

10 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Variación de la sección. Sección nominal

Los resultados completos de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 4 “INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA SECCIÓN”. Sin embargo, se resumen a continuación los principales resultados y discusión obtenidos.

10.1.1 *Tamaño de la sección nominal en piezas largas*

Como puede observarse en la Tabla 1 del Capítulo 4, los valores del coeficiente de variación de las dimensiones de las piezas son elevados, como sucede habitualmente en este tipo de material. Se alcanzan valores entre el 11 y 13 % de CoV para el ancho nominal y entre el 3 y 5 % de CoV para la altura de la sección (canto estructural) de las piezas. La menor variación en la altura h se debe a la necesidad de mantener la cara superior a nivel (en forjados y en cubiertas), siendo, por lo tanto, más variable el ancho b .

Con el fin de verificar los estados límite último y de servicio de la estructura se necesita asignar un tamaño de sección transversal nominal a cada una de las piezas. El valor nominal debe ser representativo de la sección transversal a los efectos de la resistencia y de la rigidez. Se utilizaron varios criterios (A, B y C) para definir la sección nominal y a partir de estas dimensiones se calcularon los momentos de inercia de la sección. Los valores del momento de inercia presentados en la Tabla 1 del Capítulo 4 afectan a la determinación del módulo de elasticidad estático. Se llevó a cabo un test de múltiples rangos y un análisis de la varianza (ANOVA) con el parámetro del momento de inercia con el fin de definir el tamaño nominal más conveniente. Los análisis se llevaron a cabo con un 95 % de intervalo de confianza concluyendo que no existen diferencias significativas entre los diferentes valores del momento de inercia calculado con diferentes criterios de medición. Sin embargo, se encontró que existía mayor variabilidad en el criterio C, donde las mediciones se tomaron en uno de los extremos de la pieza. El criterio A y B presentaron la mayor concentración de valores alrededor del valor medio, donde el criterio A recoge todas las mediciones transversales de geometría y el criterio B recoge las mediciones llevadas a cabo en el tramo central de la pieza. En los apartados posteriores se analiza este enfoque en relación a la resistencia.

10.1.2 *Módulo de elasticidad en piezas largas*

En el Capítulo Tabla 2 se recogen los valores medios obtenidos para el módulo de elasticidad estático obtenido con ensayos mecánicos, los valores del módulo de

elasticidad dinámico con cada uno de los equipos no destructivos y sus correspondientes valores de CoV. Además, se recogen en esta tabla los modelos de regresión lineal obtenidos al enfrentar los valores del módulo de elasticidad estático con cada uno de los criterios de medición geométrica con los valores del módulo de elasticidad dinámico de cada equipo. Entre los resultados de las regresiones lineales se recogen los valores de los coeficientes de la ecuación de regresión (mostrados en el Capítulo 4 ecuación (4)), así como los valores del coeficiente de determinación y el error estándar de la regresión.

Los mejores resultados se obtuvieron con el criterio A y el equipo de vibración PLG llegando a un $r^2 = 87 \%$ con un error estándar del estimador de 579 N mm^{-2} y en el caso de los los equipos acústicos de obtención de ToF con el criterio B con r^2 entre el 72% y el 78% y un error estándar entre 683 y 720 N mm^{-2} dependiendo del equipo. Se observó que no existían diferencias entre los resultados obtenidos con el criterio B1 y B2. Los mejores resultados obtenidos por vibración pueden explicarse debido a que la ecuación con la que se ha obtenido la velocidad de onda (Capítulo 4 ecuación (1)) deriva de la frecuencia natural de la pieza y es válida para escuadrías constantes a lo largo de la pieza. El criterio A es el que más se acerca a la constante de la sección transversal al representar mejor la globalidad de esta. El hecho de que los mejores valores obtenidos con los métodos acústicos sean con el criterio B puede explicarse debido a que el momento flector máximo está situado en el tercio central de la luz, donde este criterio recoge la geometría. Por último, la peor predicción se obtuvo con el criterio C1 el cual no representa ninguno de los casos anteriores.

Otros trabajos de investigación han obtenido resultados similares en modelos de regresión lineal para cada equipo no destructivo con diferentes especies. A no ser que se especifique lo contrario, los resultados mostrados a continuación muestran valores de estimación del módulo de elasticidad estático frente al dinámico. En el caso de los métodos de ultrasonidos, Arriaga et al (2006) mostraron un r^2 entre 42% y 74% en 82 piezas nuevas aserradas de madera de Elondo con dimensiones de $80 \times 80 \times 1.600 \text{ mm}^3$ y $200 \times 250 \times 5.000 \text{ mm}^3$ utilizando el equipo de ultrasonidos SYL. Machado y Palma (2011) obtuvieron un $r^2 = 76 \%$ con el equipo PUNDIT plus (Proceq, Schwerzenbach, Suiza) empleando sensores de contacto planos con una frecuencia de 150 kHz . El material de ensayo que emplearon consistía en madera libre de defectos con dimensiones $40 \times 100 \times 2000 \text{ mm}^3$. Por otro lado, Teder et al (2012) mostraron un $r^2 = 37 \%$ realizando mediciones de testa a testa con el equipo de ultrasonidos Tico (Proceq, Schewerzenbach, Suiza) en 92 piezas de madera recién aserrada de picea de Noruega. Arriaga et al (2017) obtuvieron un $r^2 = 85 \%$ con el equipo SYL y USLab en 120 piezas de diferentes especies de coníferas (pino radiata, silvestre, laricio y pinaster en 30 piezas de cada especie) con dimensiones de $90 \times$

140 x 4.000 mm³. Arriaga et al (2019) reportaron coeficientes de determinación del 68 %, 74 % y 86 % empleando los equipos USLab con sensores de 22 y 45 kHz y el MST, respectivamente. El material de ensayo consistió en doce piezas de gran escuadría de picea de Noruega procedentes de un edificio del siglo XIX con dimensiones 76 x 226 x 4.520 mm³. Empleando el método de ondas de impacto con MST, Arriaga et al (2017, 2019) obtuvieron un $r^2 = 81\%$ y 86% , respectivamente en cada uno de los trabajos de investigación. En cuanto a métodos de vibración, Arriaga et al (2014) obtuvieron un $r^2 = 87\%$ en 150 piezas de madera aserrada de pino radiata con dimensiones 80 x 120 x 2.500 mm³.

Por otro lado, se aplicó un test de Bootstrapping con el fin de comparar la precisión en la estimación del módulo de elasticidad estático para cada criterio de geometría. De acuerdo a la estadística Bayesiana, la precisión es inversamente proporcional a la varianza. Los métodos estadísticos de Bootstrapping son métodos de alta capacidad computacional para el análisis estadístico, los cuales emplean un remuestreo para asignar las mediciones de precisión. Adicionalmente, este método se emplea habitualmente acercarse a parámetros como el error estándar de la estimación, la varianza y los intervalos de confianza, entre otros. La elección de este tipo de método se debe a que el criterio C en el módulo de elasticidad estático no mostró normalidad estadística y se componía de pocas muestras. Por ello, no era posible emplear los clásicos test de ANOVA. El test de Bootstrapping se realizó 100 veces con una iteración de 10⁶. Se concluyó que el error estándar del estimador en los criterios A y B fueron los menores, mientras que el criterio C fue el mayor. No se recomienda, por lo tanto, emplear los criterios C1 y C2 en los procedimientos de evaluación de estructuras con estos métodos no destructivos. Sin embargo, los criterios A, B1 y B2 mostraron una gran capacidad de predicción.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que, en la verificación de los elementos estructurales a flexión, la limitación por deformación es el factor más crítico y la resistencia a flexión normalmente no se alcanza. La predicción de la resistencia en estructuras existentes es comúnmente afectada por una gran variabilidad en su predicción al contrario que en el caso de la rigidez donde se han obtenido modelos más precisos, y por eso debería ser estudiado en profundidad en futuras investigaciones.

10.1.3 Método para definir las relaciones entre las secciones transversales nominales y el MOR y MOE_{sta}

En este apartado se define un método para obtener una sección nominal más fiable en las mediciones ya que existe una alta variabilidad en la sección transversal real a lo largo de cada pieza en madera procedente de estructuras existentes (aparecen

análisis para las piezas largas y cortas). Este apartado hace referencia a los resultados obtenidos en el Capítulo 8 “PREDICCIÓN CON VIBRACIÓN”. Entre ellos se encuentra que el coeficiente de variación medio para el ancho y la altura de la sección del lote de piezas fue del 3,2 % (rango = 0,6 % a 12,6 %) y del 2,4 % (rango = 0,2 % a 8,2 %), respectivamente, lo que demuestra la importancia de elegir la sección transversal nominal correcta.

Para el cálculo de la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en los ensayos mecánicos se emplearon cuatro criterios (A, B, C y D) para establecer la sección nominal de las piezas. Se realizaron regresiones lineales simples entre la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad estático (MOE_{sta}) (Capítulo 8 Tabla 2). Las mejores regresiones se encontraron con las secciones transversales nominales A y B ($r^2 = 63 - 65 \%$). Estos coeficientes de determinación son similares a otros resultados obtenidos en piezas de gran escuadría, como el 61 % en *Pinus sylvestris* L. y *Pinus pinaster* A. (Esteban, 2003), o el 65 % en *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco y *Pinus pinaster* A. (Íñiguez-González, 2007). Otros autores obtuvieron valores similares o inferiores para madera estructural de tamaño mediano en secciones transversales entre 40 x 100 y 70 x 200 mm², el 51 % en *Pinus sylvestris* L. (Hermoso, 2001), el 51 % en *Pinus nigra* A. (Morales-Conde, 2004), el 69 % en *Pinus sylvestris* L. y el 67 % en *Picea abies* L. (Hanhijärvi et al., 2005).

Las mejores regresiones entre la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad estático (MOE_{sta}) se obtuvieron al tener en cuenta la media de todas las secciones transversales nominales de la pieza (NCS A), o alternativamente las medidas centrales de la pieza (NCS B). La variabilidad derivada de medir la sección transversal nominal en un extremo de la pieza contribuyó a la obtención de resultados más imprecisos en los modelos (NCS C), como se esperaba.

10.2 Propiedades físicas y mecánicas y clasificación visual

Los resultados completos de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 7 “PREDICCIÓN CON MÉTODOS ACÚSTICOS”. A continuación, se resumen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

10.2.1 Influencia de la posición de las piezas en el tronco en las propiedades mecánicas obtenidas con vibración

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) y un test de múltiples rangos de Fisher para determinar si existían diferencias significativas entre los grupos I y II de las piezas cortas en MOE_{sta} y MOR, en función de su procedencia de la parte alta o baja del árbol. En ambos casos, hay una diferencia estadísticamente significativa (p -valor $\geq 0,05$) entre los grupos I y II. La diferencia entre las medianas del grupo II y

el grupo I en N mm^{-2} fue: $\text{MOE}_{\text{sta,A}} = 1.852$, $\text{MOE}_{\text{sta,B}} = 1.849$, $\text{MOE}_{\text{sta,C}} = 862$, $\text{MOE}_{\text{sta,D}} = 2.279$, $\text{MOR}_A = 9,94$, $\text{MOR}_B = 9,84$, $\text{MOR}_C = 6,91$ y $\text{MOR}_D = 10,40$ (véase Capítulo 8 Figura 7).

10.2.2 Propiedades físico-mecánicas vs. clasificación visual

Las propiedades físicas y mecánicas del lote de 45 piezas cortas se muestran en el Capítulo 7 Tabla 1 atendiendo a criterios diferentes: a) Clasificación visual MEG de acuerdo a la norma española UNE 56544 (2011), cumpliendo con todas las especificaciones de la norma (MEG_c), excepto el daño biológico; b) cumplimiento parcial de las especificaciones (solo tamaño de nudos y desviación de la fibra, MEG_p); en este último caso, se plantean dos clasificaciones visuales según el tramo longitudinal de la pieza clasificado (L igual a 18h o 8h). En la citada tabla, además, se muestran los porcentajes de aceptación y de rechazo para cada criterio. Se calculó el MOR (valor medio de $25,3 \text{ N mm}^{-2}$ y quinto percentil de $13,3 \text{ N mm}^{-2}$), MOE medio (8.821 N mm^{-2} al 12 % de CH) y densidad (valor medio de 537 kg m^{-3} y quinto percentil de 434 kg m^{-3} al 12 % de CH), según la norma EN 14358 (2016), dependiendo del mejor ajuste de la distribución de los datos (log-normal para el MOR y normal para MOE y densidad).

Íñiguez (2007) llevó a cabo un estudio para obtener las propiedades mecánicas del pino laricio a flexión (MOR y MOE) y la densidad corregida por humedad al 12 %, en un lote de 60 piezas de madera nueva sin clasificar visualmente con la misma sección transversal que en el presente trabajo, siguiendo los mismos procedimientos de ensayo y caracterización establecidos en las normas europeas EN 408 (2012) y EN 384 (2019). El MOR obtenido fue de $47,5 \text{ N mm}^{-2}$ y $19,0 \text{ N mm}^{-2}$ (valor medio y quinto percentil, respectivamente), el valor medio del MOE fue de 11.216 N mm^{-2} y la densidad de 598 kg m^{-3} y 511 kg m^{-3} (valor medio y quinto percentil, respectivamente). Las propiedades físicas y mecánicas de las 45 piezas son inferiores a las de Íñiguez (2007) y presentan los siguientes ratios: 0,53 ($25,3/47,5$) y 0,70 ($13,3/19,0$) para el valor medio y el quinto percentil del MOR, respectivamente; 0,79 ($8.821/11.216$) para el valor medio del MOE; y 0,90 ($537/590$) y 0,85 ($434/511$) para el valor medio y el quinto percentil de la densidad, respectivamente. La variabilidad de las propiedades de la madera dependiendo de su origen y condiciones silviculturales podrían justificar estas diferencias. Sin embargo, algunos factores específicos en la madera recuperada también influyen como: la irregularidad de la sección transversal que lleva a considerar una sección transversal nominal de área mayor que la real, y daños por agentes xilófagos que no son fácil de detectar, como una pudrición incipiente, la cual reduce el área de la sección transversal o las propiedades de la pieza de madera.

La aplicación de la norma de clasificación española UNE 56544 (2011) teniendo en cuenta todos los parámetros resultó en una alta tasa de rechazo (84 %), lo cual es inútil como herramienta en la evaluación de estructuras existentes. Este alto porcentaje de rechazo se ha encontrado en varios artículos de investigación (Arriaga et al., 1992; Cruz et al., 2015; Sousa et al., 2013). Además, las diferencias entre las propiedades de la madera clasificada y rechazada suelen ser muy pequeñas. Los parámetros que causan el mayor porcentaje de rechazo en la madera antigua corresponden a fendas y gemas que prácticamente no tienen impacto en las propiedades mecánicas (Arriaga et al., 2007; Esteban, Arriaga, et al., 2010). En este caso, se rechazaron 38 piezas del lote total de las 45 piezas en el caso de aplicar todos los criterios de clasificación visual (excepto el daño biológico). Los defectos que causaron el mayor porcentaje de rechazo fueron las gemas, fendas y deformación, en 30, 15 y 14 piezas, respectivamente. Los demás defectos solo causaron el rechazo de dos piezas. Se observa que incluso los rechazos en ocasiones tienen mejores propiedades que la madera clasificada. La razón radica en la presencia de gemas importantes en las piezas rechazadas, lo cual genera un mejor comportamiento a la flexión debido a la continuidad de las fibras en la superficie de la pieza (Esteban, 2003).

Hasta el momento se han propuesto métodos de clasificación visual específicos para la madera antigua en los que solo se aplican los parámetros visuales más relevantes. Un estudio de la capacidad de carga de piezas de madera procedentes de estructuras existentes (Arriaga et al., 2005) propuso un procedimiento de clasificación visual limitado a los parámetros principales (tamaño de nudos y desviación de la fibra) en un intento de simplificar y adaptar el procedimiento utilizado en la madera nueva a las particularidades de la clasificación *in-situ*. Touza et al. (2013) propusieron un nuevo criterio de clasificación visual para piezas de pino amarillo del sur de gran escuadría procedentes de estructuras existentes, basado en nudos, desviación de la fibra y la presencia de ataques por xilófagos. La norma de clasificación italiana UNI 11119 (2004) es otro ejemplo de adaptación de los métodos de clasificación visual a las estructuras de madera existentes.

En el Capítulo 7 Tabla 1 se muestran los resultados de la clasificación visual parcial (considerando solo nudos y desviación de la fibra) para una longitud considerada de 18 h y 8 h para la medición de los parámetros de clasificación; este último se limita al tramo central, el cual está sometido al mayor momento flector. Como resultado el porcentaje de rechazo se redujo considerablemente (4 % y 2 %, respectivamente). También se observó que, en la práctica, los resultados son los mismos que si no se realizara una clasificación visual. Esto es lógico, dado que las piezas de madera de gran escuadría no fueron clasificadas en su momento al

realizar la construcción, o al menos no utilizando los criterios actuales, principalmente porque esto no era posible en la práctica. Por tanto, la clasificación visual de la madera de estructuras existentes no debería hacerse siguiendo normas de clasificación pensadas para la madera nueva, sino con criterios más específicos para el objetivo de la clasificación. Este objetivo es conocer la capacidad portante de la estructura, más que clasificar las piezas de un conjunto que ya está definido, donde el rechazo no sería muy viable en muchos casos.

Por otro lado, el valor medio del parámetro de nudosidad CKDR para el lote de 45 piezas cortas fue de 0,14 (con un CoV = 39,3 %) medido en toda la longitud de la pieza, 0,13 (CoV = 41,9 %) en la parte central considerando un tramo de 18 h y 0,11 (CoV = 52,1 %) en la parte central considerando un tramo menor de 8 h. Estos valores son muy variables y son similares a los obtenidos en madera nueva de la misma especie y tamaño de la sección transversal; una investigación ensayó 155 piezas de pino silvestre con una sección transversal de 150 x 200 mm² a 150 x 250 mm² y una longitud de 4,6 a 5,6 m mostrando un CKDR considerando toda la longitud de 0,16 y con un de CoV = 56,8 % (Íñiguez-González, 2007).

En el Capítulo 7 Tabla 2 se muestran los ratios entre las principales propiedades físicas y mecánicas de dos especies de madera comúnmente utilizadas en la construcción en España (pino silvestre y pino laricio). En algunos casos, las especies no se diferenciaron porque no es fácil distinguir las incluso mediante un análisis anatómico. Los ratios se obtuvieron para madera clasificada y no clasificada visualmente con piezas de madera antigua recuperada (incluyendo las piezas utilizadas en esta investigación). Es interesante observar que algunos de los cocientes propuestos en la norma europea EN 384 (2019) son muy similares. De este modo, se observa la cercanía entre el quinto percentil del módulo de elasticidad y el valor medio (0,67 para coníferas en la norma), y la relación entre el valor medio y el quinto percentil de la densidad (1,2 para coníferas en la norma).

En el Capítulo 7 Tabla 3 se muestran las diferentes propiedades físicas y mecánicas de las piezas cortas según su localización en el tronco. Las piezas de la parte inferior (grupo II) tienen mejores propiedades mecánicas y son más densas. Esto se debe a que la parte inferior del tronco contiene madera más madura que es más densa y tiene menos nudos, como se ha comentado en apartados anteriores. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor medio del MOR, MOE y densidad de los grupos I y II con un nivel de significación del 5 % (p-valor de la prueba $F < 0,05$). Por otro lado, se puede observar que la variabilidad del MOR en el grupo II es mucho mayor que en el grupo I. Sin embargo, la variabilidad del MOE y la densidad es muy similar para los grupos I y II. Esto puede deberse al hecho de

que los nudos, que constituyen una singularidad con una fuerte influencia en la resistencia, también presentan una mayor variabilidad en el grupo II. Esta variación de las propiedades a lo largo de la longitud de la pieza facilita la explicación de algunas preguntas que se plantearán más adelante, y también muestra que puede ser importante elegir adecuadamente las áreas de la parte de las que se tomarán las medidas locales.

10.2.3 Influencia de la posición de las piezas en la altura del tronco para la predicción de las propiedades mecánicas con método de vibración en piezas cortas

En el Capítulo 8 Tabla 4 se muestra el mismo análisis que el presentado en el Capítulo 8 Tabla 3, pero utilizando el MOE_{dyn} obtenido a través del método de vibración y con la densidad estimada con WoodEx, utilizando el método de NCS B pero separando ambos grupos, I y II. El método NCS B (mediciones en secciones centrales) brinda resultados de estimación de MOE_{sta} similares al método NCS A (mediciones en todas las secciones) pero utilizando menos mediciones, como se mostró anteriormente. La estimación del MOE_{sta} es más precisa en el grupo I que en el grupo II, pero la predicción es más baja pero más precisa en el grupo II en el caso del MOR. Estos valores son mejores que los obtenidos por los autores Arriaga et al. (2022), donde la velocidad de transmisión de onda se calculó con equipos acústicos: se obtuvieron coeficientes de determinación de $r^2 = 44 - 19 \%$ para la estimación del MOE_{sta} y $r^2 = 25-15 \%$ para el MOR en los grupos I y II respectivamente. Se concluye finamente que la predicción del MOE_{sta} es más precisa en material de menor calidad (grupo I) que en material de mayor calidad (grupo II) y se puede observar que el CoV de ambos grupos es similar (16 % y 15 %, respectivamente según el Capítulo 8 Tabla 1). Sin embargo, la predicción del MOR es mejor en el grupo con mayor calidad (grupo II) donde el CoV es mayor que en el grupo I (40 % vs. 26 %, Capítulo 8 Tabla 1).

10.3 Influencia de la dirección de crecimiento del árbol en la velocidad de propagación de ondas

Se llevó un análisis ANOVA entre las velocidades globales tomadas de forma ascendente, cuando se posiciona el sensor emisor en RCS0 y de forma descendente, cuando se posiciona el sensor emisor en RCS10. Se tomaron sólo mediciones en una muestra de 10 elementos de las 21 piezas largas. Los resultados mostraron que no existe una diferencia significativa ($p\text{-valor} \geq 0,05$) con un intervalo de confianza del 95 % entre las velocidades globales ascendentes o descendentes. Sin embargo, sí que se observan valores de tL diferentes entre las direcciones de medición adoptadas (26 μs con un 118 % de CoV y -16 μs con un 211 % de CoV con los equipos MST y SYL, respectivamente). Esta diferencia se observó en 10 piezas del lote y requeriría

profundizar en el análisis. En resumen, el sentido de emisión de las ondas en relación con la dirección de crecimiento del árbol no influye de manera significativa en los tiempos de transmisión, aunque existían pequeñas diferencias en los tiempos de retardo. Por este motivo, los resultados presentados en el resto del artículo, Capítulo 5, quedaron reducidos al caso de sólo velocidades superficiales de canto y cruzadas entre caras en dirección ascendente de medición (emisor en RCS0).

10.4 Influencia de la longitud

Los resultados completos de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 5 “INFLUENCIA DE LA LONGITUD”. A continuación, se resumen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

10.4.1 Velocidades de testa a testa con diferentes equipos

Con el fin de determinar la influencia de utilizar diferentes equipos para la medida de los tiempos de transmisión se llevó a cabo un análisis ANOVA y una prueba de múltiples rangos con el método de Fisher LSD entre las velocidades de testa a testa en las piezas largas obtenidas con los equipos MST y SYL (Capítulo 5 Figura 3). Se concluyó que no existían diferencias estadísticas con un p-valor mayor a 0,05 entre los valores medios de las velocidades con un intervalo de confianza del 95 %.

Los valores medios obtenidos de velocidad de testa a testa del lote de madera fueron de 4.926 m s^{-1} con MST y 4.905 m s^{-1} en ambos casos con un CoV del 4 %. La distancia media tomada entre los sensores fue de 10,6 m, con un rango entre 9,5 y 11,0 m. A modo de comparación, se calculó el ratio medio entre la velocidad de testa a testa con MST y la del SYL, obteniendo un valor de 1,004. Arriaga et al (2017) mostraron velocidades de testa a testa con MST y SYL de 4.976 m s^{-1} y 4.807 m s^{-1} respectivamente llevando a cabo una corrección del retardo de la onda o Time-Lag (tL) en 30 piezas de pino laricio. La distancia entre sensores era de 4 m y el ratio entre ambos equipos fue de 1,035 (lo que presenta un valor mayor al obtenido en este trabajo). Estas diferencias entre ratios pueden deberse a que la velocidad de onda fue obtenida con diferente distancia entre los sensores. Adicionalmente, las longitudes de pieza del presente trabajo en comparación con el artículo de Arriaga et al (2017) son más del doble. Otros autores estudiaron la influencia del contenido de humedad en la velocidad de testa a testa en un lote de 25 piezas de pino laricio con dimensiones transversales de $100 \times 150 \text{ mm}^2$ y una longitud de 3 m (Arriaga et al., 2019). El ratio obtenido en dicho estudio fue de 1,033 con un contenido de humedad del 12,2 %, lo cual presenta un valor similar al obtenido en el trabajo anteriormente presentado (Arriaga et al., 2017). Los ratios calculados con diferentes contenidos de humedad (entre el 9,7 y 62,6 %) son del mismo orden (1,033 y 1,054

respectivamente). Los valores con distancias entre sensores entre 3 y 4 metros han presentado valores equivalentes, mientras que en piezas con longitudes de 11 m el ratio es mucho menor. Analizar estos parámetros tiene una importancia relevante en la evaluación de estructuras dado que, además de que los equipos empleados son de uso habitual, el módulo de elasticidad dinámico calculado para piezas con valores de longitud entre 10 y 11 m podrían diferir alrededor de un 0,8 % mientras que con longitudes entre 3 y 4 m podrían diferir hasta un 7 %.

Por otro lado, otras investigaciones han encontrado valores de velocidad menores que las presentadas con SYL con un ratio de 0,97 (Carballo et al., 2009). En este trabajo, los autores presentan un ratio con una relación inversa con lo presentado hasta el momento.

10.4.2 Influencia de la longitud en la determinación de la velocidad con lecturas indirectas y semidirectas

Con el fin de analizar el efecto de la longitud en las velocidades de transmisión de onda superficiales en los cantos y cruzadas en las caras a lo largo de la pieza, se calcularon las denominadas a partir de ahora velocidades relativas como los cocientes: $V_{se,i}/V_{se,glo}$ y $V_{cf,i}/V_{cf,glo}$ (la velocidad del numerador no está corregida por el tiempo de retardo de la onda o tL) y $V_{se,i,c}/V_{se,glo}$ y $V_{cf,i,c}/V_{cf,glo}$ (en este caso la velocidad del numerador corregida por tL) para cada pieza, equipo y método de medición, Capítulo 5 Figura 5 (izquierda y derecha, respectivamente). La velocidad $V_{xx,i}$ es la velocidad obtenida a partir del tiempo de vuelo entre dos puntos, mientras que la velocidad $V_{xx,glo}$ es la velocidad obtenida a partir de la recta de regresión trazada sobre varias lecturas de tiempos en distancias desde el punto "i" hasta puntos intermedios de la longitud total.

Según el Capítulo 5 Figura 5, se puede afirmar lo siguiente: la variabilidad de las velocidades relativas es menor si las velocidades están corregidas por tL (Capítulo 5 Figura 5, derecha) que con las velocidades que no están corregidas (Capítulo 5 Figura 5, izquierda). Esta variabilidad es ligeramente mayor en las velocidades superficiales de canto que en las velocidades cruzadas en las caras en los valores que no están corregidos. Los ratios en las velocidades corregidas son prácticamente constantes, con un valor promedio cercano a 1 para distancias iguales o mayores a 2 m en MST y 3 m en SYL. Por lo tanto, se puede observar que las diferencias entre las velocidades corregidas y las velocidades globales son menores al 5 % para distancias mayores a 2 m en MST y 3 m en SYL.

Varios autores han estudiado el efecto de la longitud de la pieza y la longitud de onda en tablas y piezas pequeñas libres de defectos. Bartholomeu et al. (2003)

analizaron el tamaño de la sección transversal y la longitud en cuatro tablas de eucalipto utilizando ultrasonidos (con el equipo Steinkamp BP7 45 kHz, Ultratest, Achim, Alemania). Se observó una disminución en la velocidad de propagación de onda en mediciones longitudinales cuando la relación $L/k < 5$, con longitudes entre 100 y 3.000 mm, donde L es la distancia de propagación y k es la longitud de onda, por otro lado, el valor de la velocidad de onda fue constante cuando el ratio L/k era mayor que 5. Oliveira et al. (2006) encontraron una variación de la velocidad negativa cuando el ratio $L/k < 3$ y la velocidad presentó valores estables con un ratio L/k mayor que 3 en mediciones longitudinales con sensores de ultrasonidos con una frecuencia de medición de 22 kHz. El material de ensayo consistió en 48 piezas de cuatro especies (12 de cada especie): pino colorado (*Pinus caribaea* var. *caribaea*), eucalipto moterado (*Eucalyptus citriodora*), eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*) y yatobá (*Hymenaea* sp.). La longitud de onda aproximada de los ensayos realizados con ultrasonidos (SYL) es $k = 0,25$ m. Según otros estudios realizado con anterioridad, la velocidad de transmisión de onda disminuiría con longitudes inferiores a 3-5 veces k (0,75 a 1,25 m). En nuestro caso, las longitudes estudiadas están en un rango mayor y no son comparables. Trinca y Gonçalves (2009) encontraron que al utilizar frecuencias superiores a 500 kHz no había diferencias significativas en la velocidad de la onda usando piezas de diferentes tamaños, en concreto, 119 piezas de pino ellioti (*Pinus elliotii* Engelm.) y 244 de eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maid.). Las frecuencias de sensor utilizadas fueron 25, 45, 80, 100, 500 y 1.000 kHz con el equipo de ultrasonidos EPOCH4 (Olympus-IMS, Waltham, MA, USA). Otros autores han estudiado este efecto en piezas de madera más grandes. Arriaga et al. (2006) mostraron que la influencia de la longitud de la medición en 161 piezas de madera estructural de la especie *Erythrophleum* sp. fue mucho mayor que el tamaño de la sección transversal en la velocidad de propagación de la onda con el equipo de ultrasonido Sylvatest Duo (CBS-CBT, Lausana, Suiza) en mediciones de testa a testa. Íñiguez-González et al. (2008) estudiaron la influencia de la nudosidad y la longitud en piezas de 4 m de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). La disminución de la velocidad de onda longitudinal fue de 68 m s^{-1} en piezas sin nudos y de 83 m/s en piezas con nudos, utilizando el equipo Sylvatest Duo. En la tesis doctoral desarrollada por Íñiguez-González (2007) el autor describió el efecto de la longitud en la determinación de la velocidad de onda en piezas de pino silvestre y pino laricio con secciones transversales de $150 \times 200 \text{ mm}^2$ y $200 \times 250 \text{ mm}^2$ y longitudes entre 4.051 y 5.206 mm. La velocidad de onda disminuyó 70 m s^{-1} en piezas de pino silvestre y 127 m s^{-1} en piezas de pino laricio por cada metro de longitud.

10.4.3 Comparación entre las velocidades de testa a testa con las velocidades globales cruzadas en el canto y cruzadas entre caras

En el Capítulo 5 Figura 6 se muestran los valores de velocidad obtenidos de testa a testa (V_0) y las velocidades globales superficiales de canto ($V_{se,glo}$) para cada pieza y equipo. Solo se muestran las velocidades globales superficiales de canto porque se demostró que no había diferencias significativas con las cruzadas en las caras.

Como se puede observar en casi todos los casos, las velocidades de testa a testa con ambos equipos presentan valores más altos que las velocidades superficiales en cantos, Capítulo 5 Figura 6 (a, b). Esta diferencia se puede cuantificar a través del ratio $V_0/V_{se,glo}$. En el caso del MST, este ratio muestra un valor medio de 1,017 y 1,30 % de CoV. Por otro lado, el ratio obtenido con SYL muestra un valor medio de 1,044 con 1,25 % de CoV. Los mismos ratios obtenidos con las mediciones cruzadas en las caras fueron: 1,017 y 1,042 con 1,27 % y 1,15 % de CoV con MST y SYL, respectivamente. Estos resultados coinciden con trabajos anteriores llevados a cabo por otros autores. Machado et al. (2009) encontraron diferencias relativas entre mediciones directas e indirectas en piezas de madera libres de defectos de ± 10 % utilizando el equipo de ultrasonidos Pundit (Proceq, Schwerzenbach, Suiza) con sensores de contacto plano de 150 kHz de frecuencia. La longitud de las piezas era de 500 mm y las secciones transversales eran de 25×150 y 50×150 mm² de pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.), píceas de Noruega (*Picea abies* L.) y roble blanco (*Quercus alba* L.). Teder et al. (2012) obtuvieron un ratio de velocidad directa/indirecta de 1,85 utilizando un equipo de ultrasonidos con sensores de contacto planos de 54 kHz en secciones transversales pequeñas de 50×50 mm² y piezas de píceas de Noruega (*Picea abies* L.) de 1,0 a 1,1 m de longitud. Stangerlin et al. (2017) encontraron un ratio medio de 0,94 en 10 especies amazónicas de dimensiones $50 \times 50 \times 200$ mm³ utilizando sensores de ultrasonidos planos de 54 kHz. Estos trabajos de investigación anteriores comparten que las piezas empleadas son cortas. Casado et al. (2005) obtuvieron un ratio de velocidad directa/indirecta de 1,15 en pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) con una sección transversal de 75×175 – 225 mm³ y entre 4 y 5 m de longitud utilizando SYL con sensores cónicos de 22 kHz. Arriaga et al. (2017) obtuvieron dos ratios entre las velocidades de testa a testa y las velocidades superficiales de canto y cruzadas en las caras: $V_0/V_{se,glo} = 1,010 - 1,045$ y $V_0/V_{cf,glo} = 1,007 - 1,000$.

10.4.4 Velocidades locales

En el Capítulo 5 Figura 7 se muestran las velocidades locales superficiales en cantos y cruzadas entre caras obtenidas con MST ($V_{se,2-9,MST}$ y $V_{cf,2-9,MST}$) y SYL ($V_{se,3-9,SYL}$ y $V_{cf,3-9,SYL}$). La velocidad local se obtiene a partir de la diferencia de tiempos de vuelo entre dos lecturas tomadas desde un mismo origen “i” y dos de llegada “j” y “k”. La

diferencia de tiempos y de distancias entre los puntos “j” y “k” permite obtener el tiempo de vuelo sin la posible influencia del efecto de “salida” y de “recepción” de la onda.

Entre los resultados obtenidos, tanto las velocidades superficiales en los cantos como las cruzadas en las caras muestran valores similares en todas las velocidades locales medidas utilizando el mismo equipo en ambos casos (MST y SYL). Por otro lado, se analizaron los ratios obtenidos entre las mediciones superficiales de canto y cruzadas entre las caras, con ambos equipos ($V_{se,2-9,MST}/V_{se,3-9,SYL}$ y $V_{cf,2-9,MST}/V_{cf,3-9,SYL}$) observando diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) entre los estos. Los valores medios de los ratios fueron de 1,024 en ambos casos, con un CoV de 1,51 % y 1,39 %, respectivamente. La diferencia entre las mediciones locales entre 2 y 9 m con MST y 3 y 9 m con SYL, se debe a la distancia mínima de lectura recomendada obtenida de resultados previos.

10.5 Influencia de la disposición de lectura en la velocidad de transmisión de ondas

Los valores de las velocidades globales superficiales con MST ($V_{se,glo,MST}$, $V_{cf,glo,MST}$) y SYL ($V_{se,glo,SYL}$, $V_{cf,glo,SYL}$) obtenidos en el Capítulo 5 ecuación (2) se muestran en el Capítulo 5 Figura 6.

Resultó no haber diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) entre las velocidades superficiales en el canto y las cruzadas en las caras analizadas con cada equipo (MST y SYL) por separado, como se muestra en el Capítulo 5 Figura 4 (a, b). De manera similar, se encontró que no había diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) entre los dos equipos (MST y SYL), comparando las velocidades superficiales en el canto por un lado y las cruzadas en las caras por otro lado, aunque si existe una proporción constante entre estos dos equipos, como se muestra en el Capítulo 5 Figura 4 (c, d).

El ratio entre la velocidad global superficial en el canto obtenida con MST y la obtenida con SYL ($V_{se,glo,MST}/V_{se,glo,SYL}$) tiene un valor medio de 1,031 con un CoV de 0,79 %. Por otro lado, la misma relación con las velocidades globales cruzada en las caras ($V_{cf,glo,MST}/V_{cf,glo,SYL}$) es de 1,027 con un CoV de 1,20 %. Estos ratios pueden ser un medio útil para hacer una conversión entre ambos equipos. Arriaga et al. (2017) obtuvieron velocidades de onda con MST y SYL, y el ratio entre las mediciones globales superficiales en el canto fue de 1,043 con mediciones entre las caras y 1,071 con mediciones entre los cantos. Adicionalmente, el ratio entre las mediciones cruzadas de cara a cara con mediciones cruzadas de canto a canto fue de 1,054 y 1,063 empleando 30 piezas de madera de pino laricio aserrado con dimensiones 90

x 140 x 4.000 mm³. Si bien los ratios presentados por Arriaga et al. (2017) fueron ligeramente más altos que las presentadas en esa tesis, también existe una clara diferencia entre las velocidades obtenidas con cada equipo no destructivo (MST y SYL).

10.6 Modo de medición de la velocidad con mayor capacidad de predicción

En este apartado se estudian las opciones de medición utilizadas en las piezas largas. En el análisis anterior se han utilizado varias velocidades concluyendo que no se mostraron diferencias relevantes, excepto en el caso de las velocidades de testa a testa. Sin embargo, es esencial saber cuál es la mejor opción a elegir para la predicción de la rigidez de piezas de madera estudiadas *in-situ*.

Para estudiar la mayor predictibilidad, se calculó el MOE_{dyn} con cada una de las velocidades (En el Capítulo 5 las señaladas como: V₀, V_{se,glo}, V_{cf,glo}, V_{se,9}, V_{cf,9}, V_{se,2-9,MST}, V_{se,3-9,SYL}, V_{se,3-6}) y la densidad de acuerdo con el Capítulo 5 ecuación (4). Se llevó a cabo una regresión lineal entre los MOE_{sta} y MOE_{dyn} obtenidos con las diferentes velocidades, deduciendo el r² y el error estándar del estimador (StE), como se muestra en el Capítulo 5 Tabla 2.

Los mejores valores de r² y los valores de StE más pequeños se obtuvieron con las velocidades de testa a testa y globales. Sin embargo, generalmente no es posible determinar la velocidad de testa a testa en la práctica durante una evaluación *in-situ* porque las testas de la pieza no están accesibles en estructuras existentes habitualmente. Por otro lado, la velocidad de testa a testa no se puede corregir por tL, porque solo se puede medir un único tiempo de transmisión de onda (ToF).

En este caso, la velocidad de testa a testa proporciona valores muy similares a los valores globales obtenidos debido a la longitud de las piezas (10 m). La velocidad cruzada entre caras no ofrece mejores resultados que la velocidad superficial en los cantos. Además, la medición cruzada también implica más dificultades en la ejecución del ToF porque se necesita acceso a ambas caras de la pieza.

La peor capacidad predictiva se obtuvo utilizando la velocidad local entre 3 y 6 m (parte central de la pieza), lo que resultó en aproximadamente un 30 % más de StE que al usar la velocidad global superficial en los cantos.

La mejor opción en la práctica, por lo tanto, es determinar la velocidad mediante la medición del ToF en la superficie de los cantos de la pieza en varias longitudes, con el fin de obtener la velocidad global mediante una regresión lineal y así evitar el

efecto del tL. Como segunda opción, se podría obtener la velocidad de onda utilizando la velocidad deducida del ToF medida en la mayor longitud posible (9 m) o las velocidades locales de 2 a 9 m con MST y de 3 a 9 m con SYL.

10.7 Estimación de la densidad

Los resultados de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 6 “ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD” a continuación se recogen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

10.7.1 Densidad aparente y densidad real

En el Capítulo 6 Tabla 1 se muestran los valores medios de densidad y su CoV obtenidos por los tres métodos (densidad aparente global, aparente de rebanada y real de rebanada). La densidad aparente global y la densidad aparente de rebanada tienen valores corregidos por humedad al 12 % similares (509 y 519 kg m⁻³, respectivamente). La densidad real de rebanada es mayor que las densidades aparentes (un 5,0 % y un 3,2 % mayor que la densidad aparente global y la densidad aparente de rebanada, respectivamente). El área media de la sección transversal fue de 28.609 y 27.639 mm² para las dimensiones obtenidas aparentes y reales de rebanada, respectivamente. La diferencia entre las áreas aparentes y reales es de aproximadamente el 3,5 %. Sin embargo, en el Capítulo 6 Figura 2 (a, b) se muestra un ANOVA y un test de múltiples rangos para las tres variables sin diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios con un nivel de confianza del 95 % (p-valor ≤ 0,05). En el Capítulo 6 ecuación (1) se muestra una regresión lineal entre la densidad real de rebanada y la densidad aparente global con un coeficiente de determinación alto ($r^2 = 82 \%$), Capítulo 6 Figura 3.

10.7.2 Variación de la densidad a lo largo de la pieza

En el Capítulo 6 Tabla 1 se muestran los valores de densidad global aparente y densidad real de rebanada para los grupos I y II de las vigas, mientras que en el Capítulo 6 Figura 2(c, d) se muestra un diagrama de caja y bigotes y los resultados del test de múltiples rangos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos I y II. La parte inferior del árbol (grupo II) muestra una densidad media mayor (aproximadamente un 12 %). Se diferenciaron dos grupos homogéneos en el test de múltiples rangos llevado a cabo con el método de Bonferroni y un nivel de confianza del 95 %. El primer grupo incluye la densidad aparente global y la densidad real de rebanada de grupo I (parte superior del árbol), el segundo la densidad aparente global y real de rebanada de grupo II (parte inferior del árbol). Por lo tanto, la densidad de la madera disminuye 10,8 kg m⁻³

considerando la densidad global aparente y $12,4 \text{ kg m}^{-3}$ considerando la densidad real de rebanada por cada metro de longitud. Esta variación longitudinal se ha observado en estudios anteriores sobre el árbol en pie, mostrando una tendencia descendente desde la base hasta la copa del árbol (González-Rodrigo et al., 2013). Este hecho justifica la estimación de la densidad de las piezas procurando unas mediciones de disposición simétrica respecto a la longitud total de las mismas, como se expone posteriormente.

10.7.3 Mediciones con técnicas no destructivas a lo largo de la pieza

Se realizaron varias regresiones lineales entre las mediciones obtenidas por los equipos no destructivos puntuales (PIL, WP, SWRM y WoodEx) para la estimación de la densidad y la posición relativa de la altura del árbol en cada pieza, Capítulo 6 ecuación (2).

Se determinó la relación existente entre los datos de medición y la altura a la que correspondería en el árbol. En los equipos de medición de la penetración, ésta aumenta con la altura en PIL y WP, y por otro lado, la fuerza de extracción del tornillo y la masa disminuyen con la altura utilizando los equipos SWRM y WoodEx, respectivamente. Esto concuerda con el hecho de que la densidad de la madera disminuya con la altura. En el Capítulo 6 Tabla 2 se muestran los valores medios medidos con cada equipo, el coeficiente de variación (CoV) y la variación relativa en la medición.

En la regresión se obtiene la variación de la densidad estimada por cada metro de altura en el árbol (pendiente de la recta de regresión). Los valores de CoV de la pendiente tienen un valor alto (entre el 39 % y 86 %). Sin embargo, la relación entre la medición del equipo y la altura en el árbol es estadísticamente significativa en un alto porcentaje de los casos ($p\text{-valor} \leq 0,05$ en 48 – 90 %, dependiendo del equipo utilizado), Capítulo 6 Tabla 2. El ratio $a_{\text{mean}}/y_{\text{mean}}$ muestra un rango de variación del 2,3 % al 3,3 % en las mediciones por cada metro de altura, según el equipo utilizado. Los ratios se han calculado con los valores de los términos de las regresiones lineales para la estimación de la densidad, donde a_{mean} es la pendiente media de la regresión lineal y y_{mean} es el valor medio de la medición tomada.

10.7.4 Predicción de la densidad vs. número de mediciones

Teniendo en cuenta los tres métodos de medición propuestos anteriormente mencionados para la medición de la densidad, se llevaron a cabo varias regresiones lineales entre la densidad real de rebanada y la variable medida por técnicas no destructivas. En el Capítulo 6 ecuación (3) se muestra el modelo general de regresión lineal. El método LM consiste en la determinación de las medias de las

mediciones acumuladas de forma ordenada de la sección transversal 1 hasta la 5, el método ECM utiliza la secuencia de medición de forma ordenada en las secciones transversales 1, 5, 3, 2 y 4, el método CEM del mismo modo sigue la secuencia de mediciones en secciones transversales 3, 2, 4, 1 y 5.

