

---

# Evaluación no destructiva de madera antigua y patrimonial usada estructuralmente

10 jul. 17

---

AUTOR:

**JORGE CAMACHO VALERO**

TUTOR ACADÉMICO:

[José Ramón Albiol Ibáñez] [Departamento de  
Construcciones Arquitectónicas]

TUTOR EN LA EMPRESA:

[Miguel Ángel Abián Pérez] [Departamento de Tecnología y  
Biotecnología de la Madera (AIDIMME Instituto Tecnológico)]



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
ENGINYERIA  
D'EDIFICACIÓ

---

ETS de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València

## Resumen

En muchos casos, se desconocen las propiedades mecánicas de la madera antigua y patrimonial, lo que limita mucho las posibilidades de rehabilitación de edificios y estructuras con madera de hace más de 50 años. En ocasiones, maderas antiguas como la mobila tampoco están actualmente clasificadas según el Código Técnico de la Edificación, que entró en vigor en 2006.

Para estos tipos de madera, la realización de ensayos estructurales en laboratorio no es posible, pues el apeo y transporte del elemento resulta imposible (en el caso de la madera patrimonial) o no es viable técnica o económicamente; además, el elemento no podría volver a colocarse en su sitio original, pues estos ensayos son destructivos. Se necesita, por tanto, una metodología de evaluación no destructiva para madera antigua y patrimonial, que debe permitir también su clasificación según el Código Técnico de la Edificación.

**Palabras clave:** evaluación no destructiva, madera antigua y patrimonial, metodología, resistografía, ultrasonidos

## Abstract

In many cases, mechanical properties of old and heritage wood are unknown, which greatly limits the possibilities of building and structure renovation with wood from more than 50 years ago. Sometimes, wood species used in past times, like “mobila”, are not currently classified according to the Technical Building Code, which came into force in 2006.

For these types of wood, the performing of laboratory structural tests is not possible, since the shoring and transport of the element is impossible (in the case of heritage wood) or is not technically or economically viable; in addition, the element couldn't be replaced at its original place, since these tests are destructive. It is needed, thus, a non-destructive evaluation methodology for old and heritage wood, which must also allow its classification according to the Technical Building Code.

**Keywords:** methodology, non-destructive evaluation, old and heritage wood, resistography, timber, ultrasounds

## Citas

*Hay misterios en todas partes y es maravilloso descubrir cuántas cosas hay sobre las que no sabemos nada. Todos podemos convertirnos en investigadores o científicos. Los misterios son como un imán para atraer a la gente. Pero las respuestas pueden resultar frustrantes, pues a veces nos enseñan cosas que abren las puertas a otros misterios. Los misterios son lo que más amo: son el magnetismo de la vida.*

David Lynch, 1996

*Look up here, I'm on heaven / I've got scars that can't be seen*

David Bowie, 2013

*There are times when all the world's asleep, the questions run too deep for such a simple man*

Supertramp, 1979

## Agradecimientos

Me gustaría reconocer, en primer lugar, el papel que han desempeñado mis padres y mi hermano a lo largo de todos mis estudios de Arquitectura Técnica, ya que ellos han sido testigos de primera mano de todo lo que conlleva estudiar este grado. También agradecer a mis padres el hecho de creer en mí en todo momento.

Por otra parte, agradecer a la empresa AIDIMME el haberme brindado la oportunidad de realizar mi TFG en la misma teniendo en cuenta la dificultad que supone en la actualidad entrar en una empresa, aunque sea como estudiante en prácticas. Agradezco a todos los trabajadores de esta empresa el hecho de haberme sentido integrado desde el primer día. En especial, agradezco a mi tutor de empresa, Miguel Ángel Abián Pérez el haberse implicado tanto en este proyecto, con el entusiasmo del verdadero investigador y como no, ha sido un gran placer el hecho de saber que compartíamos gustos musicales y cinematográficos. Por último, agradecer todos los conocimientos que me ha transmitido relativos al TFG y la buena sintonía entre nosotros lo cual ha sido de gran ayuda para sacar adelante el proyecto. Tampoco podría dejar de agradecer a Guillermo y Guillem, quienes han sido mis compañeros de oficina y de inspecciones durante estos 6 meses de prácticas, todos los conocimientos que me han transmitido y la ayuda que me han brindado cuando tenía alguna duda. Tampoco me puedo olvidar de la simpatía de Rosa y de Marise.

Por parte de la universidad, quisiera agradecer a mi tutor UPV, José Ramón Albiol Ibáñez el hecho de creer desde el principio en este Trabajo y el haberse ofrecido como tutor, también desde ese mismo

momento. Reconocer también la buena sintonía entre nosotros, las dosis de positividad y las dudas resueltas.

También recuerdo con cierta nostalgia todos los buenos momentos compartidos con los que fueron mis compañeros de grado a lo largo de los años que he estado estudiando en la ETSIE. Gracias a ello, el peso de este grado se sobrellevaba mejor. Y a aquellos profesores con verdadera vocación y entusiasmo, gracias.

Para finalizar, me gustaría agradecer a todas aquellas personas (ya sean familiares o amigos) que han sabido o por lo menos intentado comprender lo que supone ser un estudiante de Arquitectura Técnica.

Aunque a veces pueda parecer que no, todo gran esfuerzo trae su recompensa.

