C)	25,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	14:08	Humedad Relativa (%)	45,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	15:07	Temperatura Reflejada	25,7		

ENSAYO 1 - HAYA/70 mm/1					
HAYA/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	22/11/2012	Temperatura (°C)	22,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:17	Humedad Relativa (%)	32,4	Humedad Relativa (%)	23,8
Hora Final	11:16	Temperatura Reflejada	23,7		

ENSAYO 2 - HAYA/70 mm/2					
HAYA/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	04/05/2013	Temperatura (°C)	22,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:04	Humedad Relativa (%)	32,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:03	Temperatura Reflejada	22,9		

ENSAYO 3 - HAYA/70 mm/3					
HAYA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/03/2013	Temperatura (°C)	23,1	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	15:42	Humedad Relativa (%)	25,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	16:41	Temperatura Reflejada	23,5		

ENSAYO 4 - HAYA/70 mm/3					
HAYA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/06/2012	Temperatura (°C)	23,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:03	Humedad Relativa (%)	42,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:02	Temperatura Reflejada	23,1		

ENSAYO 1 - BUBINGA/25 mm/1					
BUBINGA/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	15/03/2013	Temperatura (°C)	19,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:01	Humedad Relativa (%)	37,5	Humedad Relativa (%)	16,0
Hora Final	18:00	Temperatura Reflejada	20,4		

ENSAYO 2 - BUBINGA/25 mm/2					
BUBINGA/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	18/04/2013	Temperatura (°C)	24,1	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:15	Humedad Relativa (%)	41,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:14	Temperatura Reflejada	24,2		

ENSAYO 3 - BUBINGA/25 mm/3					
BUBINGA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	02/02/2013	Temperatura (°C)	22,4	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:32	Humedad Relativa (%)	33,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:31	Temperatura Reflejada	24,2		

ENSAYO 4 - BUBINGA/25 mm/3					
BUBINGA/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	24,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	15:39	Humedad Relativa (%)	36,7	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	16:38	Temperatura Reflejada	24,6		

ENSAYO 1 - BUBINGA/50 mm/1					
BUBINGA/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	12/04/2013	Temperatura (°C)	22,1	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:51	Humedad Relativa (%)	39,9	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:50	Temperatura Reflejada	24,9		

ENSAYO 2 - BUBINGA/50 mm/2					
BUBINGA/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/04/2013	Temperatura (°C)	22,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	19:16	Humedad Relativa (%)	31,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	20:15	Temperatura Reflejada	22,5		

ENSAYO 3 - BUBINGA/50 mm/3					
BUBINGA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	22/02/2013	Temperatura (°C)	24,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:06	Humedad Relativa (%)	31,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:05	Temperatura Reflejada	23,9		

ENSAYO 4 - BUBINGA/50 mm/3					
BUBINGA/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	26/06/2012	Temperatura (°C)	25,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	15:20	Humedad Relativa (%)	42,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	16:19	Temperatura Reflejada	25,6		

ENSAYO 1 - BUBINGA/70 mm/1					
BUBINGA/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	08/03/2013	Temperatura (°C)	22,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:08	Humedad Relativa (%)	35,5	Humedad Relativa (%)	9,0
Hora Final	17:07	Temperatura Reflejada	22,0		

ENSAYO 2 - BUBINGA/70 mm/2					
BUBINGA/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	04/05/2013	Temperatura (°C)	22,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	11:04	Humedad Relativa (%)	34,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	12:03	Temperatura Reflejada	24,3		

ENSAYO 3 - BUBINGA/70 mm/3					
BUBINGA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/03/2013	Temperatura (°C)	23,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:44	Humedad Relativa (%)	24,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:43	Temperatura Reflejada	24,0		

ENSAYO 4 - BUBINGA/70 mm/3					
BUBINGA/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/06/2012	Temperatura (°C)	24,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:20	Humedad Relativa (%)	41,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:19	Temperatura Reflejada	23,1		

ENSAYO 1 - ELONDO/25 mm/1					
ELONDO/25 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	15/03/2013	Temperatura (°C)	21,2	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:01	Humedad Relativa (%)	33,2	Humedad Relativa (%)	16,3
Hora Final	19:00	Temperatura Reflejada	22,1		

ENSAYO 2 - ELONDO/25 mm/2					
ELONDO/25 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	19/04/2013	Temperatura (°C)	22,6	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	15:40	Humedad Relativa (%)	36,4	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	16:39	Temperatura Reflejada	23,3		

ENSAYO 3 - ELONDO/25 mm/3					
ELONDO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	02/02/2013	Temperatura (°C)	22,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:38	Humedad Relativa (%)	32,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:37	Temperatura Reflejada	25,5		

ENSAYO 4 - ELONDO/25 mm/3					
ELONDO/25 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	25/06/2012	Temperatura (°C)	25,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	16:44	Humedad Relativa (%)	37,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	17:43	Temperatura Reflejada	24,6		

ENSAYO 1 - ELONDO/50 mm/1					
ELONDO/50 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	12/04/2013	Temperatura (°C)	22,9	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:53	Humedad Relativa (%)	38,2	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	19:52	Temperatura Reflejada	24,3		