En el Capítulo 6 Tabla 3 se muestran los coeficientes Capítulo 6 de la Ec. (3), el r^2 de las regresiones lineales y el error estándar (StE) empleando 10 mediciones en cada pieza (como número máximo de mediciones). En el Capítulo 6 Figura 5 se observa una mejora en la predicción de la densidad a medida que aumenta el número de mediciones acumulativas a lo largo de la pieza para cada método de selección de mediciones (LM, ECM y CEM) y equipo.

La mejor predicción, con 10 mediciones en cada pieza (2 por sección), se obtiene con el equipo WoodEx (que mostró un $r^2 = 76\%$ y $\text{StE} = 27 \text{ kg m}^{-3}$) y la peor predicción se obtuvo con PIL ($r^2 = 42\%$ y $\text{StE} = 42 \text{ kg m}^{-3}$). Görlacher (1987) obtuvo un coeficiente de determinación de $r^2 = 41\%$ para una medición y mejoró hasta un $r^2 = 79\%$ para diez mediciones con PIL. En el presente trabajo la mejora en el coeficiente de determinación varía desde un 12% y un 25% para una medición hasta un $r^2 = 42\%$ para diez mediciones, según el criterio utilizado. El citado autor encontró que el r^2 mejoró el doble, mientras que en este trabajo el r^2 mejoró entre dos y cuatro veces. Las diferencias en los resultados de ambos trabajos pueden explicarse por el uso de madera nueva y probetas de pequeñas dimensiones (sección transversal de $11 - 21 \times 33 - 36 \text{ mm}^2$ y longitud de 450 mm) en el primer trabajo, en contraste con el uso de madera de gran escuadría ($150 \times 200 \text{ mm}^2$ de sección y 5 m de longitud) de estructuras existentes con geometría muy variable en el segundo. Desde un punto de vista práctico, se deben considerar varios factores como son el tiempo necesario para utilizar cada equipo y cómo esto afecta los costes de la evaluación: el PIL es el equipo más rápido de usar y SWRM es el equipo más lento. La predicción mejora en todos los casos con un mayor número de mediciones; el r^2 aumenta en un ratio de $1,17 - 3,50$ veces y el StE disminuye en un ratio entre $0,59$ y $0,86$. En los métodos LM y ECM, el valor de r^2 se estabilizó a partir de las 5 mediciones para todos los equipos. Esta estabilización es más clara en el método CEM a partir de 3 mediciones. Por lo tanto, el CEM parece ser el método más adecuado para la recopilación de datos de densidad con técnicas no destructivas en evaluaciones *in-situ*.

Por último, se analizaron los errores estándar de la regresión lineal en función del aumento del número de mediciones, Capítulo 6 Figura 5. En el Capítulo 6 Tabla 3 se muestra el StE para diez mediciones. Como era de esperar, el StE disminuye con un mayor número de mediciones. El StE tiene una relación inversa con la tendencia r^2 ; de manera similar, el StE se mantiene aproximadamente constante a partir de 3

mediciones solo en el método CEM. El equipo WoodEx tiene el valor más bajo de StE y PIL el más alto.

10.7.5 Comparación con otras investigaciones

Excepto el trabajo llevado a cabo por el autor Görlacher (1987) citado anteriormente, las investigaciones encontradas tras la revisión bibliográfica no analizan el efecto de la mejora de la predicción con el aumento del número de mediciones con equipos puntuales. A continuación, se exponen varios trabajos de investigación que utilizaron los mismos equipos no destructivos de medición para estimar la densidad de la madera sin defectos y madera procedente de estructuras existentes.

Salamanca (2017) mostró un $r^2 = 75 \%$ con 2 mediciones por probeta utilizando el dispositivo WP en piezas de pequeñas dimensiones sin defectos, mientras que, por otro lado, en este trabajo se obtuvo un $r^2 = 57 \%$ con 10 mediciones por probeta en madera estructural procedente de estructuras existentes. Martínez (2018) mostró un $r^2 = 81 \%$ con 6 mediciones por pieza utilizando WoodEx, y en este trabajo se obtuvo un $r^2 = 76 \%$ para 10 mediciones. Llana (2016) e Íñiguez-González (2007) mostraron un $r^2 = 68 \%$ y $r^2 = 57 \%$ en madera nueva, respectivamente, con una sola medición, y en este trabajo se obtuvo un $r^2 = 51 \%$ con 10 mediciones utilizando el equipo SWRM. Finalmente, se puede concluir que la variabilidad es mayor en piezas de estructuras existentes que en madera nueva. Lógicamente, también la variabilidad en el caso de probetas pequeñas es mucho menor dentro de cada pieza, lo que hace que las predicciones sean mejores cuanto menor sea la probeta. Por lo tanto, para lograr un nivel similar de capacidad predictiva en piezas de madera de tamaño estructural al nivel obtenido en piezas pequeñas y libres de defectos, se necesita un número superior de mediciones y difícilmente llegarán a igualarse.

10.8 Predicción con métodos acústicos

Los resultados de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 7 “PREDICCIÓN CON MÉTODOS ACÚSTICOS”. A continuación se resumen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

10.8.1 Densidad estimada vs. densidad real para la determinación del módulo de elasticidad dinámico

En el Capítulo 7 Tabla 6 se muestran los valores medios del MOE_{dyn} obtenidos a partir de la velocidad superficial en el canto y de la densidad real de rebanada o la densidad estimada con el equipo WoodEx. Puede observarse que ambos valores son

muy cercanos. Por lo tanto, el uso de la densidad estimada en la inspección de estructuras existentes está plenamente justificado.

10.8.2 *Ratio entre módulo de elasticidad dinámico y módulo de elasticidad estático*

Se determinaron los ratios entre los MOE dinámicos y estáticos. Los resultados obtenidos fueron 1,26 con MST y 1,42 con SYL. Estos ratios se obtuvieron utilizando la densidad real y la densidad estimada con WoodEx, en ambos casos los ratios presentaron los mismos valores. Este ratio se ha obtenido en muchos trabajos previos y depende del método utilizado en los ensayos mecánicos y en los no destructivos, así como del tipo y tamaño de la muestra (longitud y esbelteza). En el presente trabajo, las propiedades mecánicas (MOE y MOR) se obtuvieron en un ensayo de flexión de cuatro puntos según la norma europea EN 408 (2012), la esbelteza (luz/altura, l/h) es igual a 18; y la velocidad de transmisión de la onda a través de ondas de impacto y ultrasonidos se determinó mediante medidas indirectas (en la superficie de los cantos, junto con otros métodos), Figura 22.

A continuación, se recopilan los resultados de trabajos similares realizados con lotes de madera de tamaño y calidad estructural (incluyendo los defectos de la madera). Íñiguez et al. (2007) dedujeron que el ratio MOE_{dyn}/MOE_{sta} también depende de la calidad de la madera. En el citado trabajo se estudiaron 20 piezas de pino silvestre de sección transversal $45 \times 145 \text{ mm}^2$, 20 piezas libres de nudos y 20 con nudos, con una esbelteza luz/altura = 21 empleado un ensayo de flexión con cuatro puntos, utilizando ultrasonidos (Sylvatest Duo 22 kHz). Obtuvieron ratios de 1,15 y 1,28 en madera libre de nudos y madera con nudos, respectivamente. Aunque el ratio obtenido en la madera con nudos (1,28) fue menor que el valor obtenido en la presente tesis (1,42), es más cercano que el ratio obtenido en madera libre de nudos.

Posta et al. (2016) ensayaron 40 piezas de picea de Noruega con una sección transversal de $35 \times 70 \text{ mm}^2$ con una configuración de ensayo de flexión con 4 puntos y con una esbelteza de 18, y también utilizaron ultrasonidos (Sylvatest Duo 22 kHz) y MST, obteniendo ratios de 1,31 y 1,27, respectivamente. En este caso, el valor que han obtenido de MST es muy cercano al 1,26 obtenido en la presente tesis. Arriaga et al. (2017) analizaron 4 especies de coníferas (pino radiata, pino silvestre, pino laricio y pino pinaster). El material de ensayo constaba de 30 piezas de cada especie con una sección transversal de $90 \times 140 \text{ mm}^2$. El lote se ensayó a flexión y tenía una esbelteza de 18, y adicionalmente, obtuvieron ratios de 1,17 utilizando ultrasonidos (Sylvatest Duo 22 kHz) y 1,24 utilizando MST. Aunque su valor de MST es muy cercano a 1,26, no es el caso del valor obtenido con SYL. Sin embargo, utilizaron velocidades de testa a testa en vez de velocidades superficiales en los cantos. Otra investigación analizó 12 piezas de picea de Noruega con una sección transversal de

76 x 226 mm² con un ensayo a flexión en 4 puntos, con una esbeltez de 18, y midiendo la velocidad de ultrasonidos superficial en los cantos (con el equipo USLab 22 kHz) y ondas de impacto utilizando MST, obteniendo ratios de 1,44 y 1,15, respectivamente (Arriaga et al., 2019). En este caso, el valor de ultrasonidos es cercano a 1,42, pero el valor de las ondas de impacto está algo más alejado de 1,26.

Se puede observar que los ratios obtenidas en los trabajos mencionados son más bajos que las obtenidas en este trabajo. Las diferencias radican en que en este trabajo se ha utilizado madera antigua con una escuadría muy irregular, mientras que en los trabajos anteriores han utilizado madera aserrada nueva con variaciones insignificantes en la escuadría. La determinación de las propiedades mecánicas de las piezas con secciones transversales irregulares se llevó a cabo considerando una sección nominal rectangular que envuelve la real, lo que conduce a una subestimación del MOE. Esto podría justificar las relaciones ligeramente más altas en la madera antigua.

Como se ha comentado, en este trabajo, se ha tomado la sección transversal nominal como rectangular (envolvente a la sección transversal real), Figura 24. El MOE y MOR se obtuvieron a partir de esta sección transversal nominal. Nocetti et al. (2021) estudiaron diferentes aproximaciones de la sección transversal de las piezas (rectangular, elíptica, octagonal, además de la real). Recomendaron que la aproximación a una sección transversal rectangular era aceptable cuando el tamaño medio de las gemas no superaba el 1/5 de la cara (y la gema máxima 2/5 de la cara). Entre sus resultados, mostraron que la consideración de una sección transversal rectangular subestimaba la resistencia y la rigidez en torno al 23 % en comparación con la sección transversal real de la pieza. Sin embargo, esta diferencia desaparece cuando se evalúa la capacidad de carga de la estructura con la misma hipótesis al considerar la sección transversal rectangular.

Por otro lado, varios trabajos de investigación han utilizado madera de pequeñas dimensiones libres de defectos que dan lugar a ratios más bajos que los obtenidos en este trabajo, y en muchos casos la esbeltez de los ensayos de flexión fue inferior a 18 o utilizaban una disposición de cargas diferente. Algunos de estos trabajos se enumeran a continuación. Rohanová et al. (2011) obtuvieron un ratio de 1,16 en piezas de píceas de sección transversal 52 x 40 mm² ensayadas a flexión de acuerdo a la norma europea EN 408 (2012) (l/h = 18) utilizando ultrasonidos (Sylvatest 22 kHz). Baradit et al. (2011) estudiaron seis especies de madera chilenas, dos de coníferas y cuatro de frondosas, con 20 piezas con sección transversal de 20 x 20 mm cada una. Se llevaron a cabo ensayos de flexión según la norma alemana DIN 52186 (1978) y utilizando ultrasonidos (Steimkamp BP5 52 kHz). Obtuvieron un ratio

medio de 1,33 (1,25 – 1,47). Kim et al. (2011) estudiaron seis especies de madera de coníferas con diferentes densidades para evaluar el posible efecto de la especie en las mediciones no destructivas. Ensayaron 20 piezas de cada especie a flexión con una configuración de tres puntos con una luz de 3 m, obteniendo el MOE_{dyn} con ultrasonidos (Pundit) y dedujeron un ratio medio de 1,41. Llana et al. (2014) ensayaron piezas de pino silvestre de pequeñas dimensiones 20 x 20 x 400 mm según la norma DIN 52186 (1978) midiendo la velocidad con ultrasonidos (Sylvatest 22 kHz y Steimkamp 50 kHz), obteniendo ratios de 1,31 y 1,22, respectivamente.

La determinación del MOE_{dyn} mediante métodos acústicos es sencillo en la evaluación de estructuras de madera existentes. Sin embargo, es muy importante seguir un protocolo estándar para medir la velocidad de transmisión de onda *in-situ* y utilizar un ratio apropiado para obtener el MOE_{sta} . Por lo tanto, este factor debe obtenerse a partir de ensayos realizados utilizando los mismos criterios (métodos de ensayos no destructivos) y para materiales con características similares (sección transversal y calidad de la madera).

10.8.3 Predicción del módulo de elasticidad y la resistencia

En el Capítulo 7 Tabla 7 se muestran las precisiones obtenidas para las regresiones lineales simples llevadas a cabo entre el MOE y MOR y la variable medida (velocidad, densidad y presencia de nudos) con sus coeficientes de determinación, errores estándar y p-valores de la regresión. Aunque la velocidad de transmisión de la onda es estadísticamente significativa para el MOE y MOR, para la densidad y CKDR esto solo ocurre en el caso del MOE_{sta} . La velocidad de transmisión de onda y la densidad tienen una relación media o baja con el MOE y suelen agruparse en el MOE_{dyn} . Tanto la densidad real de rebanada como la densidad estimada con el WoodEx se correlacionan de manera similar con las propiedades mecánicas, al igual que la velocidad de transmisión de onda medida con los dispositivos MST o SYL. Por último, el uso del parámetro CKDR medido en 8 h en lugar de 18 h muestra una ligera diferencia en la estimación y es mejor para estimar el MOR que el MOE_{sta} . Estos resultados concuerdan con otros trabajos de investigación (Arriaga et al., 2014, 2019).

Se llevó a cabo una regresión lineal simple entre MOE_{sta} y MOR vs. MOE_{dyn} según el Capítulo 7 ecuación (5). En el Capítulo 7 Tabla 8 se muestra el resumen de los resultados. La correlación con el MOE_{sta} mostró un coeficiente de determinación de $r^2 = 50 - 54 \%$. Este coeficiente fue claramente inferior a los resultados obtenidos en un trabajo anterior (Capítulo 4) en 21 pares de cubierta originales ensayados antes de ser cortadas en dos piezas (Osuna-Sequera et al., 2020). En el caso anterior, el coeficiente de determinación mostró valores del 78 % y 76 % para MST y SYL,

respectivamente. El material de ensayo fue el mismo en ambos casos, y las únicas diferencias fueron las siguientes: en el trabajo anterior se utilizó solo la densidad real de rebanada; la longitud de las piezas era diferente (11 m en el trabajo anterior y 5.6 m en este estudio) y la esbeltez y la relación longitud/altura varían de 52 a 27, respectivamente; y finalmente, las piezas de madera en el presente trabajo incluyen dos grupos de calidad (grupos I y II, parte superior del árbol y la base del tronco, respectivamente), mientras que el trabajo anterior consistía en un solo grupo con piezas más largas.

En el Capítulo 7 Tabla 9 se muestra el mismo análisis que en el Capítulo 7 Tabla 8, pero utilizando solo el MOE_{dyn} obtenido con la densidad estimada con WoodEx pero separando ambos grupos de piezas, grupos I y II. Se puede observar que el coeficiente de determinación disminuye hasta la mitad en el grupo II (con material de mayor calidad) para la predicción del MOE_{sta} , y esto no se observa en la predicción del MOR. Esto podría justificarse por el hecho de que si la calidad de la madera es más baja (como en el grupo I), sus singularidades (como el tamaño de los nudos o fendas) aumentarán la sensibilidad de la medición del ToF, lo cual se reflejaría mejor en la estimación no destructiva que en un material de mayor calidad y más uniforme.

Por otro lado, la correlación entre el MOE_{dyn} y MOR fue más baja, con $r^2 = 33 - 39 \%$, como se muestra en el Capítulo 7 Tabla 8, y disminuye cuando se aplica a los grupos I y II, como se muestra en el Capítulo 7 Tabla 9. Finalmente, la diferencia entre utilizar la densidad real de rebanada o la estimada estimada con WoodEx y el tipo de equipo elegido es pequeña.

En el Capítulo 7 ecuación (6) se incluyó el parámetro CKDR considerado en una distancia 8 h en un análisis de regresión múltiple para intentar mejorar la predicción del MOR. Sin embargo, el coeficiente de determinación prácticamente mantiene los mismos valores. Este análisis se realizó únicamente con la densidad estimada con WoodEx, como se muestra en el Capítulo 7 Tabla 10.

10.8.4 Consideración de los parámetros de clasificación para la predicción de las propiedades mecánicas

Para intentar mejorar la predicción de la resistencia, se estudió la influencia de los parámetros principales de la clasificación visual (diámetro del nudo, profundidad de las fendas y desviación de la fibra global) según la norma española de clasificación visual de coníferas UNE 56544 (2011). El diámetro del nudo en la cara (d_i) varía entre 0 y 60 mm, con un valor medio de 32,1 mm. El diámetro del nudo en el canto (d_e) varía entre 0 y 110 mm, con un valor medio de 46,9 mm. Estos son

equivalentes a un diámetro relativo medio del nudo en la cara de $d_f/h = 0,17$ (0,00 – 0,31) y un diámetro relativo medio del nudo en el canto de $d_e/h = 0,32$ (0,00 - 0,74). La profundidad de las fendas (f) varía entre 31 mm y 132 mm, con un valor medio de 78,3 mm. Esto equivale a una profundidad relativa promedio de las fendas de $f/b = 0,51$ (0,24 - 0,81). Por último, la desviación de la fibra global media (sg) fue del 3,5 % (rango entre 0 % y 13,8 %).

En el Capítulo 7 Tabla 11 se muestran los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la predicción del MOR y MOE utilizando el MOE_{dyn} y las tres singularidades principales de la clasificación visual como variables independientes. El MOE_{dyn} se obtuvo utilizando la densidad estimada con WoodEx. Se realizó un análisis paso a paso, eliminando las variables menos predictivas y concluyendo que las principales variables son MOE_{dyn} y diámetro de los nudos en el canto (y la desviación de la fibra global algunos casos). Se observó una notable mejora en el coeficiente de determinación para la predicción del MOR y MOE basada en el diámetro de los nudos en el canto.

10.8.5 Modelos propuestos

Finalmente, se consideró un modelo de predicción que incluye el MOE_{dyn} , el diámetro de los nudos en el canto y la desviación de la fibra global. En el Capítulo 7 Tabla 12 se muestran los parámetros de la regresión lineal múltiple entre el MOE_{sta} y MOR vs MOE_{dyn} y el tamaño relativo de los nudos en el canto y la desviación de la fibra (en $mm\ mm^{-1}$), según el Capítulo 7 ecuación (7) y ecuación (8). El tamaño del nudo se introdujo en estas ecuaciones como tamaño relativo del nudo mediante la relación d_e/b , donde b es el ancho de la sección transversal nominal de la pieza.

Estos modelos tienen una mejor capacidad predictiva que en el Capítulo 7 ecuación (5) y ecuación (6) y podrían utilizarse fácilmente en la práctica para evaluaciones *in-situ*. Sin embargo, se debe verificar este modelo con un lote de madera más numeroso.

10.8.6 Modos de fallo

El valor característico del MOR se puede obtener a partir de los resultados de la cola inferior de la distribución estadística. Se ha intentado descubrir si existe alguna relación entre las resistencia muy baja o muy alta y algunas características de las piezas. Para ello se diferenciaron dos grupos de piezas para determinar si las piezas de madera con una resistencia más baja tienen unas características específicas: el grupo A, compuesto por las 5 piezas con el MOR más alto y el grupo B, con las 5 piezas con el MOR más bajo. Cada grupo representa el 11 % de las piezas. Se puede observar que todas las piezas del grupo A provienen de la parte inferior del tronco

(II) con menos nudos y mayor densidad. El grupo B incluye 3 piezas del tronco superior (I) y 2 piezas del tronco inferior (II). En el Capítulo 7 Tabla 13 se muestran los valores medios del MOR, el tamaño de los nudos en el canto y la desviación de la fibra con su coeficiente de variación (CoV) para ambos grupos, A y B. El CoV del MOR en ambos grupos es similar, y el ratio es de 3/1 entre A y B. La nudosidad y la desviación de la fibra también difieren ampliamente, y esto ya se había verificado en la regresión lineal múltiple.

Por último, en el Capítulo 7 Figura 7 se muestran unos pequeños bocetos de la rotura del ensayo mecánico. La única rotura por cortante del lote se produjo en el grupo A, mientras que las demás roturas mostraron un desarrollo de la zona de rotura en longitud muy corto. Sin embargo, se produjeron dos roturas más largas en las piezas del grupo B. Este grupo también contenía tres roturas fuera del tercio central. Aunque esto puede deberse a una mayor nudosidad y desviación de la fibra, con los resultados obtenidos hasta el momento es imposible concluir algo de mayor utilidad sin estudios más detallados. No se encontraron referencias a otros trabajos de investigación sobre los modos de fallo en piezas de gran escuadría.

10.9 Predicción con vibración

Los resultados de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 8 “PREDICCIÓN CON VIBRACIÓN”. A continuación se resumen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

10.9.1 Densidad estimada vs. densidad real para la determinación del módulo de elasticidad dinámico

Se llevaron a cabo varias regresiones lineales entre MOE_{sta} y MOR vs MOE_{dyn} de acuerdo con el Capítulo 8 ecuación (4). En el Capítulo 8 Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados. Estas correlaciones se realizaron para cada método geométrico utilizado para definir la sección nominal, NCS (A, B, C y D). La variable MOE_{sta} se correlacionó con el MOE_{dyn} obtenido con la densidad real de rebanada y la estimada con el WoodEx. El uso de la densidad estimada proporciona un coeficiente de determinación ligeramente menor y con solo un 2 % más de StE. Esto confirma la validez de la densidad estimada a través del WoodEx. Por lo tanto, se llevaron a cabo regresiones lineales simples con el MOR vs MOE_{dyn} obtenido con la densidad estimada con WoodEx para simular una estimación de densidad *in-situ*.

10.9.2 Predicción del módulo de elasticidad y la resistencia

La mejor predicción del MOE_{sta} se obtiene con los métodos A y B para definir la NCS (considerando los valores medios de todas las dimensiones de las RCS a lo largo de la longitud o el utilizando el valor medio de los RCS centrales 2, 3 y 4). En contraste, los métodos C y D dan un error estándar aproximadamente un 27 % mayor. Estos resultados concuerdan con los obtenidos anteriormente con los 21 pares originales ensayados antes de ser cortados en dos piezas (Osuna-Sequera et al., 2020). La mejor predicción se obtuvo con el método A, porque en el Capítulo 8 ecuación (2) la expresión para la vibración longitudinal de una barra larga y delgada asume una sección transversal constante, y la sección transversal media de la pieza a lo largo de su longitud se acerca a una sección transversal constante. La predicción del MOR no mostró diferencias entre los métodos geométricos y tiene coeficientes de determinación más bajos que en el caso del MOE_{sta} .

Se llevó a cabo una comparación de estos resultados con los obtenidos utilizando la velocidad de transmisión de ondas acústicas (ultrasonidos y ondas de impacto) en un trabajo anterior con el mismo material (Arriaga et al., 2022) mostrando que se obtuvo una mejor predicción con la técnica de vibración longitudinal. Los coeficientes de determinación fueron aproximadamente del 50 % y 37 % utilizando los métodos acústicos para estimar el MOE_{sta} y MOR, respectivamente, y del 57 % y 53 % con el método de vibración longitudinal. El error estándar se reduce un 8 % y 16 % con el método de vibración longitudinal para estimar el MOE_{sta} y MOR, respectivamente. De este modo, el método de vibración longitudinal presenta una mejor predicción que los métodos acústicos, aunque no debemos olvidar la inconveniencia de la necesidad de desmontar la estructura, lo que dificulta su aplicación *in-situ*.

La correlación MOE_{sta} vs MOE_{dyn} utilizando la densidad estimada con WoodEx mostró un coeficiente de determinación de $r^2 = 44 - 59$ %, y utilizando la densidad real de rebanada de $r^2 = 46 - 61$ %. El r^2 fue claramente menor que los resultados obtenidos en un trabajo anterior con los 21 pares originales, con $r^2 = 51 - 87$ % (Osuna-Sequera et al., 2020). El material de ensayo fue el mismo en ambos casos, con las siguientes diferencias: solo se utilizó la densidad real de rebanada en el trabajo anterior; la longitud de las piezas era diferente (entre 9,5 y 11 m en el trabajo anterior y 5,4 m en este estudio) y la esbeltez y longitud/altura variaban desde 52 a 27 respectivamente; y finalmente, el trabajo actual incluye dos grupos basados en la calidad de la madera (grupo I y II, la zona cercana al ápice y a la base del tronco respectivamente). sin embargo, el trabajo anterior consistía en un único grupo original con piezas más largas. Por lo tanto, se puede concluir que la predicción del MOE_{sta} es más precisa en longitudes largas debido a su mayor esbeltez. Este

comportamiento también ocurre en el caso de estimar el MOE_{sta} mediante la medición del ToF (método acústico), ya que la predicción es mejor cuando la distancia de medición es grande (Arriaga et al., 2017, 2022).

10.9.3 Consideración de los parámetros de clasificación para la predicción de las propiedades mecánicas

En el Capítulo 8 Tabla 5 se muestran los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la predecir tanto el MOE_{sta} como el MOR utilizando como parámetros independientes el MOE_{dyn} y las tres principales singularidades de clasificación visual como variables independientes. El MOE_{dyn} se obtuvo utilizando la densidad estimada con el equipo WoodEx. Se realizó un análisis paso a paso, eliminando las variables menos predictivas (con p -valor $< 0,05$).

El mejor modelo de predicción del MOE_{sta} se obtuvo utilizando los métodos A y B ($r^2 = 66\%$ y 64% respectivamente). Se observó una ligera mejora cuando se incluyó el diámetro del nudo en el canto y la desviación de la fibra (en algunos casos) en comparación con los resultados obtenidos en el Capítulo 8 Tabla 3. Los métodos C y B tienen una capacidad de predicción inferior y el error estándar aumentó aproximadamente con una media del 40% .

Los parámetros de clasificación no mejoran la predicción del MOR, pero el diámetro del nudo en el canto y la desviación de la fibra muestran p -valores cercanos a $0,05$ en los métodos A y B siendo prácticamente significativos estadísticamente. Se ha observado en otros trabajos de investigación que los nudos y la desviación de la fibra mejoraban ligeramente los modelos de predicción (Arriaga et al., 2012, 2014).

10.9.4 Modelos propuestos.

Finalmente, se llevó a cabo una regresión lineal múltiple que incluye el MOE_{dyn} , los diámetros de los nudos en el canto y la desviación de la fibra. En el Capítulo 8 Tabla 6 se muestran los parámetros de regresión lineal múltiple obtenidos entre el MOE_{sta} y el MOR vs MOE_{dyn} obtenido con el método de vibración y el tamaño relativo del nudo en el canto y la desviación de la fibra (en $mm\ mm^{-1}$) según el Capítulo 8 ecuación (5) y (6). El tamaño del nudo se introdujo en estas ecuaciones definido como el tamaño relativo a través del ratio d_e/b , donde b es el ancho de la sección transversal nominal de la pieza con el método A o B.

Estos modelos tienen una capacidad predictiva mejor que los obtenidos con las regresiones lineales simples con el método de vibración (Capítulo 8 ecuación (4)) y podrían ser fácilmente utilizados en la práctica para evaluaciones *in-situ*. Además, estos resultados son ligeramente mejores que los observados en un trabajo previo

con el mismo material utilizando métodos acústicos de ultrasonidos y ondas de impacto (Arriaga et al., 2022) (Capítulo 7 Tabla 11). Sin embargo, sería necesario incrementar el número de piezas del lote para realizar una verificación de los modelos.

10.10 Caso práctico

La metodología, áreas de muestreo, material y los resultados principales de esta parte del trabajo están detallados en el Capítulo 9 “CASO PRÁCTICO”. A continuación, se recogen los principales resultados y discusión obtenidos en esta investigación.

El presente estudio se centra en la inspección y evaluación de un edificio residencial situado en el centro histórico de Madrid, España. Consiste en una edificación con siete plantas con fachada a la calle de la Cava de San Miguel y en su lado opuesto cinco plantas a la Plaza Mayor. La estructura original horizontal estaba formada por forjados de madera, excepto los techos de la planta baja construida con bóvedas de ladrillo. Los muros de fachada son de fábrica de ladrillo y mampostería de granito en planta baja y los muros intermedios y medianeros son entramados de madera y relleno de fábrica de ladrillo. En la actualidad la madera está presente. En la actualidad los forjados de las plantas primer y segunda han sido sustituidos por otros materiales (hormigón y acero) en obras de reforma anteriores. Toda la madera estructural data de finales del siglo XVIII, excepto la correspondiente a la última planta donde son otras especies procedentes de las últimas reformas realizadas en el edificio.

La importancia de esta evaluación radica en el plan de renovación propuesto para el edificio, que lo convertirá en un espacio residencial. Para respaldar esta transformación y garantizar la seguridad estructural a largo plazo, se llevó a cabo una inspección *in-situ* exhaustiva, considerando diversos aspectos relacionados con la construcción y las propiedades de los materiales. Con el fin de saber su estado actual, se investigó a fondo el tipo de construcción y las fechas aproximadas de edificación. Este enfoque permitió contextualizar la inspección, teniendo en cuenta los métodos de construcción utilizados en diferentes épocas y la evolución de los materiales a lo largo del tiempo.

Entre los objetivos de la inspección se buscaba evaluar la resistencia y la integridad de los elementos estructurales de madera presentes en el edificio. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en la seguridad y estabilidad del edificio en su conjunto. Además, se buscaba estimar la capacidad de carga de las viguetas y

pilares, así como verificar si cumplían con los requisitos de seguridad estructural en los estados límite últimos. Se puede consultar más información sobre las dimensiones de los elementos estructurales en el Capítulo 9 apartado 2.1.

Para lograr estos objetivos, se implementó un método de inspección que combinó mediciones con técnicas no destructivas como la estimación de la densidad y determinación de la velocidad de ondas de impacto y ultrasonidos en diferentes catas del edificio (Capítulo 9 Tabla 1). Estas mediciones proporcionaron información clave sobre la condición de la madera y sus propiedades mecánicas.

Uno de los resultados fue la estimación de la densidad media de la madera en el edificio. Se utilizaron dos métodos no destructivos de los estudiados anteriormente, obteniendo valores de densidad que oscilaron entre 461 kg m^{-3} y 598 kg m^{-3} , con un valor medio de 514 kg m^{-3} .

Se tomaron lecturas de tiempos de transmisión mediante MST para obtener la velocidad de transmisión de onda en los elementos estructurales (viguetas y pilares). Esta medición será utilizada para determinar el módulo de elasticidad dinámico con la ayuda de la densidad estimada. Los resultados mostraron una velocidad media de 4.772 m s^{-1} calculada en 41 piezas compuestas de viguetas y pilares del edificio. La metodología empleada en la medición de la velocidad es la recomendada en el Capítulo 5.

La asignación de propiedades mecánicas y de densidad en cada área de muestreo (Capítulo 9 Tabla 3) permitió obtener una visión de la variabilidad en las propiedades de la madera en todo el edificio. Se estimó un módulo de elasticidad dinámico de 11.854 N mm^{-2} con un CoV de 23 % en todas las piezas, se aplicó un coeficiente k_{dyn} definido como un factor de ajuste del módulo de elasticidad (MOE) (cuyo valor había sido obtenido en los estudios anteriores, ratio entre MOE dinámico y estático) estimando el módulo de elasticidad medio con un valor de 9.448 N mm^{-2} (variando entre 7.113 y 11.077 N mm^{-2}) Esta variabilidad es la habitual en las propiedades mecánicas de la madera.

Un aspecto importante a considerar fue el tiempo total requerido para llevar a cabo la inspección y recopilación de datos. Se necesitaron 52 horas en total (aproximadamente 4 horas por cata y 45 minutos por pieza aplicando todas las mediciones con todos los equipos), con una parte significativa del tiempo dedicada a tareas logísticas y preparación de los equipos de medición. Esto destaca la complejidad y el esfuerzo involucrado en los procesos de inspección estructural, desde la planificación hasta la ejecución.

Los resultados de la inspección y el posterior análisis estructural indicaron que, en general, los sistemas de forjados y muros cumplen con los requisitos de seguridad estructural en los estados límite últimos y también en los estados límite de servicio. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de carga del conjunto de forjados en tres plantas (Capítulo 9 apartado 3.4) con una carga uniformemente distribuida de 3 kN m^{-2} aplicada en tres fases de un tercio de la carga total. Se observó que el comportamiento era aproximadamente lineal. No se detectaron agrietamientos entre las viguetas lo que indica que había un comportamiento solidario entre ellas. Las pruebas de carga permitieron realizar un contraste con la rigidez estimada con los ensayos no destructivos. De este análisis se deducía que existían grandes diferencias entre las comprobaciones simplificadas de cálculo y los valores obtenidos en las pruebas de carga, que sólo podían justificarse con modelos más complejos de comportamiento estructural de los forjados.

En conclusión, esta inspección *in-situ* proporcionó información esencial para respaldar el proceso de renovación del edificio y garantizar la seguridad a largo plazo. Los resultados de densidad, velocidad de onda y la asignación de propiedades mecánicas permitieron una caracterización de los elementos estructurales precisa del estado actual de la madera y la estimación de la capacidad de carga. Y principalmente, han servido de rodaje de las propuestas en un caso práctico en obra.

11 CONCLUSIONES

A continuación, se presenta un resumen de las conclusiones más relevantes obtenidas en la presente tesis. Sin embargo, para obtener un entendimiento completo, se recomienda la lectura de las conclusiones completas en los artículos publicados, donde se encuentran más detalladas.

11.1 Variabilidad de la sección transversal

- La variabilidad en la anchura (b) de la sección transversal de las piezas de madera fue más pronunciada que en la altura (h) mostrando un CoV del 11 % y 3 %, respectivamente. Esto se debe a la exigencia en la homogeneidad de la altura de las piezas en las cubiertas (y en forjados) y no tanto en el ancho de las piezas.
- Se hace patente la necesidad de adoptar la sección transversal nominal más idónea de las piezas, a fin de estimar de la manera más precisa las propiedades mecánicas.
- Las velocidades obtenidas con los equipos no destructivos son similares a estudios anteriores. Sólo se detectaron diferencias motivadas por las diferentes longitudes de las piezas ensayadas.
- Se propone utilizar el criterio B (sección nominal, media de las centrales) como el más idóneo para la estimación del módulo de elasticidad (MOE) mediante equipos acústicos que empleen ultrasonidos y ondas de impacto, y el criterio A (sección nominal, media de todas las secciones de referencia a lo largo de la longitud) para dispositivos basados en el método de vibración.

11.2 Propiedades físicas y mecánicas y clasificación visual

- La clasificación visual con la normativa vigente actual carece de validez cuando se clasifica madera procedente de edificios antiguos. El porcentaje de piezas rechazadas es muy elevado y no refleja la capacidad de carga real de la estructura. Sin embargo, se ha mostrado que teniendo en cuenta los parámetros más relevantes (nudosidad y desviación de la fibra) se puede conseguir una clasificación más realista.

- Las propiedades mecánicas de las piezas de madera antiguas tienen un perfil ligeramente diferente a las de madera nueva. Una de las relaciones más interesantes es el cociente entre el valor medio del MOE_{sta} y el valor del quinto percentil del MOR para la madera sin clasificar. Esta relación fue de 663, mientras que en la madera nueva es más baja, alrededor de 419-590. El valor más alto en las piezas ensayadas se debe principalmente a la ausencia de clasificación estructural en origen, a la irregularidad de las dimensiones de la sección transversal y a la posible presencia de daños biológicos.
- Se encontraron diferencias significativas entre las propiedades mecánicas de las piezas más cercanas a la base del tronco y las de la parte superior. El MOE_{sta} medio y el MOR fueron 1,22 y 1,37 veces más altos respectivamente en la parte inferior del tronco. Esta relación también se detectó en las mediciones con equipos no destructivos.

11.3 Influencia de la longitud

- Las diferencias de velocidad de testa a testa obtenidas entre los equipos de ultrasonidos y ondas de impacto disminuyen a medida que aumenta la distancia entre los sensores. Las mediciones realizadas a 10 metros son equivalentes con ambos equipos.
- Las velocidades globales corregidas con el tL (tiempo de desfase) obtenidas con métodos acústicos no muestran diferencias significativas entre mediciones indirectas (superficiales o cruzadas). Además, las mediciones superficiales son más sencillas de tomar *in-situ* que las de testa a testa o cruzadas debido a la accesibilidad de las caras de las piezas y proporcionan resultados similares.
- No se observaron diferencias significativas en las mediciones de velocidad de transmisión de onda de forma ascendente o descendente (con relación a la dirección de crecimiento del árbol), por lo tanto, no es relevante hacerlo en una dirección u otra durante una evaluación o ensayo.

11.4 Densidad

- Se han encontrado diferencias de densidad a lo largo de los pares de 11 metros. Esta variación es del orden de 12 kg m⁻³ por metro de altura del árbol. Esta variación de densidad también se detectó en las mediciones realizadas con los equipos no destructivos.

- Se detectó en las piezas procedentes del teatro una posible estrategia para aumentar la durabilidad de la estructura a lo largo del tiempo al colocar los pares con la parte de mayor duramen en la zona de apoyo en la coronación del muro (alero). Sin embargo, se requiere más investigación para determinar si esta práctica era común en otros edificios históricos o simplemente fue una consecuencia del procedimiento de montaje.
- La medición con una forcípula de la sección de las piezas considerada como un rectángulo puede conducir a una sobreestimación del área de la sección transversal de aproximadamente el 3,5 %. Se recomienda en laboratorio utilizar siempre que sea posible la densidad real en lugar de la densidad aparente ya que no depende de las irregularidades de la sección transversal. En la estimación en obra es la densidad real la que debe correlacionarse con las mediciones puntuales semi-destructivas.

11.5 Propiedades acústicas

- Como se ha demostrado en numerosos trabajos, de nuevo y como resultado del presente trabajo, la clasificación visual de la madera no es adecuada para evaluar estructuras de madera existentes. El porcentaje de piezas rechazadas es muy alto y no refleja la capacidad de carga real de la estructura.
- Se encontraron diferencias significativas en las propiedades mecánicas, y nudosidad según la posición de la pieza en el tronco. Por lo tanto, es importante tener estas variaciones en cuenta en piezas de gran longitud.
- Las mediciones de velocidad con ultrasonidos y ondas de impacto difieren ligeramente. La velocidad obtenida con MST tiene un valor ligeramente inferior al SYL con un ratio (V_{MST}/V_{SYL}) de 0,97. En general, comparando con otros trabajos se encontró que esta relación está alrededor de 1, y depende de la especie y la nudosidad de la madera.
- Se observó una ligera mejora en la estimación de MOE_{sta} y MOR a partir de MOE_{dyn} al añadir los parámetros de clasificación visual del tamaño relativo del nudo de canto y la desviación de la fibra.

11.6 Vibración

- Las correlaciones más altas entre MOE_{sta} y MOR se obtuvieron utilizando métodos de definición de sección nominal A y B. Por otro lado, los métodos C y D, que solo consideran una sola sección transversal para definir la sección nominal, son mucho menos representativos.
- Al igual que en los métodos acústicos, se observó una ligera mejora en la estimación de MOE_{sta} y MOR a partir de MOE_{dyn} al añadir los parámetros de clasificación visual del tamaño relativo del nudo de canto y la desviación de la fibra.

11.7 PROPUESTA DE MÉTODO

11.7.1 Objeto

Este texto tiene por objeto definir las líneas generales del método a seguir para la estimación de las propiedades mecánicas de piezas de madera en estructuras existentes trabajando a flexión. Las propiedades que se estiman son el módulo de elasticidad estático en flexión y la resistencia a flexión.

Está fundamentado en los trabajos de investigación experimental realizados en esta tesis doctoral sobre piezas de madera de gran escuadría (del orden de 150x200 mm) de la especie pino laricio con procedencia española, *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco. Por lo tanto, su validez se orienta hacia las especies coníferas de similares características, como son el pino silvestre y el pino pinaster, que son frecuentes en edificios antiguos. Su aplicación a otras especies de frondosas utilizadas en la construcción como el roble, el castaño y el chopo debería ser contrastada con la experimentación, aunque posiblemente los resultados no difieran significativamente debido a que los principios en los que se basa el método son de carácter común.

También está fundamentado en el estudio de piezas biapoyadas sometidas a flexión como es el caso de vigas o viguetas de forjado, en las que la zona más solicitada a flexión se encuentra en la parte central del vano. Por este motivo, muchas veces las mediciones a realizar se concentran en sólo el tramo del tercio central, aproximadamente.

11.7.2 Diferenciación de lotes

El estudio y conocimiento del edificio objeto de la evaluación es la primera tarea que debe realizarse con el mayor detalle posible. Se determinará si existen partes del edificio correspondientes a diferentes épocas de construcción o a intervenciones posteriores de rehabilitación y reforma. Pueden tener estructuras de madera de diferente especie, diferente calidad, diferente luz y escuadría e incluso con mayor o menor variabilidad geométrica de la escuadría. Esto dará lugar a diferentes lotes de análisis.

Un lote presentará uniformidad y se puede estudiar tomando un número de muestras representativo. De cada lote se seleccionará un número de muestras constituidas por un conjunto de al menos 3 piezas contiguas. La superficie construida correspondiente a un lote debería representar entre el 3 % y el 7 % de la

superficie del lote. Esto es simplemente una primera idea que será función de la superficie total del edificio.

11.7.3 Dimensiones/Geometría

Se definirá una sección nominal de cada lote con igual luz y constitución que se obtendrá con los valores medios de la sección (ancho y canto) de las piezas. Se medirán las dimensiones de la sección circunscrita a la sección real de la pieza con la ayuda, en su caso, de una forcípula. La influencia de la pérdida de sección debida a las gemas podrá despreciarse, siempre que no sea extrema (cercanas al rollizo). La medición de la sección de cada pieza se tomará como la media de 2 o 3 secciones del tramo del tercio central.

Es interesante determinar cuál es el coeficiente de variación de las dimensiones de la sección de las piezas en ancho y en el canto, ya que pueden hacerse análisis posteriores de fiabilidad.

11.7.4 Estimación de la densidad

La estimación de la densidad de cada pieza de madera se podrá realizar con la ayuda de un equipo portátil de penetración o de taladrado, como los utilizados en este trabajo. Se tomarán lecturas en cara y canto de la pieza en 3 secciones situadas en el tercio central de la pieza y se tomará el valor medio deducido. De esta manera el valor de la densidad será el medio de la pieza, evitando las diferencias que hay a lo largo del fuste del árbol.

11.7.5 Medición de los tiempos de transmisión de ondas

La medición de los tiempos de vuelo se puede realizar con un equipo portátil de ondas de impacto o de ultrasonidos. La distancia mínima de medición debería ser de 1,5 m.

La mayor precisión se obtiene tomando varias lecturas desde una distancia de 1,5 m hasta la mayor longitud permitida en la pieza. Estas lecturas se pueden hacer colocando los sensores en uno de los cantos de la pieza (superficie correspondiente a la menor dimensión de la sección transversal de la sección, o cara superior o inferior de la pieza). El número mínimo de lecturas será de 3. La velocidad de transmisión se obtiene de la regresión lineal de las mediciones efectuadas.

También puede procederse a tomar una única lectura del tiempo de transmisión de la onda entre dos puntos sobre el canto de la pieza situados a la mayor distancia posible. Las diferencias con el método anterior son pequeñas.

11.7.6 Módulo de elasticidad dinámico

El módulo de elasticidad dinámico se calculará mediante el producto de la densidad estimada por la velocidad de transmisión elevada al cuadrado. Esto se realizará para cada pieza de cada muestra.

11.7.7 Módulo de elasticidad estático

El módulo de elasticidad estático se puede obtener a partir del módulo de elasticidad dinámico dividido por un factor que depende del equipo utilizado. Este coeficiente toma un valor de 1,24 para ondas de impacto y de 1,40 para ultrasonidos, aproximadamente.

La estimación del módulo de elasticidad estático puede mejorarse con la consideración de alguno de los parámetros de clasificación (tamaño relativo de nudo en el canto de la pieza y desviación general de la fibra). En este caso se pueden utilizar las ecuaciones de regresión determinadas en esta tesis a partir del módulo de elasticidad dinámico y los parámetros anteriores.

11.7.8 Resistencia característica a flexión

De manera orientativa puede estimarse el valor característico de la resistencia a la flexión del lote dividiendo el módulo de elasticidad estático por un factor cuyo valor es variable, pero cercano a 650 en lotes de madera antigua no clasificados de gran escuadría.