## Acrónimos utilizados

**AENOR:** Asociación Española de Normalización y Certificación

**AIDIMME:** Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines

**AITIM:** Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera

**BOE:** Boletín Oficial del Estado

**CTE:** Código Técnico de la Edificación

**EN:** European Norm / Norma Europea

**END:** Evaluación No Destructiva

**IML:** Instrumenta Mechanik Labor

**IN:** Informe

**LCD:** Liquid Cristal Display / Pantalla de Cristal Líquido

**MOE:** Módulo de Elasticidad

**MOR:** Módulo de Rotura

**NDT:** Non Destructive Testing / Ensayo No Destructivo

**PSF:** Punto de Saturación de la Fibra

**TOF:** Time of Flight

**UNE:** Una Norma Española

**UPV:** Universidad Politécnica de Valencia



# Índice

Resumen .....	1
Abstract.....	2
Citas .....	3
Agradecimientos .....	4
Acrónimos utilizados .....	6
Índice .....	8
Índice de figuras.....	12
Índice de tablas .....	17
Capítulo 1.....	19
Introducción.....	19
1    Madera antigua y patrimonial .....	19
2    Evaluación no destructiva.....	26
3    Necesidad de la evaluación no destructiva para madera antigua y patrimonial.....	28
4    Principales técnicas de evaluación no destructiva o cuasi no destructiva para madera .....	30

5 Necesidad de una metodología específica de evaluación no destructiva para madera estructural.....	31
Capítulo 2.....	33
Objetivos .....	33
1 Objetivo general .....	33
2 Objetivos específicos .....	34
Capítulo 3.....	36
Equipos, materiales y metodología experimental.....	36
1 Equipos y materiales empleados .....	36
1.1 Higrómetro GANN JT 85T .....	37
1.2 Resistógrafo IML-RESI PD400.....	38
1.3 Sylvatest TRIO .....	49
1.4 Instrumentos de análisis del laboratorio.....	55
1.5 Materiales auxiliares y de seguridad .....	58
2 Metodología no destructiva .....	58
2.1 Introducción.....	58
2.2 Metodología específica para madera antigua y patrimonial.....	60
Capítulo 4.....	69
Programa experimental .....	69

1	Fase 1.....	69
2	Fase 2.....	69
3	Fase 3.....	70
4	Fase 4.....	71
5	Fase 5.....	71
6	Fase 6.....	71
	Capítulo 5.....	72
	Resultados y análisis .....	72
1	Fase 1.....	72
2	Fase 2-3.....	72
3	Fase 4.....	76
4	Fase 5.....	90
5	Fase 6.....	92
	Capítulo 6.....	94
	Conclusiones.....	94
	Capítulo 7.....	99
	Futuras líneas de trabajo.....	99
	Capítulo 8.....	100
	Referencias Bibliográficas .....	100

Anexo I. ....	107
Principios físicos para la determinación de MOE/MOR de la madera por ultrasonidos .....	107
1    Introducción a la evaluación no destructiva.....	107
2    Evaluación mediante técnicas de ultrasonidos. ....	110
Anexo II. ....	116
Diario de obra .....	116
1    Enero 2017.....	116
2    Febrero 2017 .....	118
3    Marzo 2017.....	127
4    Abril 2017 .....	131
5    Mayo 2017.....	133
Anexo III. ....	146
Plantilla Excel. Parte 1 y 2. ....	146
Anexo IV.....	155
Ejemplos de gráficas resistográficas .....	155

## Índice de figuras

Figura 1.1. Hongos cromógenos. 2016. AIDIMME.....	20
Figura 1.2. Pudrición parda. 2014. AIDIMME .....	21
Figura 1.3. Madera degradada por carcinoma fina. 2017. Fuente propia	22
Figura 1.4. Madera degradada por termitas. 2017. Fuente propia.....	23
Figura 1.5. Distintos elementos estructurales de mobila. 2015. AIDIMME.....	24
Figura 1.6. Inscripción sobre la información de los exportadores en un elemento antiguo de mobila. 2015. AIDIMME.....	25
Figura 1.7. Cortes transversales de un elemento antiguo de mobila. 2015. AIDIMME.....	26
Figura 1.8. Corte transversal de un elemento de madera donde se puede distinguir la albura y el duramen. 2017. Fuente propia .....	30
Figura 3.1. Higrómetro GANN JT 85T. 2017. Fuente propia .....	37
Figura 3.2. Instrumento de perforación. 1; asideros, 2; batería, 3; unidad digital, 4; aguja perforadora. 2017. Fuente propia .....	40
Figura 3.3. Instrumento de perforación. 1; asideros, 2; unidad digital, 3; aguja perforadora. 2017. Fuente propia .....	40
Figura 3.4. Punta de seguridad por la que sale la aguja perforadora. 2017. Fuente propia .....	41