ENSAYO 2 - ELONDO/50 mm/2					
ELONDO/50 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/04/2013	Temperatura (°C)	22,8	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	20:16	Humedad Relativa (%)	30,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	21:15	Temperatura Reflejada	23,2		

ENSAYO 3 - ELONDO/50 mm/3					
ELONDO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	22/02/2013	Temperatura (°C)	25,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	18:09	Humedad Relativa (%)	31,6	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	19:08	Temperatura Reflejada	24,9		

ENSAYO 4 - ELONDO/50 mm/3					
ELONDO/50 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/06/2012	Temperatura (°C)	25,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	10:25	Humedad Relativa (%)	42,5	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	11:24	Temperatura Reflejada	25,6		

ENSAYO 1 - ELONDO/70 mm/1					
ELONDO/70 mm/1		Condiciones Ambientales		Condiciones de la estufa	
Fecha	08/03/2013	Temperatura (°C)	22,5	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:21	Humedad Relativa (%)	37,2	Humedad Relativa (%)	13,2
Hora Final	18:20	Temperatura Reflejada	22,2		

ENSAYO 2 - ELONDO/70 mm/2					
ELONDO/70 mm/2		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	04/05/2013	Temperatura (°C)	22,0	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	12:04	Humedad Relativa (%)	35,1	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	13:03	Temperatura Reflejada	23,7		

ENSAYO 3 - ELONDO/70 mm/3					
ELONDO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	01/03/2003	Temperatura (°C)	23,7	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	17:46	Humedad Relativa (%)	24,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	18:45	Temperatura Reflejada	24,0		

ENSAYO 4 - ELONDO/70 mm/3					
ELONDO/70 mm/3		Condiciones Ambientales		Condiciones de la cámara climática	
Fecha	29/06/2012	Temperatura (°C)	24,3	Temperatura (°C)	60,0
Hora de Inicio	13:24	Humedad Relativa (%)	41,0	Humedad Relativa (%)	75,0
Hora Final	14:23	Temperatura Reflejada	24,0		

7.2. Humedad de equilibrio higroscópico de la madera

Humedad de equilibrio higroscópico es el contenido de humedad de la madera cuando no intercambia vapor de agua con la atmósfera que la rodea, si se mantiene constante la pareja de valores higrotérmicos temperatura y humedad relativa del aire. A cada pareja de valores higrotérmicos corresponde, por tanto, una humedad de equilibrio higroscópico en la madera. En nuestro caso, a 60 °C y 75% de humedd, nos corresponde un valor del 12%.