La estimación de la resistencia a flexión puede mejorarse con la consideración de alguno de los parámetros de clasificación (tamaño relativo de nudo en el canto de la pieza y desviación general de la fibra). En este caso se pueden utilizar las ecuaciones de regresión determinadas en esta tesis a partir del módulo de elasticidad dinámico y los parámetros anteriores.

12 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Entre las numerosas líneas de investigación que podrían derivar del presente trabajo se sugieren las siguientes:

- Se desconoce la aplicación de los métodos propuestos en la presente tesis aplicadas en especies de frondosas de procedencia española. Existe mucho patrimonio histórico construido con especies como roble o castaño. Estos edificios necesitan también una herramienta para ser evaluados de una manera más optimizada. En la actualidad ya hay trabajos de investigación en desarrollo.
- Las mejores predicciones de densidad se obtuvieron con el equipo WoodEx, pero se ha detectado una variación de resultados en el uso entre diferentes técnicos y su posible empleo para la estimación del contenido de humedad. Nuevos modelos podrían mejorar la intercomparación entre diferentes técnicos homogeneizando su uso.
- Dado que el material disponible para el presente trabajo es escaso y representativo sólo de una especie, longitud y escuadría, incrementar la base de datos aplicando el protocolo podría mejorar los modelos de predicción de las propiedades físico-mecánicas. De este modo, se puede construir una base de conocimiento a nivel nacional con referencias de material más numeroso procedente de edificios existentes. Esta base de datos puede servir de apoyo al documento sobre Evaluación de estructuras existentes de madera dentro del programa de trabajo para los futuros documentos de los Eurocódigos en estructuras existentes de madera en el CEN TC 250.
- Una deficiencia detectada hasta el momento es la capacidad de predicción de la resistencia en este tipo de material. Sería muy interesante la investigación en nuevos métodos y variables que permitan acercarse de forma más eficiente al modelado estadístico de este parámetro.

BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. (UNE 56544:2011).

AENOR-CEN. (2017). Conservación del patrimonio cultural. Estructuras históricas de madera. Directrices para la evaluación in situ de estructuras portantes de madera. (UNE-EN 17121:2020).

AENOR-CEN. (2002). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa. (EN 13183-1:2002).

AENOR-CEN. (2002). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica. (UNE-EN 13183-2:2002).

AENOR-CEN. (2012). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. (UNE-EN 408:2010+A1:2012).

AENOR-CEN. (2016). Estructuras de madera. Determinación y verificación de los valores característicos. (UNE-EN 14358:2016).

AENOR-CEN. (2016). Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. (UNE-EN 1995-1-1:2016).

AENOR-CEN. (2020). Madera aserrada y madera en rollo. Terminología. (EN 844-9:2020).

AENOR-CEN. (2012). Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies. (UNE EN 1912:2012).

AENOR-CEN. (2019). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. (UNE-EN 384:2019).

Anagnostopoulou, V., & Pournou, A. (2013). Correlating visual grading with NTD methods for assessing timber condition in historic buildings. *Advanced Materials Research*, 778, 273–280. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.778.273>

Arriaga, F., Esteban, M., Argüelles, R., Bobadilla, I., & Íñiguez-González, G. (2007). Efecto de las gemas en la resistencia a flexión de piezas enterizas de madera. *Materiales de Construcción*, 57(288), 61–76. <https://doi.org/10.3989/mc.2007.v57.i288.65>

Arriaga, F., Esteban, M., Íñiguez-González, G., Bobadilla, I., Llana, D. F., & González-Sanz, M. (24-27 Septiembre, 2013). *Structural assessment of the timber structure of the Casa Grande building in the Real Cortijo de San Isidro, Aranjuez, Madrid (Spain)*. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Madison, Wisconsin, USA. (pp. 233–244).

Arriaga, F., Esteban, M., & Relea, E. (2005). Evaluación de la capacidad portante de piezas de gruesa escuadría de madera de conífera en estructuras existentes. *Materiales de Construcción*, 55(280), 43–52. <https://doi.org/10.3989/mc.2005.v55.i280.205>

Arriaga, F., García, L., Gebremedhin, K. G., & Peraza, F. (21–24 Junio, 1992). Grading and load carrying capacity of old timber beams. *International Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers ASAE*, Charlotte, North Carolina, USA.

Arriaga, F., Íñiguez, G., Esteban, M., & Fernández-Golfín, J. I. (2006). Structural Tali timber (*Erythrophleum ivorense* A. Chev., *Erythrophleum suaveolens* Brenan.): Assessment of strength and stiffness properties using visual and ultrasonic methods. *Holz Als Roh - Und Werkstoff*, 64(5), 357–362. <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0100-5>

Arriaga, F., Íñiguez-González, G., Esteban, M., & Divos, F. (2012). Vibration method for grading of large cross-section coniferous timber species. *Holzforschung*, 66(3), 381–387. <https://doi.org/10.1515/hf.2011.167>

Arriaga, F., Llana, D. F., Esteban, M., & Íñiguez-González, G. (2017). Influence of length and sensor positioning on acoustic time-of-flight (ToF) measurement in structural timber. *Holzforschung*, 71(9), 713–723. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0214>

Arriaga, F., Montón, J., Bobadilla, I., & Llana, D. F. (2019). Influence of length on acoustic time-of-flight (ToF) measurement in built-in structures of Norway spruce timber. *Holzforschung*, 73(4), 339–352. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0122>

Arriaga, F., Montón, J., Segués, E., & Íñiguez-González, G. (2014). Determination of the mechanical properties of radiata pine timber by means of longitudinal and transverse vibration methods. *Holzforschung*, 68(3), 299–305.

<https://doi.org/10.1515/hf-2013-0087>

Arriaga, F., Osuna-Sequera, C., Bobadilla, I., & Esteban, M. (2022). Prediction of the mechanical properties of timber members in existing structures using the dynamic modulus of elasticity and visual grading parameters. *Construction and Building Materials*, 322, 126512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126512>

Arriaga, F., Osuna-Sequera, C., Esteban, M., Íñiguez-González, G., & Bobadilla, I. (2021). In situ assessment of the timber structure of an 18th century building in Madrid, Spain. *Construction and Building Materials*, 304, 124466. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124466>

Baltrušaitis, A., & Aleinikovas, M. (2012). Early-stage prediction and modelling strength properties of lithuanian-grown Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Baltic Forestry*, 18(2), 327–333.

Baltrušaitis, A., Laurinavičius, A., Ukvalbergiene, K., Pranckevičiene, V., & Minelga, D. (2009). Acoustic and elastic properties of modified oak wood. *Baltic Forestry*, 15(4), 316–320.

Baño, V., Arriaga, F., & Guaita, M. (2013). Determination of the influence of size and position of knots on load capacity and stress distribution in timber beams of *Pinus sylvestris* using finite element model. *Biosystems Engineering*, 114(3), 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.010>

Baradit, E., & Niemz, P. (14-16 Septiembre, 2011). *Selected physical and mechanical properties of Chilean wood species Tepa, Olivillo, Laurel, Lenga, Alerce and Manio*. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungary, (pp. 395–401).

Bartholomeu, A., Gonçalves, R., & Bucur, V. (2003). Dispersion of ultrasonic waves in Eucalyptus lumber as a function of the geometry of boards. *Scientia Forestalis*, 63, 235-240.

Bertolini-Cestari, C., Brino, G., Cestari, L., Crivellaro, A., Marzi, T., Pignatelli, O., Rolla, S., & Violante, A. (2019). The Great Timber Roof of Porta Nuova Railway Station in Turin: The Role of Assessment and Diagnosis for Sustainable Repair and

Conservation. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(1), 172–191.
<https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1497226>

Bobadilla, I., Esteban, M., Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Ballarín, D., Palacios, J. (2007). Density estimation by screw withdrawal resistance and probing in structural sawn coniferous timber. *Informes de la Construcción*, 59(506), 247–251.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.2007.v59.i506.513>

Branco, J. M., Sousa, H. S., & Tsakanika, E. (2017). Non-destructive assessment, full-scale load-carrying tests and local interventions on two historic timber collar roof trusses. *Engineering Structures*, 140, 209–224.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.053>

Brites, R. D., Neves, L. C., Saporiti Machado, J., Lourenço, P. B., & Sousa, H. S. (2013). Reliability analysis of a timber truss system subjected to decay. *Engineering Structures*, 46, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.022>

Bucur, V. (1984). *Ultrasonic waves into the wood. Mechanical characterization and quality of certain types of wood*. [Tesis doctoral]. Intitut Supérieur des Matériaux.

Bucur, V. (2006). *Acoustics of Wood*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/3-540-30594-7>

Burawska-Kupniewska, I., Mańkowski, P., & Krzosek, S. (2021). Mechanical properties of machine stress graded sawn timber depending on the log type. *Forests*, 12(5), 532, 11p. <https://doi.org/10.3390/f12050532>

Calderoni, C., De Matteis, G., Giubileo, C., & Mazzolani, F. M. (2010). Experimental correlations between destructive and non-destructive tests on ancient timber elements. *Engineering Structures*, 32(2), 442–448.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.10.006>

Carballo, J., Hermoso, E., & Fernández-Golfín, J. I. (21-25 Septiembre, 2009). *Comparación de la evaluación y clasificación mecánica del Pinus pinaster Ait. con dos equipos de ultrasonidos*. 5th Congreso Forestal Español. 5th Congreso Forestal Español. Ávila, España. 12p.

- Casado, M., Acuña, L., Basterra, L. A., Ramón-Cueto, G., & Vecilla, D. (2012). Grading of structural timber of *Populus × euramericana* clone I-214. *Holzforschung*, 66(5), 633–638. <https://doi.org/10.1515/hf-2011-0153>
- Casado, M., Acuña, L., Vecilla, D., Relea, E., Basterra, A., Ramón, G., & López, G. (2010). The influence of size in predicting the elastic modulus of *Populus x euramericana* timber using vibration techniques. In *Structures & Architecture* (pp. 579–579). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10428-282>
- Casado, M., Basterra, L. A., Acuña, L., Pinazo, O., Martínez, C., Relea, E., Barranco, I., & Ramón, G. (26-30 Septiembre, 2005). *Determinación de la capacidad resistente mediante métodos no destructivos. Aplicación en viguetas de forjado de un edificio singular*. 4th Congreso Forestal Español, Zaragoza, España. 7p.
- Cavalli, A., Bevilacqua, L., Capecchi, G., Cibecchini, D., Fioravanti, M., Goli, G., Togni, M., & Uzielli, L. (2016). MOE and MOR assessment of in service and dismantled old structural timber. *Engineering Structures*, 125, 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.06.054>
- Ceccotti, A., & Togni, M. (26-28 Agosto, 1996). *NDT on ancient timber beams: assessment of strength/ stiffness properties combining visual and instrumental methods*. 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Lausanne, Suiza, (pp. 379–388).
- Cruz, H., Yeomans, D., Tsakanika, E., Macchioni, N., Jorissen, A., Touza, M., Mannucci, M., & Lourenço, P. B. (2015). Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(3), 277–289. <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.774070>
- Descamps, T., Monhonval, M., & Latteur, P. (2018). An assessment methodology for timber beams in a restoration context, based on a dimensionless formulation of EC5 design criteria. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(4), 726–733. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442527>
- Dietsch, P., & Köhler, J. (2010). *Assessment of timber structures*. Shaker Verlag.
- Dietsch, P., & Kreuzinger, H. (2011). Guideline on the assessment of timber structures: Summary. *Engineering Structures*, 33(11), 2983–2986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.027>
- DIN. (1978). *Testing of wood; bending test*. (DIN 52186:1978).

DIN. (2012). Strength grading of wood - Part 1: Coniferous sawn timber. (DIN 4074-1:2012)

Diodato, M., Macchioni, N., Brunetti, M., Pizzo, B., Nocetti, M., Burato, P., Sozzi, L., Pecoraro, E., López-Manzanares, F. V., & Mileto, C. (2015). Understanding Spanish Timber Jack Arch Floors: Examples of Assessment and Conservation Issues. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(6), 641–654.
<https://doi.org/10.1080/15583058.2015.1041193>

Dirección General de Arquitectura Vivienda y Suelo, M. de F. (2015). Programa de rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico [Folleto informativo].

Divos, F., Denes, L., & Iñiguez, G. (2005). Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung*, 59(2), 230–231.
<https://doi.org/10.1515/HF.2005.036>

Divos, F., & Tanaka, T. (1997). Lumber strength estimation by multiple regression. *Holzforschung*, 51(5), 467–471. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1997.51.5.467>

[Esteban, M. \(2003\).](#) Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/1404/>

Esteban, M., Arriaga, F., Iñiguez-González, G., Bobadilla, I., & Mateo, R. (2010). The effect of fissures on the strength of structural timber. *Materiales de Construcción*, 60(299), 115–132. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.48208>

Esteban, M., Montero, M. J., Mateo, R., Iñiguez-González, G., Arriaga, F., & Bobadilla, I. (7-9 Junio, 2010). *Análisis comparativo de procedimientos para la medición de las gemas y evaluación de su influencia en la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de Pinus sylvestris L. de gran escuadría*. CIMAD 11 – 1st Congreso Ibero-Latinoamericano Da Madeira Na Construção, Coimbra, Portugal. (pp. 40–47).

Faggiano, B., & Marzo, A. (2015). A method for the determination of the timber density through the statistical assessment of ND transverse measurements aimed at in situ mechanical identification of existing timber structures. *Construction and Building Materials*, 101, 1235–1240.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.088>

Falk, R. H., Green, D., Rammer, D., & Lantz, S. F. (2000). Engineering evaluation of 55-year-old timber columns recycled from an industrial military building. *Forest Products Journal*, 50(4), 71–76.

Feio, A., & Machado, J. S. (2015). In-situ assessment of timber structural members: Combining information from visual strength grading and NDT/SDT methods – A review. *Construction and Building Materials*, 101, 1157–1165.

<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.05.123>

Galligan, W. L., & Courteau, R. W. (Abril, 1965). *Measurements of the elasticity of lumber with longitudinal stress waves and the piezoelectric effect of wood*. 2nd Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Pullman, WA, USA. (pp. 223–244).

González-Rodrigo, B., Esteban, L. G., Palacios, P., García-Fernández, F., & Guindeo, A. (2013). Variation throughout the tree stem in the physical-mechanical properties of the wood of *Abies alba* Mill. from the Spanish Pyrenees. *Madera Bosques*, 19(2), 87–107.

Görlacher, R. (1987). Zerstörungsfreie prüfung von Holz: Ein in situ verfahren zur bestimmung der rohdichte [Nondestructive testing of wood: In-situ-method for determining wood density]. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 45(7), 273–278.

<https://doi.org/10.1007/BF02608673>

Guntekin, E., Emiroglu, Z. G., & Yilmaz, T. (2012). Prediction of Bending Properties for Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) Lumber using Stress Wave Method. *BioResources*, 8(1). <https://doi.org/10.15376/biores.8.1.231-237>

Guntekin, E., Ozkan, S., & Yilmaz, T. (2014). Prediction of bending properties for beech lumber using stress wave method. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, ahead, 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000008>

Hanhijärvi, A., Ranta-Maunus, A., & Turk, G. (2005). Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques Report of the Combigrade-project-phase 1. In *VTT Publications* (Issue 568).

Hermoso, E. (2001). Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].

<http://oa.upm.es/644/>

Historical Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area. (2015). In N. Ruggieri, G. Tampone, & R. Zinno (Eds.), *Historical Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16187-7>

Hodoušek, M., Dias, A. M. P. G., Martins, C., Marques, A., & Böhm, M. (2016). Comparison of non-destructive methods based on natural frequency for determining the modulus of elasticity of *Cupressus lusitanica* and *Populus x canadensis*. *BioResources*, 12(1). <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.270-282>

Hoffmeyer, P. (28-30 Agosto, 1978). *The Pilodyn instrument as a non-destructive tester of the shock resistance of wood*. 4th Nondestructive Testing of Wood Symposium, Vancouver, WA, USA. (pp. 47–66).

Íñiguez, G., Esteban, M., Arriaga, F., Bobadilla, I., & Gil, M. C. (10-12 Septiembre, 2008). *Influence of specimen length on ultrasound wave velocity*. 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Duluth, Minnesota, USA. (pp. 155–159).

Íñiguez-González, G. (2007). Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/http://oa.upm.es/415/>

Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Esteban, M., Bobadilla, I., González, C., Martínez, R. D. (20-24 Junio, 2010). *In situ non-destructive density estimation for the assessment of existing timber structures*. Proceedings of World Conference of Timber Engineering, Trentino, Italy. (pp. 1142-1150).

Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Esteban, M., & Llana, D. F. (2015). Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber structures. *Construction and Building Materials*, 101, 1166–1171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.128>

Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Osuna-Sequera, C., Esteban, M., & Ridley-Ellis, D. (24-27 Septiembre, 2019). *Nondestructive measurements in reclaimed timber from existing structures*. 21th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Freiburg, Alemania. (pp. 462-472).

- Íñiguez-González, G., Esteban, M., Arriaga, F., Bobadilla, I., & Gil, M. C. (10-12 Septiembre, 2007). *Influence of specimen length on ultrasound wave velocity*. 15th Nondestructive Testing of Wood Symposium, Duluth, Minnesota, USA. (pp. 155-159)
- Íñiguez-Gonzalez, G., Montón, J., Arriaga, F., & Segué, E. (2015). In-Situ Assessment of Structural Timber Density Using Non-Destructive and Semi-Destructive Testing. *BioResources*, 10(2). <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2256-2265>
- JAS. (1991). Japanese Agricultural Standard for structural softwood lumber. (SIS-19:1991).
- Jayne, B. A. (1959). Vibrational properties of wood as indices of quality. *Forest Products Journal*.
- Vrouwenvelder, T. (1997). The JCSS probabilistic model code. Part 3. 5-timber. *Structural Safety*, 19(3). [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(97\)00008-8](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(97)00008-8)
- Kim, K. M., Lee, S. J., Shim, K. B., & Lum, C. (14-16 Septiembre, 2011). *Prediction of tensile and compressive modulus from various MOE structural lumber*. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungría. (pp. 305–310).
- Krzosek, S., Grześkiewicz, M., Kupniewska, I. B., Mańkowski, P., & Wieruszewski, M. (2021). Mechanical properties of polish-grown *Pinus sylvestris* L. structural sawn timber from the butt, middle and top logs. *Wood Research*, 66(2), 231–242. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/66.2.231242>
- Lechner, T., Nowak, T., & Klinger, R. (2014). In situ assessment of the timber floor structure of the Skansen Lejonet fortification, Sweden. *Construction and Building Materials*, 58, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.080>
- Llana, D. F. (2016). Influencia de factores físicos y geométricos en la clasificación estructural de la madera mediante técnicas no destructivas. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.43696>

Llana, D. F., Hermoso, E., Bobadilla, I., & Iñiguez-Gonzalez, G. (2018). Influence of moisture content on the results of penetration and withdrawal resistance measurements on softwoods. *Holzforschung*, 72(7), 549–555.

<https://doi.org/10.1515/hf-2017-0133>

Llana, D. F., Iñiguez-Gonzalez, G., Arriaga, F., & Wang, X. (2016). Time-of-Flight adjustment procedure for acoustic measurements in structural timber. *BioResources*, 11(2), 3303–3317. <https://doi.org/10.15376/biores.11.2.3303-3317>

Llana, D. F., Iñiguez-González, G., Díez, M. R., & Arriaga, F. (2020). Nondestructive testing used on timber in Spain: A literature review. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. [Online]. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000201>

Llana, D. F., Iñiguez-González, G., Esteban, M., Hermoso, E., & Arriaga, F. (2020). Timber moisture content adjustment factors for nondestructive testing (NDT): acoustic, vibration and probing techniques. *Holzforschung*, 74(9), 817–827. <https://doi.org/10.1515/HF-2019-0187/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

Llana, D. F., Iñiguez-González, G., Martínez, R. D., & Arriaga, F. (2018). Influence of timber moisture content on wave time-of-flight and longitudinal natural frequency in coniferous species for different instruments. *Holzforschung*, 72(5), 405–411.

<https://doi.org/10.1515/HF-2017-0113/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

Llana, D. F., Iñiguez-González, G., Montón, J., & Arriaga, F. (2018). In-situ density estimation by four nondestructive techniques on Norway spruce from built-in wood structures. *Holzforschung*, 72(10), 871–879. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0027>

Llana, D. F., Iñiguez-González, I., Arriaga, F., & Niemz, P. (2014). Influence of temperature and moisture content on non-destructive measurements in Scots pine wood. *Wood Research*, 59(5), 769–780.

Loebjinski, M., Linke, G., Rug, W., & Pasternak, H. (25-27 Septiembre, 2019). *Redevelopment of a wooden roof construction under preservation order*. SHATiS19 - 5th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, Guimarães, Portugal. (pp. 912–921).

López, G., Basterra, L. A., & Acuña, L. (2013). Estimation of wood density using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 42, 29–32. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.001>

Lourenço, P. B., Feio, A. O., & Machado, J. S. (2007). Chestnut wood in compression perpendicular to the grain: Non-destructive correlations for test results in new and old wood. *Construction and Building Materials*, 21(8), 1617–1627. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.07.011>

Lourenço, P. B., Sousa, H. S., Brites, R. D., & Neves, L. C. (2013). In situ measured cross section geometry of old timber structures and its influence on structural safety. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 46(7), 1193–1208. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9964-5>

Macchioni, N., & Mannucci, M. (2018). The assessment of Italian trusses: survey methodology and typical pathologies. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(4), 533–544. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442516>

Machado, J., Palma, P., & Simões, S. (3-8 Junio, 2009). *Ultrasonic indirect method for evaluating clear wood strength and stiffness*. *Nondestructive Testing in Civil Engineering*, Nantes, Francia. 7p.

Machado, J. S., & Palma, P. (2011). Non-destructive evaluation of the bending behaviour of in-service pine timber structural elements. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 44(5), 901–910. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9674-9>

Machado, J. S., Riggio, M., & D’Ayala, D. (2015). Assessment of structural timber members by non- and semi-destructive methods. *Construction and Building Materials*, 101, 1155–1156. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.032>

Martínez, R. (2016). *Métodos no destructivos de estimación de la densidad de madera* [Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela]. <http://hdl.handle.net/10347/15159>

Martínez, R., Calvo, J., Arriaga, F., & Bobadilla, I. (2018). In situ density estimation of timber pieces by drilling residue analysis. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(2), 509–515. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1214-7>

Montero, M. J. (2013). Clasificación de madera estructural de gran escuadría de *Pinus sylvestris* L. mediante métodos no destructivos [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.15201>

Montón, J. (2012). Clasificación estructural de la Madera de *Pinus radiata* D. Don procedente de Cataluña mediante métodos no destructivos y su aplicabilidad en la diagnosis estructural [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94670>

Morales-Conde, M. J. (2004). Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra* subsp. *Salzmannii*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=314829>

Morales-Conde, M. J., & Machado, J. S. (2017). Evaluation of cross-sectional variation of timber bending modulus of elasticity by stress waves. *Construction and Building Materials*, 134, 617–625. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.188>

Negrão, J., Vicente, R., Ferreira, T. M., Martins, A., & Raimundo, A. (2020). In-Situ Experimental Assessment and Numerical Analysis of the Loading Capacity of Traditional Wooden Floors. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(9), 1284–1295. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1605551>

Nevado, M. Á. (2015). Fiabilidad estructural de coníferas españolas. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39359>

Nevado, M. Á., Arriaga, F., & Díez, R. (2015). The percentiles ratio 20th to 5th of bending strength and stiffness distribution in the case of Spanish softwoods. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 17(4), 723–734. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000063>

Nocetti, M., Aminti, G., Degl'Innocenti, M., & Brunetti, M. (2021). Geometric representation of the irregular cross-section of old timber elements: Comparison of different approaches for mechanical characterisation. *Construction and Building Materials*, 304, 124579. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124579>

Oliveira, F. G. R. de, Miller, K. P., Candian, M., & Sales, A. (2006, February). Efeito do comprimento do corpo-de-prova na velocidade ultra-sônica em madeiras [Effect of the size of the specimen on ultrasonic velocity]. *Revista Árvore*, 30(1), 141–145. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000100017>

- Osuna Sequera, C. (2017). Particularidades de la aplicación de las técnicas no destructivas en la estimación de propiedades mecánicas en piezas de madera de gran longitud procedentes de estructuras existentes. [Trabajo fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/51760>
- Osuna-Sequera, C., Arriaga, F., Esteban, M., & Íñiguez-gonzález, G. (24-27 Septiembre, 2019). *The effect of length on stress-wave velocity in long pieces of Salzmänn pine from existing structures*. 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Freiburg, Alemania. (pp. 481–489).
- Osuna-Sequera, C., Llana, D. F., Esteban, M., & Arriaga, F. (2019). Improving density estimation in large cross-section timber from existing structures optimizing the number of non-destructive measurements. *Construction and Building Materials*, 211, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.144>
- Osuna-Sequera, C., Llana, D. F., Hermoso, E., & Arriaga, F. (2021). Acoustic wave velocity in long pieces of Salzmänn pine for in-situ structural assessment. *Construction and Building Materials*, 269, 121256. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121256>
- Osuna-Sequera, C., Llana, D. F., Íñiguez-González, G., & Arriaga, F. (2020). The influence of cross-section variation on bending stiffness assessment in existing timber structures. *Engineering Structures*, 204, 110082. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110082>
- Pellerin, R. F. (1965). A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. *Forest Products Journal*, 15(3): 93-101.
- Plos, M., Fortuna, B., Šuligoj, T., & Turk, G. (2022). From Visual Grading and Dynamic Modulus of European Beech (*Fagus sylvatica*) Logs to Tensile Strength of Boards. *Forests*, 13(1), 77. <https://doi.org/10.3390/f13010077>
- Pošta, J., Ptáček, P., Jára, R., Terebesyová, M., Kuklík, P., & Dolejš, J. (2016). Correlations and differences between methods for non-destructive evaluation of timber elements. *Wood Research*, 61(1), 129–140.
- Rais, A., Pretzsch, H., & van de Kuilen, J.-W. G. (2014). Roundwood pre-grading with longitudinal acoustic waves for production of structural boards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(1), 87–98. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0757-5>

Rammer, D. R. (10-12 Mayo, 1999). *Evaluation of recycled timber members*. 5th ASCE Materials Engineering Congress, Cincinnati, Ohio. (pp. 46-51).

<https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/5872>

Riggio, M., Macchioni, N., & Riminesi, C. (2017). Structural health assessment of historical timber structures combining non-destructive techniques: The roof of Giotto's bell tower in Florence. *Structural Control & Health Monitoring*, 24(7), 1–18.

<https://doi.org/10.1002/stc.1935>

Rohanová, A., Lagaňa, R., & Babiak, M. (14-16 Septiembre, 2011). Comparison of non-destructive methods of quality estimation of the construction spruce wood grown in Slovakia. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungría. (pp. 239–246).

Ross, R. J. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Centennial Ed. General Technical Report FPL; GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 509p.

[https://doi.org/General Technical Report FPL-GTR-190](https://doi.org/General%20Technical%20Report%20FPL-GTR-190)

Ross, R. J. (2015). *Nondestructive Evaluation of Wood: Second Edition*. In USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-238, 2015; 176 p. (Vol. 238).

Salamanca, M. (2017). *Estimación mediante penetrómetros de la densidad en madera aserrada de las especies de coníferas y frondosas más habituales en construcción en España* [Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid].

Sousa, H. S., Branco, J. M., & Lourenço, P. B. (2012). *Assessment of strength and stiffness variation within old timber beams*. In Jerzy Jasieńko (Ed.), 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, ProclawH, Polonia. (pp. 2079–2087). <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/20778>

Sousa, H. S., Branco, J. M., & Lourenço, P. B. (2014). Characterization of Cross-Sections from Old Chestnut Beams Weakened by Decay. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(3), 436–451. <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.826303>

Sousa, H. S., & Neves, L. C. (2018). Reliability-based design of interventions in deteriorated timber structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(4), 507–515. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1436205>

Sousa, H. S., Sørensen, J. D., Kirkegaard, P. H., Branco, J. M., & Lourenço, P. B. (2013). On the use of NDT data for reliability-based assessment of existing timber structures. *Engineering Structures*, 56, 298–311.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.05.014>

Stangerlin, D. M., Cavalcante, C. F. P., Costa, C. A. Da, Pariz, E., Melo, R. R. De, & Dall’oglio, O. T. (2017). Propriedades mecânicas de madeiras amazônicas estimadas por meio de métodos de propagação de ondas ultrassônicas. *Nativa*, 5, 628–633.

<https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05nespa25>

Stapel, P., & van de Kuilen, J.-W. G. (2014). Efficiency of visual strength grading of timber with respect to origin, species, cross section, and grading rules: a critical evaluation of the common standards. *Holzforschung*, 68(2).

<https://doi.org/10.1515/hf-2013-0042>

Tannert, T., Kasal, B., & Anthony, R. W. (20-24 Junio, 2010). *RILEM TC 215 In-situ assessment of structural timber: Report on activities and application of assessment methods*. 11th International Conference on World Conference on Timber Engineering, Trentino, Italy. (pp. 642–647).

Teder, M., Pilt, K., Miljan, M., Pallav, V., & Miljan, J. (2012). Investigation of the physical-mechanical properties of timber using ultrasound examination. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(6), 795–801.

<https://doi.org/10.3846/13923730.2012.736233>

Trinca, A. J., & Gonçalves, R. (2009). Efeito das dimensões da seção transversal e da frequência do transdutor na velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira. *Revista Árvore*, 33(1), 177–184.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000100019>

UNI. (2004). Cultural heritage, wooden artefacts, load-bearing structures. On site inspections for the diagnosis of timber members. (UNI 11119:2004).

Vázquez, M. C. T., Soilán Cañas, A., & Lorenzo Fouz, D. (2013). Evaluation of the Load-Carrying Capacity in Bending of Large Cross Section “Pitch Pine” Beams in Standing Structures. *Advanced Materials Research*, 778, 410–417.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.778.410>

Vestol, G. I., & Hoibo, O. (2010). Bending strength and modulus of elasticity of squares with wane as compared with round timber of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Forest Products Journal*, 40–47.

Vössing, K. J., & Niederleithinger, E. (2018). Nondestructive assessment and imaging methods for internal inspection of timber. A review. *Holzforschung*, 72(6), 467–476. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0122>

Wang, X. (24-27 Septiembre, 2013). *Stress wave E-rating of structural timber – Size and moisture content effects*. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Madison, WI, United States. (pp. 38–46).

Wolfe, R. (2000). Research challenges for structural use of small-diameter round timbers. *Forest Products Journal*, 50(2), 21–29.
<https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/6001>

Wolfe, R., & Murphy, J. (2005). Strength of small-diameter round timber and tapered bending members. *Forest Products Journal*, 53(3), 50-55.
<https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/9501>

ANEXOS

ANEXO A. IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA DE LA ESPECIE DE MADERA

La identificación de la especie botánica del material de ensayo se realizó a través del análisis anatómico de la madera por microscopía extrayendo tres muestras procedentes de las piezas 01, 02 y 03 del lote de madera estudiado. Previamente se observó macroscópicamente que las muestras eran de una conífera, en concreto del género *Pinus* sp. La preparación de las muestras y su identificación anatómica se desarrolló en el Laboratorio de Industrias de los Productos Forestales de la Universidad Politécnica de Madrid, en la E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural (ETSIMFMN).

La preparación de las muestras consistió en una etapa inicial de orientación de las muestras. En cada muestra se cortaron tres cubos de aproximadamente 1 cm de lado orientando las caras del cubo en las tres direcciones principales de la madera (axial, radial y tangencial), reservando cada cubo para cada plano de corte respectivamente.

A continuación, se procedió al ablandamiento en estufa de las muestras orientadas. El método empleado fue sumergir las muestras en un baño maría a 90 °C introducidas previamente en un vial sellado en una disolución al 50 % de glicerina con agua durante 24 h.

Seguidamente, se llevó a cabo el corte orientado de las muestras en el portaprobetas del microtomo sujeto a través de unas mordazas. El espesor del corte se estableció en 20 µm y el ángulo de ataque de la cuchilla se fijó a 20 ° de inclinación con respecto al plano de corte. El corte se realizó en húmedo, directamente extrayendo las muestras del vial previamente.

Para facilitar la identificación anatómica, se realizó una tinción de los cortes orientados con safranina. La safranina dota a los cortes de un tono rojizo que resalta los distintos caracteres anatómicos de las muestras. Se preparó una disolución con un 50 % de safranina líquida y alcohol de graduación 96 ° que se aplicó a través de gotas sobre las muestras situadas en un vidrio de reloj. A continuación, se realizaron dos lavados con alcohol con 99 ° y xileno, respectivamente. Finalmente, se hizo el

montaje de las muestras sobre un portaprobetas, se aplicó resina incolora para su sellado con un cubreobjetos de vidrio evitando la formación de burbujas y se realizó el curado de la resina.

La especie fue identificada como *Pinus sylvestris* L. o *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco siendo ambas especies indistinguibles anatómicamente a través del método empleado.

Se adjunta el informe de identificación realizado;

Informe de identificación de especie para las piezas largas en Intrama

Proyecto: BIA2014-55089-P.

Nº de piezas del lote completo: 24.

Identificación llevada a cabo por: Ignacio Bobadilla Maldonado

Lugar: Laboratorio de Tecnología de los productos forestales de la ETS de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural

Fecha: 10 de diciembre de 2016

Nº de piezas seleccionadas para la identificación: 3.

Numeración de las piezas identificadas¹: 01, 02 y 03.

Descripción de las piezas de identificación: Pertenecen al extremo situado en la parte superior del árbol en su posición natural, es decir, el apoyo en cumbrera.

Método de identificación: Identificación a través de microscopio, con la extracción de 4 probetas por pieza y su posterior cortado con micrótomo, tinción, montaje e identificación.

Conclusiones:

Se ha llegado a la conclusión de que en todas las identificaciones se trata de la/s especie/s²:

Pinus sylvestris L.

Pinus nigra ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco

¹ Se adjunta el archivo fotográfico tomado en laboratorio de los especímenes sobre los cuales se ha llevado a cabo la identificación.

² No se pudo determinar una sola especie con el método utilizado, por lo tanto se proponen las dos posibles especies con caracteres identificativos equivalentes.

Archivo fotográfico:



ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

B1- Ejemplo de estadillo de ensayo a flexión en piezas cortas

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD


Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Estadillo para probetas 160 x 200 mm

Nº probeta: **01-I** Fecha: **27-7-17** Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
 Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Resultados de ensayo de ROTURA (UNE-EN 408)		Rotura
Fecha:	27-7-17	13 JZQ
Técnico:	CARLOS Q	SI
Carga última (kN):	62,27	SI
Extensómetro Global (mm)	50	—
Pend. Engcto PCTO (mm/kN):	0,806/40	—
MOEGCTO (MPa):	10271	70
Extensómetros Locales (mm)	20	35/40
Pend. Ecen PEL (mm/kN):	—	—
MOEL (MPa):	—	—
MOR (MPa):	37,363	10,0
Tiempo de ensayo (s):	323	SI
Notas:		

B2- Ejemplo de estadillo de conteo de anillos



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Estadillo para medida de anillos de las probetas de sección 160 x 200 mm

Fecha: 14-12-2017

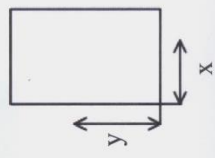
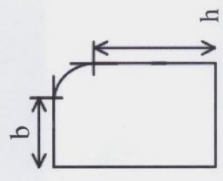
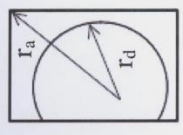
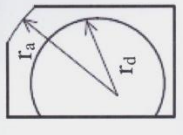
Técnico: CARLOS OSUNA

Laboratorio de Maderas del INIA

Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Nº probeta	Número de anillos		Radio (mm)		Radio 5 anillos UNE (mm)	Presencia de gema			Presencia de médula (Si/No)	Médula centrada (Si/No)
	Albura	Duramen	Albura	Duramen		h (mm)	b (mm)	Radio (mm)		
22	120	62	130	73	3	/	/	/	SI	NO
* 23	95	53	149	93	13	/	/	/	SI	NO
24	182	72	182	120	17	/	/	/	NO	NO

Observaciones:
El radio de la albura y el duramen se mide desde la médula.
 r_a y r_b son los radios de albura y duramen medidos en las figuras explicativas de abajo.
*Presencia conjunta de gema y duramen en piezas alargadas.

ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

B3- Ejemplo de estadillo de conteo de anillos

Estadillo para medidas de masa y humedad de las rebanadas para estimación de densidad

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Grupo de investigación: **Construcción con madera**

Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez

Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Tª: 20,6 °C

HR: 23,3 %

Fecha: 21-12-2017

Nº probeta	Masa húmeda (g)	CH (%) con xilohigrómetro	Masa seca (g)	Nº probeta	Masa húmeda (g)	CH (%) con xilohigrómetro	Masa seca (g)
01 - I	1582,4	8,3/8,9	1455,8	10 - I	1555,9	9,7/10,3	1443,0
01 - II	1633,2	7,4/8,0	1505,0	10 - II	1687,5	5,4/6,3	1559,9
02 - I	1378,2	6,5/7,3	1272,1	11 - I	1289,4	7,5/8,1	1185,1
02 - II	1661,7	5,8/6,6	1536,0	11 - II	1460,4	7,1/7,9	1343,0
03 - I	1387,1	6,4/7,0	1278,9	12 - I	1619,8	6,3/7,0	1495,1
03 - II	1423,1	6,3/7,1	1309,7	12 - II	1760,6	6,5/7,2	1632,3
04 - I	1518,1	5,9/6,6	1407,3	13 - I	1242,0	5,8/6,5	1154,7
04 - II	1803,4	6,8/7,5	1663,1	13 - II	1557,7	6,7/7,5	1438,1
05 - I	1460,3	6,4/7,2	1345,1	14 - I	1461,9	6,0/6,8	1350,4
05 - II	1618,9	6,5/7,2	1488,1	14 - II	1530,5	9,1/9,7	1410,2
06 - I	1121,5	6,0/6,8	1036,3	15 - I	1721,0	5,9/6,7	1592,8
06 - II	1297,4	6,5/7,0	1201,2	15 - II	2201,5	6,5/7,3	2049,1
07 - I	1361,2	6,1/6,6	1256,9	16 - I	1573,9	6,6/7,2	1446,2
07 - II	1668,2	5,9/6,8	1563,5	16 - II	1432,8	7,7/8,3	1322,6
08 - I	1071,9	6,6/7,4	991,6	17 - I	1052,3	7,1/7,8	969,2
08 - II	2076,5	5,5/6,3	1868,7	17 - II	1276,1	6,5/7,5	1177,4
09 - I	1184,4	5,7/6,7	1095,0	18 - I	1574,3	9,3/9,9	1446,5
09 - II	1303,3	6,8/7,5	1202,3	18 - II	1139,2	9,6/10,2	1044,5
							1563,5

ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

B4- Ejemplo de estadillo longitudes de los extremos hasta primera marca

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Estadillo para medidas geométricas de los extremos de las probetas de sección 160 x 200 mm

Laboratorio de Maderas del INIA
Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Fecha: 09-10-17 T: HR:

Nº probeta	Medidas en extremo izquierdo				Medidas en extremo derecho		
	br1 (mm)	hr1 (mm)	LizQ (mm)	LDER (mm)	br2 (mm)	hr2 (mm)	LDER (mm)
01 - I	171	194	942	911	174	196	911
01 - II	174	196	874	885	159	190	885
02 - I	116	187	916	925	134	205	925
02 - II	136	204	898	925	126	179	925
03 - I	144	190	924	923	146	187	923
03 - II	149	187	907	905	143	185	905
04 - I	164	212	918	916	162	181	916
04 - II	163	182	929	928	162	212	928
05 - I	170	195	921	667	168	187	667
05 - II (*)	162	186	667	667	182 * _{por defecto}	183	667
06 - I	129	194	920	925	129	187	925
06 - II	130	187	314	307	126	193	307
07 - I	134	163	918	926	166	213	926
07 - II	162	210	236	232	134	186	232

LizQ LDER

18H

Cara 1

(*) Peor tramo con pedruzco (extremo derecho) =
Y posible sacar rebanadas

ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

B5- Ejemplo de estadillo medidas con forcípula en piezas cortas

Estadillo para medidas nominales de las secciones de las rebanadas para densidad.

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Grupo de Investigación: **Construcción con Madera**

Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
Suministrador: Intrama, Avda. Ojivar 18, Valdemoro

Técnico: **CARLOS OSUNA**

Fecha: **15-12-2017**

Nº probeta: **OSUNA**

Nº probeta	Dimensiones medidas con forcípula		Nº probeta	Dimensiones medidas con forcípula	
	b (mm)	h (mm)		b (mm)	h (mm)
01 - I	176	192	09 - I	126	191
01 - II	166	198	09 - II	122	196
02 - I	135	204	10 - I	143	210
02 - II	133	192	10 - II	148	197
03 - I	147	185	11 - I	163	191
03 - II	146	184	11 - II	160	188
04 - I	163	186	12 - I	162	194
04 - II	158	201	12 - II	158	190
05 - I	165	186	13 - I	134	196
05 - II	169	188	13 - II	144	199
06 - I	125	189	14 - I	170	201
06 - II	126	191	14 - II	172	190
07 - I	157	186	15 - I	183	193
07 - II	155	211	15 - II	178	198
08 - I	122	196	16 - I	150	204
08 - II	157	175	16 - II	140	188

ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

B6- Ejemplo de estadillo ensayos no destructivos en piezas cortas

Estadillo para probetas de sección 160 x 200 mm (versión 17.3)

Laboratorio de Maderas del INIA


Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
 Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Nº probeta: 01-J Fecha: 21-06-17 T: 28,6 °C HR: 42,4 %

Datos	Testa1	Longitud de medida (m)				Testa2
		9h	4,5h	central	4,5h	
Dimensiones (mm)	b	184	182	182	175	171
	h	192	187	193	198	197
	L	5456				
MC (%)	-	12,2	-	11,0	-	10,7
Masa	kg	88,56				
Nudo CARA φ ₁	mm	Global	34	18h	34	8h
Nudo CANTO φ ₂	mm	Global	42	18h	42	8h
Nudo CARA φ ₃	mm	Global	95	18h	54	8h
Nudo CANTO φ ₄	mm	Global	60	18h	60	8h
CKDR		Global	40+60+24	18h	40+60+24	8h
Bolsa resina (long)	mm	/				
Entrecasco (long)	mm	/				
Fendas (profundidad)	mm	78 + 43 (SUMA 121)				
Desviación Fibra	mm/mm	38 / 1000				
Anillos	Nº	UNE: 5 anillos en 16 mm / DIN: 77 anillos en 89 mm				
Gemas	mm	Longitud	4156	b	100	h
Médula	Si/No	SI				
Deformaciones	mm	Curvatura de cara	12	Curvatura de canto	3	Alabeo (cara/canto)
Alteraciones biológicas		PUDRICION 374 mm				

34 + 39 + 43

B7- Ejemplo de estadillo ensayos no destructivos en piezas largas



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas

Estadillo para probetas de sección 150 x 200 mm (versión 17.1)

PIEZAS DE DERRIBO

Procedencia: Teatro Real Coliseo Carlos III, Aranjuez
Suministrador: Intrama, Avda. Olivar 18, Valdemoro

Nº probeta: 01

Fecha: 21-02-2017

Tª: 12,0°C

HR: 35%

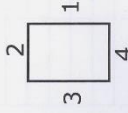
DATOS GENERALES

Datos	Testa1	Longitud de medida entre sensores (m)										Testa2			
		0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7		8	9	10
Dimensiones (mm)	b	172	-	-	-	181	-	169*	-	171	-	165	-	153	158
	h	192	-	-	-	192	-	199	-	197	-	204	-	178	186
	L	10,83m													
MC (%)	9-2/100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nudo CARA φ ₁	mm	12,9	-	-	-	-	-	-	-	11,5	-	-	-	12,3	-
Nudo CANTO φ ₂	mm														
Nudo CARA φ ₃	mm														
Nudo CANTO φ ₄	mm														
CKDR															
Desviación Fibra	mm/mm														
Masa	kg	176,14													
PLG Frec. Long.	Hz	232													
Frec. trans. canto	Hz	2 apoyos Central+0,132L													
Frec. trans. cara	Hz	2 apoyos extremos													
Flecha	mm	1 carga 1/3													

Observaciones: Ensayo mecánico *Pea 3133m*

	0	16	21
	4 placas	10	16
	8'74	14'07	18'54
$\delta =$	0'00	3'43	8'64
	14'00	18'39	

Pea 10 + 10 placas
 $\delta = 1762$



Cara 1

ANEXO B. EJEMPLOS DE ESTADILLOS EMPLEADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Equipo	Posición de medida	Longitud de medida entre sensores (m)														
		0,5	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10,5		
MST B (µs)	Testa	Superior 2044														
		Inferior 2080														
	C4 Superf	Canto2														
		Canto4	108	208	301	420	613	830	1018	1198	1412	1597	1803	2004	2083	
		Cara1-Sup	2086/1977	1880	1785	1666	1474	1260	1068	885	680	484	294	97		
		Cara1-Inf	0	0,5												
		Cara3-Sup														
		Cara3-Inf														
		Canto2-4														
		Canto4-2														
Cruza	Cara1-3 S*	138	222	313	408	598	808	998	1192	1385	1575	1780	1980	2085		
	Cara1-3 I	138	219	306	396	596	787	988	1188	1388	1572	1772	1970	2054		
	Cara3-1 S															
	Cara3-1 I															
	Cara3-1 I															
	Superior	2108														
	Inferior	2109														
	Canto2															
	Canto4	92	192	286	398	605	816	1013	1192	1415	1604	1807	2005	2100		
	Cara1-Sup	2100/1983	1869	1784	1676	1472	1275	1062	875	672	456	272	83			
Sylvatest 22 kHz (µs)	Superf	0	0,5													
	Cara1-Inf															
	Cara3-Sup															
	Cara3-Inf															
	Canto2-4															
	Canto4-2															
	Cara1-3 S*	123	210	303	394	600	810	1008	1203	1410	1598	1777	2019	2100		
	Cara1-3 I	124	205	294	392	611	804	1018	1213	1417	1604	1812	2015	2106		
	Cara3-1 S															
	Cara3-1 I															
USLab 45 kHz (µs)	Testa	Superior 1946														
		Inferior 1939														
	Canto2															
	Canto4															
	Cara1-Sup															
	Cara1-Inf															
	Cara3-Sup															
	Cara3-Inf															
	Canto2-4															
	Canto4-2															
Cruza	Cara1-3 S															
	Cara1-3 I															
	Cara3-1 S															
	Cara3-1 I															
	Cara3-1 I															
	Cara3-1 I															

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

En este anexo se muestran los datos recopilados en las piezas largas para su futura consulta y posibles líneas futuras de trabajo.