Figura 3.5. Punta de seguridad por la que sale la aguja perforadora. 2017. Fuente propia .....	41
Figura 3.6. Unidad digital. 1; botón de activación del resistógrafo/navegación por el menú, 2; pantalla digital. 2017. Fuente propia.....	42
Figura 3.7. Pantalla digital. 1; texto identificativo de la calle donde se encuentra el inmueble objeto de inspección, 2; velocidad de avance del resistógrafo, 3; grados de inclinación del resistógrafo, 4; velocidad de rotación del resistógrafo. 2017. Fuente propia.....	43
Figura 3.8. Gráfica generada durante el proceso de perforación. S.f. IML.....	44
Figura 3.9. Botones de la unidad digital. 2017. Fuente propia.....	45
Figura 3.10. Diferencias entre gráfica “drill resistance” (verde) y “feed force” (azul). S.f. IML .....	48
Figura 3.11. Unidad central y unidad digital de Sylvatest TRIO. 1; puerto de serie, 2; pantalla, 3; encendido / ok, 4; más, 5; escapar, 6; suplemento externo de batería, 7; menos, 8; unidad digital. 2017. Fuente propia .....	50
Figura 3.12. Equipo Sylvatest TRIO. 1; transductor emisor, 2; conector de transmisión ultrasónica, 3; transductor receptor, 4; conector de recepción ultrasónica. 2017. Fuente propia.....	51
Figura 3.13. Método directo. 2014. AIDIMME .....	52
Figura 3.14. Medida de ultrasonidos según el método indirecto. 2017 Fuente propia .....	53

Figura 3.15. Balanza analítica Sartorius Extend. Modelo ED124S. 2017. Fuente propia .....	56
Figura 3.16. Estufa de secado Memmert. 2017. Fuente propia .....	57
Figura 3.17. Calibrador digital Alpha Tools. 2017. Fuente propia .....	57
Figura 3.18. Análisis visual mediante punzón. 2017. Fuente propia .....	62
Figura 3.19. Ensayo de resistografía. 2017. Fuente propia .....	63
Figura 3.20. Plantilla de toma de datos de resistografías. 2017. Fuente propia.....	64
Figura 3.21. Plantilla de toma de datos de ultrasonidos. 2017. Fuente propia.....	65
Figura 3.22. Colocación de los transductores para la medición de ultrasonidos. 2017. Fuente propia .....	66
Figura 3.23. Algunas muestras de densidad de las inspecciones realizadas. 2017. Fuente propia .....	67
Figura 5.1. Muestras de densidad con distintos niveles de degradación procedentes de la inspección realizada en la C/Reina (Valencia). 2017. Fuente propia .....	73
Figura 5.2. Extracto de la plantilla Excel (parte 1). 2017. Fuente propia.....	75
Figura 5.3. Extracto de la plantilla Excel (parte 2). 2017. Fuente propia.....	75
Figura 5.4. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 5. 2017. Fuente propia.....	85

Figura 5.5. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 6. 2017. Fuente propia.....	86
Figura 5.6. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 8. 2017. Fuente propia.....	90
Figura AI.1. Medición de la velocidad de la onda, en este caso por el método directo. 2016. Acuña et al., 2006.....	112
Figura AI.2. Posicionamiento de los palpadores en medidas longitudinales (a), transversales b) y con un ángulo $\alpha$ (c y d). 2016. Acuña et al., 2006.....	113
Figura AI.3. Relación entre la velocidad de la onda y la humedad interna de la madera. 2016. Pellerin y Ross, 2002.....	115
Figura AII.1. Realizando una resistografía en una viga de carga en la inspección de Calle Gandía. 2017. Fuente propia .....	117
Figura AII.2. Realizando una resistografía en una de las viguetas del forjado de planta 1 en la inspección de Calle Reina nº135. 2017. Fuente propia.....	125
Figura AII.3. Anotando datos en la plantilla Excel en la planta bajo cubierta del edificio de la Calle San Mauro nº22. 2017. Fuente propia.....	128
Figura AII.4. Colocando los transductores para la medición de ultrasonidos de una vigueta del forjado de planta 1 del edificio de Av. Corts Valencianes nº37. 2017. Fuente propia .....	133
Figura AII.5. Realizando un análisis visual de la cata 2.1. durante la inspección de Calle Sueca nº 26. 2017. Fuente propia.....	140



Figura AIV.1. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº28 realizada en el par 41 del entramado estructural de cubierta de la inspección de calle San Francisco de Borja, nº13. 2017. Fuente propia ..... 155

Figura AIV.2. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº9 realizada en la vigueta 3 del forjado de planta 1 de la inspección de calle Reina, nº135. 2017. Fuente propia..... 156

Figura AIV.3. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº54 realizada en el dintel 4 de la planta bajo cubierta de la inspección de calle San Mauro, nº22. 2017. Fuente propia ..... 157

## Índice de tablas

Tabla 3.1. Velocidad de avance del resistógrafo. 2016. AIDIMME.....	46
Tabla 3.2. Velocidades de avance de la microperforación del resistógrafo. 2016. AIDIMME .....	47
Tabla 5.1. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 1. 2017. Fuente propia .....	78
Tabla 5.2. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 1. 2017. Fuente propia.....	79
Tabla 5.3. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 2. 2017. Fuente propia .....	80
Tabla 5.4. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 2. 2017. Fuente propia.....	81
Tabla 5.5. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 3. 2017. Fuente propia .....	82
Tabla 5.6. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 4. 2017. Fuente propia .....	83
Tabla 5.7. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 5. 2017. Fuente propia .....	84
Tabla 5.8. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 6. 2017. Fuente propia .....	86

Tabla 5.9. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 7. 2017. Fuente propia .....	87
Tabla 5.10. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 7. 2017. Fuente propia.....	88
Tabla 5.11. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 8. 2017. Fuente propia .....	89
Tabla 5.12. Tabla de promedios de densidad, MOE y MOR y clasificación estructural de cada especie según el CTE. 2017. Fuente propia .....	92
Tabla 5.13. Tabla E.1.1 del Anejo E del Documento Básico SE-M. Seguridad Estructural. Madera perteneciente al CTE. 2009. CTE .....	93
Tabla AI.1. Coeficiente de correlación según especie entre MOE y MOR estáticos (madera actual y sin defectos). 2017. Pellerin y Ross, 2002.....	108
Tabla AI.2. Estudio de las propiedades de la madera según técnica de evaluación no destructiva. 2017. Pellerin y Ross, 2002 .....	111
Tabla AIII.1. Plantilla Excel (parte 1). 2017. Fuente propia .....	146
Tabla AIII.2. Plantilla Excel (parte 2). 2017. Fuente propia .....	150

# Capítulo 1.

## Introducción

### 1 Madera antigua y patrimonial

La madera antigua y patrimonial suele presentar deterioros o degradaciones, que pueden ser de origen biótico o abiótico.