Tempe- ratura	Humedad relativa												
	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
25	6,10	6,86	7,61	8,36	9,14	9,95	10,84	11,82	12,94	14,24	15,82	17,77	20,29
26	6,08	6,84	7,59	8,33	9,10	9,92	10,80	11,78	12,89	14,20	15,77	17,72	20,24
27	6,06	6,82	7,56	8,31	9,07	9,88	10,76	11,74	12,85	14,15	15,72	17,66	20,18
28	6,03	6,79	7,53	8,28	9,04	9,85	10,72	11,70	12,81	14,10	15,66	17,61	20,12
29	6,01	6,77	7,50	8,24	9,01	9,81	10,69	11,65	12,76	14,05	15,61	17,55	20,06
30	5,99	6,74	7,48	8,21	8,97	9,78	10,64	11,61	12,71	14,00	15,56	17,49	20,00
31	5,96	6,71	7,45	8,18	8,94	9,74	10,60	11,57	12,66	13,95	15,50	17,43	19,94
32	5,94	6,69	7,42	8,15	8,90	9,70	10,56	11,52	12,62	13,90	15,44	17,37	19,88
33	5,91	6,66	7,39	8,11	8,87	9,66	10,52	11,48	12,57	13,84	15,39	17,31	19,81
34	5,89	6,63	7,35	8,08	8,83	9,62	10,48	11,43	12,52	13,79	15,33	17,25	19,75
35	5,86	6,60	7,32	8,05	8,79	9,58	10,43	11,38	12,46	13,73	15,27	17,19	19,68
36	5,83	6,57	7,29	8,01	8,75	9,54	10,39	11,33	12,41	13,68	15,21	17,12	19,61
37	5,80	6,54	7,26	7,97	8,71	9,49	10,34	11,28	12,36	13,62	15,15	17,06	19,54
38	5,78	6,51	7,22	7,94	8,67	9,45	10,29	11,23	12,31	13,56	15,09	16,99	19,47
39	5,75	6,48	7,19	7,90	8,63	9,41	10,25	11,18	12,25	13,51	15,02	16,92	19,40
40	5,72	6,44	7,15	7,86	8,59	9,36	10,20	11,13	12,20	13,45	14,96	16,86	19,33
41	5,69	6,41	7,12	7,82	8,55	9,32	10,15	11,08	12,14	13,39	14,90	16,79	19,26
42	5,66	6,38	7,08	7,78	8,51	9,27	10,10	11,03	12,09	13,33	14,83	16,72	19,18
43	5,62	6,34	7,04	7,74	8,46	9,23	10,05	10,98	12,03	13,27	14,77	16,65	19,11
44	5,59	6,31	7,00	7,70	8,42	9,18	10,00	10,92	11,97	13,21	14,70	16,58	19,03
45	5,56	6,27	6,97	7,66	8,38	9,13	9,95	10,87	11,91	13,14	14,63	16,50	18,95
46	5,53	6,24	6,93	7,62	8,33	9,09	9,90	10,81	11,86	13,08	14,57	16,43	18,88
47	5,49	6,20	6,89	7,58	8,29	9,04	9,85	10,76	11,80	13,02	14,50	16,36	18,80
48	5,46	6,16	6,85	7,54	8,24	8,99	9,80	10,70	11,74	12,95	14,43	16,29	18,72
49	5,43	6,13	6,81	7,49	8,20	8,94	9,75	10,65	11,68	12,89	14,36	16,21	18,64
50	5,39	6,09	6,77	7,45	8,15	8,89	9,70	10,59	11,62	12,82	14,29	16,14	18,56
51	5,36	6,05	6,73	7,41	8,10	8,84	9,64	10,53	11,56	12,76	14,22	16,06	18,48
52	5,32	6,01	6,69	7,36	8,06	8,79	9,59	10,48	11,50	12,69	14,15	15,98	18,39
53	5,29	5,97	6,65	7,32	8,01	8,74	9,54	10,42	11,43	12,63	14,08	15,91	18,31
54	5,25	5,94	6,60	7,27	7,96	8,69	9,48	10,36	11,37	12,56	14,01	15,83	18,23
55	5,21	5,90	6,56	7,23	7,91	8,64	9,43	10,30	11,31	12,49	13,94	15,75	18,14
56	5,18	5,86	6,52	7,18	7,87	8,59	9,37	10,25	11,25	12,43	13,86	15,67	18,06
57	5,14	5,82	6,48	7,14	7,82	8,54	9,32	10,19	11,18	12,36	13,79	15,60	17,97
58	5,10	5,78	6,43	7,09	7,77	8,48	9,26	10,13	11,12	12,29	13,72	15,52	17,89
59	5,06	5,73	6,39	7,04	7,72	8,43	9,20	10,07	11,06	12,22	13,64	15,44	17,80
60	5,02	5,69	6,34	7,00	7,67	8,38	9,15	10,01	10,99	12,15	13,57	15,36	17,71
61	4,99	5,65	6,30	6,95	7,62	8,32	9,09	9,95	10,93	12,08	13,49	15,28	17,63
62	4,95	5,61	6,25	6,90	7,57	8,27	9,03	9,89	10,86	12,02	13,42	15,19	17,54
63	4,91	5,57	6,21	6,85	7,52	8,22	8,98	9,83	10,80	11,95	13,35	15,11	17,45
64	4,87	5,52	6,16	6,80	7,46	8,16	8,92	9,76	10,73	11,88	13,27	15,03	17,36
65	4,83	5,48	6,12	6,76	7,41	8,11	8,86	9,70	10,67	11,81	13,19	14,95	17,27
66	4,79	5,44	6,07	6,71	7,36	8,05	8,80	9,64	10,60	11,74	13,12	14,87	17,18
67	4,75	5,39	6,02	6,66	7,31	8,00	8,74	9,58	10,53	11,66	13,04	14,78	17,09
68	4,70	5,35	5,98	6,61	7,26	7,94	8,69	9,52	10,47	11,59	12,97	14,70	17,00
69	4,66	5,30	5,93	6,56	7,20	7,89	8,63	9,45	10,40	11,52	12,89	14,62	16,91
70	4,62	5,26	5,88	6,51	7,15	7,83	8,57	9,39	10,34	11,45	12,81	14,53	16,82

7.3. Comparación de las muestras

A continuación se muestra el análisis realizado para comparar las cuatro muestras del mismo grosor y de la misma especie.

Resumen Estadístico para Exceso Temperatura:

Muestra	Recuento	Promedio	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
Samba 25	240	7,93	84,94%	-0,52	28,46	28,98	5,8826	0,17403
Samba 50	240	11,28	47,52%	3,41	28,0	24,59	4,80006	0,00066
Samba 70	240	11,11	37,53%	3,63	28,03	24,4	8,7441	7,13224
Abeto 25	240	7,48	87,75%	0,39	31,34	30,95	7,86426	2,77866
Abeto 50	240	10,96	44,30%	3,6	30,29	26,69	6,48149	3,16742
Abeto 70	240	12,56	35,06%	6,89	28,34	21,45	8,23259	5,14183
Pino 25	240	9,97	68,43%	1,53	33,23	31,7	6,36397	0,90205
Pino 50	240	14,87	31,68%	8,55	32,87	24,32	6,55345	2,91345
Pino 70	240	14,87	29,31%	9,47	33,33	23,86	8,75011	6,30410
Iroko 25	240	10,2305	65,43%	2,05	31,04	28,99	5,77659	0,01882
Iroko 50	240	15,1434	31,29%	8,26	31,22	22,96	5,31817	0,97430
Iroko 70	240	15,0852	26,14%	9,84	29,99	20,15	7,47303	4,02209
Haya 25	240	11,5629	58,77%	2,56	34,54	31,98	5,53656	0,34717
Haya 50	240	15,5128	30,93%	8,64	31,92	23,28	5,52137	0,98511
Haya 70	240	16,5203	26,50%	10,38	36,54	26,16	8,58046	7,48595
Bubinga 25	240	14,5258	47,03%	4,83	35,75	30,92	4,51083	-1,01364
Bubinga 50	240	18,0757	25,07%	10,92	32,05	21,13	4,06016	-0,34718
Bubinga70	240	19,198	21,12%	12,07	33,45	21,38	5,73504	2,18878
Elondo 25	240	14,6351	46,91%	5,22	33,75	28,53	4,22421	-1,53514
Elondo 50	240	16,84	25,81%	10,56	31,05	20,49	5,2251	0,48624
Elondo 70	180	17,52	24,64%	11,33	31,51	20,18	5,29787	1,68499