C1- Leyenda

AA	Área obtenida en milímetros cuadrados tomando como valores bA y hA.
AB1	Área obtenida en milímetros cuadrados tomando como valores bB1 y hB1.
AB2	Área obtenida en milímetros cuadrados tomando como valores bB2 y hB2.
AC1	Área obtenida en milímetros cuadrados tomando como valores bC1 y hC1.
AC2	Área obtenida en milímetros cuadrados tomando como valores bC2 y hC2.
b	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros.
bA	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros siguiendo el método A de medición en piezas largas.
bB1	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros siguiendo el método B1 de medición en piezas largas.
bB2	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros siguiendo el método B2 de medición en piezas largas.
bC1	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros siguiendo el método C1 de medición en piezas largas.
bC2	Valor medio del ancho de canto medido en milímetros siguiendo el método C2 de medición en piezas largas.
CH	Contenido de humedad medio en la pieza de madera en tanto por ciento.
CKDR	Parámetro de nudosidad CKDR.
Coef_Asimetría	Es la relación entre el módulo de elasticidad mecánico 2 y 1.
DenReal	Densidad real de rebanada ajustando el área al perímetro real de la pieza de madera expresada en kilogramos por metro cúbico.
DenReal	Densidad de rebanada de la pieza de madera ajustando el área al perímetro real de la rebanada expresada en kilogramos por metro cúbico.
DenVol	Densidad volumétrica de la pieza de madera expresada en kilogramos por metro cúbico.
DenVol	Densidad de la pieza de madera expresada en kilogramos por metro cúbico.
DF	Desviación de la fibra en la madera medida según la norma UNE 56544:2011 de clasificación visual.

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

E1A	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores de referencia bA y hA. En newtons por milímetro cuadrado.
E1B1	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores de referencia bB1 y hB1. En newtons por milímetro cuadrado.
E1B2	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores de referencia bB2 y hB2. En newtons por milímetro cuadrado.
E1C1	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores de referencia bC1 y hC1. En newtons por milímetro cuadrado.
E1C2	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores de referencia bC2 y hC2. En newtons por milímetro cuadrado.
E2A	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores referencia bA y hA. En newtons por milímetro cuadrado.
E2B1	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores referencia bB1 y hB1. En newtons por milímetro cuadrado.
E2B2	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores referencia bB2 y hB2. En newtons por milímetro cuadrado.
E2C1	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores referencia bC1 y hC1. En newtons por milímetro cuadrado.
E2C2	Módulo de elasticidad mecánico tomando como valores referencia bC2 y hC2. En newtons por milímetro cuadrado.
EA	Módulo de elasticidad resultante del cociente entre el peso a dos cargas situadas a $L/3$ y $2L/3$ y la suma de las dos flechas del ensayo 1 y 2 en caso de usar bA y hA. En newtons por milímetro cuadrado.
EB1	Módulo de elasticidad resultante del cociente entre el peso a dos cargas situadas a $L/3$ y $2L/3$ y la suma de las dos flechas del ensayo 1 y 2 en caso de usar bB1 y hB1. En newtons por milímetro cuadrado.
EB2	Módulo de elasticidad resultante del cociente entre el peso a dos cargas situadas a $L/3$ y $2L/3$ y la suma de las dos flechas del ensayo 1 y 2 en caso de usar bB2 y hB2. En newtons por milímetro cuadrado.
EC1	Módulo de elasticidad resultante del cociente entre el peso a dos cargas situadas a $L/3$ y $2L/3$ y la suma de las dos

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

	flechas del ensayo 1 y 2 en caso de usar bC1 y hC1. En newtons por milímetro cuadrado.
EC2	Módulo de elasticidad resultante del cociente entre el peso a dos cargas situadas a L/3 y 2L/3 y la suma de las dos flechas del ensayo 1 y 2 en caso de usar bC2 y hC2. En newtons por milímetro cuadrado.
EdinL	Módulo de elasticidad dinámico longitudinal calculado con DenVol en newtons por milímetro cuadrado.
EdinLDenReal	Módulo de elasticidad dinámico longitudinal calculado con DenReal en newtons por milímetro cuadrado.
EdinMSTdenrealTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo MST de testa a testa calculado con DenReal en newtons por milímetro cuadrado
EdinMSTmedTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo MST de testa a testa calculado con DenVol en newtons por milímetro cuadrado
EdinSYLdenrealTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo SYL de testa a testa calculado con DenReal en newtons por milímetro cuadrado.
EdinSYLmedTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo SYL de testa a testa calculado con DenVol en newtons por milímetro cuadrado.
EdinUSLdenrealTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo USLAB de testa a testa calculado con DenReal en newtons por milímetro cuadrado.
EdinUSLmedTT	Módulo de elasticidad dinámico medido con equipo USLAB de testa a testa calculado con DenVol en newtons por milímetro cuadrado.
h	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros.
hA	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros siguiendo el método A de medición en piezas largas.
hB1	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros siguiendo el método B1 de medición en piezas largas.
hB2	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros siguiendo el método B2 de medición en piezas largas.
hC1	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros siguiendo el método C1 de medición en piezas largas.
hC2	Valor medio de la altura de la pieza medida en milímetros siguiendo el método C2 de medición en piezas largas.
IA	Momento de inercia en milímetros a la cuarta tomando como valores de referencia bA y hA.

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

IB1	Momento de inercia en milímetros a la cuarta tomando como valores de referencia bB1 y hB1.
IB2	Momento de inercia en milímetros a la cuarta tomando como valores de referencia bB2 y hB2.
IC1	Momento de inercia en milímetros a la cuarta tomando como valores de referencia bC1 y hC1.
IC2	Momento de inercia en milímetros a la cuarta tomando como valores de referencia bC2 y hC2.
L	Valor de la longitud de la pieza una vez retestada en metros.
Masa	Masa de la pieza expresada en kilogramos.
Masa	Masa de la pieza expresada en kilogramos.
MST	Equipo de ondas de impacto MicroSecond Timer (Fakopp Enterprise, Sopron, Hungría).
Npieza	Número de pieza.
PendSuma	Peso entre la suma de las flechas generadas en los ensayos 1 y 2, el valor está expresado en newtons entre milímetros al cuadrado.
POSMED	Posición de la médula en la cara (1), en el tercio central de b y h (2) y fuera del tercio central de b y h entre 1 y 2 (3).
POSPIE	Posición del pie de árbol en obra: Si el valor es 1: el pie de árbol está situado en el alero, es decir en su posición normal; si el valor es 0: el pie de árbol está situado en la cumbre, sería una posición anormal
SYL	Equipo de ultrasonidos Sylvatest Duo (CBS-CBT, Francia-Suiza).
USLAB	Equipo de ultrasonidos USLab (Agricef, Campinas, Brasil).
Vellplg	Velocidad de onda longitudinal medida con equipo PLG en metros por segundo.
Vmst[i]C2	Velocidad de onda directa superficial sobre el canto 2 medida con equipo MST en metros por segundo. Donde [i] puede ser 05, 1, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 105 indicando el valor de distancia entre los sensores que serían 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10,5 metros, respectivamente.
Vmst[i]med13	Velocidad de onda directa cruzada de la cara 1 a la cara 3 medida con equipo MST en metros por segundo. Donde [i] puede ser 05, 1, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 105 indicando el valor de distancia entre los sensores que serían 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10,5 metros, respectivamente.
VmstTTmed	Velocidad de onda de testa a testa medida con equipo MST en metros por segundo.

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Vsyl[i]C2	Velocidad de onda directa superficial sobre el canto 2 medida con equipo SYL en metros por segundo. Donde [i] puede ser 05, 1, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 105 indicando el valor de distancia entre los sensores que serían 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10,5 metros, respectivamente.
Vsyl[i]med13	Velocidad de onda directa cruzada de la cara 1 a la cara 3 medida con equipo SYL en metros por segundo. Donde [i] puede ser 05, 1, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 105 indicando el valor de distancia entre los sensores que serían 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10,5 metros, respectivamente.
VsylTTmed	Velocidad de onda de testa a testa medida con equipo SYL en metros por segundo.
VuslabTTmed	Velocidad de onda de testa a testa medida con equipo USLab en metros por segundo.
WA	Momento resistente en milímetros cúbicos tomando como valores de referencia bA y hA.
WB1	Momento resistente en milímetros cúbicos tomando como valores de referencia bB1 y hB1.
WB2	Momento resistente en milímetros cúbicos tomando como valores de referencia bB2 y hB2.
WC1	Momento resistente en milímetros cúbicos tomando como valores de referencia bC1 y hC1.
WC2	Momento resistente en milímetros cúbicos tomando como valores de referencia bC2 y hC2.

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

C2- Datos geométricos

Npieza	b	h	L	CH	DF	CKDR	POSPIE	POSMED
1	167	194	10.83	12.2	0.038	0.183	1	2
2	131	199	10.90	12.4	0.026	0.150	1	3
3	148	187	10.89	11.8	0.103	0.112	1	1
4	156	194	10.90	9.3	0.109	0.181	1	3
5	168	190	10.38	10.9	0.027	0.191	1	2
6	127	192	9.69	11.6	0.138	0.146	1	1
7	155	192	9.53	10.9	0.128	0.088	1	1
8	139	195	10.89	11.1	0.054	0.191	1	1
9	130	201	10.77	10.4	0.135	0.211	1	1
10	148	200	10.24	11.8	0.029	0.129	1	1
11	171	190	10.77	14.0	0.034	0.198	1	2
12	160	193	10.84	12.8	0.074	0.168	1	3
13	141	197	10.79	12.2	0.014	0.156	1	2
14	171	195	10.84	14.6	0.026	0.230	1	2
15	188	198	10.78	12.1	0.031	0.158	1	2
16	148	196	11.00	14.4	0.011	0.175	1	1
17	143	196	10.84	10.6	0.010	0.161	1	1
18	150	192	10.38	13.7	0.040	0.198	0	1
19	149	205	10.84	9.8	0.036	0.292	1	1
20	133	197	10.78	11.9	0.031	0.114	1	1
21	138	181	10.84	10.7	0.042	0.186	1	1

C3- Datos de masa y densidad volumétrica y real

Npieza	Masa	DenVol	DenReal
1	176.14	499	516
2	159.66	556	614
3	156.94	521	547
4	177.12	542	565
5	176.50	532	514
6	119.56	509	527
7	145.10	499	526
8	159.64	536	504
9	142.62	506	525
10	165.90	545	570
11	157.82	454	484
12	188.46	561	581
13	150.18	504	541
14	161.80	447	492
15	236.20	589	608
16	161.40	501	545
17	144.40	468	482
18	147.26	497	517
19	176.40	537	554
20	130.02	463	483
21	130.24	481	499

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

C4- Datos de mediciones con técnicas no destructivas

C4.1- Datos con equipo Portable Lumber Grader

Npieza	Vellplg	EdinL	EdinLDenReal
1	5025	12596	13030
2	4796	12786	14123
3	4574	10899	11443
4	4619	11565	12057
5	4505	10795	10431
6	4167	8842	9149
7	4994	12444	13117
8	4249	9684	9098
9	4178	8829	9166
10	5037	13827	14462
11	4565	9453	10087
12	5095	14563	15081
13	4789	11548	12407
14	4942	10921	12017
15	4357	11177	11541
16	5018	12603	13722
17	4791	10745	11065
18	4505	10091	10492
19	4271	9794	10106
20	4614	9861	10282
21	4554	9982	10347

C4.2- Datos con equipo MicroSecond Timer

Npieza	VmstTTmed	Vmst05C2	Vmst1C2	Vmst15C2	Vmst2C2
1	5189	4630	4808	4983	4762
2	4903	5102	5181	5155	5115
3	4832	3704	3846	3846	4016
4	5290	5319	5102	5137	5128
5	4823	4505	4651	4545	4598
6	4532	3623	3922	3797	3922
7	5009	4505	4717	4732	4762
8	4730	3571	4255	4323	4474
9	4498	3788	3704	3927	3984
10	5176	4762	4950	5034	4963
11	4927	4505	4386	4386	4415
12	5266	4386	4695	4854	4950
13	5048	4505	4484	4412	4484

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	VmstTTmed	Vmst05C2	Vmst1C2	Vmst15C2	Vmst2C2
14	5003	4902	3906	4274	4494
15	4858	4167	4367	4425	4651
16	4858	4348	4310	4373	4348
17	4979	4717	4630	4747	4619
18	4850	4505	5000	5282	5263
19	4710	4464	4464	4360	4545
20	5074	4630	4762	4702	4728
21	4891	4717	4878	4823	4866

Npieza	Vmst3C2	Vmst4C2	Vmst5C2	Vmst6C2
1	4894	4819	4912	5008
2	5068	5031	5015	4988
3	4121	4274	4374	4418
4	5085	4938	5061	5017
5	4651	4598	4634	4651
6	4043	4180	4167	4249
7	4886	4848	4878	4874
8	4630	4751	4785	4847
9	3979	4061	4139	4190
10	4918	4951	4990	4992
11	4601	4614	4638	4724
12	4975	4914	4975	5017
13	4608	4684	4780	4827
14	4608	4614	4748	4747
15	4688	4678	4713	4762
16	4444	4464	4550	4615
17	4532	4651	4704	4710
18	5226	5195	4951	5000
19	4478	4577	4608	4587
20	4762	4751	4789	4847
21	4808	4695	4771	4773

Npieza	Vmst7C2	Vmst8C2	Vmst9C2	Vmst10C2
1	4958	5009	4992	4990
2	4996	4988	4951	4892
3	4459	4510	4580	4598
4	5043	5096	5108	5165
5	4636	4678	4654	4690
6	4305	4343	4327	
7	4912	4811	4883	

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vmst7C2	Vmst8C2	Vmst9C2	Vmst10C2
8	4834	4813	4818	4682
9	4179	4283	4319	4363
10	5014	5067	5065	5066
11	4788	4768	4757	4757
12	5032	5086	5178	5139
13	4818	4848	4875	4878
14	4798	4846	4899	4907
15	4759	4648	4695	4717
16	4602	4630	4639	4625
17	4749	4802	4815	4831
18	4912	4935	4790	4757
19	4667	4643	4585	4566
20	4895	4984	5006	4988
21	4788	4811	4813	4826

Npieza	Vmst105C2	Vmst05med13	Vmst1med13	Vmst15med13
1	5041	3816	4598	4877
2	4839	4314	4829	4950
3	4585	3571	3996	4107
4	5142	3719	4415	4686
5		3494	4234	4276
6		3943	4107	4205
7		3980	4530	4581
8	4642	3768	4378	4423
9	4393	3452	3783	3941
10		3686	4281	4326
11	4751	3739	4501	4647
12	5122	3753	4531	4779
13	4879	3985	4346	4683
14	4969	3463	4218	4435
15	4700	3308	4201	4562
16	4630	3808	4227	4364
17	4866	3985	4501	4467
18		3621	4511	4690
19	4581	3851	4309	4508
20	4988	3939	4484	4612
21	4814	4163	4716	4767

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vmst2med13	Vmst3med13	Vmst4med13	Vmst5med13
1	4993	5033	5020	5038
2	5060	5004	4928	4896
3	4187	4297	4304	4392
4	4858	4885	4918	4924
5	4421	4559	4591	4521
6	4175	4241	4244	4302
7	4719	4661	4729	4769
8	4556	4627	4662	4692
9	3992	4025	4075	4139
10	4560	4602	4689	4819
11	4716	4740	4725	4748
12	4924	5051	4923	5007
13	4761	4714	4728	4814
14	4672	4843	4787	4793
15	4716	4763	4745	4752
16	4381	4468	4530	4539
17	4514	4567	4662	4674
18	4841	5000	5072	5060
19	4576	4616	4550	4576
20	4727	4692	4796	4812
21	4807	4775	4709	4679

Npieza	Vmst6med13	Vmst7med13	Vmst8med13	Vmst9med13
1	5044	5050	5085	5068
2	4929	4962	4930	4901
3	4436	4474	4510	4569
4	4910	4955	4955	5012
5	4589	4631	4612	4616
6	4368	4409	4420	4434
7	4779	4784	4832	4859
8	4752	4696	4719	4721
9	4229	4294	4298	4304
10	4840	4872	4919	4980
11	4797	4850	4826	4790
12	5010	5062	5091	5164
13	4856	4859	4877	4888
14	4778	4881	4940	5005
15	4826	4787	4634	4699
16	4602	4623	4653	4689

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vmst6med13	Vmst7med13	Vmst8med13	Vmst9med13
17	4726	4761	4733	4815
18	4987	4923	4936	4826
19	4641	4671	4671	4628
20	4881	4936	4960	4972
21	4711	4715	4747	4761

Npieza	Vmst10med13	Vmst105med13
1	5044	5068
2	4929	4768
3	4436	4616
4	4910	5057
5	4589	
6	4368	
7	4779	
8	4752	4525
9	4229	4375
10	4840	
11	4797	4805
12	5010	5094
13	4856	4902
14	4778	4974
15	4826	4700
16	4602	4671
17	4726	4864
18	4987	
19	4641	4588
20	4881	4949
21	4711	4767

Npieza	EdinMSTmedTT	EdinMSTdenrealTT
1	13433	13895
2	13365	14762
3	12167	12774
4	15166	15812
5	12375	11958
6	10461	10825
7	12521	13198
8	12004	11278
9	10233	10623
10	14600	15270

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	EdinMSTmedTT	EdinMSTdenrealTT
11	11009	11747
12	15558	16111
13	12833	13788
14	11189	12312
15	13895	14347
16	11814	12864
17	11605	11951
18	11699	12163
19	11911	12290
20	11927	12436
21	11518	11939

C4.3- Datos con equipo Sylvatest Duo

Npieza	VsylTTmed	Vsyl05C2	Vsyl1C2	Vsyl15C2	Vsyl2C2
1	5136	5435	5208	5245	5025
2	4844	5747	5495	5396	5168
3	4747	4717	4630	4425	4292
4	5132	5495	5291	5300	5222
5	4817	5495	5181	5051	5013
6	4574	4098	4274	4021	4228
7	5012	5376	5155	5017	4902
8	4679	3876	4444	4399	4494
9	4506	4386	4000	4065	4098
10	5137	5747	5525	5415	5348
11	4911	5263	4902	4732	4684
12	5276	5208	5236	5172	5102
13	5060	4673	4785	4688	4577
14	5001	5556	5155	5226	5168
15	4858	5051	4854	4792	4808
16	4847	5000	4651	4630	4464
17	4969	5435	5025	4644	4202
18	4860	5263	5525	5515	5450
19	4703	5102	4926	4870	4608
20	5083	5263	5155	5000	4890
21	4871	5556	5376	5155	5102

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vsyl3C2	Vsyl4C2	Vsyl5C2	Vsyl6C2	Vsyl7C2	Vsyl8C2
1	4959	4902	4936	5033.56	4947.00	4987.53
2	4983	4908	4869	4827.03	4804.39	4822.18
3	4280	4405	4433	4411.76	4464.29	4504.50
4	4942	4808	4869	4858.30	4919.18	4947.43
5	4762	4711	4721	4636.79	4669.78	4651.16
6	4110	4202	4216	4282.66	4331.68	4336.04
7	4959	4932	4845	4834.81	4820.94	4810.58
8	4539	4662	4591	4687.50	4617.41	4624.28
9	3968	4077	4082	4143.65	4074.51	4175.37
10	4777	4860	4850	4885.99	4908.84	4938.27
11	4644	4630	4643	4724.41	4742.55	4722.55
12	4959	4860	4888	4885.99	4943.50	4993.76
13	4666	4762	4713	4850.44	4830.92	4836.76
14	4754	4561	4638	4680.19	4707.46	4810.58
15	4831	4756	4721	4769.48	4784.69	4584.53
16	4525	4459	4529	4521.48	4566.21	4608.29
17	4498	4587	4634	4651.16	4682.27	4703.12
18	5199	5063	4864	4842.62	4814.31	4796.16
19	4525	4510	4533	4437.87	4614.37	4592.42
20	4815	4695	4730	4784.69	4820.94	4889.98
21	4702	4640	4621	4643.96	4648.07	4645.76

Npieza	Vsyl9C2	Vsyl10C2	Vsyl105C2	Vsyl05med13	Vsyl1med13
1	4980.63	4987.53	5000.00	4263.97	4886.41
2	4820.57	4761.90	4719.10	4866.28	5217.29
3	4515.81	4557.89	4565.22	4154.37	4483.22
4	4986.15	4960.32	4978.66	4209.98	4824.94
5	4675.32	4714.76		4272.30	5082.78
6	4375.30			4452.84	4511.49
7	4851.75			4536.24	5001.03
8	4653.57	4545.45	4475.70	4229.66	4715.76
9	4223.37	4222.97	4299.75	4111.80	4227.21
10	4945.05	4955.40		4264.72	4789.50
11	4689.94	4697.04	4727.60	4229.76	4812.37
12	5056.18	4995.00	5026.33	4318.25	5053.59
13	4812.83	4830.92	4807.69	4586.94	4812.37

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vsyl9C2	Vsyl10C2	Vsyl105C2	Vsyl05med13	Vsyl1med13
14	4851.75	4852.01	4827.59	3850.98	4521.03
15	4639.18	4668.53	4662.52	3725.86	4667.55
16	4591.84	4589.26	4567.20	4391.75	4603.61
17	4736.84	4710.32	4783.60	4282.42	4700.19
18	4651.16	4604.05		4095.49	4847.07
19	4473.16	4480.29	4508.37	4282.42	4521.03
20	4896.63	4901.96	4952.83	4427.09	4862.67
21	4646.36	4688.23	4670.82	4648.11	5084.67

Npieza	Vsyl15med13	Vsyl2med13	Vsyl3med13	Vsyl4med13
1	5057	5108	4962	4961
2	5144	5204	4831	4750
3	4513	4418	4353	4372
4	5029	5041	4945	4757
5	4845	4889	4858	4746
6	4422	4282	4241	4242
7	4974	4964	4764	4823
8	4714	4819	4648	4722
9	4211	4310	4380	4082
10	4810	4936	4602	4753
11	4912	4876	4835	4793
12	5209	5219	5173	5072
13	4936	4979	4839	4787
14	4625	4699	4812	4686
15	4833	4973	4898	4801
16	4676	4586	4613	4457
17	4467	4534	4536	4579
18	4928	5004	5042	5063
19	4705	4672	4581	4525
20	4897	4865	4774	4854
21	5021	5024	4794	4700

Npieza	Vsyl5med13	Vsyl6med13	Vsyl7med13	Vsyl8med13
1	4939	4969	4954	4998
2	4712	4763	4769	4760
3	4437	4457	4484	4523

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vsyl5med13	Vsyl6med13	Vsyl7med13	Vsyl8med13
4	4893	4860	4900	4938
5	4667	4649	4684	4639
6	4273	4314	4343	4364
7	4778	4767	4765	4796
8	4694	4667	4672	4683
9	4137	4240	4266	4275
10	4828	4822	4862	4924
11	4743	4776	4799	4774
12	5080	5084	5006	5056
13	4826	4830	4837	4859
14	4657	4690	4787	4816
15	4779	4807	4735	4559
16	4555	4604	4612	4634
17	4576	4609	4623	4665
18	4858	4811	4769	4792
19	4530	4557	4602	4602
20	4830	4857	4870	4895
21	4649	4683	4678	4694

Npieza	Vsyl9med13	Vsyl10med13	Vsyl105med13
1	4988	4958	4993
2	4735	4635	4630
3	4566	4584	4592
4	4881	4987	4992
5	4647	4630	
6	4363		
7	4817		
8	4646	4566	4487
9	4277	4338	4370
10	4928	4809	
11	4744	4703	4741
12	5121	5065	5053
13	4848	4793	4850
14	4896	4923	4881
15	4631	4644	4661

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	Vsyl9med13	Vsyl10med13	Vsyl105med13
16	4673	4672	4649
17	4716	4726	4780
18	4708	4643	
19	4533	4465	4499
20	4923	4890	4908
21	4680	4684	4713

Npieza	EdinSYLmedTT	EdinSYLdenrealTT
1	13160	13613
2	13046	14410
3	11741	12327
4	14273	14880
5	12341	11925
6	10655	11026
7	12534	13212
8	11743	11032
9	10268	10659
10	14381	15041
11	10939	11672
12	15618	16174
13	12894	13853
14	11184	12307
15	13895	14347
16	11757	12801
17	11557	11901
18	11743	12209
19	11874	12253
20	11967	12477
21	11420	11838

C4.4- Datos con equipo USLab

Npieza	VuslabTTmed	EdinUSLmedTT	EdinUSLdenrealTT
1	5575	15505	16039
2	5238	15251	16845
3	5114	13625	14305
4	5549	16686	17396

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

5	5190	14327	13845
6	4933	12391	12822
7	5435	14739	15537
8	5061	13742	12910
9	4859	11938	12393
10	5554	16808	17580
11	5310	12792	13649
12	5662	17986	18626
13	5445	14927	16038
14	5401	13045	14354
15	5202	15936	16454
16	5220	13639	14851
17	5362	13459	13860
18	5224	13570	14109
19	5054	13712	14149
20	5494	13985	14581
21	5238	13207	13689

C5- Datos de ensayo a flexión

Npieza	PendSuma	Coef_Asimetría	bA	hA	AA
1	32.358	1.0068	167	194	32315
2	26.504	1.0483	131	199	26003
3	21.501	1.0047	148	187	27627
4	25.117	1.0397	156	194	30355
5	27.417	1.0531	168	190	32008
6	19.109	1.0617	127	192	24257
7	34.326	1.0261	155	192	29722
8	19.501	1.0822	139	195	27193
9	17.343	1.1195	130	201	26142
10	35.168	1.0818	148	200	29683
11	22.672	1.0426	171	190	32452
12	33.963	1.0796	160	193	30907
13	26.479	1.0493	141	197	27608
14	28.186	1.0860	171	195	33256
15	34.006	0.9885	188	198	37125

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

16	27.929	1.0174	148	196	28951
17	24.174	1.0371	143	196	28093
18	19.552	1.0947	150	192	28679
19	25.289	0.9590	149	205	30393
20	20.545	1.0409	133	197	26179
21	16.437	1.0588	138	181	25008

Npieza	WA	IA	E1A	E2A	EA
1	1042143	100827299	11353	11430	11391
2	862422	85810967	10709	11227	10963
3	859496	80219654	9490	9535	9513
4	982313	95366176	9165	9528	9348
5	1015356	96628053	9817	10338	10071
6	774593	74205992	6910	7336	7117
7	951091	91304755	10259	10526	10391
8	884535	86315882	7715	8349	8019
9	875024	87867026	6631	7423	7005
10	991073	99272490	12099	13088	12574
11	1029444	97968780	8046	8389	8214
12	995023	96102635	12081	13043	12544
13	904170	88834721	10331	10841	10580
14	1078958	105018581	9137	9923	9526
15	1225125	121287375	10010	9895	9952
16	944918	92523270	10622	10808	10714
17	917716	89936124	9370	9717	9540
18	916934	87949255	8265	7549	7891
19	1036739	106092958	8642	8287	8460
20	858811	84521333	8458	8804	8627
21	754413	68274379	8303	8790	8545

Npieza	bB2	hB2	AB2	WB2	IB2
1	170	198	33660	1110780	109967220
2	133	204	27030	919020	93740040
3	150	186	27900	864900	80435700
4	157	181	28327	854516	77333706

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	bB2	hB2	AB2	WB2	IB2
5	167	190	31552	996509	94419269
6	125	188	23500	736333	69215333
7	160	206	32777	1122621	115349288
8	135	200	26900	896667	89666667
9	131	199	25904	856999	85057145
10	147	207	30252	1041182	107502001
11	173	187	32171	999990	93249038
12	163	194	31444	1014061	98110396
13	140	196	27342	893172	87530856
14	176	196	34496	1126869	110433195
15	188	200	37500	1250000	125000000
16	163	205	33334	1136117	116167942
17	156	202	31333	1052275	106016704
18	147	189	27783	875165	82703045
19	142	212	29927	1054936	111559436
20	123	201	24623	824854	82897802
21	141	177	24957	736232	65156488

Npieza	E1B2	E2B2	EB2	bC1	hC1
1	10409	10480	10444	163	191
2	9803	10277	10035	115	187
3	9464	9509	9488	147	188
4	11302	11750	11528	165	212
5	10047	10580	10306	169	194
6	7409	7865	7630	130	194
7	8120	8332	8225	138	163
8	7426	8037	7719	136	180
9	6850	7668	7237	127	194
10	11173	12086	11611	146	191
11	8453	8814	8630	168	200
12	11834	12776	12287	153	194
13	10485	11002	10737	137	195
14	8689	9437	9059	169	194
15	9712	9601	9656	184	193
16	8460	8608	8533	134	200

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

17	7949	8243	8093	123	197
18	8789	8028	8391	164	192
19	8218	7881	8046	154	204
20	8624	8976	8796	136	194
21	8700	9211	8954	136	195

Npieza	AC1	WC1	IC1	E1C1	E2C1
1	31133	991067	94646914	12094	12176
2	21505	670239	62667362	14664	15373
3	27636	865928	81397232	9353	9397
4	34980	1235960	131011760	6671	6936
5	32786	1060081	102827825	9225	9715
6	25220	815447	79098327	6483	6883
7	22494	611087	49803591	18807	19298
8	24480	734400	66096000	10075	10903
9	24638	796629	77272981	7540	8441
10	27886	887704	84775764	14168	15326
11	33600	1120000	112000000	7038	7338
12	29682	959718	93092646	12472	13464
13	26715	868238	84653156	10842	11376
14	32786	1060081	102827825	9332	10135
15	35512	1142303	110232207	11014	10887
16	26800	893333	89333333	11002	11193
17	24231	795585	78365073	10753	11152
18	31488	1007616	96731136	7514	6864
19	31416	1068144	108950688	8415	8069
20	26384	853083	82749019	8639	8992
21	26520	861900	84035250	6745	7142

Npieza	EC1	bB1	hB1	AB1	WB1
1	12135	169	199	33631	1115428
2	15011	133	203	26999	913466
3	9375	151	185	27935	861329
4	6805	160	182	29120	883307
5	9464	166	191	31706	1009308
6	6677	123	188	23124	724552

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	EC1	bB1	hB1	AB1	WB1
7	19049	162	203	32886	1112643
8	10472	122	197	24034	789116
9	7966	129	199	25671	851422
10	14724	146	208	30368	1052757
11	7185	180	185	33300	1026750
12	12949	163	196	31948	1043635
13	11102	141	196	27636	902776
14	9729	175	199	34825	1155029
15	10950	189	198	37422	1234926
16	11097	172	204	35088	1192992
17	10949	156	202	31512	1060904
18	7174	149	192	28608	915456
19	8239	144	211	30384	1068504
20	8812	122	202	24644	829681
21	6942	144	183	26352	803736

Npieza	IB1	E1B1	E2B1	EB1	bC2
1	110985103	10313	10384	10348	172
2	92716816	9912	10391	10146	121
3	79672948	9555	9600	9578	150
4	80380907	10873	11305	11091	162
5	96388882	9841	10364	10096	167
6	68107888	7529	7993	7755	129
7	112933265	8294	8510	8401	149
8	77727959	8567	9272	8905	136
9	84716439	6877	7699	7266	130
10	109486763	10970	11867	11401	146
11	94974375	8300	8653	8473	168
12	102276197	11352	12255	11787	154
13	88472048	10374	10885	10623	140
14	114925402	8349	9068	8705	172
15	122257674	9930	9816	9873	186
16	121685184	8077	8218	8146	147
17	107151304	7864	8156	8008	132
18	87883776	8271	7555	7897	163

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

19	112727172	8133	7799	7963	155
20	83797815	8531	8880	8702	133
21	73541844	7708	8161	7933	138

Npieza	hC2	AC2	WC2	IC2	E1C2
1	192	32938	1051271	100659214	11371
2	198	23898	786626	77679322	11830
3	188	28125	878906	82397461	9239
4	203	32785	1109209	112584705	7763
5	192	31981	1020711	97733074	9706
6	191	24544	781301	74614285	6872
7	173	25691	740743	64074248	14618
8	191	25813	819555	78062596	8530
9	194	25058	808129	78186438	7452
10	199	28981	958788	95159717	12622
11	195	32663	1061531	103499297	7616
12	195	29933	972806	94848609	12241
13	197	27412	897735	88202445	10405
14	196	33626	1095647	107099511	8960
15	196	36456	1190896	116707808	10403
16	199	29253	970225	96537338	10181
17	198	25971	854887	84420089	9982
18	192	31296	1001472	96141312	7560
19	207	32085	1106933	114567514	8002
20	198	26334	869022	86033178	8309
21	193	26538	853623	82374611	6881

Npieza	E2C2	EC2
1	11449	11410
2	12402	12110
3	9283	9262
4	8071	7919
5	10222	9957
6	7296	7078
7	15000	14806
8	9232	8867

ANEXO C. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS LARGAS

Npieza	E2C2	EC2
9	8342	7873
10	13654	13117
11	7941	7775
12	13215	12710
13	10918	10656
14	9730	9341
15	10283	10342
16	10358	10269
17	10352	10164
18	6906	7218
19	7674	7835
20	8649	8476
21	7286	7082

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

En este anexo se muestran los datos recopilados en las piezas cortas para su futura consulta y posibles líneas futuras de trabajo.

D1- Leyenda

Npieza	Número de pieza
S	Segmento de madera resultante de la división en dos partes de una pieza larga. Descripción: "I" es la parte izquierda y "II" la parte derecha, ambas vistas desde la primera cara.
bT1	Ancho de la sección transversal "T1" en mm.
b1	Ancho de la sección transversal "1" in mm.
b2	Ancho de la sección transversal "2" en mm.
b3	Ancho de la sección transversal "3" en mm.
b4	Ancho de la sección transversal "4" en mm.
b5	Ancho de la sección transversal "5" en mm.
bT2	Ancho de la sección transversal "T2" en mm.
bmt	Ancho medio de las cinco secciones transversales ("1" a "5") en mm.
bm234	Ancho medio de las secciones transversales "2", "3", "4" en mm.
btplg	Ancho medio de las cinco secciones transversales y las dos testas in mm.
hT1	Alto de la sección transversal "T1" en mm.
h1	Alto de la sección transversal "1" en mm.
h2	Alto de la sección transversal "2" en mm.
h3	Alto de la sección transversal "3" en mm.
h4	Alto de la sección transversal "4" en mm.
h5	Alto de la sección transversal "5" en mm.
hT2	Alto de la sección transversal "T2" en mm.
hmt	Ancho medio de las secciones transversales en mm.
hm234	Ancho medio de las secciones transversales "2", "3", "4" en mm.

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

htplg	Ancho medio de las secciones transversales y de las testas en mm.
bnlc	Ancho nominal medido con forcípula en mm.
hnlc	Altura nominal medida con forcípula en mm.
PS	Posición de la parte inferior del árbol <i>in-situ</i> : PS="1": la parte inferior del árbol está en el alero; PS="0": la parte inferior del árbol está en la cumbrera.
Lizq	Longitud entre las secciones transversales "T1" and "1" en mm.
Lder	Longitud entre las secciones transversales "5" and "T1" en mm.
L	Longitud de la pieza en mm.
MC1	Contenido de humedad en la sección transversal "1" en %.
MC2	Contenido de humedad en la sección transversal "3" en %.
MC3	Contenido de humedad en la sección transversal "5" en %.
MCmt	Contenido de humedad medio de MC1, 2 and 3 in %.
MCslice	Contenido de humedad de las rebanadas al ser extraídas medido con xilohigrómetro en %.
WMASS	Masa húmeda de las rebanadas antes del proceso de secado en g.
DMASS	Masa seca de las rebanadas después del proceso de secado en g.
MC4	Contenido de humedad tras el proceso de secado de las rebanadas en %.
MC5	Contenido de humedad medido con xilohigrómetro después del ensayo a flexión en %.
Masa	Masa total obtenida con las balanzas del equipo MTG en kg.
AT1	Área de la sección transversal "T1" en mm ² .
A1	Área de la sección transversal "1" en mm ² .
A2	Área de la sección transversal "2" en mm ² .
A3	Área de la sección transversal "3" en mm ² .

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

A4	Área de la sección transversal "4" en mm ² .
A5	Área de la sección transversal "5" en mm ² .
AT2	Área de la sección transversal "T2" en mm ² .
VT11	Volumen definido entre las secciones transversales "T1" y "1" en mm ³ .
V12	Volumen definido entre las secciones transversales "1" y "2" en mm ³ .
V23	Volumen definido entre las secciones transversales "2" y "3" en mm ³ .
V34	Volumen definido entre las secciones transversales "3" y "4" en mm ³ .
V45	Volumen definido entre las secciones transversales "4" y "5" en mm ³ .
V5T2	Volumen definido entre las secciones transversales "5" y "T2" en mm ³ .
Vt	Volumen total de la pieza en m ³ .
DenGlo	Densidad obtenida con "Masa" y "Vt" en kg/m ³ .
DenGlo12	Densidad corregida al 12% del contenido de humedad utilizando "DenGlo" en kg/m ³ .
Alc	Área de la sección transversal obtenida con "bnlc" y "hnlc" en mm ² .
Vlc	Volumen de rebanada calculado con "Alc" en mm ³ .
Denlc	Densidad obtenida con "WMASS" y "Vlc" en kg/m ³ .
Denlc12	Densidad "Denlc" corregida al 12% de contenido de humedad en kg/m ³ .
Ar	Área real obtenida con la envolvente de la sección transversal de la rebanada en mm ² .
Vr	Volumen obtenido con "Ar" y la altura de rebanada de 100 mm en mm ³ .
DenReal12	"DenReal" corregida al 12% de contenido de humedad en kg/m ³ .
DenReal	Densidad obtenida con "WMASS" y "Vr" en kg/m ³ .

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

FrecPLG	Frecuencia obtenida con el equipo PLG en Hz.
VelPLG	Velocidad de onda obtenida a partir de las mediciones de frecuencia a través del equipo PLG en m/s.
EdinL	Módulo de elasticidad dinámico obtenido con PLG en N/mm ² .
TmstTTsup	Tiempo de transmisión de onda con MST en la testa (medición superior) de "T1" a "T2" en μ s.
TmstTTinf	Tiempo de transmisión de onda con MST en la testa (medición inferior) de "T1" a "T2" en μ s.
TmstTTmed	Media entre "TmstTTsup" y "TmstTTinf" en μ s.
VmstTTmed	Velocidad de onda de testa a testa con MST en m/s.
EdinMSTmedTT	Módulo de elasticidad dinámico calculado con MST con las variables "VmstTTmed" y "DenGlo" en N/mm ² .
Tmst18Hsup13	Velocidad de onda cruzada con MST (medida superior) desde las secciones transversales "1" a la "5" (18 h) en μ s.
Tmst18Hinf13	Velocidad de onda cruzada con MST (medida inferior) desde las secciones transversales "1" a la "5" (18 h) en μ s.
Tmst18Hmed13	Media entre "Tmst18Hsup13" y "Tmst18Hinf13" en μ s.
Vmst18Hmed13	Velocidad de onda cruzada con MST entre las caras opuestas de la pieza "1" y "3" en m/s.
Edin18Hmst13	Módulo de elasticidad dinámico (medición cruzada) con MST calculado con "Vmst18Hmed13" y "DenGlo" en N/mm ² .
Tmst18HC2	Tiempo de transmisión de la onda calculado con MST en el canto 2 desde las secciones transversales "1" a "5" (18H) en μ s.
Vmst18HC2	Velocidad de onda superficial en el canto 2 con MST en m/s.
Edin18HmstC2	Módulo de elasticidad dinámico superficial en el canto 2 con MST calculado con "Vmst18HC2" y "DenGlo" en N/mm ² .
TsylTTsup	Tiempo de transmisión de onda con SYL en la testa (medición superior) de "T1" a "T2" en μ s.

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

TsylTTinf	Tiempo de transmisión de onda con SYL en la testa (medición inferior) de "T1" a "T2" en μs .
TsylTTmed	Media entre "TsylTTsup" y "TsylTTinf" en μs .
VsylTTmed	Velocidad de onda de testa a testa con SYL en m/s.
EdinsylmedTT	Módulo de elasticidad dinámico calculado con SYL con las variables "VsylTTmed" y "DenGlo" en N/mm^2 .
Tsyl18Hsup13	Velocidad de onda cruzada con SYL (medida superior) desde las secciones transversales "1" a la "5" (18 h) en μs .
Tsyl18Hinf13	Velocidad de onda cruzada con SYL (medida inferior) desde las secciones transversales "1" a la "5" (18 h) en μs .
Tsyl18Hmed13	Media entre "Tsyl18Hsup13" y "Tsyl18Hinf13" en μs .
Vsyl18Hmed13	Velocidad de onda cruzada con SYL entre las caras opuestas de la pieza "1" y "3" en m/s.
Edin18Hsyl13	Módulo de elasticidad dinámico (medición cruzada) con SYL calculado con "Vsyl18Hmed13" y "DenGlo" en N/mm^2 .
Tsyl18HC2	Tiempo de transmisión de la onda calculado con SYL en el canto 2 desde las secciones transversales "1" a "5" (18H) en μs .
Vsyl18HC2	Velocidad de onda superficial en el canto 2 con SYL en m/s.
Edin18HsylC2	Módulo de elasticidad dinámico superficial en el canto 2 con SYL calculado con "Vsyl18HC2" y "DenGlo" en N/mm^2 .
TuslabTTsup	Tiempo de transmisión de onda con USLAB en la testa (medición superior) de "T1" a "T2" en μs .
TuslabTTinf	Tiempo de transmisión de onda con USLAB en la testa (medición inferior) de "T1" a "T2" en μs .
TuslabTTmed	Media entre "TuslabTTsup" y "TuslabTTinf" en μs .
VuslabTTmed	Velocidad de onda de testa a testa con USL en m/s.
EdinUSLmedTT	Módulo de elasticidad dinámico calculado con USL con las variables "VuslabTTmed" y "DenGlo" en N/mm^2 .