Las patologías de origen biótico están causadas por varios tipos de organismos xilófagos (Arriaga *et al.*, 2002). Los hongos xilófagos se alimentan de la madera, y se clasifican en hongos cromógenos y hongos de pudrición. Los hongos cromógenos (Figura 1.1) no afectan a la pared celular, por lo que apenas disminuyen la resistencia mecánica de la madera y plantean principalmente un problema estético (Arriaga *et al.*, 2002). Los principales hongos cromógenos que existen en España son los de azulado (Capuz, 2005).



Figura 1.1. Hongos cromógenos. 2016. AIDIMME.

Los hongos de pudrición afectan a las propiedades mecánicas, ya que se alimentan de los componentes de la pared celular. Existen tres tipos de pudrición (Arriaga *et al.*, 2002): pudrición parda o cúbica (producida por hongos del orden basidiomicetos; Figura 1.2), pudrición blanca o fibrosa (basidiomicetos) y pudrición blanda (ascomicetos).



Figura 1.2. Pudrición parda. 2014. AIDIMME.

En los edificios de la península ibérica, la madera está expuesta a los ataques de insectos de ciclo larvario (coleópteros) y sociales (isópteros), pertenecientes a las familias de los anóbidos (carcoma fina; Figura 1.3), cerambícidos (carcoma grande), líctidos (polilla), curculiónidos (gorgojo), bostríchidos, platipódidos (escarabajos de ambrosía), escolítidos (carcoma negra) y termitas (Arriaga *et al.*, 2002). Estos insectos se alimentan de la madera, y producen un deterioro biológico de la pared celular y la consecuente reducción significativa de la resistencia mecánica (Creffield, 1996). La mayoría de ellos atacan a la

madera que tenga un contenido de humedad superior al 20%, particularmente, las termitas (Krishna y Weesner, 1970).



Figura 1.3. Madera degradada por carcoma fina. 2017. Fuente propia.

Las termitas, en particular las termitas subterráneas (*Reticulitermes lucífugus* Rossi), son los insectos más peligrosos para edificios con estructura de madera situados en regiones templadas, como por ejemplo en la Europa Mediterránea. Esto se debe a su carácter social, con colonias que pueden llegar al millón de individuos. Cada año, en Europa, las termitas subterráneas causan un gasto de más de 700

millones de euros por daños, tratamientos y reparaciones en estructuras de madera (UNEP, 2000). Con el cambio climático, es previsible que los daños por termitas (Figura 1.4) aumenten en Europa, pues ya se están detectando ataques en regiones como norte de Francia, Alemania, Austria y Reino Unido.



*Figura 1.4. Madera degradada por termitas. 2017. Fuente propia.*

Actualmente existen sistemas remotos y autónomos de monitorización de la madera patrimonial (Abián, 2017), pero estos sistemas no pueden evaluar los daños ya sufridos por la madera.

Una madera antigua abundante en la Comunidad Valenciana es la que se conoce como “mobila”, que forma parte de muchos edificios (Figura 1.5) del patrimonio histórico valenciano (Segura y Martínez, 2015). Esta madera se llamaba así porque venía importada desde diferentes



puertos del golfo de México, el más común en los inicios de su entrada, del puerto de la bahía de Mobile (de aquí el nombre utilizado), Tampa, Pensacola, etc., en los estados norteamericanos de Luisiana, Florida o Alabama. Estas importaciones comenzaron a finales del siglo XIX (1880) y finalizaron a principios del XX (1930) y solían descargarse en los puertos de Valencia y, en menor medida, en el de Mallorca, donde también se la conoce como “Charleston” o “Nort Vell”.



*Figura 1.5. Distintos elementos estructurales de mobila. 2015. AIDIMME.*

En la Figura 1.6 puede verse un ejemplo de una inscripción realizada en un elemento antiguo de mobila, con información relativa al exportador de ese elemento.



Figura 1.6. Inscripción sobre la información de los exportadores en un elemento antiguo de mobila. 2015. AIDIMME.

La mobila proviene de 4 especies (*Pinus palustris* Mill, *Pinus taeda* L., *Pinus elliottii* Engelm, *Pinus echinata* Mill.), de mayor a menor importancia). Se cortaba de árboles de crecimiento lento, y por tanto se obtenían grandes piezas sin albura prácticamente (Figura 1.7). Debido a esto, en algunos casos se han medido densidades superiores a 1.000 kg/m<sup>3</sup>, y clasificaciones estructurales bastante más altas de C45, algo no muy común en el mundo de las coníferas (Segura y Martínez, 2015).

Además, esta madera tiene una durabilidad natural muy superior a las demás especies usadas, tanto frente a los hongos y la carcoma, como a las termitas.