El sesgo estandarizado fuera del rango de -2 a +2 indica no normalidad en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

7.3.1. Samba (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,122028	0,947058

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Exceso Temperatura dentro de cada uno de los 4 niveles de N° muestra es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	110,742
2	60	116,308
3	60	94,1667
4	60	160,783

Estadístico = 30,2365 Valor-P = **0,00000123066**

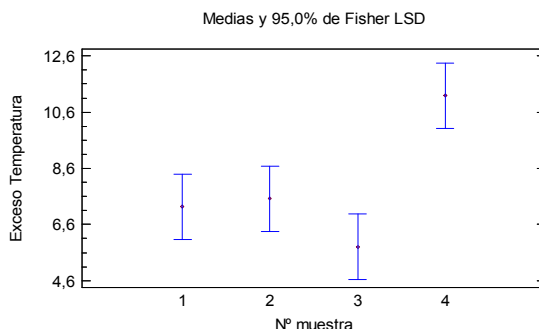
La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de Exceso Temperatura dentro de cada uno de los 4 niveles de N° muestra son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de Múltiple Rangos para Exceso Temperatura por N° muestra

Método: 95,0 porcentaje LSD

N° muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
3	60	5,80217	X
1	60	7,233	X
2	60	7,52417	X
4	60	11,1833	X

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0%.



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0951213	0,962677

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

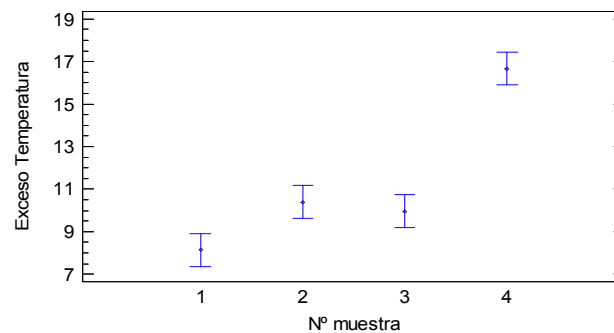
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	74,6417
2	60	112,325
3	60	104,867
4	60	190,167

Estadístico = 90,4695 Valor-P = **0,0**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

**Grosor 70 mm:**

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,591399	0,621198

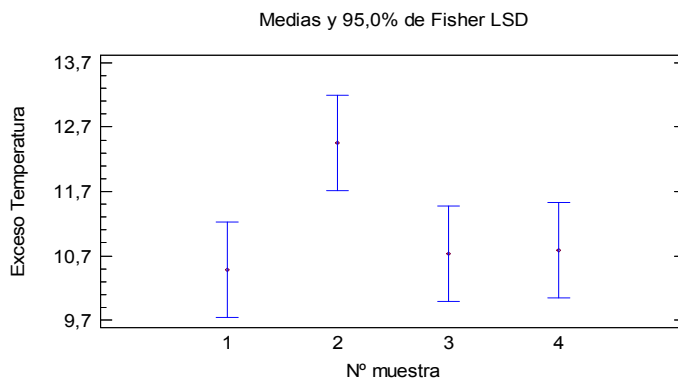
Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	103,725
2	60	147,067
3	60	112,017
4	60	119,192

Estadístico = 13,2059 Valor-P = **0,00421156**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



7.3.2. Abeto (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,757256	0,519124

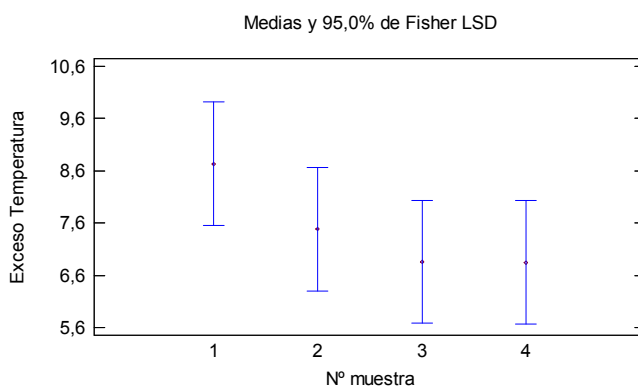
Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	137,708
2	60	113,658
3	60	112,542
4	60	118,092

Estadístico = 5,12954 Valor-P = **0,162551**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,947101	0,41853