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

SYL	Equipo de ultrasonidos Sylvatest Duo (CBS-CBT, Francia-Suiza).
USLAB	Equipo de ultrasonidos USLab (Agricef, Campinas, Brasil).
MST	Equipo de ondas de impacto MicroSecond Timer (Fakopp Enterprise, Sopron, Hungría).
MAT1F	Fuerza de extracción de tornillo en la cara 1 de la sección transversal "1" medida con el equipo MAT en kN.
MAT	Equipo no destructivo de arranque de tornillos Screw Withdrawal Resistance Meter (SWRM) (Fakopp, Sopron, Hungary).
MAT2F	Fuerza de extracción de tornillo en la cara 1 de la sección transversal "2" medida con el equipo MAT en kN.
MAT3F	Fuerza de extracción de tornillo en la cara 1 de la sección transversal "3" medida con el equipo MAT en kN.
MAT4F	Fuerza de extracción de tornillo en la cara 1 de la sección transversal "4" medida con el equipo MAT en kN.
MAT5F	Fuerza de extracción de tornillo en la cara 1 de la sección transversal "5" medida con el equipo MAT en kN.
MAT1E	Fuerza de extracción de tornillo en el canto 2 de la sección transversal "1" medida con el equipo MAT en kN.
MAT2E	Fuerza de extracción de tornillo en el canto 2 de la sección transversal "2" medida con el equipo MAT en kN.
MAT3E	Fuerza de extracción de tornillo en el canto 2 de la sección transversal "3" medida con el equipo MAT en kN.
MAT4E	Fuerza de extracción de tornillo en el canto 2 de la sección transversal "4" medida con el equipo MAT en kN.
MAT5E	Fuerza de extracción de tornillo en el canto 2 de la sección transversal "5" medida con el equipo MAT en kN.
PIL1F	Profundidad de penetración en la cara 1 de la sección transversal "1" medido con PIL en mm.
PIL	Equipo no destructivo Pilodyn 6J Forest (Proceq, Schwerzenbach, Switzerland).

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

PIL2F	Profundidad de penetración en la cara 1 de la sección transversal "2" measured by Pilodyn 6J Wood Tester in mm
PIL3F	Profundidad de penetración en la cara 1 de la sección transversal "3" medido con PIL en mm.
PIL4F	Profundidad de penetración en la cara 1 de la sección transversal "4" medido con PIL en mm.
PIL5F	Profundidad de penetración en la cara 1 de la sección transversal "5" medido con PIL en mm.
PIL1E	Profundidad de penetración en el canto 2 de la sección transversal "1" medido con PIL en mm.
PIL2E	Profundidad de penetración en el canto 2 de la sección transversal "2" medido con PIL en mm.
PIL3E	Profundidad de penetración en el canto 2 de la sección transversal "3" medido con PIL en mm.
PIL4E	Profundidad de penetración en el canto 2 de la sección transversal "4" medido con PIL en mm.
PIL5E	Profundidad de penetración en el canto 2 de la sección transversal "5" medido con PIL en mm.
LNAIL	Longitud del clavo total de WP en mm.
WP	Equipo no destructivo Wood Pecker (DRC, Ancona, Italy).
WPPNL1F	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie de la cara 1 en la sección transversal "1" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL2F	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie de la cara 1 en la sección transversal "2" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL3F	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie de la cara 1 en la sección transversal "3" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL4F	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie de la cara 1 en la sección transversal "4" después de 3 impactos con WP en mm.

WPPNL5F	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie de la cara 1 en la sección transversal "5" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL1E	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie del canto 2 en la sección transversal "1" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL2E	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie del canto 2 en la sección transversal "2" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL3E	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie del canto 2 en la sección transversal "3" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL4E	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie del canto 2 en la sección transversal "4" después de 3 impactos con WP en mm.
WPPNL5E	Longitud del clavo sobresaliente de la superficie del canto 2 en la sección transversal "5" después de 3 impactos con WP en mm.
WP1F	Penetración del clavo en la superficie de la cara 1 en la sección transversal "1" después de 3 impactos con WP en mm.
WP2F	Penetración del clavo en la superficie de la cara 1 en la sección transversal "2" después de 3 impactos con WP en mm.
WP3F	Penetración del clavo en la superficie de la cara 1 en la sección transversal "3" después de 3 impactos con WP en mm.
WP4F	Penetración del clavo en la superficie de la cara 1 en la sección transversal "4" después de 3 impactos con WP en mm.
WP5F	Penetración del clavo en la superficie de la cara 1 en la sección transversal "5" después de 3 impactos con WP en mm.
WP1E	Penetración del clavo en la superficie del canto 2 en la sección transversal "1" después de 3 impactos con WP en mm.

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

WP2E	Penetración del clavo en la superficie del canto 2 en la sección transversal "2" después de 3 impactos con WP en mm.
WP3E	Penetración del clavo en la superficie del canto 2 en la sección transversal "3" después de 3 impactos con WP en mm.
WP4E	Penetración del clavo en la superficie del canto 2 en la sección transversal "4" después de 3 impactos con WP en mm.
WP5E	Penetración del clavo en la superficie del canto 2 en la sección transversal "5" después de 3 impactos con WP en mm.
BagWeight	Peso de la bolsa vacía en g.
RML1F	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en la cara 1 de la sección transversal "1" en g.
WOODEX	Equipo semi-destructivo Woodex (GICM-UPM, Madrid, Spain).
RML2F	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en la cara 1 de la sección transversal "2" en g.
RML3F	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en la cara 1 de la sección transversal "3" en g.
RML4F	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en la cara 1 de la sección transversal "4" en g.
RML5F	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en la cara 1 de la sección transversal "5" en g.
RML1E	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en el canto 2 de la sección transversal "1" en g.
RML2E	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en el canto 2 de la sección transversal "2" en g.
RML3E	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en el canto 2 de la sección transversal "3" en g.
RML4E	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en el canto 2 de la sección transversal "4" en g.
RML5E	Peso de la muestra incluyendo la bolsa en el canto 2 de la sección transversal "5" en g.

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

P	Carga última total en el ensayo a flexión de canto en kN.
PCTO	Relación deformación-carga en mm/N
IA	Momento de inercia obtenido con "bmt" y "hmt" en mm ⁴ .
IB	Momento de inercia obtenido con "b234" y "h234" en mm ⁴ .
IC	Momento de inercia obtenido con "b1" y "h1" en mm ⁴ .
ID	Momento de inercia obtenido con "b3" y "h3" en mm ⁴ .
MOEA	Módulo de elasticidad estático obtenido con "IA" en N/mm ² .
MOEB	Módulo de elasticidad estático obtenido con "IB" en N/mm ² .
MOEC	Módulo de elasticidad estático obtenido con "IC" en N/mm ² .
MOED	Módulo de elasticidad estático obtenido con "ID" en N/mm ² .
MORA	Resistencia obtenida con "P" y "bmt" en N/mm ² .
MORB	Resistencia obtenida con "P" y "b234" en N/mm ² .
MORC	Resistencia obtenida con "P" y "b1" en N/mm ² .
MORD	Resistencia obtenida con "P" y "b3" en N/mm ² .

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

D2- Datos geométricos

N	S	bT1	b1	b2	b3	b4	b5	bT2
01	I	171	184	182	182	175	171	174
01	II	174	167	168	164	160	151	159
02	I	116	117	126	133	137	137	134
02	II	136	134	137	142	137	138	126
03	I	144	149	147	154	152	151	146
03	II	149	150	147	146	137	142	143
04	I	164	162	161	164	158	166	162
04	II	163	157	152	151	157	156	162
05	I	170	169	168	168	162	170	168
05	II	162	165	167	171	173	169	182
06	I	129	128	129	127	125	126	129
06	II	130	126	125	127	125	126	126
07	I	134	149	156	158	161	163	166
07	II	162	160	162	157	141	132	134
08	I	128	160	154	127	132	120	128
08	II	131	146	145	141	145	151	158
09	I	125	132	131	131	130	130	126
09	II	128	126	126	124	124	126	125
10	I	145	146	149	145	146	145	147
10	II	147	147	152	150	154	157	157
11	I	164	168	164	165	171	169	156
11	II	156	160	160	165	162	172	176
12	I	154	161	157	160	159	168	165
12	II	165	164	166	160	166	159	164
13	I	135	136	135	138	136	141	138
13	II	138	139	137	140	147	144	153
14	I	168	170	170	175	175	175	176
14	II	177	175	175	169	182	171	125
15	I	181	189	189	191	192	186	182
15	II	179	182	182	185	191	191	193
16	I	135	147	156	167	164	164	157
16	II	156	156	150	140	136	133	126
17	I	124	134	137	145	154	155	152

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	bT1	b1	b2	b3	b4	b5	bT2
17	II	150	153	147	147	139	137	143
18	I	164	164	164	157	155	146	147
18	II	145	143	141	137	139	140	138
19	I	150	150	156	157	148	144	141
19	II	139	141	148	142	154	154	154
20	I	141	132	131	127	125	123	124
20	II	126	123	131	132	137	146	156
21	I	137	135	135	141	143	142	145
21	II	142	139	138	132	137	134	130
22	0	165	162	155	157	164	151	147
23	0	157	150	146	151	159	152	154
24	0	141	139	138	139	132	133	137

N	S	bmt	bm234	btplg	hT1	h1	h2	h3
01	I	179	180	177	194	192	187	193
01	II	162	164	163	196	198	202	202
02	I	130	132	129	187	195	203	201
02	II	138	139	136	204	208	204	203
03	I	151	151	149	190	188	188	189
03	II	144	143	145	187	187	186	186
04	I	162	161	162	212	204	198	188
04	II	155	153	157	182	182	188	183
05	I	167	166	168	195	189	191	190
05	II	169	170	170	186	190	189	190
06	I	127	127	128	194	193	193	190
06	II	126	126	126	187	197	191	202
07	I	157	158	155	163	172	183	189
07	II	150	153	150	210	206	207	198
08	I	139	138	136	173	194	196	194
08	II	146	144	145	198	200	199	199
09	I	131	131	129	188	189	190	193
09	II	125	125	126	193	196	200	204
10	I	146	147	146	190	203	206	208
10	II	152	152	152	211	205	204	202
11	I	167	167	165	199	192	186	187

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	bmt	bm234	btplg	hT1	h1	h2	h3
11	II	164	162	164	186	186	192	192
12	I	161	159	161	197	192	195	196
12	II	163	164	163	193	194	194	189
13	I	137	136	137	197	197	203	194
13	II	141	141	143	197	195	191	194
14	I	173	173	173	198	200	200	204
14	II	174	175	168	195	192	192	193
15	I	189	191	187	190	192	195	198
15	II	186	186	186	198	203	200	198
16	I	160	162	156	191	197	196	198
16	II	143	142	142	201	202	201	191
17	I	145	145	143	191	195	197	200
17	II	145	144	145	202	201	199	185
18	I	157	159	157	196	191	189	190
18	II	140	139	140	189	186	187	188
19	I	151	154	149	198	205	220	201
19	II	148	148	147	207	206	198	195
20	I	128	128	129	192	197	206	205
20	II	134	133	136	201	202	198	195
21	I	139	140	140	194	192	191	188
21	II	136	136	136	179	174	176	176
22	0	158	159	157	182	181	181	148
23	0	152	152	153	185	180	181	168
24	0	136	136	137	207	214	222	225

N	S	h4	h5	hT2	hmt	hm234	htplg	bnlc	hnlc
01	I	198	197	196	193	193	194	176	192
01	II	197	183	190	196	200	195	166	198
02	I	201	202	205	200	202	199	135	204
02	II	193	191	179	200	200	197	133	192
03	I	186	184	187	187	188	187	147	185
03	II	185	185	185	186	186	186	146	184
04	I	188	185	181	193	191	194	163	186
04	II	204	211	212	194	192	195	158	201
05	I	189	191	187	190	190	190	165	186
05	II	190	190	183	190	190	188	169	188

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	h4	h5	hT2	hmt	hm234	htplg	bnlc	hnlc
06	I	187	186	187	190	190	190	125	189
06	II	197	200	193	197	197	195	126	191
07	I	198	204	213	189	190	189	157	186
07	II	198	194	186	201	201	200	155	211
08	I	192	196	197	194	194	192	122	196
08	II	196	194	174	198	198	194	157	175
09	I	193	197	193	192	192	192	126	191
09	II	208	211	191	204	204	200	122	196
10	I	211	209	210	207	208	205	143	210
10	II	199	196	198	201	202	202	148	197
11	I	183	179	184	185	185	187	163	191
11	II	192	194	178	191	192	189	160	188
12	I	189	194	194	193	193	194	162	194
12	II	189	188	192	191	191	191	158	190
13	I	196	196	197	197	198	197	134	196
13	II	196	195	200	194	194	195	144	199
14	I	202	208	192	203	202	201	170	201
14	II	192	192	186	192	192	192	172	190
15	I	200	199	198	197	198	196	183	193
15	II	199	198	198	200	199	199	178	198
16	I	204	207	206	200	199	200	150	204
16	II	185	181	184	192	192	192	140	188
17	I	200	201	200	199	199	198	130	195
17	II	187	186	189	192	190	193	132	185
18	I	193	187	188	190	191	191	160	192
18	II	192	195	194	190	189	190	136	190
19	I	211	210	210	209	211	208	141	208
19	II	195	197	180	198	196	197	138	191
20	I	202	202	199	202	204	200	131	201
20	II	193	190	180	196	195	194	131	197
21	I	184	178	180	187	188	187	144	182
21	II	175	171	179	174	176	176	134	172
22	0	176	180	182	173	168	176	155	180
23	0	182	182	181	179	177	180	157	182
24	0	216	207	214	217	221	215	142	205

N	S	PS	Lizq	Lder	L
01	I	1	942	911	5456
01	II	1	874	885	5378
02	I	1	916	925	5460

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	PS	Lizq	Lder	L
02	II	1	898	925	5440
03	I	1	924	923	5452
03	II	1	907	905	5428
04	I	1	918	916	5438
04	II	1	929	921	5458
05	I	1	921	928	5444
05	II	1	667	0	4930
06	I	1	920	925	5450
06	II	1	314	307	4232
07	I	1	918	926	5450
07	II	1	236	232	4077
08	I	1	921	935	5446
08	II	1	917	918	5442
09	I	1	925	916	5450
09	II	1	853	848	5310
10	I	1	919	919	5450
10	II	1	582	584	4787
11	I	1	917	913	5434
11	II	1	867	852	5324
12	I	1	917	919	5440
12	II	1	889	895	5392
13	I	1	925	901	5430
13	II	1	869	866	5346
14	I	1	922	916	5440
14	II	1	892	892	5390
15	I	1	913	917	5434
15	II	1	867	871	5346
16	I	1	921	919	5444
16	II	1	900	896	5400
17	I	1	911	842	5441
17	II	1	789	994	5392
18	I	2	985	912	5440
18	II	2	662	656	4938
19	I	1	916	918	5439
19	II	1	896	891	5390
20	I	1	933	923	5450
20	II	1	914	810	5320
21	I	1	998	825	5434
21	II	1	895	899	5399
22	0	0	860	869	5346
23	0	0	921	926	5448

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	PS	Lizq	Lder	L
24	0	0	912	929	5450

D3- Datos de contenido de humedad

N	S	MC1	MC2	MC3	MCmt
01	I	12.2	11.0	10.7	10.60
01	II	10.7	9.9	10.9	9.80
02	I	8.7	11.1	10.7	9.47
02	II	10.7	10.5	12.4	10.50
03	I	9.7	11.0	10.4	9.67
03	II	10.3	10.5	11.8	10.17
04	I	12.0	10.4	10.5	10.27
04	II	9.6	12.8	11.5	10.60
05	I	8.8	11.5	8.9	9.04
05	II	10.0	11.8	12.6	10.77
06	I	9.6	8.2	9.4	8.37
06	II	9.3	10.3	9.3	8.94
07	I	9.8	10.0	9.1	8.94
07	II	9.3	9.5	9.2	8.64
08	I	10.8	10.1	11.9	10.24
08	II	9.9	10.1	9.4	9.10
09	I	9.8	8.1	9.0	8.27
09	II	9.8	11.9	10.7	10.10
10	I	12.4	11.1	12.1	11.17
10	II	11.6	10.8	11.9	10.74
11	I	13.2	11.0	11.3	11.14
11	II	12.2	10.4	12.6	11.04
12	I	9.8	9.5	9.1	8.77
12	II	10.5	10.4	12.4	10.40
13	I	10.0	8.5	10.2	8.87
13	II	9.0	9.6	12.0	9.50
14	I	10.8	11.6	11.8	10.70
14	II	11.2	11.6	10.5	10.40
15	I	11.9	12.0	8.3	10.04
15	II	10.0	10.5	10.0	9.47
16	I	12.7	11.3	12.8	11.57
16	II	10.6	10.5	14.2	11.07
17	I	11.4	8.9	9.7	9.30
17	II	9.4	10.0	10.9	9.40
18	I	13.1	9.3	10.0	10.10

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MC1	MC2	MC3	MCmt
18	II	9.7	11.0	12.3	10.30
19	I	11.6	10.5	11.9	10.64
19	II	8.9	9.6	10.1	8.84
20	I	11.1	9.4	9.9	9.44
20	II	9.5	10.5	11.2	9.70
21	I	9.5	9.4	9.9	8.90
21	II	9.1	9.5	9.4	8.64
22	0	8.6	10.4	13.2	10.04
23	0	10.5	8.9	11.8	9.70
24	0	12.5	13.3	11.5	11.74

N	S	MCslice	WMASS	DMASS
01	I	8.3	1582.4	1455.8
01	II	7.4	1633.2	1505.0
02	I	6.5	1378.2	1272.1
02	II	5.8	1661.7	1536.0
03	I	6.4	1387.1	1278.9
03	II	6.3	1423.1	1309.7
04	I	5.9	1518.1	1408.3
04	II	6.8	1803.4	1663.1
05	I	6.4	1460.3	1345.1
05	II	6.5	1618.9	1488.1
06	I	6.0	1121.5	1036.3
06	II	6.5	1297.4	1201.2
07	I	6.1	1361.2	1256.9
07	II	5.9	1668.2	1563.5
08	I	6.6	1071.9	991.6
08	II	5.5	2076.5	1868.7
09	I	5.7	1184.4	1095.0
09	II	6.8	1303.3	1202.3
10	I	9.7	1555.9	1443.0
10	II	5.4	1687.5	1559.9
11	I	7.5	1289.4	1185.1
11	II	7.1	1460.4	1343.0
12	I	6.3	1619.8	1495.1
12	II	6.5	1760.6	1632.3
13	I	5.8	1242.0	1154.7
13	II	6.7	1557.7	1438.1
14	I	6.0	1461.9	1350.4
14	II	9.1	1530.5	1410.2
15	I	5.9	1721.0	1592.8

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MCslice	WMASS	DMASS
15	II	6.5	2201.5	2049.1
16	I	6.6	1573.9	1446.2
16	II	7.7	1432.8	1322.6
17	I	7.1	1052.3	969.2
17	II	6.5	1276.1	1177.4
18	I	9.3	1574.3	1446.5
18	II	9.6	1139.2	1044.5
19	I	6.8	1480.2	1390.3
19	II	5.9	1505.0	1365.7
20	I	7.4	1150.7	1059.0
20	II	6.4	1201.7	1111.2
21	I	7.1	1180.0	1088.3
21	II	7.0	1179.3	1087.4
22	0	7.0	1758.2	1615.2
23	0	8.6	1614.5	1489.7
24	0	6.7	1525.3	1410.5

N	S	MC4	MC5
01	I	8.7	9.30
01	II	8.5	7.70
02	I	8.3	8.20
02	II	8.2	8.40
03	I	8.5	7.70
03	II	8.7	9.60
04	I	7.8	6.70
04	II	8.4	8.10
05	I	8.6	6.40
05	II	8.8	7.20
06	I	8.2	7.30
06	II	8.0	7.50
07	I	8.3	7.50
07	II	6.7	6.60
08	I	8.1	7.50
08	II	11.1	8.90
09	I	8.2	7.60
09	II	8.4	7.50
10	I	7.8	5.10
10	II	8.2	7.50
11	I	8.8	9.00
11	II	8.7	8.90

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MC4	MC5
12	I	8.3	8.00
12	II	7.9	7.60
13	I	7.6	6.50
13	II	8.3	9.60
14	I	8.3	6.90
14	II	8.5	10.00
15	I	8.0	9.60
15	II	7.4	8.40
16	I	8.8	7.40
16	II	8.3	8.70
17	I	8.6	10.30
17	II	8.4	7.80
18	I	8.8	8.70
18	II	9.1	8.70
19	I	6.5	7.40
19	II	10.2	9.80
20	I	8.7	8.30
20	II	8.1	7.00
21	I	8.4	7.80
21	II	8.5	8.80
22	0	8.9	9.60
23	0	8.4	6.60
24	0	8.1	7.50

D4- Datos de densidad

N	S	Masa	AT1	A1	A2	A3	A4	A5	AT2
01	I	88.56	33174	35328	34034	35126	34650	33687	34104
01	II	85.90	34104	33066	33936	33128	31520	27633	30210
02	I	70.72	21692	22815	25578	26733	27537	27674	27470
02	II	86.78	27744	27872	27948	28826	26441	26358	22554
03	I	77.14	27360	28012	27636	29106	28272	27784	27302
03	II	77.68	27863	28050	27342	27156	25345	26270	26455
04	I	87.02	34768	33048	31878	30832	29704	30710	29322
04	II	88.56	29666	28574	28576	27633	32028	32916	34344
05	I	85.52	33150	31941	32088	31920	30618	32470	31416
05	II	77.69	30132	31350	31563	32490	32870	32110	33306
06	I	62.94	25026	24704	24897	24130	23375	23436	24123
06	II	54.76	24310	24822	23875	25654	24625	25200	24318

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Masa	AT1	A1	A2	A3	A4	A5	AT2
07	I	77.54	21842	25628	28548	29862	31878	33252	35358
07	II	65.86	34020	32960	33534	31086	27918	25608	24924
08	I	67.42	22144	31040	30184	24638	25344	23520	25216
08	II	91.00	25938	29200	28855	28059	28420	29294	27492
09	I	66.90	23500	24948	24890	25283	25090	25610	24318
09	II	74.48	24704	24696	25200	25296	25792	26586	23875
10	I	82.34	27550	29638	30694	30160	30806	30305	30870
10	II	81.96	31017	30135	31008	30300	30646	30772	31086
11	I	74.48	32636	32256	30504	30855	31293	30251	28704
11	II	80.06	29016	29760	30720	31680	31104	33368	31328
12	I	83.10	30338	30912	30615	31360	30051	32592	32010
12	II	95.58	31845	31816	32204	30240	31374	29892	31488
13	I	68.60	26595	26792	27405	26772	26656	27636	27186
13	II	79.20	27186	27105	26167	27160	28812	28080	30600
14	I	80.04	33264	34000	34000	35700	35350	36400	33792
14	II	78.84	34515	33600	33600	32617	34944	32832	23250
15	I	110.94	34390	36288	36855	37818	38400	37014	36036
15	II	121.78	35442	36946	36400	36630	38009	37818	38214
16	I	80.34	25785	28959	30576	33066	33456	33948	32342
16	II	78.46	31356	31512	30150	26740	25160	24073	23184
17	I	64.82	23684	26130	26989	29000	30800	31155	30400
17	II	73.18	30300	30753	29253	27195	25993	25482	27027
18	I	84.62	32144	31324	30996	29830	29915	27302	27636
18	II	60.44	27405	26598	26367	25756	26688	27300	26772
19	I	86.72	29700	30750	34320	31557	31228	30240	29610
19	II	87.26	28773	29046	29304	27690	30030	30338	27720
20	I	60.20	27072	26004	26986	26035	25250	24846	24676
20	II	68.00	25326	24846	25938	25740	26441	27740	28080
21	I	64.50	26578	25920	25785	26508	26312	25276	26100
21	II	64.34	25418	24186	24288	23232	23975	22914	23270
22	0	96.74	30030	29322	28055	23236	28864	27180	26754
23	0	81.64	29045	27000	26426	25368	28938	27664	27874
24	0	80.20	29187	29746	30636	31275	28512	27531	29318

N	S	VT11	V12	V23	V34	V45	V5T2	Vt
01	I	32259124	31211089	31120707	31398956	30750632	30878606	0.188
01	II	29352122	30150053	30178070	29088600	26599673	25587056	0.171
02	I	20382043	21765009	23538037	24420607	24844925	25504042	0.140
02	II	24971562	25118992	25547282	24862427	23759540	22598961	0.147
03	I	25581273	25041409	25531043	25819191	25224881	25421865	0.153
03	II	25356498	24925721	24524052	23620763	23225507	23858014	0.146

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	VT11	V12	V23	V34	V45	V5T2	Vt
04	I	31124206	29215119	28218191	27239623	27185044	27492206	0.170
04	II	27050895	25717500	25292863	26823135	29223889	30970903	0.165
05	I	29972682	28813025	28803567	28140067	28385522	29641759	0.174
05	II	20502906	28310796	28822844	29411834	29240333	0	0.136
06	I	22875640	22320394	22061250	21376350	21064944	21995272	0.132
06	II	7713584	21912269	22283256	22623970	22420752	7600611	0.105
07	I	21765594	24367388	26282283	27778062	29306326	31761440	0.161
07	II	7903310	29921928	29072042	26539034	24079220	5861533	0.123
08	I	24376216	27549902	24627713	22491152	21983692	22779480	0.144
08	II	25266013	26124596	25610465	25415377	25970307	26060398	0.154
09	I	22403863	22427095	22577619	22667795	22814600	22864471	0.136
09	II	21069100	22452818	22723186	22989239	23569197	21385164	0.134
10	I	26272046	27148014	27383949	27434187	27499642	28109513	0.164
10	II	17794615	27513415	27587987	27425553	27638081	18062458	0.146
11	I	29752812	28238331	27611399	27966368	27693477	26909868	0.168
11	II	25478716	27214857	28078892	28252404	29006435	27555928	0.166
12	I	28082714	27687042	27888078	27632857	28181616	29684217	0.169
12	II	28297314	28808824	28095166	27724735	27567011	27464454	0.168
13	I	24691431	24388130	24379095	24042581	24430073	24697034	0.147
13	II	23589431	23971161	23995763	25183742	25600694	25400626	0.148
14	I	31008085	30600000	31361890	31972371	32286347	32140537	0.189
14	II	30378376	30240000	29796555	30396437	30494263	24889976	0.176
15	I	32260628	32914020	33601919	34297767	33934389	33492424	0.201
15	II	31377940	33005395	32863446	33585639	34122114	33111786	0.198
16	I	25195476	26787456	28631591	29934729	30331531	30457275	0.171
16	II	28290571	27745643	25585156	23351392	22153050	21169887	0.148
17	I	22681154	23902508	25189631	26905936	27879597	25914005	0.152
17	II	24085188	26999887	25395971	23932562	23163370	26093207	0.150
18	I	31257120	28043871	27370023	26885241	25738695	25051574	0.164
18	II	17874328	23834174	23454813	23598558	24294080	17735334	0.131
19	I	27684708	29266799	29635955	28253121	27659409	27470643	0.170
19	II	25902816	26257414	25643871	25966882	27165482	25856069	0.157
20	I	24758283	23844135	23858171	23077349	22542956	22854358	0.141
20	II	22928254	22851039	23255043	23480744	24379114	22606960	0.140
21	I	26195816	23267224	23531100	23768945	23213039	21191691	0.141
21	II	22195507	21813284	21382240	21242273	21098249	20759502	0.128
22	0	25520755	25817551	23046917	23399270	25216004	23434079	0.146
23	0	25802994	24041237	23305679	24420079	25468749	25714033	0.149
24	0	26873045	27170916	27859455	26894568	25218062	26402011	0.160

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	DenGlo	DenGlo12	Alc	Vlc	Denlc
01	I	472	470	33792	3379200	468
01	II	502	503	32868	3286800	497
02	I	504	505	27540	2754000	500
02	II	591	589	25536	2553600	651
03	I	505	506	27195	2719500	510
03	II	534	533	26864	2686400	530
04	I	510	510	30318	3031800	501
04	II	536	535	31758	3175800	568
05	I	492	495	30690	3069000	476
05	II	570	567	31772	3177200	510
06	I	478	482	23625	2362500	475
06	II	524	527	24066	2406600	539
07	I	481	484	29202	2920200	466
07	II	534	538	32705	3270500	510
08	I	469	468	23912	2391200	448
08	II	589	592	27475	2747500	756
09	I	493	498	24066	2406600	492
09	II	555	555	23912	2391200	545
10	I	503	499	30030	3003000	518
10	II	561	559	29156	2915600	579
11	I	443	440	31133	3113300	414
11	II	483	481	30080	3008000	486
12	I	491	495	31428	3142800	515
12	II	569	568	30020	3002000	586
13	I	468	471	26264	2626400	473
13	II	536	537	28656	2865600	544
14	I	423	421	34170	3417000	428
14	II	447	446	32680	3268000	468
15	I	553	553	35319	3531900	487
15	II	615	617	35244	3524400	625
16	I	469	465	30600	3060000	514
16	II	529	526	26320	2632000	544
17	I	425	427	25350	2535000	415
17	II	489	490	24420	2442000	523
18	I	515	514	30720	3072000	512
18	II	462	461	25840	2584000	441
19	I	510	508	29328	2932800	505
19	II	557	560	26358	2635800	571
20	I	427	428	26331	2633100	437
20	II	487	488	25807	2580700	466
21	I	457	460	26208	2620800	450

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	DenGlo	DenGlo12	Alc	Vlc	Denlc
21	II	501	504	23048	2304800	512
22	0	661	660	27900	2790000	630
23	0	549	550	28574	2857400	565
24	0	500	495	29110	2911000	524

N	S	Denlc12	Ar	Vr	DenReal	DenReal12
01	I	476	32142	3214200	492	500
01	II	506	31849	3184900	513	522
02	I	509	26241	2624100	525	535
02	II	662	24943	2494300	666	679
03	I	519	27007	2700700	514	523
03	II	539	25692	2569200	554	563
04	I	510	28878	2887800	526	537
04	II	578	30537	3053700	591	601
05	I	484	30062	3006200	486	494
05	II	519	31003	3100300	522	531
06	I	483	23247	2324700	482	492
06	II	549	23848	2384800	544	555
07	I	475	26807	2680700	508	517
07	II	519	32213	3221300	518	532
08	I	456	21748	2174800	493	502
08	II	769	26261	2626100	791	794
09	I	501	24087	2408700	492	501
09	II	555	24110	2411000	541	550
10	I	527	29467	2946700	528	539
10	II	589	29062	2906200	581	592
11	I	422	29346	2934600	439	446
11	II	494	29615	2961500	493	501
12	I	525	30911	3091100	524	534
12	II	597	29299	2929900	601	613
13	I	481	25147	2514700	494	505
13	II	553	26423	2642300	590	600
14	I	436	32507	3250700	450	458
14	II	477	30970	3097000	494	503
15	I	496	32333	3233300	532	543
15	II	636	34065	3406500	646	661
16	I	524	31584	3158400	498	506
16	II	554	26094	2609400	549	559
17	I	423	24336	2433600	432	440
17	II	532	24818	2481800	514	523
18	I	522	28392	2839200	554	563

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Denlc12	Ar	Vr	DenReal	DenReal12
18	II	449	25655	2565500	444	451
19	I	514	27364	2736400	541	556
19	II	581	26126	2612600	576	581
20	I	445	25718	2571800	447	455
20	II	474	24395	2439500	493	502
21	I	458	25264	2526400	467	475
21	II	521	22979	2297900	513	522
22	0	642	26761	2676100	657	667
23	0	575	26873	2687300	601	612
24	0	533	27587	2758700	553	564

D5- Datos de mediciones con técnicas no destructivas

D5.1- Datos con el equipo Portable Lumber Grader

N	S	FrecPLG	VelPLG	EdinL
01	I	446	4867	11180
01	II	465	5002	12569
02	I	435	4750	11361
02	II	427	4646	12754
03	I	393	4285	9282
03	II	434	4712	11850
04	I	416	4524	10449
04	II	452	4934	13060
05	I	414	4508	10001
05	II	473	4664	12399
06	I	371	4044	7816
06	II	543	4596	11063
07	I	430	4687	10563
07	II	584	4762	12105
08	I	403	4389	9033
08	II	411	4473	11790
09	I	362	3946	7673
09	II	413	4386	10678
10	I	421	4589	10583
10	II	539	5160	14947
11	I	421	4575	9271
11	II	451	4802	11150
12	I	443	4820	11412
12	II	465	5015	14310
13	I	429	4659	10155

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	FrecPLG	VelPLG	EdinL
13	II	452	4833	12520
14	I	433	4711	9381
14	II	492	5304	12587
15	I	430	4673	12084
15	II	383	4095	10311
16	I	411	4475	9390
16	II	434	4687	11624
17	I	403	4385	8176
17	II	444	4788	11209
18	I	440	4787	11800
18	II	439	4336	8686
19	I	404	4395	9854
19	II	402	4334	10452
20	I	429	4676	9340
20	II	468	4980	12087
21	I	397	4315	8506
21	II	436	4708	11099
22	0	407	4352	12510
23	0	402	4380	10530
24	0	416	4534	10279

D5.2- Datos con el equipo MicroSecond Timer

N	S	TmstTTsup	TmstTTinf	TmstTTmed	VmstTTmed
01	I	1082	1078	1080	5052
01	II	1046	1042	1044	5151
02	I	1084	1106	1095	4986
02	II	1128	1137	1132.5	4804
03	I	1192	1192	1192	4574
03	II	1096	1093	1094.5	4959
04	I	1110	1116	1113	4886
04	II	1018	1046	1032	5289
05	I	1137	1124	1130.5	4816
05	II	1024	1015	1019.5	4836
06	I	1267	1258	1262.5	4317
06	II	865	867	866	4887
07	I	1105	1110	1107.5	4921
07	II	796	807	801.5	5087
08	I	1111	1130	1120.5	4860
08	II	1180	1186	1183	4600

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	TmstTTsup	TmstTTinf	TmstTTmed	VmstTTmed
09	I	1280	1251	1265.5	4307
09	II	1111	1113	1112	4775
10	I	1063	1088	1075.5	5067
10	II	901	910	905.5	5287
11	I	1117	1083	1100	4940
11	II	1072	1058	1065	4999
12	I	1063	1045	1054	5161
12	II	1018	1026	1022	5276
13	I	1073	1033	1053	5157
13	II	1054	1014	1034	5170
14	I	1119	1124	1121.5	4851
14	II	1028	1068	1048	5143
15	I	1118	1107	1112.5	4884
15	II	1112	1106	1109	4821
16	I	1173	1156	1164.5	4675
16	II	1122	1120	1121	4817
17	I	1150	1150	1150	4731
17	II	1038	1029	1033.5	5217
18	I	1057	1081	1069	5089
18	II	1065	1052	1058.5	4665
19	I	1167	1168	1167.5	4659
19	II	1130	1122	1126	4787
20	I	1172	1107	1139.5	4783
20	II	1008	1000	1004	5299
21	I	1150	1161	1155.5	4703
21	II	1054	1072	1063	5079
22	0	1129	1160	1144.5	4671
23	0	1155	1135	1145	4758
24	0	1100	1122	1111	4905

N	S	EdinMSTmedTT	Tmst18Hsup13	Tmst18Hinf13	Tmst18Hmed13
01	I	12047	757	748	753
01	II	13334	727	710	719
02	I	12519	746	783	765
02	II	13635	789	805	797
03	I	10574	832	828	830
03	II	13130	745	740	743
04	I	12186	775	792	784
04	II	15006	703	728	716
05	I	11414	769	786	778
05	II	13330	735	762	749

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	EdinMSTmedTT	Tmst18Hsup13	Tmst18Hinf13	Tmst18Hmed13
06	I	8906	853	895	874
06	II	12508	770	805	788
07	I	11644	782	792	787
07	II	13812	757	757	757
08	I	11075	756	780	768
08	II	12468	802	816	809
09	I	9140	877	883	880
09	II	12656	796	832	814
10	I	12905	756	777	767
10	II	15687	726	727	727
11	I	10808	806	772	789
11	II	12083	793	774	784
12	I	13087	753	728	741
12	II	15840	718	784	751
13	I	12441	744	710	727
13	II	14330	764	706	735
14	I	9945	778	758	768
14	II	11836	705	721	713
15	I	13201	783	776	780
15	II	14288	881	813	847
16	I	10248	819	831	825
16	II	12277	781	781	781
17	I	9517	813	810	812
17	II	13309	718	753	736
18	I	13334	746	799	773
18	II	10057	782	808	795
19	I	11073	824	841	833
19	II	12752	800	798	799
20	I	9771	790	772	781
20	II	13686	719	694	707
21	I	10105	801	811	806
21	II	12917	745	756	751
22	0	14414	774	808	791
23	0	12425	823	801	812
24	0	12031	759	794	777

N	S	Vmst18Hmed13	Edin18Hmst13	Tmst18HC2
01	I	4790	10829	752
01	II	5015	12639	736
02	I	4712	11179	756
02	II	4520	12073	764

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Vmst18Hmed13	Edin18Hmst13	Tmst18HC2
03	I	4341	9525	840
03	II	4852	12570	738
04	I	4600	10799	774
04	II	5036	13607	694
05	I	4635	10575	778
05	II	4815	13215	764
06	I	4122	8119	868
06	II	4574	10959	774
07	I	4579	10080	777
07	II	4760	12092	744
08	I	4691	10317	751
08	II	4454	11687	784
09	I	4094	8258	876
09	II	4425	10870	781
10	I	4701	11104	750
10	II	4960	13807	742
11	I	4568	9240	793
11	II	4600	10229	805
12	I	4867	11635	753
12	II	4798	13103	738
13	I	4956	11489	740
13	II	4902	12880	762
14	I	4693	9308	793
14	II	5055	11434	721
15	I	4625	11834	772
15	II	4256	11137	820
16	I	4368	8945	843
16	II	4613	11260	787
17	I	4440	8380	810
17	II	4899	11733	740
18	I	4665	11203	745
18	II	4532	9490	792
19	I	4328	9557	824
19	II	4509	11317	831
20	I	4612	9087	795
20	II	5099	12674	735
21	I	4470	9129	814
21	II	4800	11538	745
22	0	4555	13710	772
23	0	4437	10807	817
24	0	4639	10761	771

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Vmst18HC2	Edin18HmstC2
01	I	4787	10818
01	II	4891	12022
02	I	4762	11417
02	II	4712	13120
03	I	4286	9284
03	II	4878	12703
04	I	4651	11043
04	II	5187	14435
05	I	4627	10538
05	II	4712	12657
06	I	4147	8221
06	II	4651	11330
07	I	4633	10322
07	II	4839	12498
08	I	4794	10773
08	II	4592	12423
09	I	4110	8323
09	II	4609	11793
10	I	4800	11579
10	II	4852	13212
11	I	4540	9127
11	II	4472	9669
12	I	4781	11229
12	II	4878	13541
13	I	4865	11073
13	II	4724	11965
14	I	4540	8711
14	II	4993	11155
15	I	4663	12032
15	II	4390	11851
16	I	4270	8551
16	II	4574	11071
17	I	4444	8398
17	II	4865	11572
18	I	4832	12023
18	II	4545	9548
19	I	4369	9739
19	II	4332	10445
20	I	4528	8759
20	II	4898	11694

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Vmst18HC2	Edin18HmstC2
21	I	4423	8937
21	II	4832	11692
22	0	4663	14366
23	0	4406	10656
24	0	4669	10900

D5.3- Datos con el equipo Sylvatest Duo

N	S	TsylTTsup	TsylTTinf	TsylTTmed	VsylTTmed
01	I	1059	1052	1056	5169
01	II	1019	1009	1014	5304
02	I	1071	1077	1074	5084
02	II	1109	1121	1115	4879
03	I	1165	1173	1169	4664
03	II	1073	1070	1072	5066
04	I	1080	1091	1086	5010
04	II	989	1021	1005	5431
05	I	1126	1107	1117	4876
05	II	1004	992	998	4940
06	I	1242	1227	1235	4415
06	II	838	840	839	5044
07	I	1078	1087	1083	5035
07	II	771	781	776	5254
08	I	1111	1130	1121	4860
08	II	1142	1158	1150	4732
09	I	1259	1227	1243	4385
09	II	1085	1085	1085	4894
10	I	1039	1061	1050	5190
10	II	861	868	865	5537
11	I	1096	1069	1083	5020
11	II	1043	1024	1034	5151
12	I	1036	1011	1024	5315
12	II	994	985	990	5449
13	I	1071	1043	1057	5137
13	II	1023	994	1009	5301
14	I	1104	1085	1095	4970
14	II	992	1033	1013	5323
15	I	1090	1074	1082	5022
15	II	1086	1084	1085	4927
16	I	1140	1126	1133	4805

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	TsylTTsup	TsylTTinf	TsylTTmed	VsylTTmed
16	II	1089	1091	1090	4954
17	I	1114	1115	1115	4882
17	II	1009	1008	1009	5347
18	I	1021	1042	1032	5274
18	II	1027	1023	1025	4818
19	I	1132	1118	1125	4835
19	II	1105	1095	1100	4900
20	I	1080	1069	1075	5072
20	II	996	980	988	5385
21	I	1124	1139	1132	4802
21	II	1013	1040	1027	5260
22	0	1101	1129	1115	4795
23	0	1121	1108	1115	4888
24	0	1082	1092	1087	5014

N	S	EdinsylmedTT	Tsyl18Hsup13	Tsyl18Hinf13	Tsyl18Hmed13
01	I	12612	705	702	704
01	II	14134	678	674	676
02	I	13013	717	752	735
02	II	14066	768	741	755
03	I	10994	782	816	799
03	II	13700	713	721	717
04	I	12811	721	715	718
04	II	15823	658	695	677
05	I	11702	726	736	731
05	II	13910	715	728	722
06	I	9315	799	827	813
06	II	13326	715	740	728
07	I	12188	722	741	732
07	II	14735	697	706	702
08	I	11075	756	780	768
08	II	13194	749	763	756
09	I	9474	835	850	843
09	II	13294	767	770	769
10	I	13539	688	727	708
10	II	17210	667	663	665
11	I	11160	758	718	738
11	II	12831	728	694	711
12	I	13878	707	684	696
12	II	16898	676	676	676
13	I	12347	716	684	700

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	EdinsylmedTT	Tsyl18Hsup13	Tsyl18Hinf13	Tsyl18Hmed13
13	II	15064	711	651	681
14	I	10442	740	717	729
14	II	12681	652	652	652
15	I	13956	728	731	730
15	II	14927	835	748	792
16	I	10826	768	774	771
16	II	12985	709	705	707
17	I	10132	712	741	727
17	II	13977	675	706	691
18	I	14321	678	717	698
18	II	10725	742	746	744
19	I	11926	766	773	770
19	II	13362	755	732	744
20	I	10989	724	723	724
20	II	14133	687	671	679
21	I	10538	751	757	754
21	II	13852	689	693	691
22	0	15187	721	755	738
23	0	13115	771	753	762
24	0	12568	725	744	735

N	S	Vsyl18Hmed13	Edin18Hsyl13
01	I	5123	12391
01	II	5331	14278
02	I	4904	12111
02	II	4775	13472
03	I	4510	10279
03	II	5025	13480
04	I	5019	12859
04	II	5327	15221
05	I	4930	11964
05	II	4995	14222
06	I	4431	9383
06	II	4951	12841
07	I	4926	11668
07	II	5136	14082
08	I	4691	10317
08	II	4766	13383
09	I	4276	9010
09	II	4687	12195
10	I	5092	13033

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Vsyl18Hmed13	Edin18Hsyl13
10	II	5418	16479
11	I	4883	10562
11	II	5069	12422
12	I	5182	13190
12	II	5331	16172
13	I	5147	12392
13	II	5290	15004
14	I	4947	10345
14	II	5528	13673
15	I	4942	13511
15	II	4554	12754
16	I	4674	10242
16	II	5096	13740
17	I	4959	10456
17	II	5218	13312
18	I	5166	13741
18	II	4842	10836
19	I	4682	11186
19	II	4846	13070
20	I	4979	10589
20	II	5306	13722
21	I	4778	10431
21	II	5214	13611
22	0	4883	15750
23	0	4729	12271
24	0	4905	12027

N	S	Tsyl18HC2	Vsyl18HC2	Edin18HsylC2
01	I	728	4945	11543
01	II	716	5028	12702
02	I	719	5007	12623
02	II	734	4905	14215
03	I	806	4467	10083
03	II	711	5063	13686
04	I	741	4858	12048
04	II	675	5333	15260
05	I	770	4675	10758
05	II	739	4871	13528
06	I	840	4286	8778
06	II	720	5000	13094

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	Tsyl18HC2	Vsyl18HC2	Edin18HsylC2
07	I	717	5021	12122
07	II	693	5195	14405
08	I	751	4794	10773
08	II	760	4737	13220
09	I	829	4343	9293
09	II	733	4911	13388
10	I	709	5078	12956
10	II	650	5538	17217
11	I	767	4694	9757
11	II	745	4832	11290
12	I	685	5255	13569
12	II	683	5271	15810
13	I	719	5007	11729
13	II	715	5035	13590
14	I	758	4749	9534
14	II	672	5357	12842
15	I	735	4898	13274
15	II	788	4569	12833
16	I	768	4688	10303
16	II	731	4925	12832
17	I	743	4845	9980
17	II	680	5294	13704
18	I	669	5381	14910
18	II	745	4832	10790
19	I	755	4768	11600
19	II	769	4681	12197
20	I	736	4891	10219
20	II	663	5430	14372
21	I	758	4749	10306
21	II	685	5255	13830
22	0	743	4845	15509
23	0	779	4621	11721
24	0	745	4832	11674