*Figura 1.7. Cortes transversales de un elemento antiguo de mobila. 2015.  
AIDIMME.*

Las patologías de origen abiótico se deben al fuego y a la radiación solar.

## 2 Evaluación no destructiva

La evaluación no destructiva (END) es, por definición, la ciencia de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la pieza de un material determinado sin alterar sus capacidades de uso final, con el

objetivo de usar esta información para tomar decisiones sobre los usos más adecuados de la pieza analizada (Pellerin y Ross, 2002). Tales evaluaciones se basan en tecnologías de ensayos no destructivos para proporcionar información precisa sobre las propiedades y estado del material analizado.

Muchos ensayos y técnicas pueden clasificarse como de carácter no destructivo. Los ensayos concretos que pueden realizarse dependen del material en cuestión y de las propiedades que se deseen conocer, normalmente vinculadas al uso final. Por ejemplo, la inspección visual es una de las técnicas no destructivas más usadas en la industria de la madera para clasificar las piezas de madera aserrada atendiendo a su resistencia mecánica. Dicha inspección visual incluye evaluar características como el tamaño, número y localización de los nudos (Pellerin y Ross, 2002).

Desde hace décadas se desarrollan amplias investigaciones sobre evaluación no destructiva de la madera (Pellerin y Ross, 2002). En algunas de ellas ha participado AIDIMME (Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines).

En la década de 1950 se formuló la hipótesis fundamental de END de la madera (Jayne, 1959), la cual considera que, en la madera, la energía almacenada cuando es sometida a vibraciones y las propiedades de disipación de ésta obedecen a los mismos mecanismos que determinan el comportamiento estático de esos materiales. En consecuencia, pueden establecerse relaciones matemáticas entre esas propiedades y la elasticidad y la resistencia estáticas, mediante análisis estadísticos de regresión.

### 3 Necesidad de la evaluación no destructiva para madera antigua y patrimonial

Se desconocen las propiedades mecánicas de la madera antigua y patrimonial, lo que limita mucho o directamente imposibilita la rehabilitación adecuada de edificios y estructuras con madera de hace más de 40 años. Según datos de AIDIMME, se calcula que un 70% de la madera antigua/patrimonial que se sustituye en España, principalmente por desconocimiento de su estado o porque superficialmente presenta deterioros, podría bien conservarse o bien rehabilitarse con refuerzos o reparaciones muy localizadas y de poco coste económico.

Esa madera tampoco tiene una clasificación según el Código Técnico de la Edificación (CTE), que entró en vigor en 2006. Para ese tipo de madera, la realización de ensayos estructurales en laboratorio no es posible, pues el apeo y transporte del elemento resulta imposible (en el caso de la madera patrimonial) o no es viable técnica o económicamente; además, el elemento no podría volver a usarse, pues estos ensayos son destructivos. Por otra parte, se evitará la eliminación de madera con mal aspecto visual, pero con buenas calidades mecánicas, a menudo superiores a una clase resistente C24.

A menudo, los defectos de la madera no pueden detectarse a simple vista; además, el aspecto de ésta apenas guarda correlación con su calidad estructural, salvo en casos extremos: grandes deformaciones y huecos, roturas, pérdidas grandes de sección, etc. (Abián y Zapata, 2007). En general, para la madera se considera que la inspección visual es poco fiable (Pellerin y Ross, 2002). Además, la inspección visual no puede emplearse en zonas que no son accesibles, como por ejemplo las zonas de empotramiento de los muros o las cabezas ocultas de las

vigas, zonas en las que suelen encontrarse deterioros importantes por termitas y hongos.

Existen normas españolas de clasificación visual (UNE 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas y UNE 56546:2013. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas) que clasifican la madera según el sistema de clases resistentes establecido en la norma UNE-EN 338:2016. Madera estructural. Clases resistentes y usado por el CTE. Estas normas clasifican la madera atendiendo a varias características de ésta. Por ejemplo, el diámetro de los nudos sobre la cara o el canto, la longitud de las fendas, la presencia de bolsas de resina o la desviación de las fibras, entre otras.

Las citadas normas de clasificación visual no son apropiadas para madera antigua/patrimonial, porque subestiman por lo general la resistencia de la madera y se han redactado a partir de investigaciones hechas con lotes de madera actual, de propiedades muy distintas a la de la madera antigua (Arriaga *et al.*, 2002). Por ejemplo, la madera antigua suele presentar mayor porcentaje de duramen y mayor densidad que la madera actual, en su mayor parte compuesta por albura.

La albura y el duramen (Figura 1.8) son dos zonas diferenciadas que pertenecen a la parte del tronco que comúnmente denominamos madera. La albura es el tejido leñoso del tronco que transporta los nutrientes, joven, poroso, que también es poco resistente y puede sufrir fácilmente ataques de organismos xilófagos. El duramen es la parte más vieja, sin células vivas; es más oscuro, denso y durable frente a xilófagos que la albura, debido a los procesos de lignificación y

mineralización que ha sufrido. Su color es normalmente más oscuro que el de la albura (Capuz, 2005).



*Figura 1.8. Corte transversal de un elemento de madera donde se puede distinguir la albura y el duramen. 2017. Fuente propia.*

El uso de herramientas como el punzón resulta de poco interés para madera antigua, ya que está muy duraminizada.

#### 4 Principales técnicas de evaluación no destructiva o cuasi no destructiva para madera

Teniendo en cuenta la bibliografía de más relevancia sobre este tema, que se resume en Pellerin y Ross (2002), las principales técnicas de

evaluación no destructiva o cuasi no destructiva para madera son las resistografías, los ultrasonidos y las vibraciones inducidas.