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

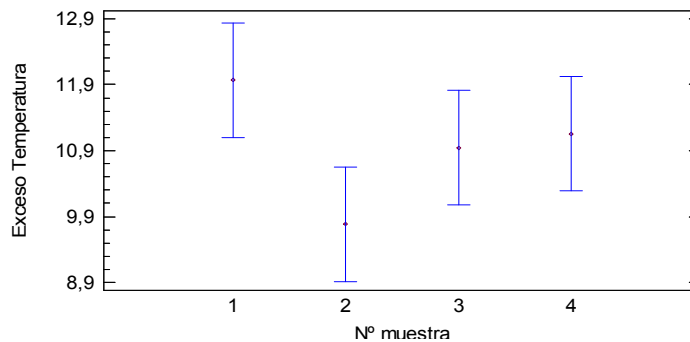
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	132,758
2	60	100,108
3	60	120,608
4	60	128,525

Estadístico = 7,8486 Valor-P = **0,0492451**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,424293	0,735757

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

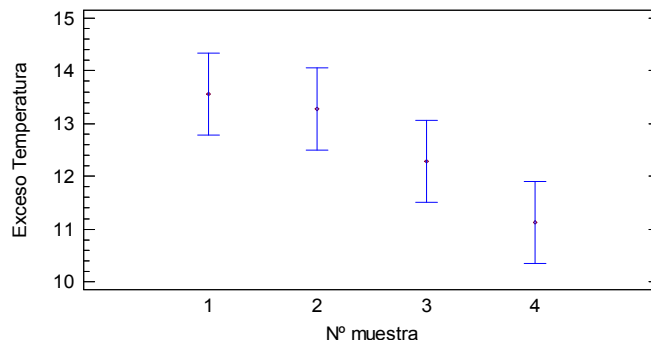
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	138,358
2	60	135,508
3	60	113,383
4	60	94,75

Estadístico = 15,6584 Valor-P = **0,00133228**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



7.3.3. Pino (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,50671	0,678015

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

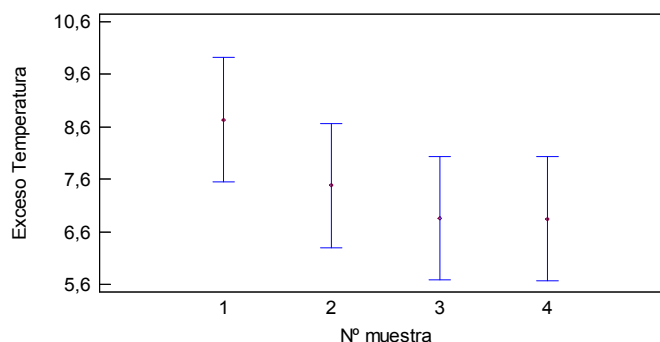
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	126,95
2	60	120,725
3	60	111,442
4	60	122,883

Estadístico = 1,61064 Valor-P = **0,656977**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,438763	0,725476

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

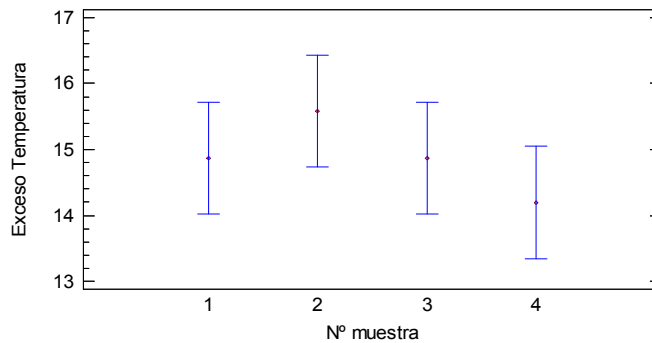
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	116,225
2	60	133,083
3	60	121,775
4	60	110,917

Estadístico = 3,36204 Valor-P = **0,339097**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	1,78064	0,151523

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

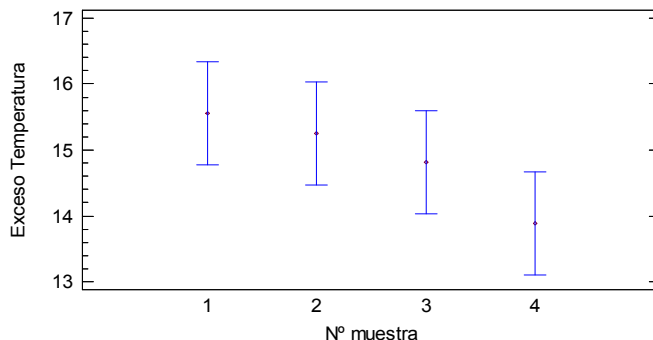
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	124,858
2	60	130,35
3	60	121,858
4	60	104,933

Estadístico = 4,48366 Valor-P = **0,213749**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



7.3.4. Iroko (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,557684	0,643471

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

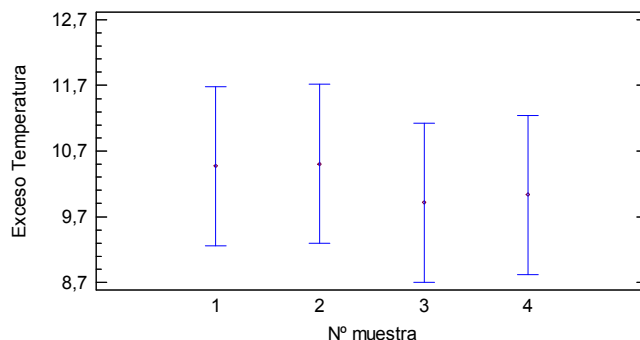
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	118,533
2	60	124,3
3	60	117,308
4	60	121,858