D5.4- Datos con el equipo USLab

N	S	TuslabTTsup	TuslabTTinf	TuslabTTmed
01	I	970	965	968
01	II	938	930	934
02	I	980	995	988

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	TuslabTTsup	TuslabTTinf	TuslabTTmed
02	II	1024	1082	1053
03	I	1080	1079	1080
03	II	984	986	985
04	I	1000	1006	1003
04	II	915	936	926
05	I	1048	1038	1043
05	II	927	924	926
06	I	1144	1134	1139
06	II	767	769	768
07	I	989	1004	997
07	II	710	717	714
08	I	1002	1031	1017
08	II	1059	1072	1066
09	I	1161	1133	1147
09	II	996	997	997
10	I	963	982	973
10	II	793	806	800
11	I	1007	988	998
11	II	961	944	953
12	I	954	931	943
12	II	921	911	916
13	I	987	963	975
13	II	946	911	929
14	I	1012	1003	1008
14	II	911	948	930
15	I	999	990	995
15	II	1010	1001	1006
16	I	1051	1037	1044
16	II	1000	996	998
17	I	1024	1025	1025
17	II	932	928	930
18	I	945	968	957
18	II	950	940	945
19	I	1042	1033	1038
19	II	1022	1010	1016
20	I	991	974	983
20	II	917	904	911
21	I	1039	1047	1043
21	II	940	961	951
22	0	1015	1043	1029
23	0	1045	1034	1040

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	TuslabTTsup	TuslabTTinf	TuslabTTmed
24	0	1005	1012	1009

N	S	VuslabTTmed	EdinUSLmedTT
01	I	5639	15011
01	II	5758	16659
02	I	5529	15393
02	II	5166	15771
03	I	5050	12892
03	II	5511	16211
04	I	5422	15005
04	II	5897	18658
05	I	5220	13409
05	II	5327	16175
06	I	4785	10942
06	II	5510	15903
07	I	5469	14383
07	II	5714	17429
08	I	5358	13457
08	II	5107	15370
09	I	4752	11126
09	II	5329	15760
10	I	5604	15783
10	II	5987	20122
11	I	5448	13143
11	II	5590	15105
12	I	5772	16366
12	II	5886	19719
13	I	5569	14511
13	II	5758	17771
14	I	5400	12323
14	II	5799	15046
15	I	5464	16520
15	II	5317	17380
16	I	5215	12750
16	II	5411	15490
17	I	5311	11991
17	II	5798	16436
18	I	5687	16655
18	II	5225	12618
19	I	5242	14022
19	II	5305	15663

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	VuslabTTmed	EdinUSLmedTT
20	I	5547	13143
20	II	5843	16642
21	I	5210	12402
21	II	5680	16156
22	0	5195	17832
23	0	5241	15075
24	0	5404	14600

D5.5- Datos con el equipo de Arranque de Tornillos

N	S	MAT1F	MAT2F	MAT3F	MAT4F	MAT5F
01	I	1.03	1.31	1.27	1.18	1.04
01	II	1.39	1.37	1.6	1.42	1.24
02	I	1.04	1.13	1.22	1.58	1.32
02	II	1.31	1.22	1.17	1.66	1.52
03	I	0.97	1.03	1.17	1.16	1.2
03	II	1.51	1.51	1.44	1.42	1.31
04	I	1.14	1.32	1.28	1.14	1.24
04	II	0.89	1.24	1.33	2.22	1.87
05	I	1.45	1.18	1.28	1.43	1.26
05	II	1.68	1.39	1.4	1.88	1.82
06	I	0.91	1.05	1.18	1.19	0.96
06	II	1.75	0.92	1.58	1.3	1.14
07	I	1.34	1.45	1.4	1.53	1.51
07	II	1.56	1.09	1	1.36	1.12
08	I	0.91	0.99	0.94	1.02	1.21
08	II	1.52	1.52	1.44	1.69	1.63
09	I	0.98	0.96	1.24	1.21	1.14
09	II	1.38	1.49	1.66	1.89	1.57
10	I	1.4	1.34	1.5	1.57	1.35
10	II	1.2	1.14	1.49	1.34	1.02
11	I	1.19	1.09	1.18	0.87	0.62
11	II	0.79	0.67	0.85	1.05	1.14
12	I	1.08	0.93	1.05	0.86	0.96
12	II	1.06	1.01	0.97	1.38	1.39
13	I	1.1	1.23	1.37	1.22	1.05
13	II	1.17	1.28	1.56	1.42	0.9
14	I	0.86	1.04	0.99	1.24	0.91
14	II	0.78	1.05	0.78	0.99	1.37
15	I	0.92	0.86	0.79	1.1	1.56

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MAT1F	MAT2F	MAT3F	MAT4F	MAT5F
15	II	1.37	1.34	1.4	1.54	2.46
16	I	0.92	0.84	0.64	1.11	0.72
16	II	1.03	0.9	1.16	1.36	1.18
17	I	0.65	0.75	0.79	0.79	0.82
17	II	0.93	1.13	0.97	1.38	1.28
18	I	1.12	1.29	1.22	1.15	1.13
18	II	0.85	0.66	0.66	0.7	0.43
19	I	1.3	1.21	1.39	1.06	1.25
19	II	0.95	1.03	1.6	1.65	2.06
20	I	0.76	1.03	0.92	1.05	1.2
20	II	1.07	1.03	1.11	1.41	1.35
21	I	0.84	0.63	1.02	0.9	0.81
21	II	1.01	0.91	1.17	1.04	1.23
22	0	1.56	1.59	2.09	2.11	2.5
23	0	0.86	1.3	1.59	1.57	1.08
24	0	0.81	1.14	1.42	1.18	0.94

N	S	MAT1E	MAT2E	MAT3E	MAT4E	MAT5E
01	I	1.48	1.18	1.12	1.09	1.04
01	II	1.18	1.67	1.55	1.23	0.93
02	I	1.65	1.05	1.07	1.4	1.32
02	II	0.93	1.18	1.81	1.61	1.51
03	I	1.29	1.08	1.37	1.63	1.14
03	II	1.33	1.58	1.34	1.99	1.65
04	I	0.94	1.43	0.96	1.25	1.28
04	II	0.94	0.97	0.6	0.77	1.92
05	I	1	0.91	1.16	1.38	1
05	II	1.19	1.58	1.4	1.42	1.85
06	I	0.95	1.55	1.36	1.25	1
06	II	1.09	1.29	1.11	1.22	1.34
07	I	1.19	1.19	1.39	1.43	1.69
07	II	1.18	1.54	1.47	1.4	1.38
08	I	1.1	1.31	1.08	1.33	1.54
08	II	1.73	1.46	1.46	1.84	2.31
09	I	1.3	1.26	1.54	1.13	1.47
09	II	1.42	1.47	1.17	1.76	2.32
10	I	1.68	1.59	1.42	1.5	1.6
10	II	1.45	1.5	1.47	1.25	1.35
11	I	1.31	0.81	0.76	0.59	1.04
11	II	1.22	1.35	0.83	0.94	0.98
12	I	1.11	1.2	1.11	1.12	0.85

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MAT1E	MAT2E	MAT3E	MAT4E	MAT5E
12	II	1.68	1.15	1.06	1.25	1.18
13	I	0.86	0.83	1.13	1.08	1.12
13	II	1.21	1.09	1.12	0.79	1.32
14	I	0.9	1	1.21	1.03	0.87
14	II	1.12	0.93	1.26	1.1	0.84
15	I	1.11	1.31	1.3	1.31	1.04
15	II	1.47	1.39	1.88	1.15	1.63
16	I	0.76	0.92	0.81	1.01	1.16
16	II	1.65	1.56	2.02	1.05	1.13
17	I	0.93	0.83	0.83	0.83	1.08
17	II	0.91	0.92	1.06	1.41	1.12
18	I	1.26	1.58	1.41	1.22	1.18
18	II	0.62	0.69	0.72	0.88	0.84
19	I	1.06	1.19	1.5	1.81	1.29
19	II	1.41	1.61	1.53	1.78	1.07
20	I	0.75	0.75	0.92	1.12	0.88
20	II	0.96	1.11	1.13	1.4	1.22
21	I	0.65	0.92	1.48	1.15	1.07
21	II	1.5	1.1	1.03	1.31	1.56
22	0	1.58	2.07	2.12	1.74	1.76
23	0	1.3	1.64	1.86	1.38	1.07
24	0	0.89	0.67	1.25	1.18	0.94

D5.6- Datos con el equipo Pilodyn

N	S	PIL1F	PIL2F	PIL3F	PIL4F	PIL5F
01	I	12	13	11	10	11
01	II	11	13	8	12	10
02	I	13	13	10	11	9
02	II	12	9	13	10	12
03	I	18	14	13	11	12
03	II	11	16	14	11	12
04	I	11	10	11	14	13
04	II	11	10	11	11	12
05	I	14	16	14	11	14
05	II	14	11	10	9	11
06	I	12	15	14	14	16
06	II	14	13	9	9	10
07	I	13	10	12	12	10
07	II	11	10	11	11	9

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	PIL1F	PIL2F	PIL3F	PIL4F	PIL5F
08	I	15	16	14	14	14
08	II	13	13	12	9	12
09	I	16	13	11	14	11
09	II	12	14	10	12	13
10	I	18	15	15	14	17
10	II	14	16	13	14	16
11	I	12	14	12	14	13
11	II	14	11	13	11	12
12	I	13	10	11	10	10
12	II	11	9	13	9	9
13	I	12	15	14	15	14
13	II	10	12	11	14	13
14	I	13	13	12	11	13
14	II	12	12	11	11	11
15	I	11	12	13	10	10
15	II	12	12	10	8	10
16	I	16	16	16	13	12
16	II	12	11	11	12	11
17	I	17	15	17	15	12
17	II	13	17	13	12	12
18	I	10	10	10	11	11
18	II	11	14	16	20	17
19	I	11	10	12	13	10
19	II	15	13	9	10	8
20	I	16	11	15	12	13
20	II	12	12	10	10	10
21	I	18	13	14	18	17
21	II	11	12	14	11	9
22	0	9	9	8	8	7
23	0	10	14	13	10	10
24	0	11	10	11	15	12

N	S	PIL1E	PIL2E	PIL3E	PIL4E	PIL5E
01	I	11	10	13	13	15
01	II	11	13	10	10	18
02	I	13	12	13	11	11
02	II	12	11	10	12	13
03	I	14	13	15	12	11
03	II	13	13	12	12	10

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	PIL1E	PIL2E	PIL3E	PIL4E	PIL5E
04	I	12	10	14	12	11
04	II	10	11	10	9	9
05	I	12	13	11	13	12
05	II	10	10	10	9	11
06	I	18	16	13	15	13
06	II	12	12	10	11	11
07	I	14	11	10	13	10
07	II	10	11	10	11	9
08	I	11	11	12	13	12
08	II	11	11	11	12	12
09	I	15	13	12	13	14
09	II	12	10	12	10	11
10	I	13	12	12	10	12
10	II	12	10	13	10	13
11	I	11	12	17	15	12
11	II	14	14	12	13	14
12	I	11	13	10	12	11
12	II	10	10	12	9	9
13	I	12	15	11	9	10
13	II	11	10	10	12	11
14	I	10	13	14	11	13
14	II	14	12	13	12	10
15	I	11	10	12	9	12
15	II	11	10	13	10	11
16	I	15	14	13	10	11
16	II	9	10	9	10	9
17	I	11	12	13	14	12
17	II	15	11	11	10	11
18	I	9	10	12	10	9
18	II	14	13	14	13	17
19	I	11	11	11	9	9
19	II	10	9	10	11	9
20	I	14	12	12	12	13
20	II	11	11	10	10	11
21	I	14	16	12	14	13
21	II	11	13	12	11	10
22	0	10	11	8	9	10
23	0	13	12	10	11	13
24	0	10	12	12	11	12

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

D5.7- Datos con el equipo WoodPecker

N	S	LNAIL	WPPNL1F	WPPNL2F	WPPNL3F	WPPNL4F	WPPNL5F
01	I	46.76	29.30	31.70	29.41	30.64	29.83
01	II	46.78	29.61	29.50	33.26	33.02	32.56
02	I	46.79	26.47	28.46	30.36	30.22	30.70
02	II	46.79	29.60	35.14	33.32	31.08	34.31
03	I	46.76	25.55	27.91	31.04	30.38	30.17
03	II	46.81	30.84	30.76	29.64	30.32	31.26
04	I	46.76	30.86	31.67	28.56	31.42	31.10
04	II	46.76	32.94	31.67	30.95	33.94	32.98
05	I	46.84	26.16	29.32	29.09	30.87	30.84
05	II	46.84	32.18	32.19	31.65	32.99	33.54
06	I	46.76	27.08	27.75	28.03	29.17	30.19
06	II	46.23	30.53	31.68	30.32	30.75	29.07
07	I	46.78	27.25	29.01	26.18	29.72	31.16
07	II	46.23	31.35	30.58	32.24	33.72	29.51
08	I	46.81	27.52	31.62	28.84	28.91	30.09
08	II	46.76	30.12	30.36	30.56	33.25	33.09
09	I	46.73	26.99	29.69	31.83	31.65	31.66
09	II	46.73	31.33	28.87	32.46	32.29	31.60
10	I	46.76	29.45	29.99	29.42	29.85	29.70
10	II	46.24	28.78	29.60	29.06	31.76	29.10
11	I	46.65	30.17	28.44	28.90	29.60	28.04
11	II	46.24	29.56	31.51	29.54	30.95	32.77
12	I	46.02	30.31	30.92	30.81	30.70	30.97
12	II	46.02	31.51	32.06	29.89	32.86	31.77
13	I	46.51	30.48	27.65	26.73	32.25	24.74
13	II	46.12	31.37	31.93	31.75	30.52	30.81
14	I	46.18	26.86	29.09	27.97	28.54	29.66
14	II	46.18	29.25	30.83	31.61	30.26	31.09
15	I	46.24	28.86	29.77	30.28	31.44	32.30
15	II	46.24	31.71	31.21	33.58	34.07	33.70
16	I	46.06	30.09	28.77	26.98	26.36	27.50
16	II	46.06	28.90	30.73	31.46	29.55	27.09
17	I	46.45	25.16	28.06	27.53	27.85	26.74
17	II	46.59	27.21	30.19	30.48	30.75	33.31
18	I	46.45	33.51	32.64	30.91	31.70	30.85
18	II	46.56	25.21	31.18	27.82	28.67	27.08
19	I	46.45	29.05	31.38	31.11	28.81	30.91
19	II	46.21	31.41	29.49	33.42	33.34	33.84
20	I	46.45	25.74	27.43	27.45	27.90	27.45

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	LNAIL	WPPNL1F	WPPNL2F	WPPNL3F	WPPNL4F	WPPNL5F
20	II	46.41	28.71	28.32	29.00	28.99	29.56
21	I	46.59	25.95	25.83	28.06	26.34	29.95
21	II	46.56	28.77	29.96	31.01	30.03	31.21
22	0	46.65	29.70	33.56	34.09	33.93	33.91
23	0	46.66	29.33	30.80	32.22	28.20	28.24
24	0	46.66	31.03	32.14	30.55	31.19	30.34

N	S	WPPNL1E	WPPNL2E	WPPNL3E	WPPNL4E	WPPNL5E
01	I	30.86	31.19	29.39	29.14	29.71
01	II	29.78	30.57	31.26	32.55	27.58
02	I	29.60	28.48	29.02	28.30	29.94
02	II	31.96	29.28	31.05	31.00	30.68
03	I	27.83	30.74	30.62	30.89	29.21
03	II	31.67	32.84	32.80	33.18	31.10
04	I	29.61	27.30	29.58	31.11	31.53
04	II	29.92	30.75	31.03	31.12	33.93
05	I	30.11	28.48	30.14	30.46	32.55
05	II	29.75	32.90	33.16	32.61	33.76
06	I	27.58	33.90	30.09	30.47	32.80
06	II	31.91	31.71	34.40	31.64	31.50
07	I	31.33	31.39	32.50	30.78	30.67
07	II	34.29	31.68	31.77	26.54	32.42
08	I	30.04	30.32	30.62	29.88	32.02
08	II	30.58	31.18	31.22	30.87	35.43
09	I	30.87	29.88	31.83	31.66	31.96
09	II	30.84	33.58	31.12	33.40	32.47
10	I	30.71	31.34	30.31	31.56	31.34
10	II	31.49	31.55	31.56	28.23	31.46
11	I	31.19	29.38	28.85	22.83	21.57
11	II	31.82	31.41	30.26	31.16	26.01
12	I	30.87	31.04	31.49	32.01	30.54
12	II	31.70	31.69	32.00	32.39	29.11
13	I	25.87	23.38	30.15	31.39	26.42
13	II	31.32	30.71	30.73	26.01	27.57
14	I	28.29	29.49	28.66	29.57	29.86
14	II	29.94	32.34	29.46	32.35	31.33
15	I	31.39	31.16	30.70	33.02	31.98
15	II	31.46	31.30	32.41	32.38	33.01
16	I	29.10	28.27	27.25	29.11	29.64
16	II	33.51	31.49	34.16	38.69	33.47
17	I	25.87	26.84	28.34	28.73	26.95

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	WPPNL1E	WPPNL2E	WPPNL3E	WPPNL4E	WPPNL5E
17	II	28.19	31.12	30.02	31.07	32.90
18	I	30.93	33.57	33.40	30.61	31.72
18	II	29.36	30.44	29.29	30.01	27.63
19	I	28.91	30.52	31.65	31.59	31.08
19	II	31.29	32.28	33.05	33.66	32.09
20	I	25.34	25.51	27.73	27.40	26.54
20	II	28.21	28.76	29.34	31.52	31.49
21	I	28.45	30.49	28.85	30.28	30.39
21	II	30.18	30.49	29.31	30.48	31.65
22	0	34.14	33.91	34.22	32.79	33.92
23	0	29.62	29.93	31.16	30.61	31.71
24	0	29.34	30.91	31.73	30.68	30.62

N	S	WP1F	WP2F	WP3F	WP4F	WP5F
01	I	17.46	15.06	17.35	16.12	16.93
01	II	17.17	17.28	13.52	13.76	14.22
02	I	20.32	18.33	16.43	16.57	16.09
02	II	17.19	11.65	13.47	15.71	12.48
03	I	21.21	18.85	15.72	16.38	16.59
03	II	15.97	16.05	17.17	16.49	15.55
04	I	15.90	15.09	18.20	15.34	15.66
04	II	13.82	15.09	15.81	12.82	13.78
05	I	20.68	17.52	17.75	15.97	16.00
05	II	14.66	14.65	15.19	13.85	13.30
06	I	19.68	19.01	18.73	17.59	16.57
06	II	15.70	14.55	15.91	15.48	17.16
07	I	19.53	17.77	20.60	17.06	15.62
07	II	14.88	15.65	13.99	12.51	16.72
08	I	19.29	15.19	17.97	17.90	16.72
08	II	16.64	16.40	16.20	13.51	13.67
09	I	19.74	17.04	14.90	15.08	15.07
09	II	15.40	17.86	14.27	14.44	15.13
10	I	17.31	16.77	17.34	16.91	17.06
10	II	17.46	16.64	17.18	14.48	17.14
11	I	16.48	18.21	17.75	17.05	18.61
11	II	16.68	14.73	16.70	15.29	13.47
12	I	15.71	15.10	15.21	15.32	15.05
12	II	14.51	13.96	16.13	13.16	14.25
13	I	16.03	18.86	19.78	14.26	21.77
13	II	14.75	14.19	14.37	15.60	15.31
14	I	19.32	17.09	18.21	17.64	16.52

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	WP1F	WP2F	WP3F	WP4F	WP5F
14	II	16.93	15.35	14.57	15.92	15.09
15	I	17.38	16.47	15.96	14.80	13.94
15	II	14.53	15.03	12.66	12.17	12.54
16	I	15.97	17.29	19.08	19.70	18.56
16	II	17.16	15.33	14.60	16.51	18.97
17	I	21.29	18.39	18.92	18.60	19.71
17	II	19.38	16.40	16.11	15.84	13.28
18	I	12.94	13.81	15.54	14.75	15.60
18	II	21.35	15.38	18.74	17.89	19.48
19	I	17.40	15.07	15.34	17.64	15.54
19	II	14.80	16.72	12.79	12.87	12.37
20	I	20.71	19.02	19.00	18.55	19.00
20	II	17.70	18.09	17.41	17.42	16.85
21	I	20.64	20.76	18.53	20.25	16.64
21	II	17.79	16.60	15.55	16.53	15.35
22	0	16.95	13.09	12.56	12.72	12.74
23	0	17.33	15.86	14.44	18.46	18.42
24	0	15.63	14.52	16.11	15.47	16.32

N	S	WP1E	WP2E	WP3E	WP4E	WP5E
01	I	15.90	15.57	17.37	17.62	17.05
01	II	17.00	16.21	15.52	14.23	19.20
02	I	17.19	18.31	17.77	18.49	16.85
02	II	14.83	17.51	15.74	15.79	16.11
03	I	18.93	16.02	16.14	15.87	17.55
03	II	15.14	13.97	14.01	13.63	15.71
04	I	17.15	19.46	17.18	15.65	15.23
04	II	16.84	16.01	15.73	15.64	12.83
05	I	16.73	18.36	16.70	16.38	14.29
05	II	17.09	13.94	13.68	14.23	13.08
06	I	19.18	12.86	16.67	16.29	13.96
06	II	14.32	14.52	11.83	14.59	14.73
07	I	15.45	15.39	14.28	16.00	16.11
07	II	11.94	14.55	14.46	19.69	13.81
08	I	16.77	16.49	16.19	16.93	14.79
08	II	16.18	15.58	15.54	15.89	11.33
09	I	15.86	16.85	14.90	15.07	14.77
09	II	15.89	13.15	15.61	13.33	14.26
10	I	16.05	15.42	16.45	15.20	15.42
10	II	14.75	14.69	14.68	18.01	14.78
11	I	15.46	17.27	17.80	23.82	25.08

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	WP1E	WP2E	WP3E	WP4E	WP5E
11	II	14.42	14.83	15.98	15.08	20.23
12	I	15.15	14.98	14.53	14.01	15.48
12	II	14.32	14.33	14.02	13.63	16.91
13	I	20.64	23.13	16.36	15.12	20.09
13	II	14.80	15.41	15.39	20.11	18.55
14	I	17.89	16.69	17.52	16.61	16.32
14	II	16.24	13.84	16.72	13.83	14.85
15	I	14.85	15.08	15.54	13.22	14.26
15	II	14.78	14.94	13.83	13.86	13.23
16	I	16.96	17.79	18.81	16.95	16.42
16	II	12.55	14.57	11.90	7.37	12.59
17	I	20.58	19.61	18.11	17.72	19.50
17	II	18.40	15.47	16.57	15.52	13.69
18	I	15.52	12.88	13.05	15.84	14.73
18	II	17.20	16.12	17.27	16.55	18.93
19	I	17.54	15.93	14.80	14.86	15.37
19	II	14.92	13.93	13.16	12.55	14.12
20	I	21.11	20.94	18.72	19.05	19.91
20	II	18.20	17.65	17.07	14.89	14.92
21	I	18.14	16.10	17.74	16.31	16.20
21	II	16.38	16.07	17.25	16.08	14.91
22	0	12.51	12.74	12.43	13.86	12.73
23	0	17.04	16.73	15.50	16.05	14.95
24	0	17.32	15.75	14.93	15.98	16.04

D5.8- Datos con el equipo equipo Woodex

N	S	BagWeight
01	I	0.294
01	II	0.294
02	I	0.294
02	II	0.294
03	I	0.294
03	II	0.294
04	I	0.294
04	II	0.294
05	I	0.294
05	II	0.294
06	I	0.294
06	II	0.294

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	BagWeight
07	I	0.294
07	II	0.294
08	I	0.294
08	II	0.294
09	I	0.294
09	II	0.294
10	I	0.294
10	II	0.294
11	I	0.294
11	II	0.294
12	I	0.294
12	II	0.294
13	I	0.270
13	II	0.270
14	I	0.270
14	II	0.270
15	I	0.270
15	II	0.294
16	I	0.270
16	II	0.270
17	I	0.270
17	II	0.270
18	I	0.270
18	II	0.270
19	I	0.270
19	II	0.270
20	I	0.270
20	II	0.270
21	I	0.270
21	II	0.270
22	0	0.294
23	0	0.294
24	0	0.294

N	S	DRYRML1F	DRYRML2F	DRYRML3F	DRYRML4F	DRYRML5F
01	I	1.13	1.25	1.17	1.24	1.28
01	II	1.28	1.26	1.34	1.38	1.35
02	I	1.22	1.24	1.26	1.27	1.39
02	II	1.42	1.43	1.52	1.43	1.49

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	DRYRML1F	DRYRML2F	DRYRML3F	DRYRML4F	DRYRML5F
03	I	1.10	1.18	1.22	1.27	1.28
03	II	1.25	1.38	1.33	1.35	1.37
04	I	1.44	1.31	1.28	1.32	1.32
04	II	1.41	1.44	1.55	1.54	1.43
05	I	1.17	1.28	1.34	1.32	1.42
05	II	1.36	1.36	1.42	1.48	1.45
06	I	1.18	1.10	1.20	1.21	1.31
06	II	1.30	1.32	1.40	1.46	1.47
07	I	1.18	1.01	1.37	1.26	1.46
07	II	1.32	1.58	1.49	1.47	1.47
08	I	1.32	1.26	1.25	1.25	1.37
08	II	1.36	1.34	1.37	1.55	1.70
09	I	1.21	1.23	1.23	1.20	1.25
09	II	1.33	1.32	1.36	1.41	1.44
10	I	1.26	1.26	1.27	1.31	1.30
10	II	1.53	1.57	1.50	1.55	1.48
11	I	1.20	1.17	1.49	1.27	1.13
11	II	1.37	1.25	1.29	1.37	1.27
12	I	1.15	1.29	1.25	1.26	1.21
12	II	1.42	1.30	1.47	1.39	1.45
13	I	1.27	1.28	1.25	1.29	1.32
13	II	1.34	1.32	1.32	1.36	1.45
14	I	1.04	1.09	1.11	1.17	1.10
14	II	1.21	1.16	1.22	1.13	1.41
15	I	1.40	1.27	1.49	2.17	1.32
15	II	1.41	1.57	1.60	1.66	1.59
16	I	1.00	1.07	1.03	1.09	1.10
16	II	1.24	1.32	1.36	1.34	1.35
17	I	1.11	1.11	1.13	1.15	1.18
17	II	1.22	1.27	1.30	1.39	1.44
18	I	1.40	1.40	1.36	1.39	1.33
18	II	1.21	1.13	1.17	1.16	0.99
19	I	1.53	1.51	1.43	1.32	1.36
19	II	1.43	1.44	1.53	1.61	1.62
20	I	1.15	1.22	1.21	1.16	1.19
20	II	1.27	1.27	1.33	1.41	1.43
21	I	1.07	1.16	1.11	1.24	1.16
21	II	1.37	1.31	1.33	1.37	1.45
22	0	1.63	1.53	1.55	1.68	1.86
23	0	1.53	1.56	1.91	1.36	1.26
24	0	1.41	1.36	1.26	1.23	1.23

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	DRYRML1E	DRYRML2E	DRYRML3E	DRYRML4E	DRYRML5E
01	I	1.15	1.18	1.26	1.24	1.29
01	II	1.22	1.22	1.47	1.35	1.31
02	I	1.18	1.25	1.29	1.31	1.33
02	II	1.36	1.43	1.51	1.81	2.17
03	I	1.11	1.54	1.26	1.23	1.24
03	II	1.38	1.42	1.37	1.35	1.42
04	I	1.29	1.36	1.34	1.35	1.42
04	II	1.43	1.35	1.37	1.49	1.42
05	I	1.26	1.23	1.24	1.24	1.34
05	II	1.21	1.33	1.37	1.60	2.14
06	I	1.10	1.28	1.22	1.25	1.21
06	II	1.27	1.34	1.67	1.45	1.47
07	I	1.37	1.20	1.39	1.42	1.44
07	II	1.55	1.24	1.37	1.38	1.52
08	I	1.24	1.27	1.26	1.31	1.30
08	II	1.37	1.56	1.53	1.62	1.60
09	I	1.29	1.26	1.33	1.30	1.30
09	II	1.34	1.52	1.34	1.40	1.53
10	I	1.16	1.31	1.30	1.49	1.34
10	II	1.33	1.46	1.50	1.61	1.57
11	I	1.22	1.16	1.20	1.14	1.26
11	II	1.26	1.37	1.24	1.39	1.29
12	I	1.24	1.24	1.29	1.28	1.31
12	II	1.55	1.35	1.41	1.54	1.56
13	I	1.24	1.18	1.28	1.39	1.32
13	II	1.33	1.37	1.36	1.53	1.71
14	I	1.12	1.16	1.14	1.16	1.11
14	II	1.11	1.22	0.98	1.23	1.23
15	I	1.29	1.42	1.44	1.47	1.77
15	II	1.54	1.56	1.84	1.59	1.78
16	I	1.25	1.00	1.14	1.05	1.34
16	II	1.39	1.34	1.37	1.32	1.20
17	I	1.25	1.15	1.19	1.18	1.16
17	II	1.20	1.26	1.18	1.23	1.42
18	I	1.45	1.31	1.30	1.37	1.27
18	II	1.28	1.22	1.21	1.16	1.21
19	I	1.38	1.37	1.37	1.45	1.42
19	II	1.47	1.50	1.49	1.34	1.57
20	I	1.16	1.17	1.20	1.18	1.16
20	II	1.27	1.27	1.29	1.32	1.33

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	DRYRML1E	DRYRML2E	DRYRML3E	DRYRML4E	DRYRML5E
21	I	1.10	1.13	1.17	1.38	1.22
21	II	1.86	1.31	1.36	1.50	1.42
22	0	1.43	1.56	1.73	1.58	2.26
23	0	1.38	1.42	1.49	1.37	1.54
24	0	1.38	1.37	1.40	1.53	1.32

D6- Datos de ensayo a flexión

N	S	P	PCTO
01	I	62.27	1240
01	II	67.3	1262
02	I	29.12	975
02	II	54.19	1283
03	I	26.78	681
03	II	45.03	1021
04	I	42.29	1140
04	II	42.62	1077
05	I	48.42	1091
05	II	68.32	1337
06	I	19.44	586
06	II	26.25	740
07	I	29.49	916
07	II	50.38	1310
08	I	34.12	786
08	II	54.07	1217
09	I	20.43	585
09	II	17.96	924
10	I	38.21	1105
10	II	81.33	1435
11	I	26.08	957
11	II	35.81	1143
12	I	60.43	1347
12	II	67.52	1566
13	I	35.08	955
13	II	69.95	1214
14	I	45.14	1177
14	II	59.14	1109
15	I	60.07	1350
15	II	28.02	1255
16	I	42.93	997

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	P	PCTO
16	II	54.1	1051
17	I	25.96	754
17	II	52.12	1131
18	I	44.41	1096
18	II	28.73	730
19	I	28.29	1156
19	II	32.79	753
20	I	34.57	887
20	II	67.63	1051
21	I	26.51	714
21	II	24.76	701
22	0	42.55	845
23	0	26.1	682
24	0	48.19	1147

N	S	IA	IB	IC	ID
01	I	107784343	107079421	108527616	109034031
01	II	102272346	109880912	108026622	112646243
02	I	87187707	90218384	72295031	90003328
02	II	91458408	92444444	100487851	98990886
03	I	82066998	83168165	82504677	86641286
03	II	77183253	76448290	81740038	78290748
04	I	96569160	93975911	114610464	90810517
04	II	93485510	89969457	78873765	77116795
05	I	95683050	94882833	95080372	96026000
05	II	96292859	96848173	94311250	97740750
06	I	72362090	72591083	76683275	72591083
06	II	80638203	79658316	80276417	87232151
07	I	88835567	90500694	63181563	88891709
07	II	101171777	103763235	116557547	101557962
08	I	84853696	83763100	97351787	77272981
08	II	93614032	92933082	97333333	92597038
09	I	77632166	77070336	74263959	78480539
09	II	88315234	88198176	79060128	87726528
10	I	108690699	110516332	101779362	108736853
10	II	103168299	103887836	105535281	103030100
11	I	88900335	88415440	99090432	89914041
11	II	95410532	95748096	85798080	97320960
12	I	96753347	95548675	94961664	100393813
12	II	94349905	94729866	99785581	90016920
13	I	87678598	87744746	86647561	83965916

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	IA	IB	IC	ID
13	II	86301002	85551571	85888969	85182813
14	I	120245466	119057004	113333333	123807600
14	II	103187095	103955368	103219200	101245886
15	I	120302322	122713924	111476736	123551406
15	II	123390022	122149285	126875643	119670210
16	I	107039678	107143603	93655819	108026622
16	II	84344832	84191990	107151304	81291828
17	I	94650844	95442810	82799438	96666667
17	II	84756607	82933493	103537663	77562406
18	I	89852900	91649220	95227570	89738583
18	II	79517330	78202199	76682034	75860005
19	I	115538236	119725289	107689063	106244530
19	II	95896805	92864277	102716338	87742688
20	I	88165962	90764064	84099103	91176740
20	II	83441369	82810723	84484682	81563625
21	I	75369027	76925963	79626240	78074896
21	II	60116973	61285818	61021278	59969536
22	0	68323391	63068837	80051504	42413445
23	0	71971792	70239618	72900000	59665536
24	0	115657472	122630254	113520651	131941406

N	S	MOEA	MOEB	MOEC	MOED
01	I	9530	9592	9464	9420
01	II	10215	9507	9671	9274
02	I	9264	8952	11172	8974
02	II	11614	11490	10570	10730
03	I	6872	6781	6836	6510
03	II	10958	11064	10347	10803
04	I	9772	10041	8233	10391
04	II	9540	9913	11307	11565
05	I	9439	9518	9498	9405
05	II	11498	11432	11740	11328
06	I	6701	6679	6323	6679
06	II	7603	7696	7637	7028
07	I	8538	8381	12004	8532
07	II	10724	10456	9308	10683
08	I	7665	7765	6681	8417
08	II	10761	10840	10350	10879
09	I	6238	6284	6521	6171
09	II	8667	8679	9682	8725
10	I	8414	8275	8986	8411

ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MOEA	MOEB	MOEC	MOED
10	II	11513	11433	11255	11529
11	I	8914	8963	7998	8814
11	II	9917	9882	11028	9722
12	I	11528	11674	11746	11110
12	II	13741	13686	12992	14402
13	I	9016	9009	9124	9415
13	II	11645	11747	11700	11797
14	I	8107	8188	8602	7874
14	II	8896	8830	8893	9066
15	I	9291	9109	10027	9047
15	II	8419	8505	8188	8681
16	I	7712	7705	8814	7642
16	II	10317	10336	8121	10705
17	I	6592	6538	7536	6455
17	II	11047	11290	9043	12072
18	I	10097	9899	9527	10110
18	II	7601	7729	7882	7968
19	I	8285	7995	8889	9009
19	II	6501	6713	6069	7105
20	I	8333	8095	8736	8058
20	II	10434	10514	10305	10674
21	I	7845	7686	7425	7573
21	II	9650	9466	9507	9674
22	0	10239	11092	8739	16494
23	0	7846	8039	7746	9464
24	0	8209	7742	8363	7195

N	S	MORA	MORB	MORC	MORD
01	I	33.520	33.612	33.049	33.067
01	II	38.772	36.810	37.006	36.205
02	I	20.080	19.528	23.563	19.510
02	II	35.515	35.171	33.650	33.338
03	I	18.306	18.128	18.307	17.525
03	II	32.520	32.809	30.905	32.094
04	I	25.303	25.831	22.582	26.265
04	II	26.479	27.239	29.503	30.341
05	I	28.845	29.088	28.875	28.742
05	II	40.399	40.139	41.291	39.843
06	I	15.297	15.265	14.678	15.265
06	II	19.278	19.442	19.325	18.236
07	I	18.842	18.574	24.084	18.810


ANEXO D. RELACIÓN DE DATOS MEDIDOS EN PIEZAS CORTAS

N	S	MORA	MORB	MORC	MORD
07	II	29.968	29.277	26.712	29.467
08	I	23.451	23.707	20.398	25.698
08	II	34.239	34.560	33.331	34.860
09	I	15.190	15.269	15.598	15.072
09	II	12.434	12.462	13.358	12.529
10	I	21.873	21.609	22.863	21.927
10	II	47.583	47.363	47.395	47.836
11	I	16.317	16.400	15.160	16.272
11	II	21.529	21.543	23.290	21.194
12	I	36.201	36.682	36.654	35.393
12	II	40.963	40.770	39.381	42.530
13	I	23.670	23.708	23.927	24.315
13	II	47.222	47.505	47.644	47.792
14	I	22.839	22.976	23.898	22.313
14	II	33.047	32.825	33.002	33.821
15	I	29.480	29.028	31.038	28.880
15	II	13.598	13.695	13.450	13.908
16	I	24.112	23.960	27.090	23.606
16	II	36.945	37.077	30.597	38.133
17	I	16.341	16.238	18.341	16.113
17	II	35.347	35.885	30.355	37.295
18	I	28.172	27.717	26.722	28.208
18	II	20.551	20.831	20.906	21.360
19	I	15.382	14.934	16.156	16.056
19	II	20.331	20.762	19.728	21.862
20	I	23.808	23.348	24.294	23.318
20	II	47.561	47.858	48.510	48.506
21	I	19.690	19.402	19.177	19.150
21	II	21.549	21.291	21.181	21.800
22	0	32.359	34.070	28.862	44.543
23	0	19.430	19.731	19.333	22.047
24	0	27.100	26.054	27.253	24.654


ANEXO E. GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DE LAS PIEZAS

A continuación, se muestran los planos de las rebanadas de las 45 piezas cortas escaneadas y escaladas con diversos parámetros geométricos, así como las características geométricas y mecánicas de la sección transversal perimetral ajustada con el programa AutoCAD. Aunque la escala a la que se hizo el escaneo es 1:1, en las figuras de este anexo la escala es más reducida y debe considerarse sólo la escala gráfica. De cada pieza corta se extrajo una rebanada cercana a la zona rotura, de esta rebanada, se escaneó una de las testas (testa 1 o testa 2) esta denominación no guarda relación con la orientación de la pieza.