En cuanto a las resistografías, la correlación con la densidad de la madera seca es muy elevada ( $R^2 = 0,8$ ), según Arriaga *et al.* (2002), para madera actual y sana (es decir, sin daños bióticos o abióticos).

El rango del coeficiente de correlación existente entre el módulo de elasticidad (MOE) medido con ultrasonidos y medido destructivamente mediante máquina universal de ensayos varía desde 0,87 a 0,98 (Pellerin y Ross, 2002) para madera actual y sin defectos relevantes. La técnica de ultrasonidos se explica en el Anexo I.

Por último, para las vibraciones inducidas se han realizado estudios en los que, para madera de coníferas, el rango del coeficiente de correlación existente entre el MOE medido mediante estas vibraciones y medido destructivamente mediante máquina universal de ensayos varía desde 0,73 a 0,81. Para madera de frondosas, dicho rango varía desde 0,84 a 0,97 (Chudnoff *et al.*, 1984). Esta técnica puede aplicarse solamente en elementos libres, ya que deben vibrar sin restricciones, y por lo tanto tiene escasa utilidad para madera ya instalada en edificios.

El uso combinado de las técnicas de resistografía y ultrasonidos se ha revelado eficaz para evaluar madera quemada (Abián y Segura, 2016).

## 5 Necesidad de una metodología específica de evaluación no destructiva para madera estructural

Como paso previo al mantenimiento y rehabilitación de la madera antigua y patrimonial, es necesario conocer sus características



mecánicas mediante una metodología de evaluación no destructiva que permita clasificarla según el CTE.

Resulta imprescindible establecer una metodología específica, pues la madera antigua tiene propiedades (alto porcentaje de duramen, densidades muy altas) y defectos (ataques de carcoma, de termitas, de hongos; nudos grandes, gemas, desviaciones de la fibra) que no tienen las maderas actuales.

El objetivo general del proyecto consiste en formular una metodología de evaluación no destructiva adaptada a madera antigua y patrimonial; aplicarla en edificios construidos o en rehabilitación; y, por último, analizar estadísticamente los resultados obtenidos y relacionar el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión obtenidos con otras propiedades y características de la madera (densidad, número de nudos, especie, longitud degradada determinada mediante resistografía, etc.).

# Capítulo 2.

## Objetivos

### 1 Objetivo general

El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo general formular una metodología de evaluación no destructiva adaptada a madera antigua y patrimonial, aplicarla en edificios construidos o en rehabilitación y, por último, analizar estadísticamente los resultados obtenidos a fin de relacionar el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión con otras propiedades y características de la madera (densidad, especie, estado visual de degradación, longitud degradada medida por resistografía, etc.).

Existen varias razones por las cuales es necesaria una metodología específica para madera antigua y patrimonial. Por una parte, se desconocen sus propiedades mecánicas y tampoco encaja dentro de la clasificación del Código Técnico de la Edificación (CTE), que entró en vigor en 2006. Por otra parte, no es posible realizar ensayos destructivos en este tipo de madera, pues en unos casos el apeo y transporte es imposible (madera patrimonial) y en otros no es viable técnica o económicamente. También hay que tener en cuenta la evidente imposibilidad de volver a utilizar esta madera después de un ensayo destructivo. Además, hay que destacar que la inspección visual

es poco fiable y no puede utilizarse en zonas no accesibles (por ejemplo, empotramientos de vigas y viguetas en los muros).

Las normas actuales de clasificación visual no resultan apropiadas para madera antigua y patrimonial ya que no estiman correctamente la resistencia de la madera y se han basado en madera actual, cuyas propiedades distan mucho de las de madera antigua (mayor porcentaje de duramen y mayor densidad). Por último, el empleo de herramientas como el punzón no es aceptable en madera antigua, dado que está muy duraminizada.

## 2 Objetivos específicos

El objetivo general del proyecto se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- a) Formular una metodología específica de evaluación no destructiva adaptada a madera antigua y patrimonial. Esta metodología tendrá en cuenta aspectos como el deterioro y el mayor porcentaje de duramen y por tanto de densidad que tienen esas maderas, y que la diferencian mecánicamente de la madera que se comercializa en la actualidad.
- b) Caracterizar de manera no destructiva las propiedades mecánicas de las especies de madera predominantes en la madera antigua y patrimonial en la Comunidad Valenciana y clasificarlas según el CTE.
- c) Analizar estadísticamente los resultados obtenidos mediante evaluación no destructiva a fin de expresar el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión como funciones de otras

propiedades y características de la madera (densidad, número de nudos, especie, longitud degradada determinada mediante resistografía, etc.).

Con los datos obtenidos, las estructuras y edificios en las que están este tipo de maderas podrán rehabilitarse de forma segura, rápida y económica, ya que se dispondrá de información que antes no existía.

Por otra parte, se evitará la eliminación de madera con mal aspecto visual, pero con buenas calidades mecánicas, a menudo superiores a una clase resistente C24.

Según datos de AIDIMME, se calcula que un 70% de la madera antigua/patrimonial que se sustituye en España, principalmente por desconocimiento de su estado o porque superficialmente presenta deterioros, podría bien conservarse o bien rehabilitarse con refuerzos o reparaciones muy localizadas y de bajo coste.