Estadístico = 0,377673 Valor-P = **0,944814**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,705042	0,549858

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

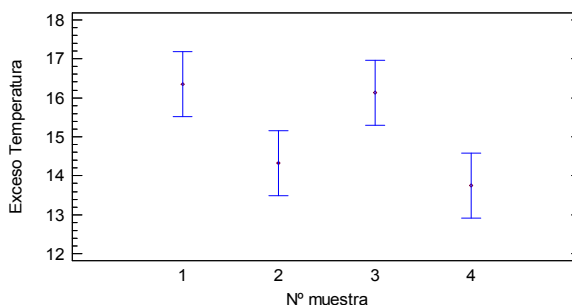
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	137,367
2	60	108,35
3	60	136,45
4	60	99,8333

Estadístico = 13,8627 Valor-P = **0,00309804**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	1,78064	0,151523

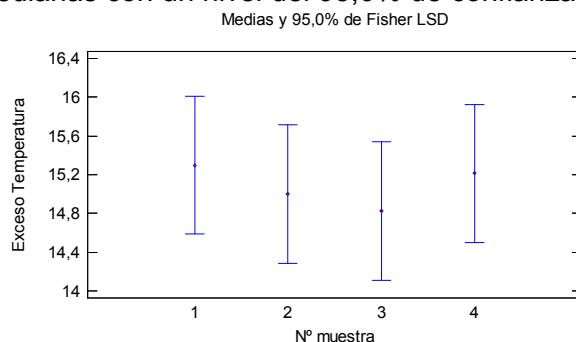
Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	124,858
2	60	130,35
3	60	121,858
4	60	104,933

Estadístico = 4,48366 Valor-P = **0,213749**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



7.3.5. Haya (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	3,55526	0,0150778

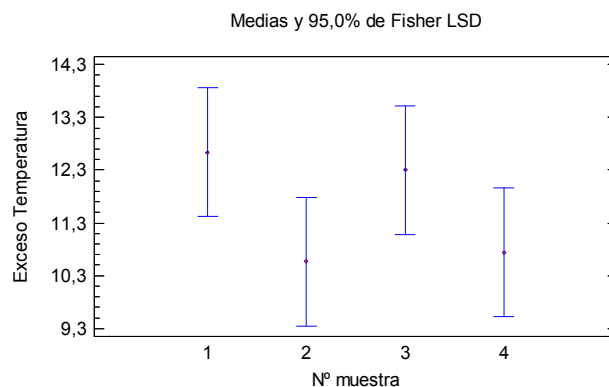
Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	126,35
2	60	106,575
3	60	137,483
4	60	111,592

Estadístico = 7,41812 Valor-P = **0,0596985**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,525741	0,665001

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

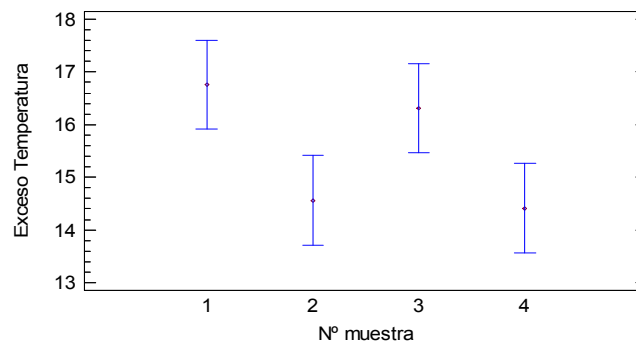
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	138,158
2	60	105,983
3	60	132,8
4	60	105,058

Estadístico = 11,3564 Valor-P = **0,00994654**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	1,81734	0,144659

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

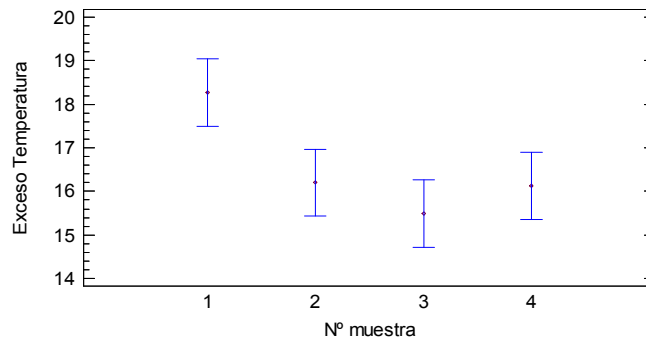
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	145,25
2	60	114,675
3	60	102,833
4	60	119,242

Estadístico = 11,9527 Valor-P = **0,00754672**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



7.3.6. Bubinga (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	1,27956	0,28205

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

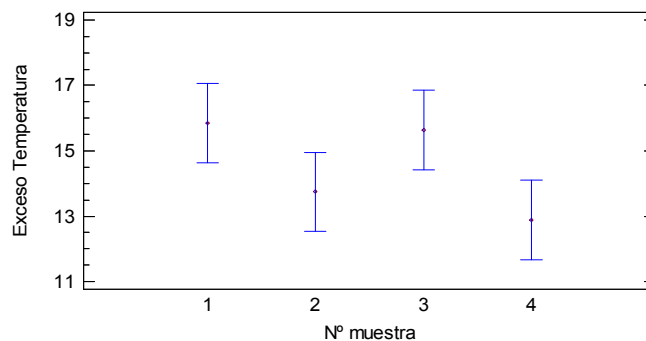
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	130,725
2	60	111,867
3	60	136,717
4	60	102,692