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 30/11/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 01-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 32142 Perímetro (mm): 1636 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 94418893 ; Y: 80888632			Momentos de Inercia principales: X _p : 94513692 ; Y _p : 80793833 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9965 , 0.0831] Medidas con forcípula: b (mm): 175 h(mm): 192		



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 02/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 01-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 31849 Perímetro (mm): 1645 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 100528612 ; Y: 73324973			Momentos de Inercia principales: X_p : 100928417 ; Y_p : 72925168 Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9928, 0.1195] Medidas con forcípula: b (mm): 166 h(mm): 198		



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	30/11/2017	Carlos Osuna	02-I	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 26241

Perímetro (mm): 1388


Momento de Inercia (mm⁴):
X: 88941782 ; Y: 37532999

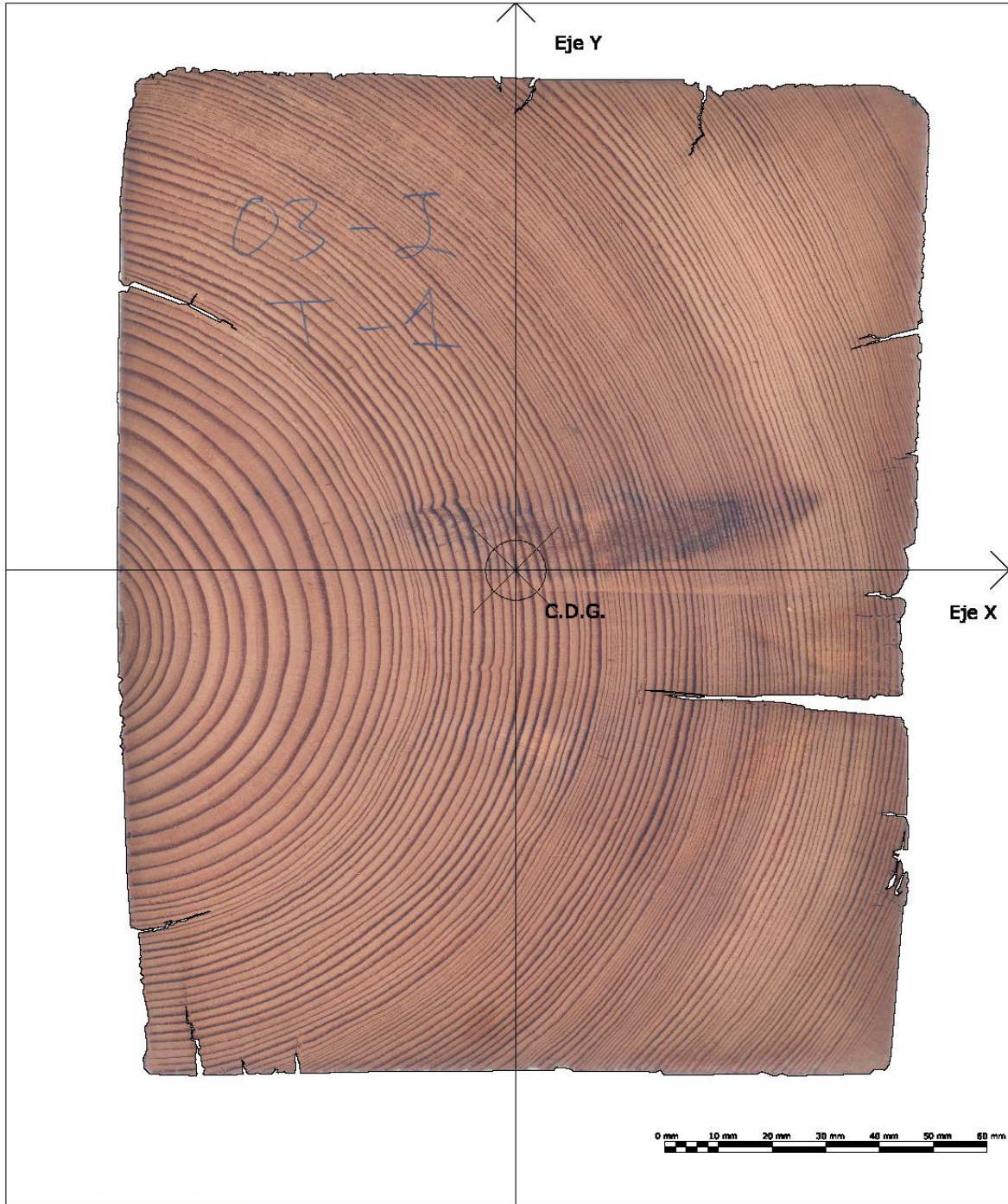
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 88985875 ; Y_p : 37488906


Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9996 , 0.0293]

Medidas con forcípula:
b (mm): 135 h(mm): 204




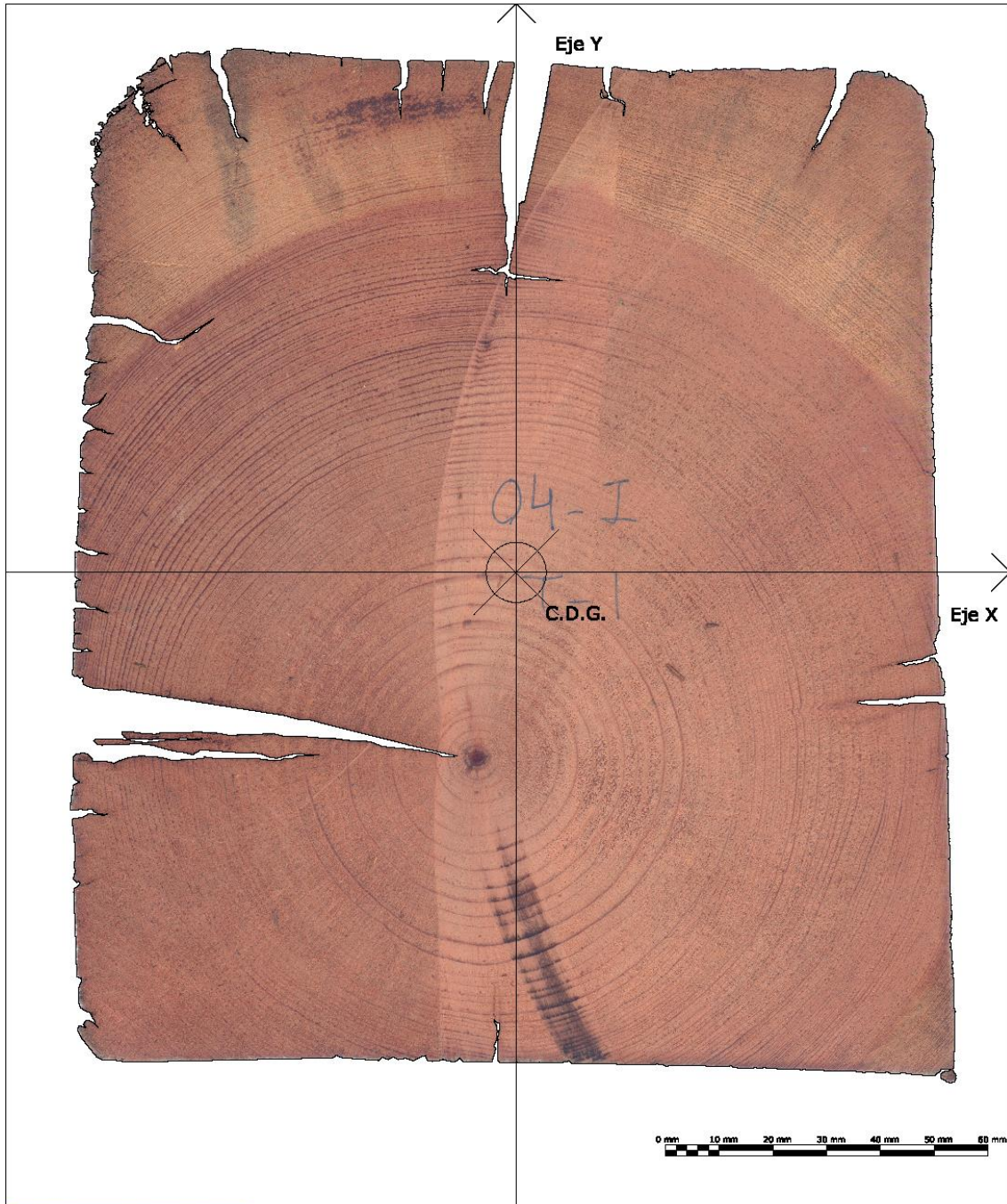
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 03/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 02-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24943 Perímetro (mm): 1246 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 75185167 ; Y: 36237654			Momentos de Inercia principales: X _p : 75433504 ; Y _p : 35989317 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9968, -0.0793] Medidas con forcípula: b (mm): 133 h(mm): 192		



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 01/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 03-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 27008 Perímetro (mm): 1075 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 76744659 ; Y: 48141089			Momentos de Inercia principales: $X_p: 76745708$; $Y_p: 48140040$ Cosenos directores del eje principal X_p : [1.0000, -0.0061] Medidas con forcípula: b (mm): 147 h(mm): 185		



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 08/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 03-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 25692 Perímetro (mm): 1153 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 71199782 ; Y: 42281048		Momentos de Inercia principales: $X_p: 71220650 ; Y_p: 42260180$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9996, -0.0268] Medidas con forcípula: b (mm): 146 h(mm): 184			



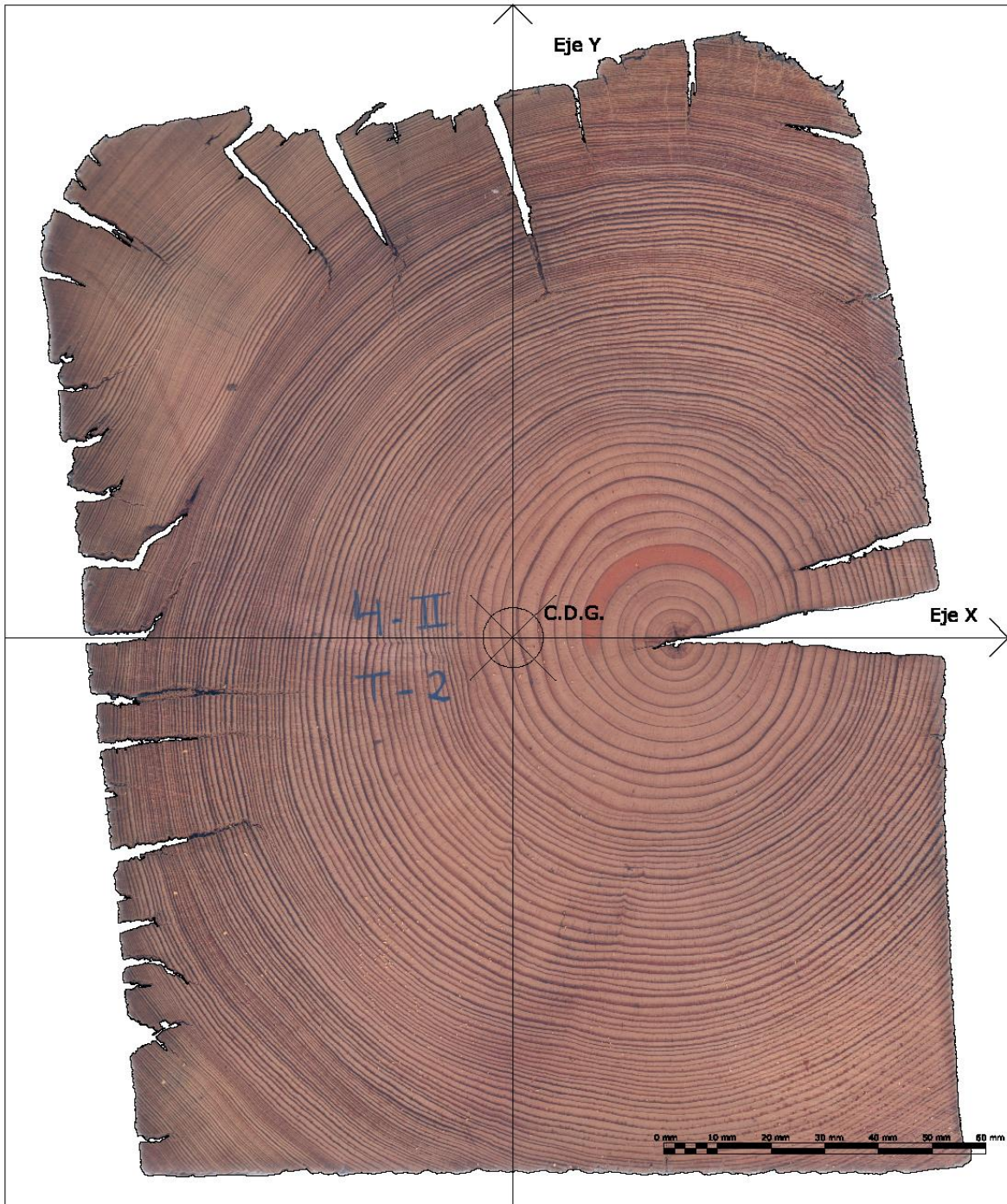
CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN


Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

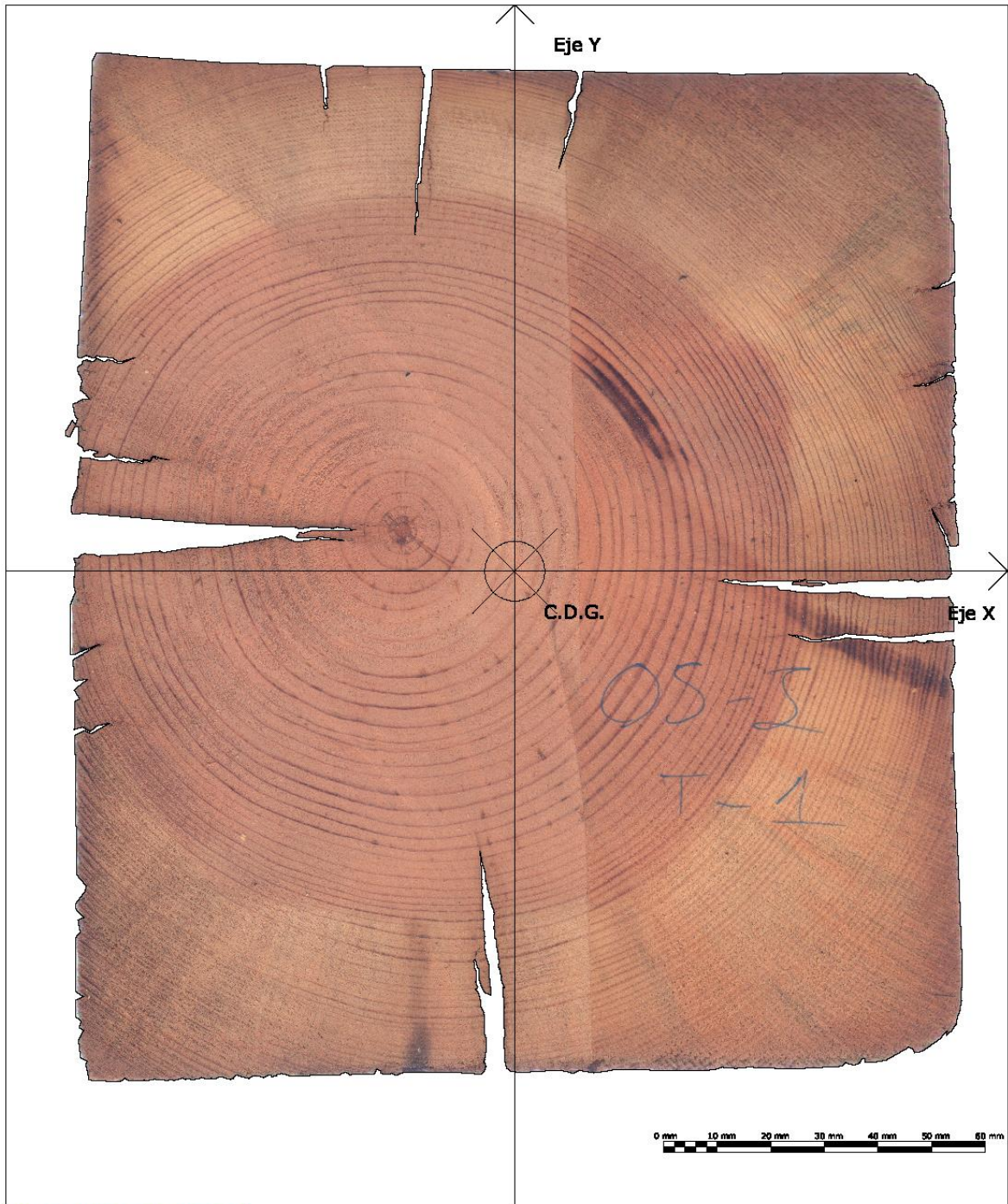
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID


	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	01/12/2017	Carlos Osuna	04-I	1	

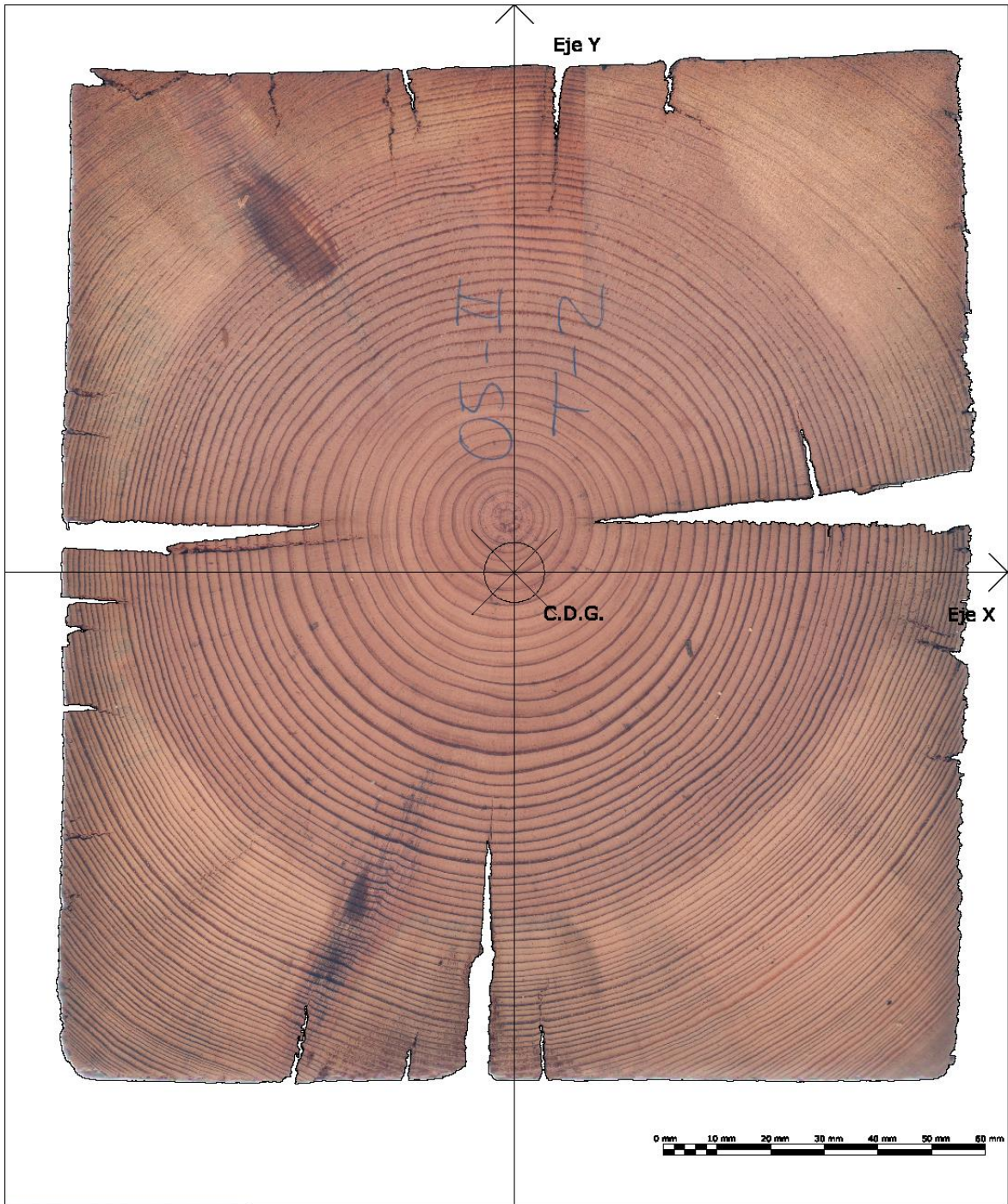
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 28878 Perímetro (mm): 1547 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 82424824 ; Y: 60628613	Momentos de Inercia principales: X _p : 82572691 ; Y _p : 60480746 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9966, 0.0818] Medidas con forcípula: b (mm): 163 h(mm): 186
---	--




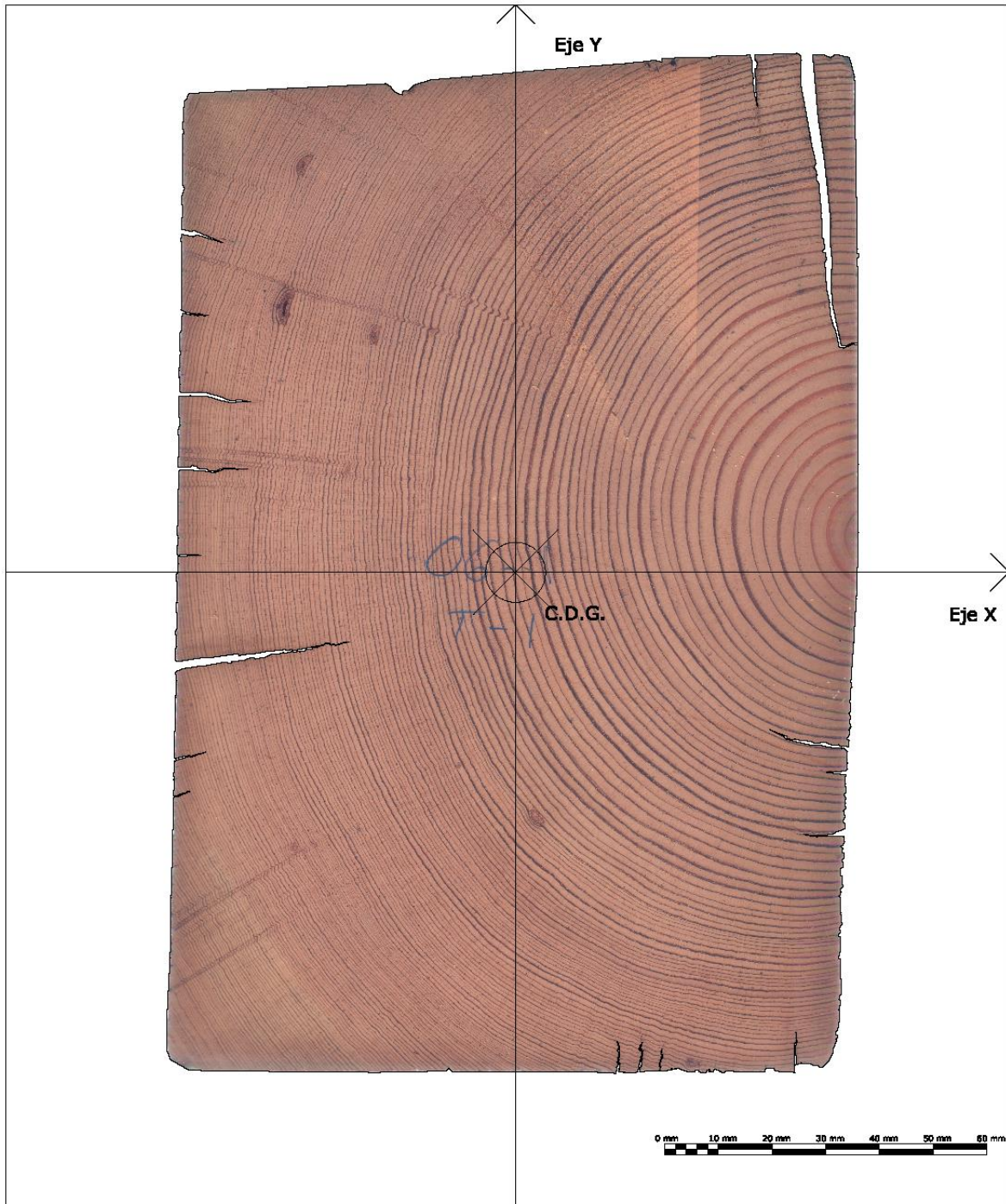
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 08/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 04-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 30537 Perímetro (mm): 1808 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 101957101 ; Y: 60783929			Momentos de Inercia principales: X_p : 102814272 ; Y_p : 59926759 Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9900, 0.1414] Medidas con forcípula: b (mm): 158 h(mm): 201		




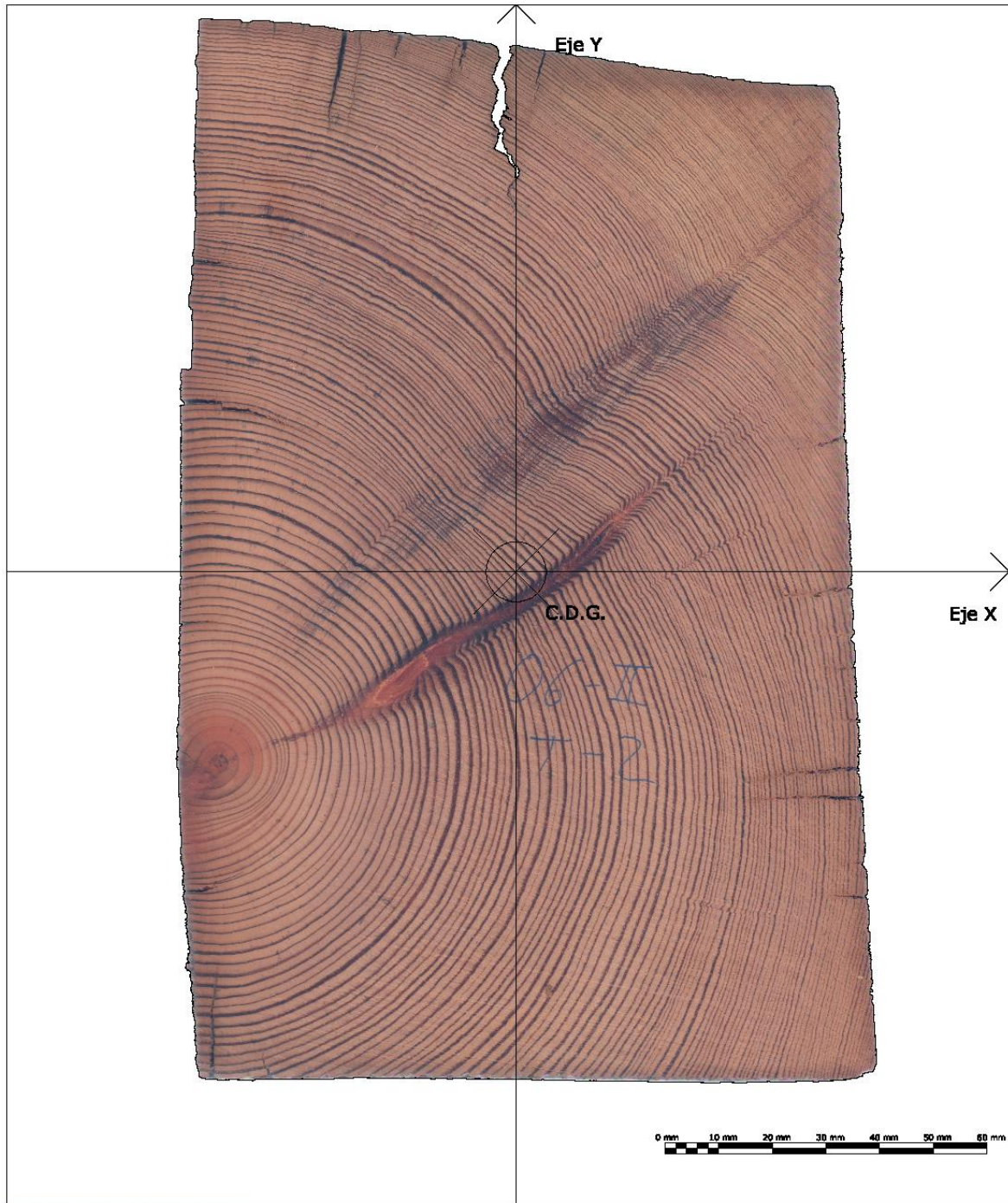
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 01/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 05-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 30062 Perímetro (mm): 1335 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 87875170 ; Y: 66236411		Momentos de Inercia principales: X _p : 87880232 ; Y _p : 66231349 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9999, -0.0153] Medidas con forcípula: b (mm): 165 h(mm): 186			




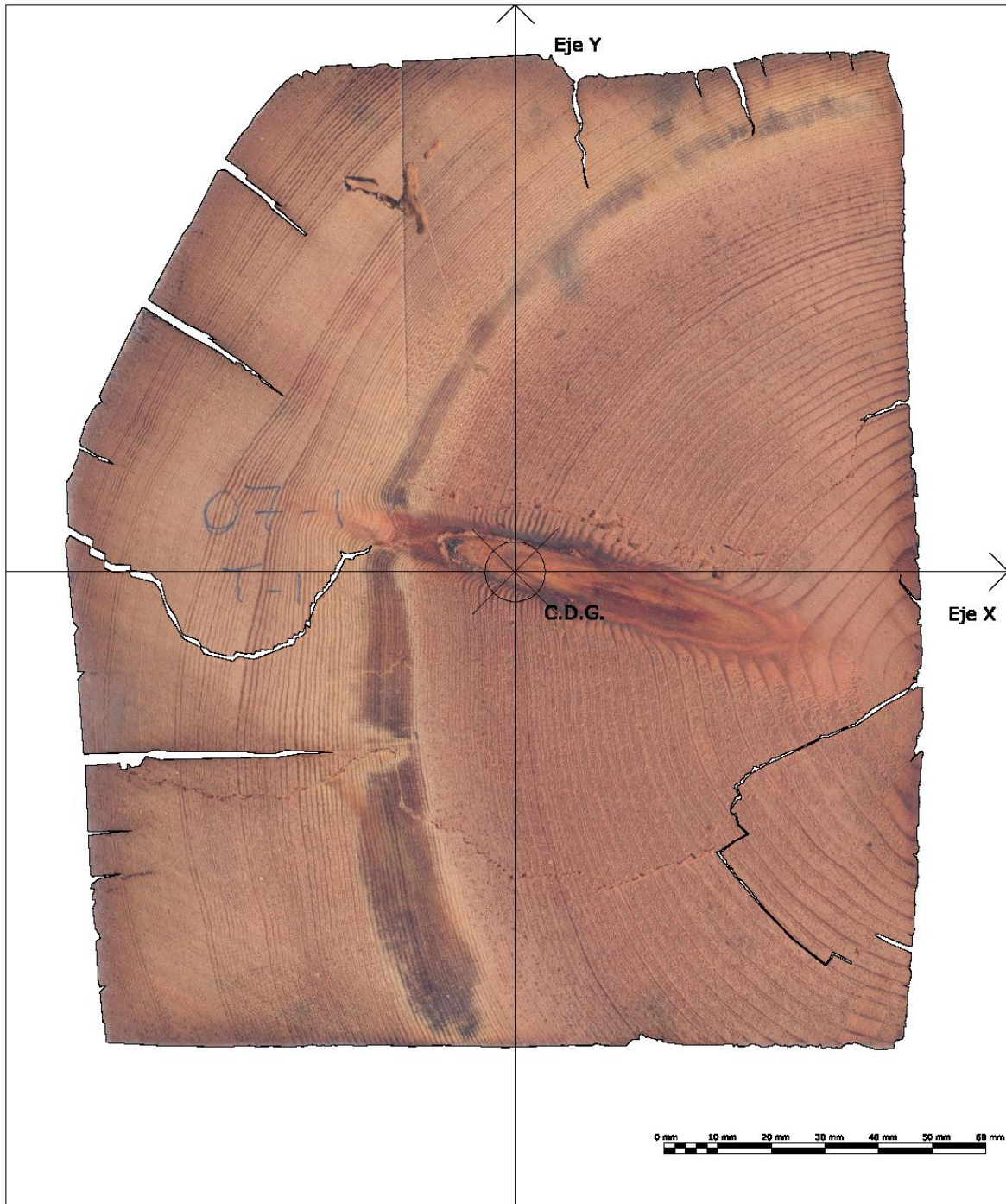
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 05-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 31003 Perímetro (mm): 1390 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 92792498 ; Y: 71994501			Momentos de Inercia principales: X _p : 92913594 ; Y _p : 71873405 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9971, -0.0759] Medidas con forcípula: b (mm): 169 h(mm): 188		




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 01/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 06-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 23247 Perímetro (mm): 1034 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 66677235 ; Y: 30373752		Momentos de Inercia principales: X _p : 66792801 ; Y _p : 30258186 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9984, -0.0562] Medidas con forcípula: b (mm): 125 h(mm): 189			




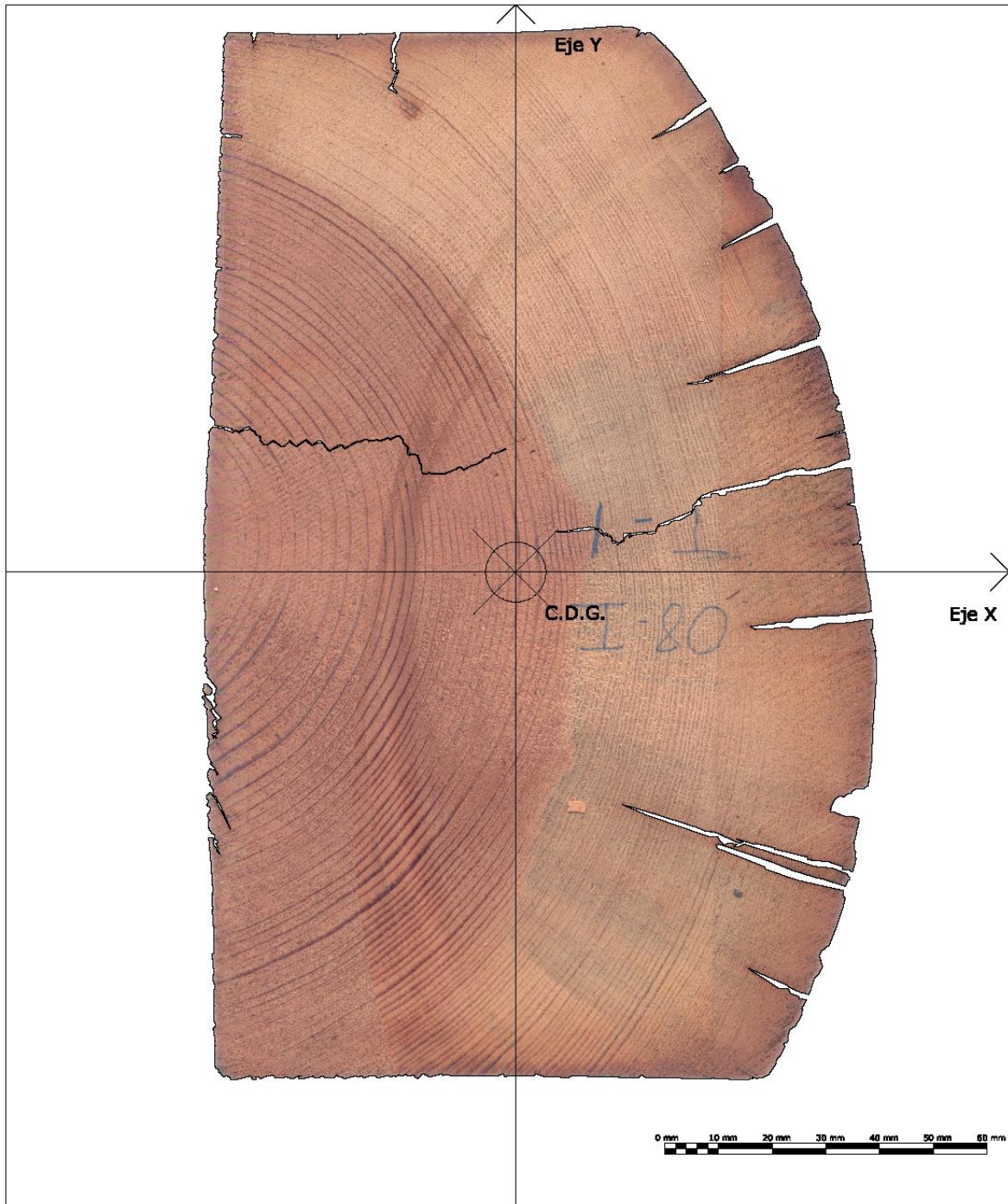
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 06-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 23848 Perímetro (mm): 755 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 72963828 ; Y: 30803023			Momentos de Inercia principales: $X_p: 73154668$; $Y_p: 30612183$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9978, 0.0670] Medidas con forcípula: b (mm): 126 h (mm): 191		




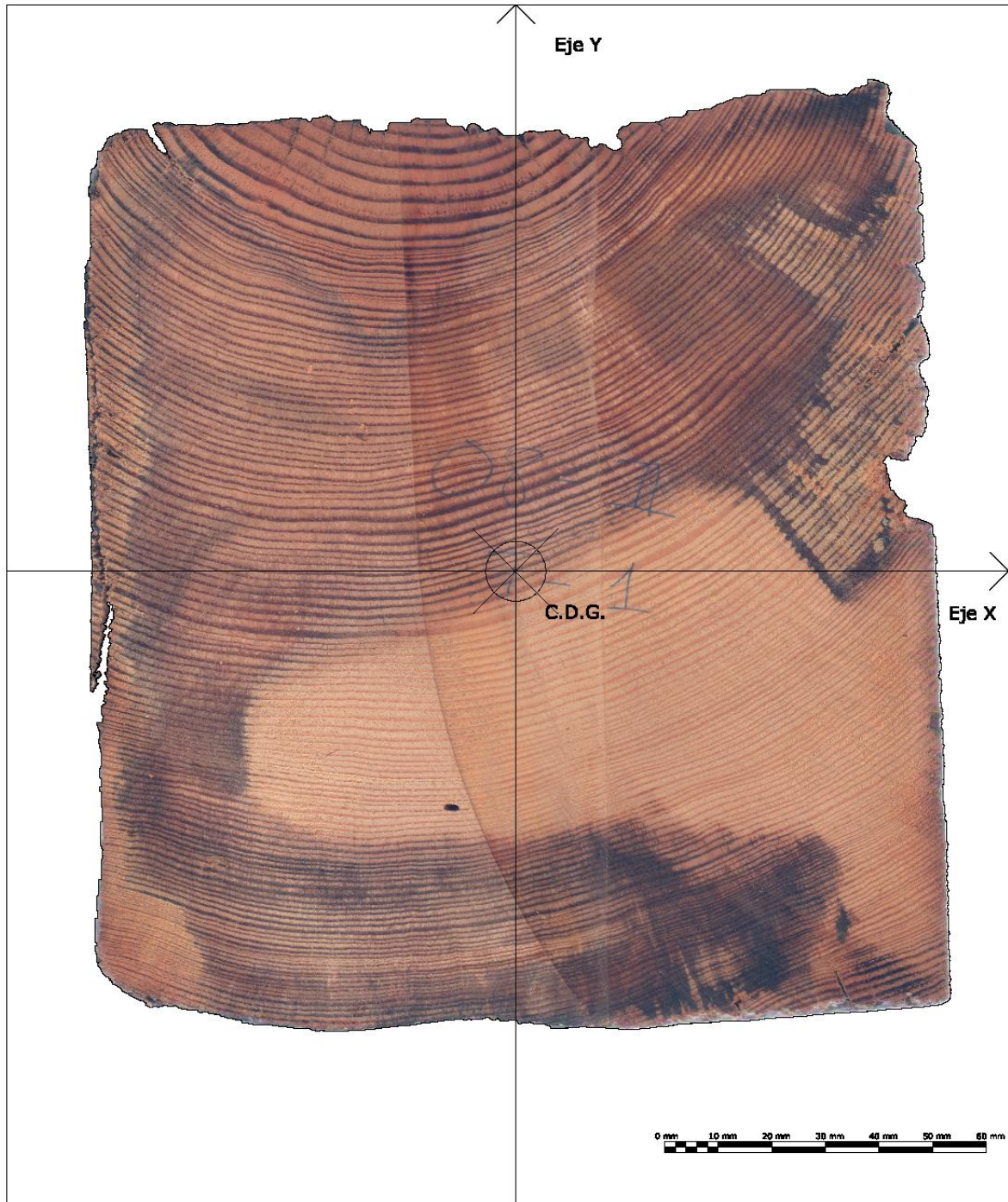
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 05/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 07-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26807 Perímetro (mm): 1416 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 71024598 ; Y: 50075539			Momentos de Inercia principales: $X_p: 72049825$; $Y_p: 49050312$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9775, -0.2111] Medidas con forcípula: b (mm): 157 h(mm): 186		




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 07-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 32213 Perímetro (mm): 1121 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 112744557 ; Y: 65963313			Momentos de Inercia principales: X _p : 113598196 ; Y _p : 65109673 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9912, 0.1327] Medidas con forcípula: b (mm): 155 h(mm): 211		




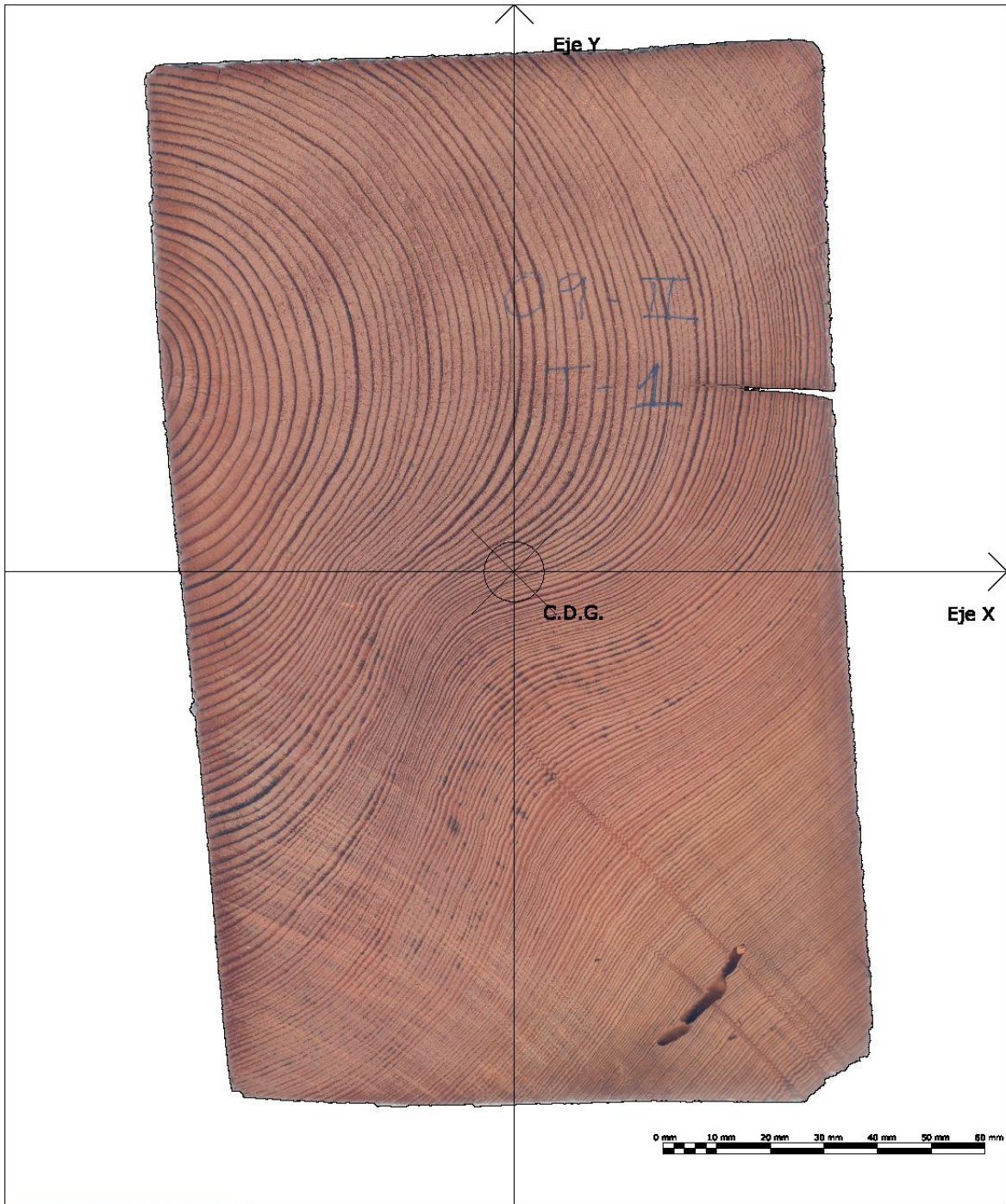
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 05/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 08-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 21748 Perímetro (mm): 1324 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 63684165 ; Y: 23894751			Momentos de Inercia principales: X _p : 63871796 ; Y _p : 23707120 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9977, 0.0683] Medidas con forcípula: b (mm): 122 h(mm): 196		




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 08-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26261		Momentos de Inercia principales: X_p : 62121531 ; Y_p : 53221225			
Perímetro (mm): 786		Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9948, 0.1020]			
Momento de Inercia (mm ⁴): X: 62028915 ; Y: 53313842		Medidas con forcípula: b (mm): 157 h(mm): 175			



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 07/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 09-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24087 Perímetro (mm): 877 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 74941239 ; Y: 31350037		Momentos de Inercia principales: X _p : 75098776 ; Y _p : 31192500 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9982, -0.0599] Medidas con forcípula: b (mm): 126 h(mm): 191			



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 09-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24110		Momentos de Inercia principales: $X_p: 76944434$; $Y_p: 30391301$			
Perímetro (mm): 712		Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9953, 0.0967]			
Momento de Inercia (mm ⁴): $X: 76508728$; $Y: 30827008$		Medidas con forcípula: b (mm): 122 h (mm): 196			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	07/12/2017	Carlos Osuna	10-I	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 29467

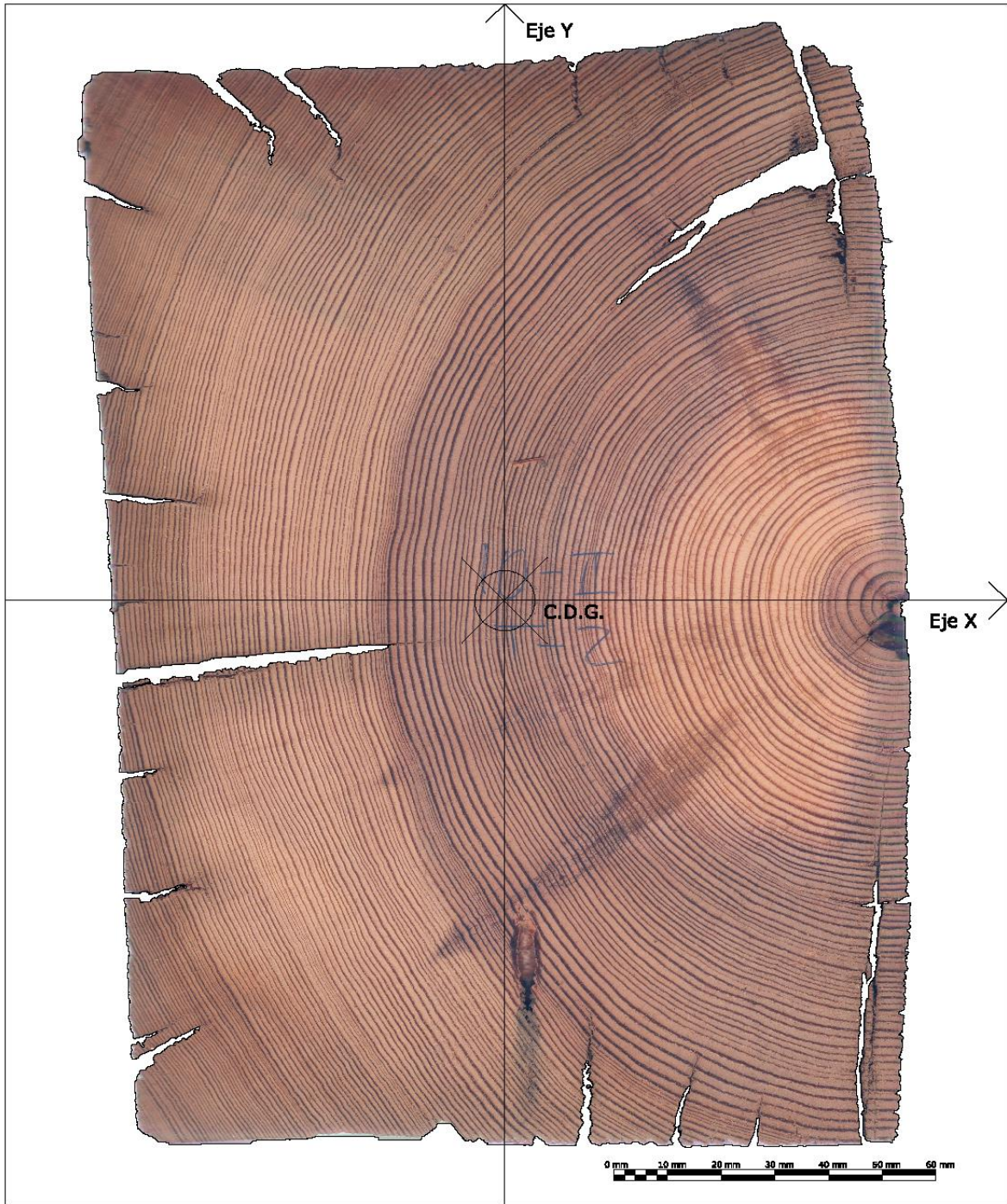
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 105443971 ; Y_p : 50127848