# Capítulo 3.

## Equipos, materiales y metodología experimental

### 1 Equipos y materiales empleados

Para la toma de datos se han empleado tres instrumentos de medición, cada uno de los cuales proporciona información útil para analizar la calidad interna de la madera. Por otra parte, para determinar la densidad de las probetas de madera recogidas en obra, así como su especie y las patologías que presentan, se han empleado cuatro instrumentos de análisis en los laboratorios de AIDIMME.

En la realización de las inspecciones se ha aplicado la normativa de seguridad correspondiente (Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales; Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción y Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual) y también se ha empleado material auxiliar.

Los equipos y materiales empleados durante la realización del siguiente Trabajo Final de Grado fueron los siguientes:

### 1.1 Higrómetro GANN JT 85T

Este instrumento calcula la humedad presente en madera aserrada, tableros de aglomerado, contrachapados y materiales de obra fraguados. Es posible emplearlo a diferentes niveles de medición, con un mínimo de un 4% de humedad hasta un máximo del 30%, que corresponde al punto de saturación de la fibra (PSF). Se llega al PSF cuando la madera alcanza un contenido de humedad tal que el agua libre ha sido evaporada y solo contiene agua higroscópica. Por encima del PSF, la madera no cambia sus dimensiones.

Se trata de un instrumento con display digital LCD (Figura 3.1).



*Figura 3.1. Higrómetro GANN JT 85T. 2017. Fuente propia.*

## 1.2 Resistógrafo IML-RESI PD400

Este equipo se diseñó para realizar un análisis práctico de estructuras de madera. Se trata de un instrumento de uso fácil, rápido y preciso para determinar qué zonas de la estructura de madera se conservan en buen estado y no necesitan ser sustituidas o reforzadas. Además, su ámbito de utilización se extiende al campo de la valoración de arbolado (Rinn, 1994) y de la medición de perfiles de densidad de paneles compuestos de madera (Winistorfer *et al.*, 1995).

El resistógrafo evalúa la resistencia que la madera opone a la penetración de una aguja de acero de 1,5 mm de diámetro y de longitud máxima de hasta 2 metros que gira a velocidad constante mientras se introduce en la madera. El valor de la resistencia del taladro se mide mediante la potencia del motor del taladro, que es proporcional a la densidad de la madera penetrada. El resultado se expresa como un porcentaje de amplitud de la resistencia a la penetración. Las unidades de la amplitud no figuran en la documentación del aparato ni en ninguna fuente bibliográfica. Tras contactar con el fabricante no se ha conseguido ninguna aclaración sobre cuáles unidades de dicha amplitud, posiblemente por motivos de secreto industrial. Como novedad, el resistógrafo modelo IML-RESI PD400 permite además de obtener gráficas de resistencia a penetración obtener gráficas de fuerza de avance (“feed force”), que es la fuerza necesaria para empujar la aguja dentro de la madera. Esta fuerza se explica más adelante en este apartado.

La geometría de la punta de la aguja tiene dos veces el espesor del vástago debido a que la fuerza ejercida se concentra en dicho punto. La geometría de la cabeza del resistógrafo permite que la aguja penetre con facilidad a 90º, 35º y 45º. El registro de datos se realiza

gráficamente a través de una memoria y una pantalla digital que reproduce los perfiles topográficos mientras se realiza el ensayo. Así pues, es posible conocer el estado de la madera durante la inspección.

La madera de verano y la madera de invierno de coníferas muestran una resistencia diferente a ser atravesada. Cuando la madera se encuentra debilitada, la resistencia a la penetración disminuye puntualmente a medida que el resistógrafo atraviesa las galerías. Lógicamente, las perforaciones realizadas son de carácter local, por lo cual, para analizar el grado de deterioro de una pieza de madera resulta necesario llevar a cabo varias perforaciones en diferentes puntos. Las perforaciones realizadas diagonalmente sobre el plano de la sección aportan más información sobre el estado del elemento perforado (Mariño *et al.*, 2002).

Existen diversos estudios publicados donde se avala la utilización del resistógrafo como herramienta válida para la inspección de estructuras de madera y para la obtención de valores de resistencia y densidad de la madera (Gruber, 2001).

El resistógrafo consta de tres partes diferenciadas: un instrumento de perforación, una unidad digital y una batería. Estas dos últimas partes están integradas en el instrumento de perforación, por tanto, se dispone, en un mismo elemento, de todo lo necesario para perforar y evaluar al mismo tiempo la pieza en cuestión. El instrumento de perforación, diseñado de manera ergonómica para reducir el cansancio del operario, consta de dos asideros, que junto con los botones de la unidad digital permiten controlar el proceso de perforación (Figuras 3.2 y 3.3).



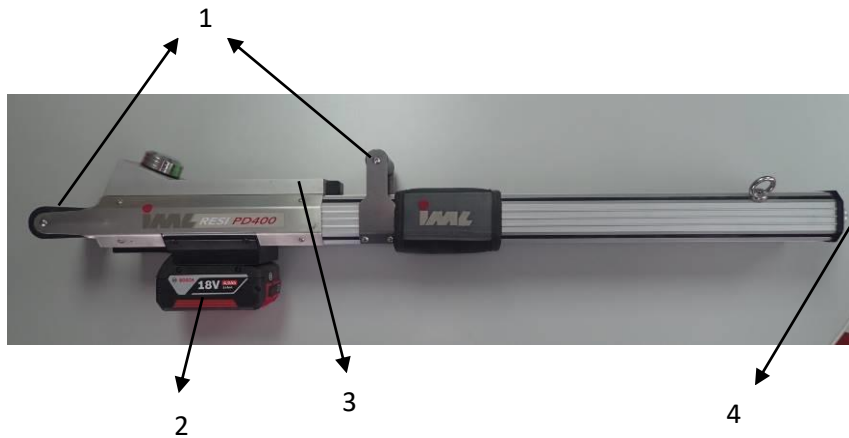


Figura 3.2. Instrumento de perforación. 1; asideros, 2; batería, 3; unidad digital, 4; aguja perforadora. 2017. Fuente propia.