Estadístico = 9,45069 Valor-P = **0,0238609**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,491157	0,688747

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

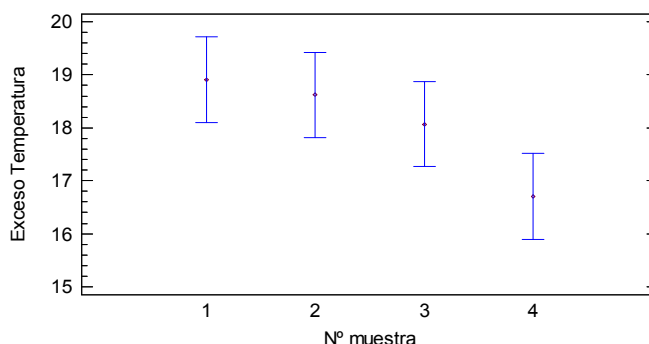
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	132,033
2	60	129,442
3	60	121,233
4	60	99,2917

Estadístico = 8,25698 Valor-P = **0,0409876**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	1,83083	0,142209

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

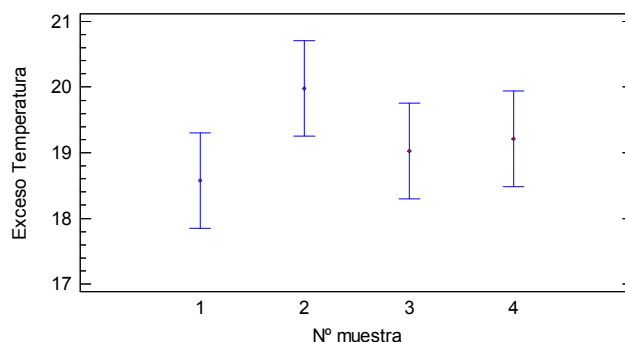
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	105,333
2	60	134,325
3	60	118,425
4	60	123,917

Estadístico = 5,4416 Valor-P = **0,142171**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



7.3.7. Elondo (25, 50, 70)

Grosor 25 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,952656	0,415847

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

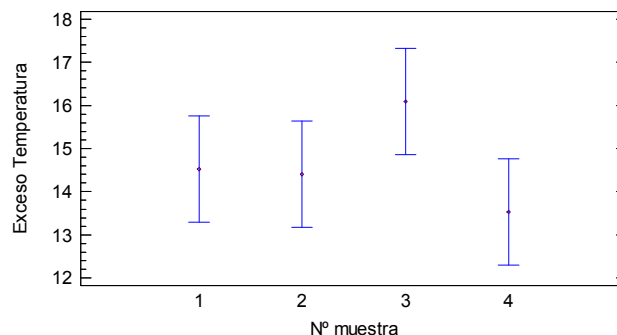
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por N° muestra:

N° muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	115,9
2	60	116,3
3	60	139,45
4	60	110,35

Estadístico = 6,23563 Valor-P = **0,10069**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 50 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,672436	0,569714

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

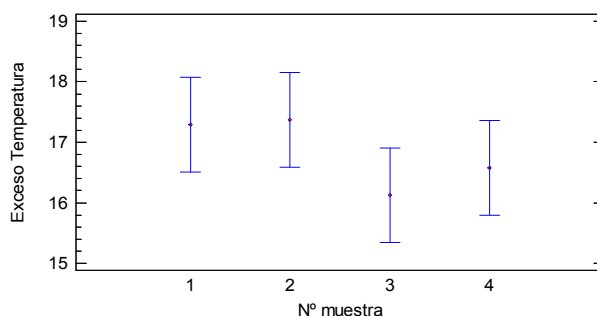
Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	126,483
2	60	127,842
3	60	109,092
4	60	118,583

Estadístico = 2,78248 Valor-P = **0,426389**

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Grosor 70 mm:

Verificación de Varianza:

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0295076	0,970928

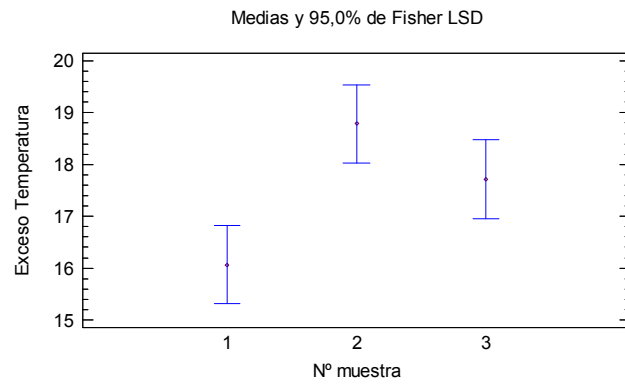
Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Prueba de Kruskal-Wallis para Exceso Temperatura por Nº muestra:

Nº muestra	Tamaño Muestra	Rango Promedio
1	60	68,9583
2	60	108,008
3	60	94,5333

Estadístico = 17,3894 Valor-P = **0,000167475**

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.