Perímetro (mm): 1404

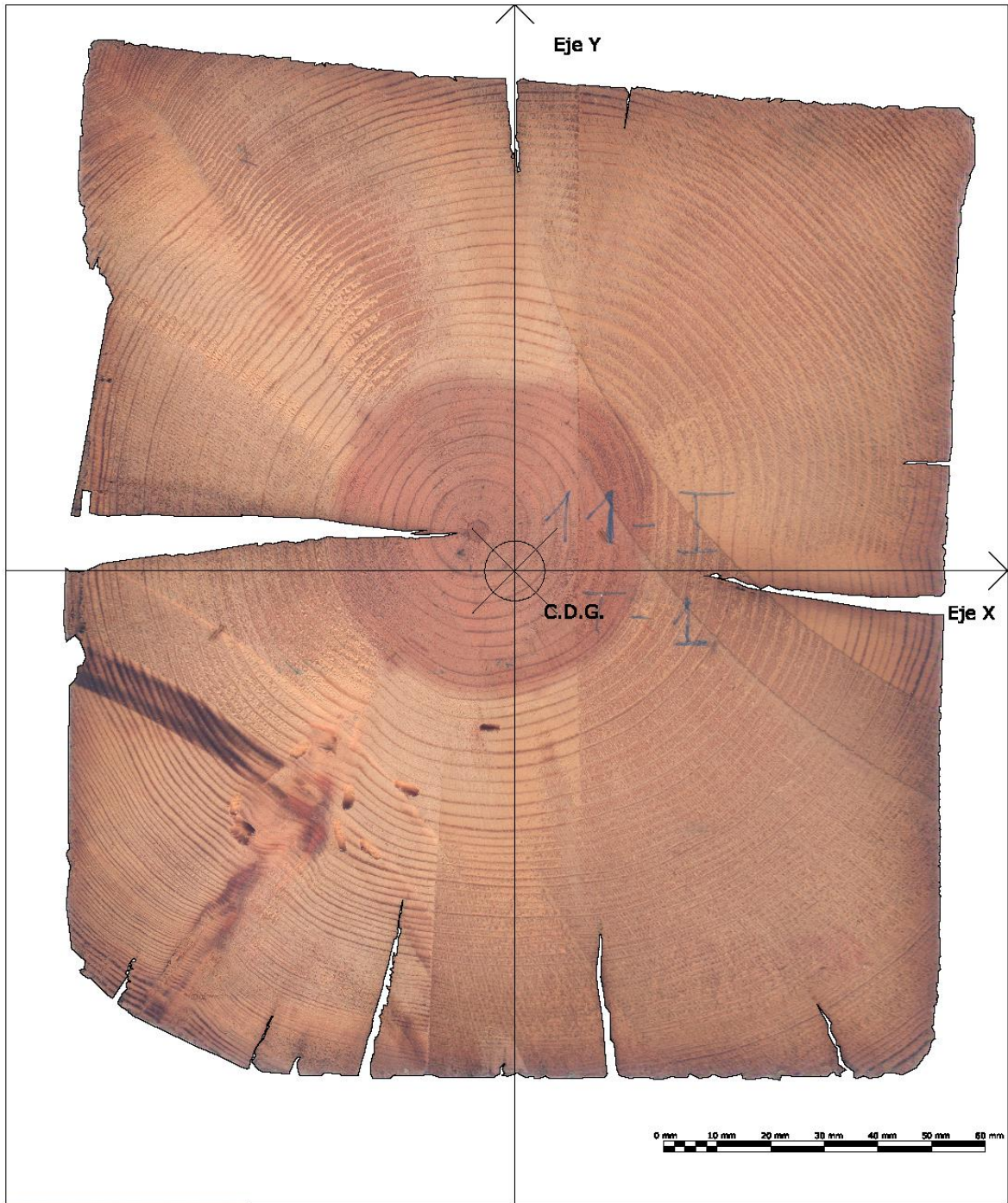
Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9993, -0.0376]


Momento de Inercia (mm⁴):
X: 105365909 ; Y: 50205910

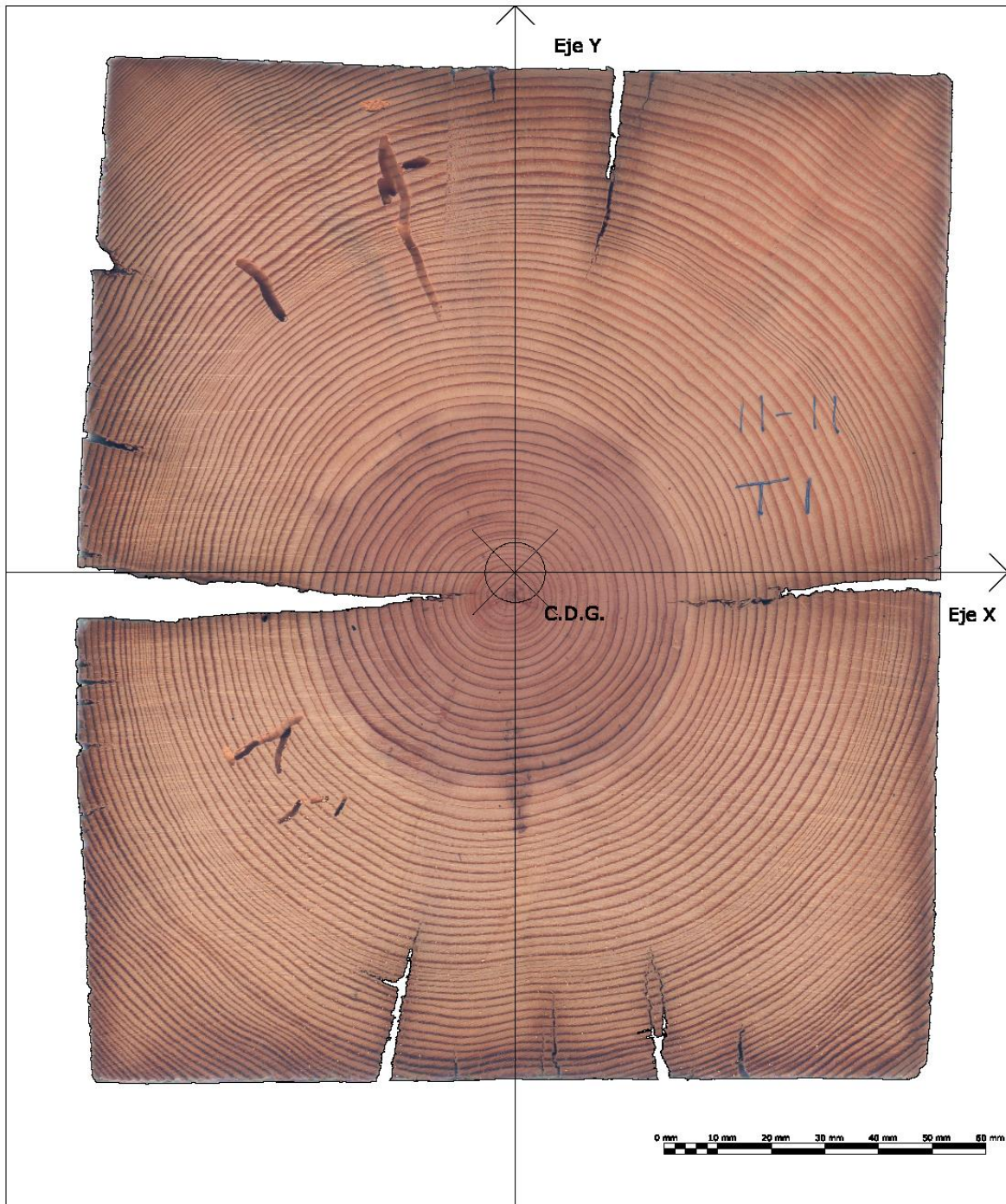
Medidas con forcípula:
b (mm): 143 h(mm): 210




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 10-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 29062 Perímetro (mm): 1587 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 97011729 ; Y: 51644749		Momentos de Inercia principales: X _p : 97355862 ; Y _p : 51300616 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9963, 0.0864] Medidas con forcípula: b (mm): 148 h(mm): 197			




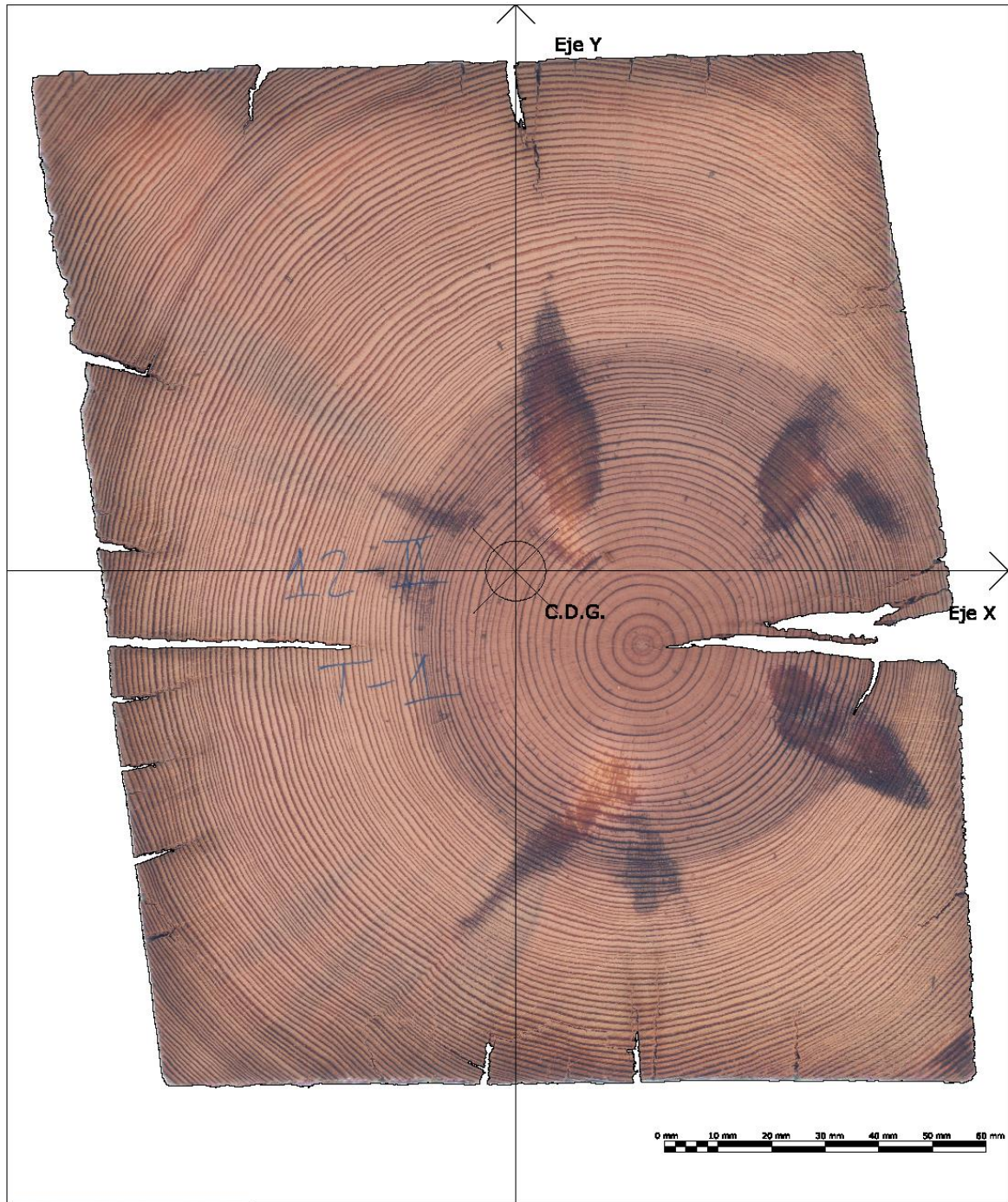
CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 07/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 11-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 29346 Perímetro (mm): 1243 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 84443940 ; Y: 62929207		Momentos de Inercia principales: X_p : 84608841 ; Y_p : 62764306 Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9962, 0.0869] Medidas con forcípula: b (mm): 163 h (mm): 191			




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 11-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 29615 Perímetro (mm): 1103 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 88383585 ; Y: 62134218		Momentos de Inercia principales: X_p : 88441062 ; Y_p : 62076742 Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9989, -0.0467] Medidas con forcípula: b (mm): 160 h(mm): 188			




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 07/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 12-I	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 30911 Perímetro (mm): 1730 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 96585936 ; Y: 67157760			Momentos de Inercia principales: X _p : 96591667 ; Y _p : 67152029 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9999, 0.0140] Medidas con forcípula: b (mm): 162 h(mm): 194		




CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 12-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 29299 Perímetro (mm): 1253 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 88796056 ; Y: 59804576			Momentos de Inercia principales: X _p : 91568275 ; Y _p : 57032357 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9590, 0.2833] Medidas con forcípula: b (mm): 158 h(mm): 190		



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 19/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 13-I	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 25147 Perímetro (mm): 1293 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 77821430; Y: 36858577			Momentos de Inercia principales: X _p : 78240596 ; Y _p : 36439411 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9950, 0.1001] Medidas con forcípula: b (mm): 134 h(mm): 196		



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 13-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26423		Momentos de Inercia principales: $X_p: 79067286$; $Y_p: 42782991$			
Perímetro (mm): 1150		Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9974, 0.0726]			
Momento de Inercia (mm ⁴): $X: 78875954$; $Y: 42974323$		Medidas con forcípula: b (mm): 144 h (mm): 199			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	14-I	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 32507

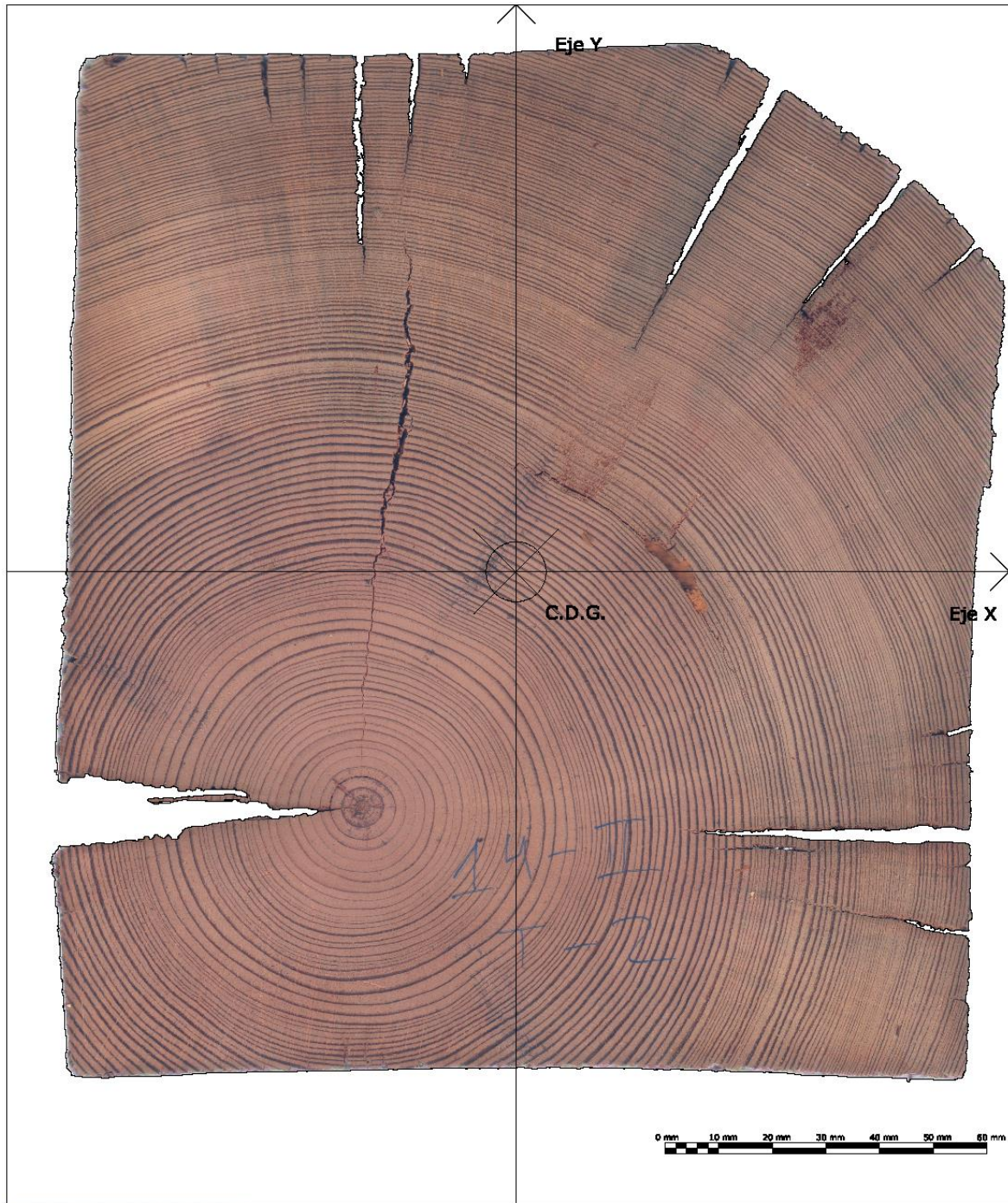
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 107595178 ; Y_p : 76097083


Perímetro (mm): 1790

Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9999, -0.0102]

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 107591925 ; Y: 76100336

Medidas con forcípula:
b (mm): 170 h(mm): 201



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 14-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 30970 Perímetro (mm): 1363 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 89594164 ; Y: 71794300			Momentos de Inercia principales: X _p : 90128534 ; Y _p : 71259930 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9857, 0.1683] Medidas con forcípula: b (mm): 172 h(mm): 190		



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	15-I	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 32333

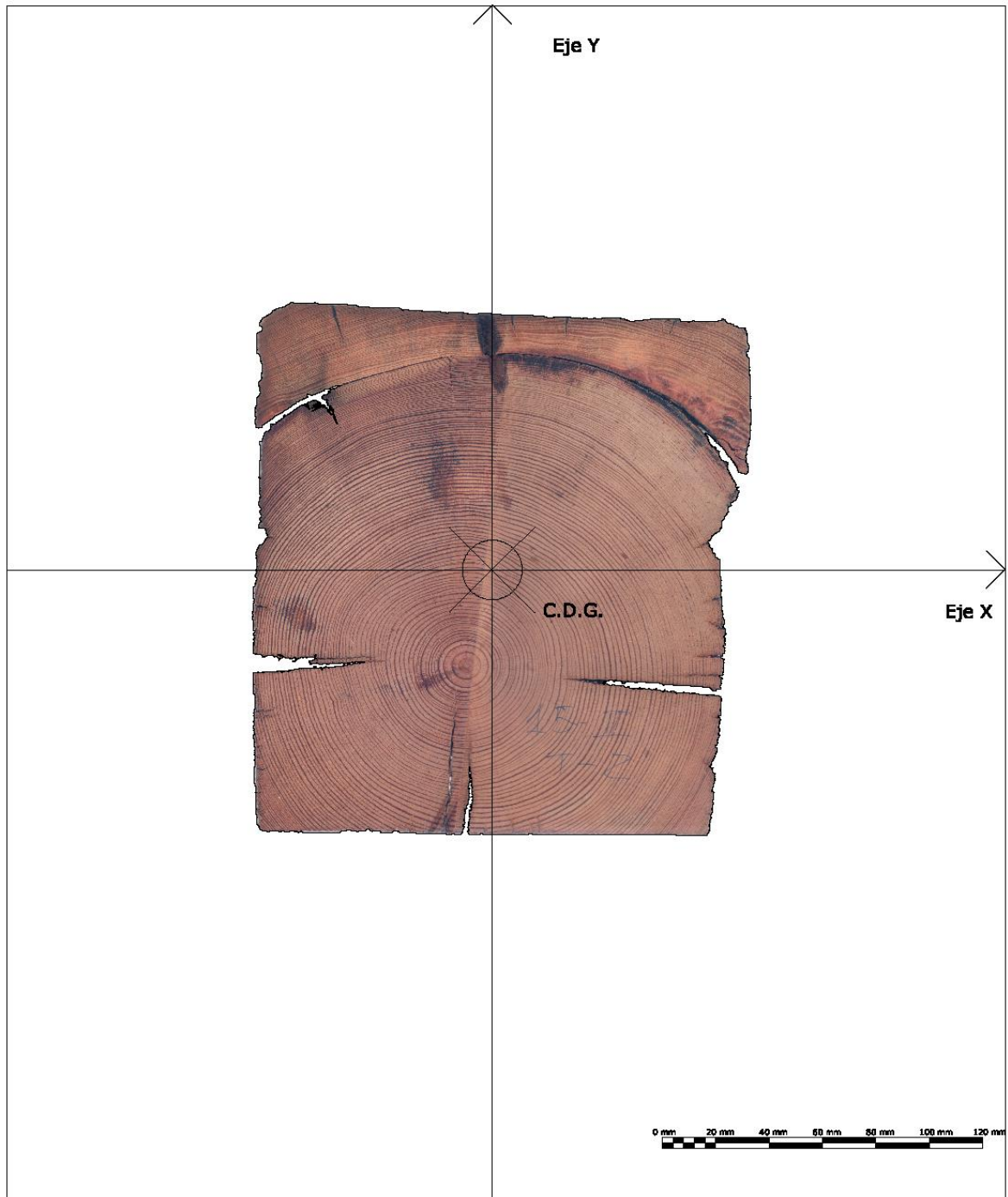
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 95481393 ; Y_p : 81198309


Perímetro (mm): 2276

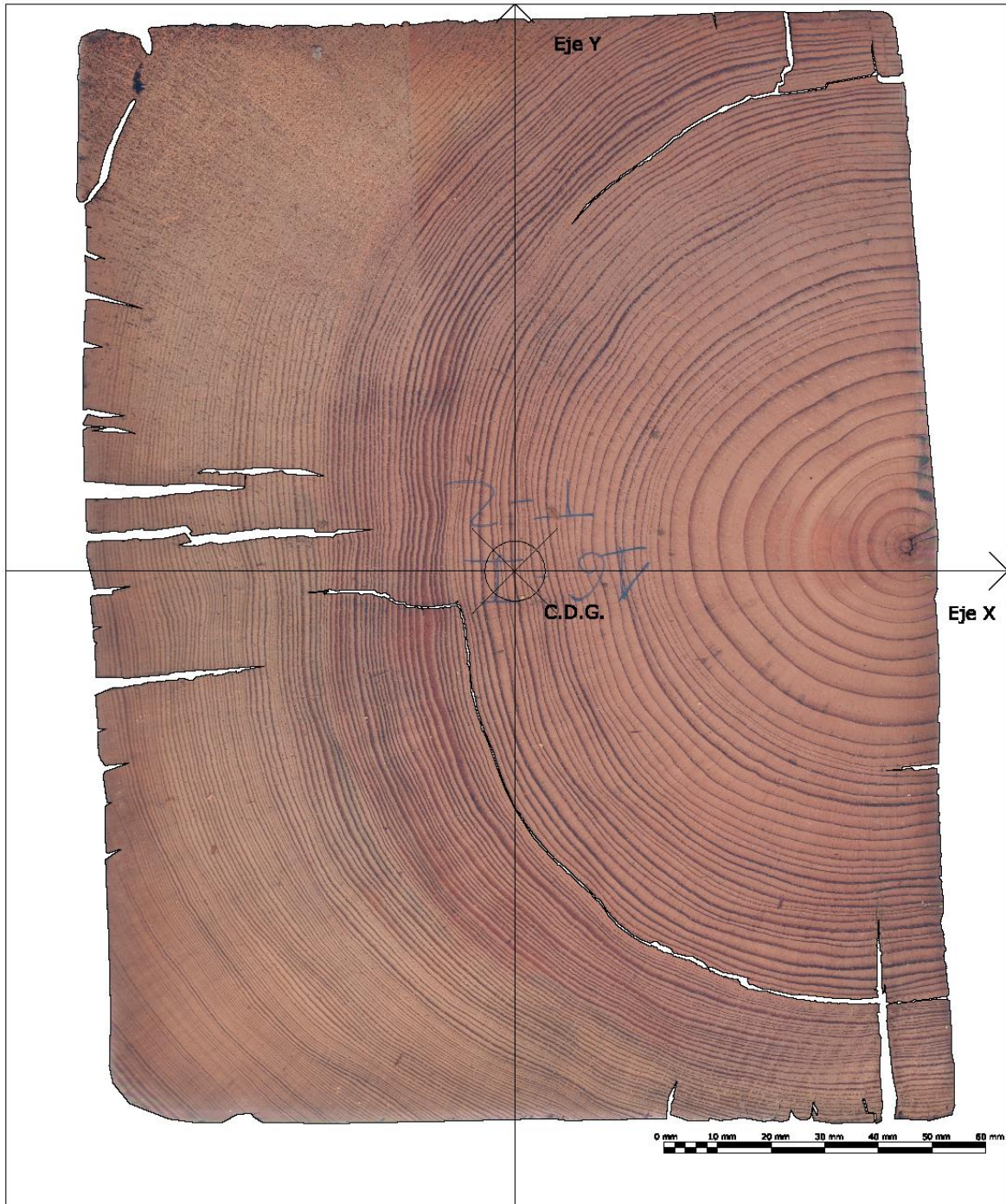
Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9631, 0.2691]

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 94447047 ; Y: 82232654

Medidas con forcípula:
b (mm):183 h(mm): 193



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 15-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 34065 Perímetro (mm): 1310 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 108514147 ; Y: 88023212			Momentos de Inercia principales: X _p : 108965150 ; Y _p : 87572209 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9894 , -0.1452] Medidas con forcípula: b (mm): 178 h(mm): 198		

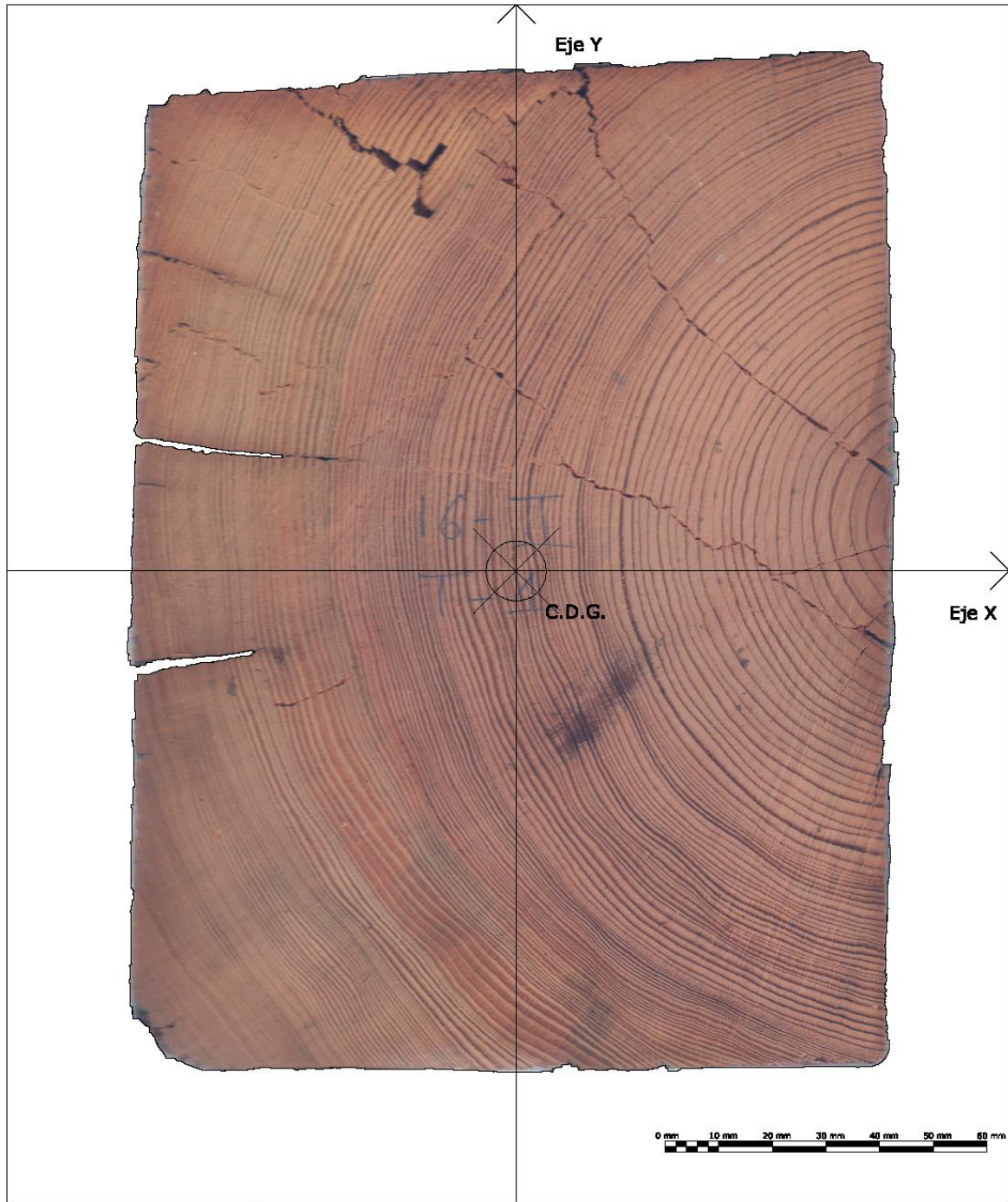



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
	Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	16-I	2	

Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 31584 Perímetro (mm): 1822 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 110170601 ; Y: 63561343	Momentos de Inercia principales: X_p : 110400663 ; Y_p : 63331281 Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9976, 0.0699] Medidas con forcípula: b (mm): 150 h(mm): 204
---	--



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 16-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26094		Momentos de Inercia principales: $X_p: 74942877$; $Y_p: 42642400$			
Perímetro (mm): 774		Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9988, -0.0497]			
Momento de Inercia (mm ⁴): X: 74863245 ; Y: 42722032		Medidas con forcípula: b (mm): 140 h(mm): 188			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN


Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	17-I	1	

Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24336 Perímetro (mm): 1043 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 72742789 ; Y: 32403249	Momentos de Inercia principales: $X_p: 72772270 ; Y_p: 32373767$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9996, -0.0270] Medidas con forcípula: b (mm): 130 h(mm): 195
---	---



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 17-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24818 Perímetro (mm): 919 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 70372352 ; Y: 37473961		Momentos de Inercia principales: X _p : 70710234 ; Y _p : 37136079 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9950, -0.1003] Medidas con forcípula: b (mm): 132 h(mm): 185			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	18-I	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 28392

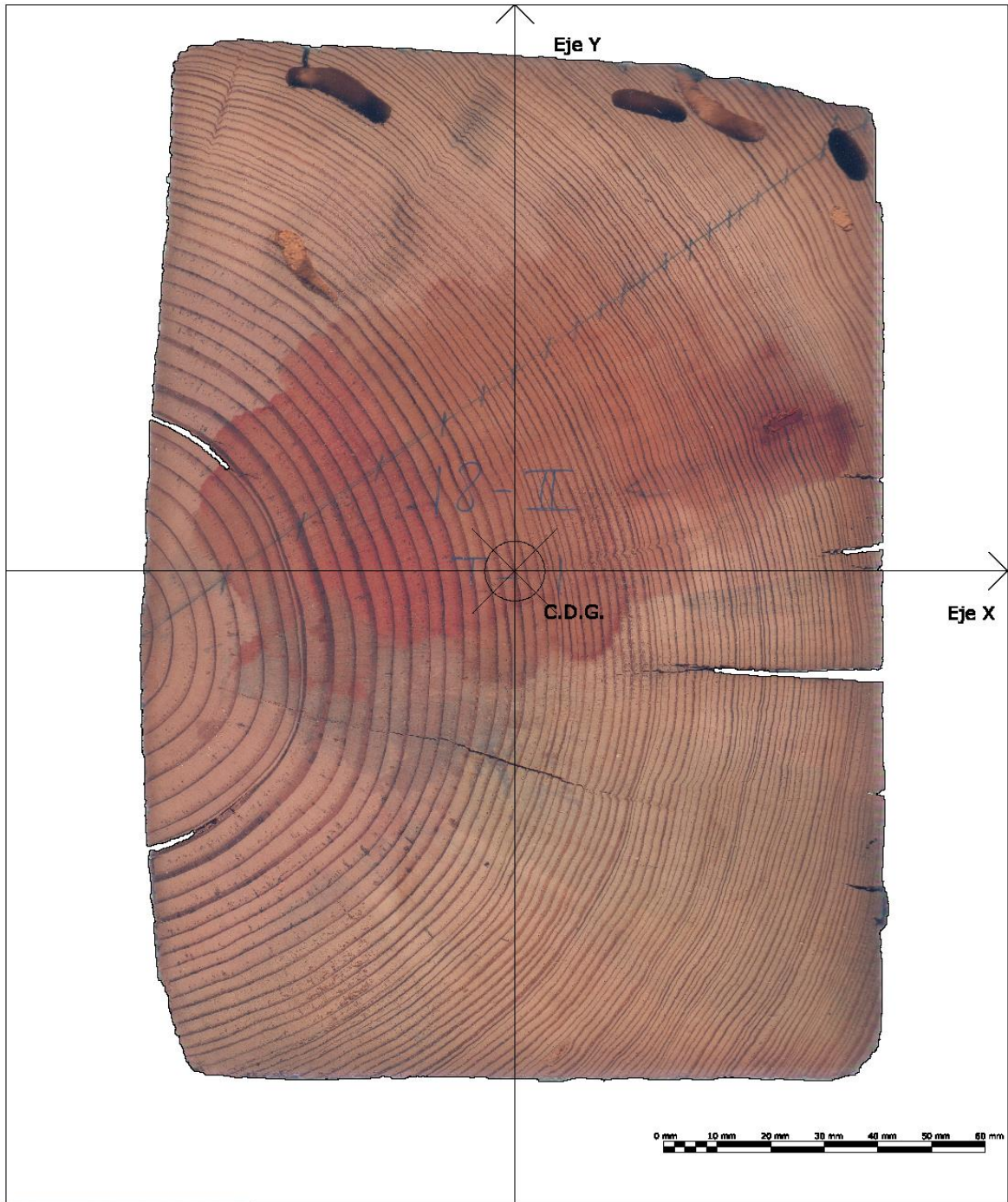
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 81489120 ; Y_p : 55491906


Perímetro (mm): 1548

Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9965, -0.0840]

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 81305693 ; Y: 55675334

Medidas con forcípula:
b (mm): 160 h(mm): 192



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 18-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 25655 Perímetro (mm): 790 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 76107374 ; Y: 38904655		Momentos de Inercia principales: X _p : 76149428 ; Y _p : 38862601 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9994, 0.0336] Medidas con forcípula: b (mm): 136 h(mm): 190			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	19-I	2	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 27364

Perímetro (mm): 1671


Momento de Inercia (mm⁴):
X: 92877849 ; Y: 41528239

Momentos de Inercia principales:
X_p: 92985354 ; Y_p: 41420735

Cosenos directores del eje principal X_p:
[0.9990, -0.0457]

Medidas con forcípula:
b (mm): 141 h(mm): 208



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 19-II	Testa 2
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26126 Perímetro (mm): 1031 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 75572753 ; Y: 43065625			Momentos de Inercia principales: X _p : 75611360 ; Y _p : 43027017 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9994, 0.0344] Medidas con forcípula: b (mm): 138 h(mm): 191		



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN


Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	19/12/2017	Carlos Osuna	20-I	2	

Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 25718 Perímetro (mm): 1367 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 85926520 ; Y: 35851942	Momentos de Inercia principales: $X_p: 86252816$; $Y_p: 35525646$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9968, -0.0802] Medidas con forcípula: b (mm): 131 h (mm): 201
---	---



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 01/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 20-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 24395		Momentos de Inercia principales: $X_p: 74669862$; $Y_p: 32507141$			
Perímetro (mm): 858		Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9998, -0.0222]			
Momento de Inercia (mm ⁴): X: 74649103 ; Y: 32527900		Medidas con forcípula: b (mm): 131 h(mm): 197			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	20/12/2017	Carlos Osuna	21-I	2	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 25264

Momentos de Inercia principales:
 X_p : 67977256 ; Y_p : 41766060


Perímetro (mm): 1255

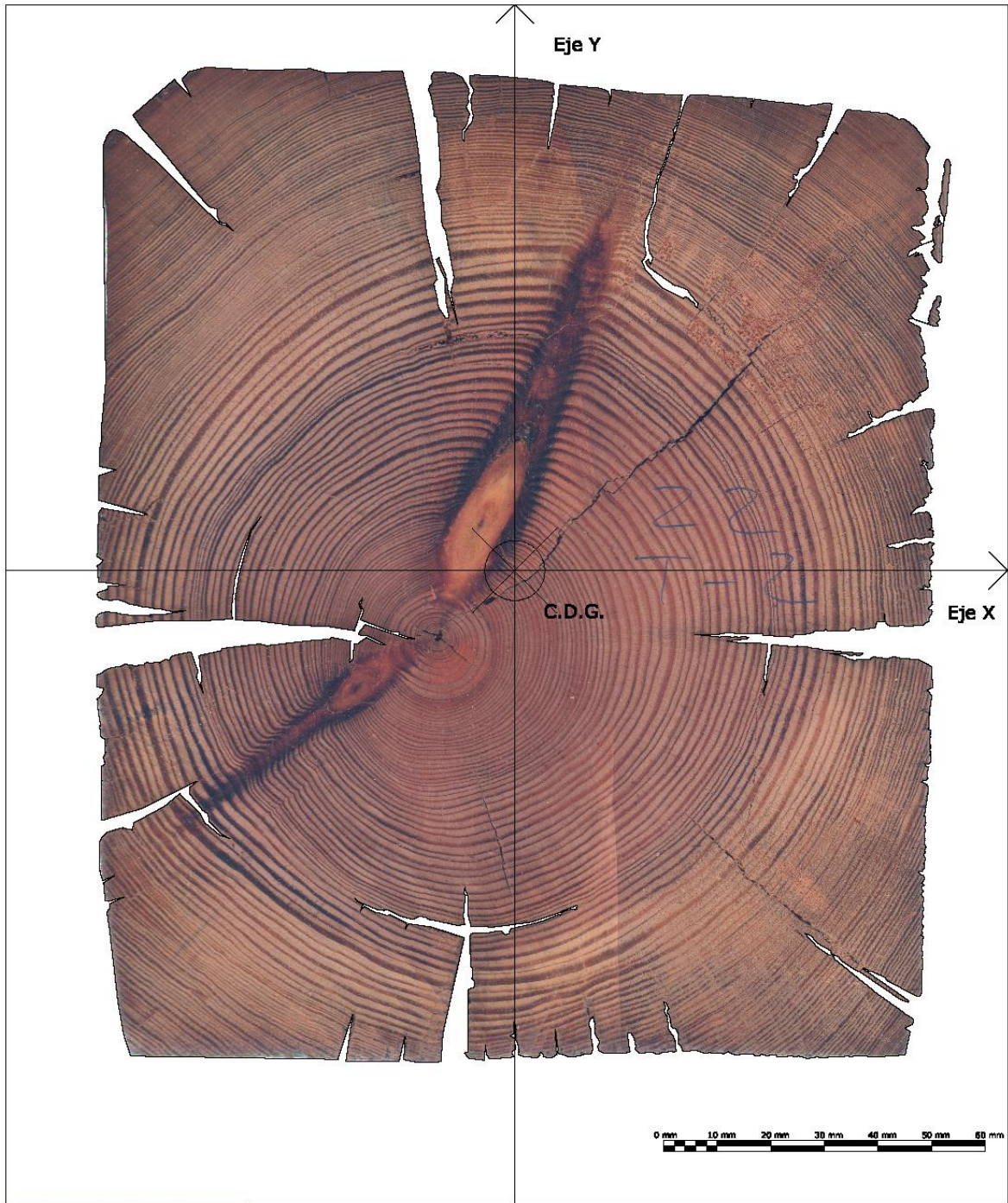
Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9988, -0.0483]

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 67916027 ; Y: 41827290

Medidas con forcípula:
b (mm): 144 h(mm): 182



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 09/01/2018	Nombre Carlos Osuna	Pieza 21-II	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 22979 Perímetro (mm): 893 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 56375835 ; Y: 34306404			Momentos de Inercia principales: X _p : 56764651 ; Y _p : 33917588 Cosenos directores del eje principal X _p : [0.9915, 0.1305] Medidas con forcípula: b (mm): 134 h(mm): 172		



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	20/12/2017	Carlos Osuna	22	2	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 26761

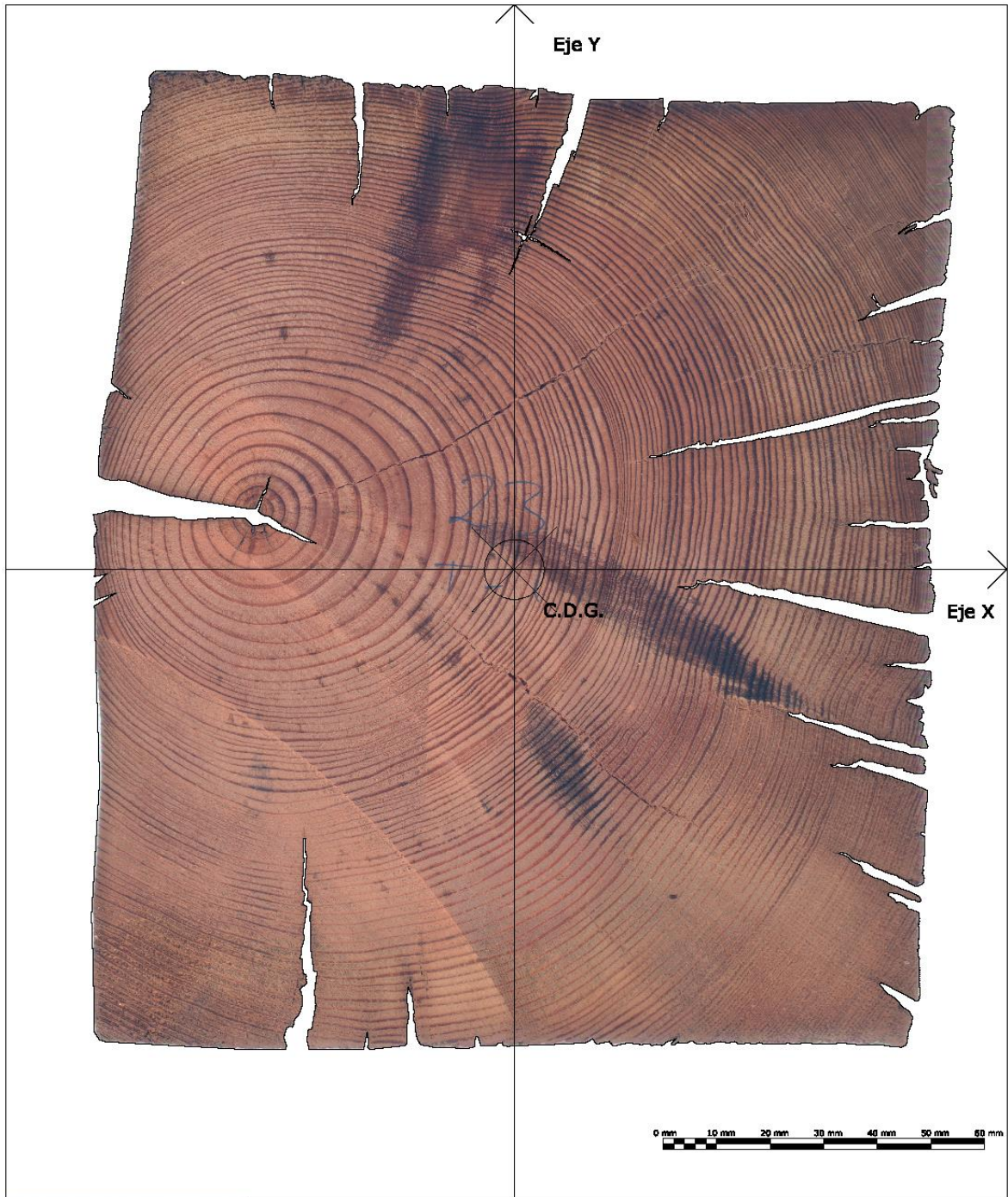
Momentos de Inercia principales:
 X_p : 72387362 ; Y_p : 51229242


Perímetro (mm): 1981

Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9992, 0.0393]

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 72354682 ; Y: 51261922

Medidas con forcípula:
b (mm): 155 h(mm): 180



CONSTRUCCION CON MADERA GRUPO DE INVESTIGACIÓN  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.				
	Dibujado	Fecha 20/12/2017	Nombre Carlos Osuna	Pieza 23	Testa 1
Medidas con AutoCAD: Área de testa (mm ²): 26873 Perímetro (mm): 1656 Momento de Inercia (mm ⁴): X: 71272120 ; Y: 52379595		Momentos de Inercia principales: $X_p: 71537350$; $Y_p: 52114365$ Cosenos directores del eje principal X_p : [0.9931, -0.1169] Medidas con forcípula: b (mm): 157 h (mm): 182			



CONSTRUCCION CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Proyecto de Investigación: BIA2014-55089-P
Influencia de factores físicos y geométricos en la evaluación de estructuras existentes de madera mediante técnicas no destructivas.

	Fecha	Nombre	Pieza	Testa	Escala 1:1
Dibujado	20/12/2017	Carlos Osuna	24	1	

Medidas con AutoCAD:
Área de testa (mm²): 27587

Perímetro (mm): 1877

Momento de Inercia (mm⁴):
X: 97208751 ; Y: 42649486

Momentos de Inercia principales:
 X_p : 97349882 ; Y_p : 42508356

Cosenos directores del eje principal X_p :
[0.9987, -0.0507]

Medidas con forcípula:
b (mm): 142 h(mm): 205