7.4. Análisis de residuos de regresiones

A continuación se muestra el análisis de los residuos de las regresiones para cada uno de los espesores de cada especie

7.4.1. Samba (25, 50, 70)

Pruebas de normalidad para 25 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,737983	6,76126E-14

La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,958811	0,091438

La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS5 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,835237	8,14693E-9

La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.2. Abeto (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,825663	2,43327E-9

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,923919	0,00101539

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,835237	8,14693E-9

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.3. Pino (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,769636	2,66098E-12

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,895135	0,0000207971

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,747782	2,08056E-13

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.4. Iroko (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,747816	2,08944E-13

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,893524	0,0000167471

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,902735	0,0000579284

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.5. Haya (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,899063	0,0000520557

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,834101	7,0539E-9

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,92907	0,0020295

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.6. Bubinga (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,832902	6,06036E-9

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,88279	0,0000398093

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,867928	5,56511E-7

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

7.4.7. Elondo (25, 50, 70)**Pruebas de normalidad para 25 mm:**

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,812615	4,78569E-10

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 50 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,864392	3,49889E-7

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Pruebas de normalidad para 70 mm:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,84004	1,5012E-8

SRESIDUOS no proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, L, I. Barranco, M. Casado, A. González and C. Martínez. “Análisis y validación de la técnica resistográfica aplicada a la madera estructural”. In Proceedings of 11º Congreso Español de END, 4-6 July 2007, pg 343-354. Gijón, España, 2007.
- Acuña, L, R. Díez, L.A. Basterra et al. “La técnica de transmisión ultrasónica aplicada a la madera estructural”. In Proceedings of 11º Congreso Español de END, 4-6 July 2007, pg 91-102. Gijón, España, 2007.
- Argüelles, Ramón, Francisco Arriaga and Juan José Martínez. Estructuras de Madera: Diseño y cálculo. Madrid: AITIM, 2000.
- Avdelidis, N.P. and A. Moropoulou. “Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures”. Journal of Cultural Heritage, vol 5 (2004): 119-127.
- Balageas, Daniel L. “Termografía Infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END)”. In Proceedings of the IV Conferencia Panamericana de END, 22-26 October. Buenos Aires, Argentina, 2007.
- Basterra, L.A., L. Acuña, M. Casado, G. Ramón-Cueto and G. López. “Diagnóstico y análisis de estructuras de madera mediante técnicas no destructivas”. Informes de la Construcción, vol 61, nº 516 (2009): 21-36.
- Beall, Franck B. “Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties”. Wood Science and Technology, vol 36 (2002): 197-212
- Casado, M., I. Escudero, L. Acuña, D. Vecilla, A. Basterra, G. Ramón-Cueto, G. López and E. Relea. “Técnicas vibratorias aplicadas a madera estructural de Populus x euramericana”. In Proceedings of 5º Congreso Forestal Español. Montes y Sociedad: Saber qué hacer, 21-25 September 2009. Ávila, España, 2009.
- Fernández-Golfín, J.I., M.R. Díez and E. Hermoso. “Análisis y estado del arte de la técnica de clasificación mecánica por máquina de la madera aserrada estructural (Revisión)”. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, nº 1 (2001): 5-20
- García, Justo and Eduardo de la Peña. “Breve historia de la Madera en la construcción (I)”. Boletín de información técnica AITIM, vol 211 (2001).

-
- González, Daniel A. “Contribuciones a las técnicas no destructivas para evaluación y prueba de procesos y materiales basadas en radiaciones infrarrojas”. Ph.D. diss., Universidad de Cantabria, España, 2006
 - Heinrich, Hermann. “Thermography in Germany: state of the art”. In Proceedings of SPIE (Thermosense XXII), 25-27 april 2000, pg 310-313. Orlando, USA, 2000.
 - Kollmann, “Tecnología de la Madera y sus aplicaciones” (Madrid: Ministerio de Agricultura, 1959), 544-576.
 - López Rodríguez, G. “Aplicación de la termografía infrarroja en la evaluación no destructiva de estructuras de madera” ETS Arquitectura. 2010.
 - Maldague, Xavier P.V. Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
 - Pellerin, Roy F. and Robert J. Ross, eds. Nondestructive evaluation of wood. USA: Forest Products Society, 2002.
 - Real Decreto 314/2006: 2006. “Código Técnico de la Edificación”
 - Suleiman, J. Larfeldt, B. Leckner and M. Gustavsson. “Thermal conductivity and diffusivity of wood”. Wood Science and Technology, vol 33 (1999): 465-473.
 - Titman, D.J. “Applications of thermography in non-destructive testing of structures”. NDT&E International, vol 34 (2001): 149-154.
 - Vavilov, V. “Thermal non destructive testing: short history and state-of-art”. In Proceedings of 1st International Conference on Quantitative Infrared Thermography (QIRT 92), 7-9 july 1992, pg 179-194. Châtenay-Malabry, France, 1992.
 - UNE 56544: 2007. “Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas”
 - UNE 56546: 2007. “Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas”.
 - UNE-ENV 1995-1-1: 1997. “Eurocódigo 5. Estructuras de Madera. Parte 1: Reglas generales y reglas para la edificación”