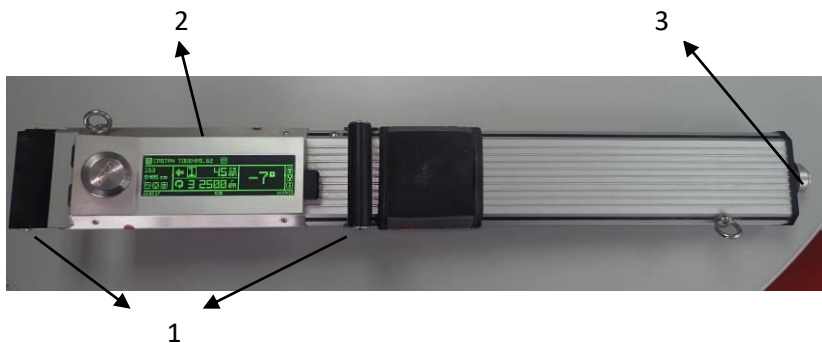
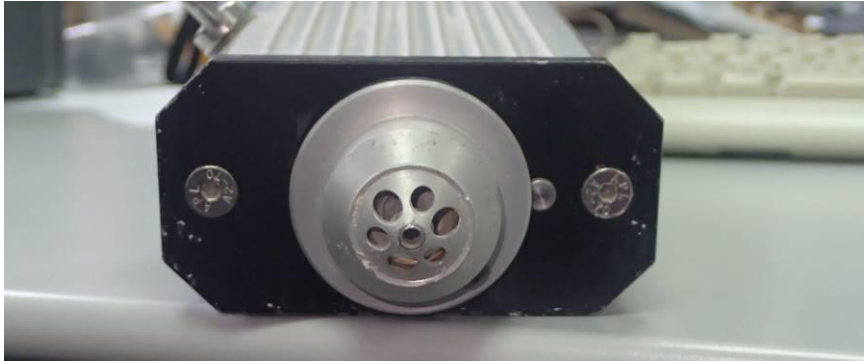
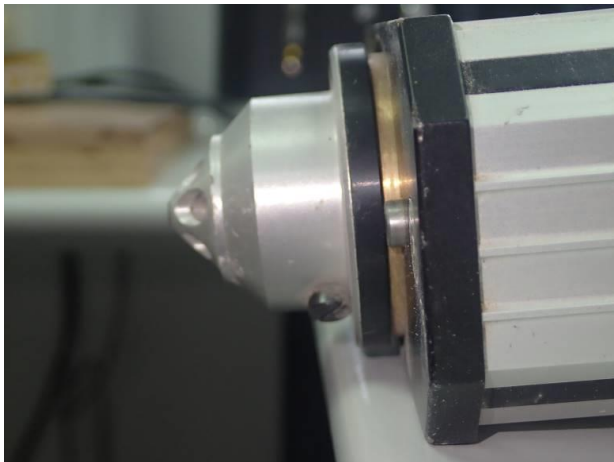


Figura 3.3. Instrumento de perforación. 1; asideros, 2; unidad digital, 3; aguja perforadora. 2017. Fuente propia.

En las Figuras 3.4 y 3.5 pueden verse 2 perspectivas de la punta de seguridad por la que sale la aguja perforadora.

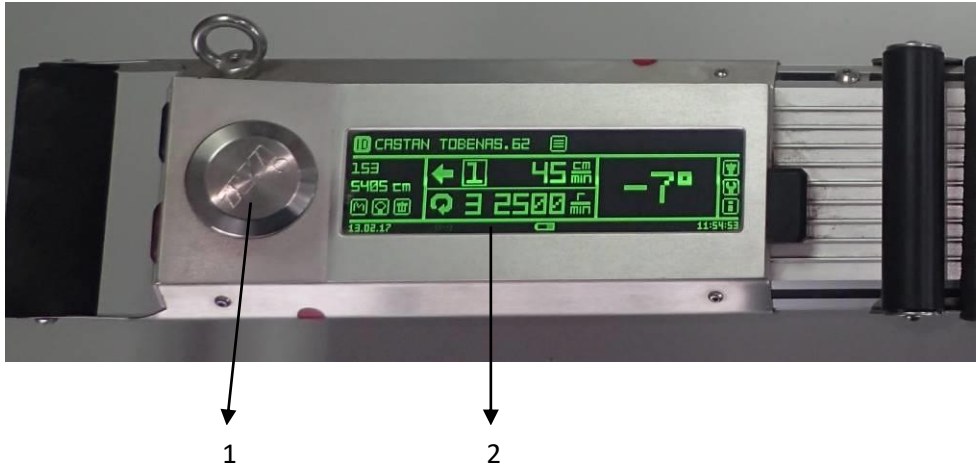


*Figura 3.4. Punta de seguridad por la que sale la aguja perforadora. 2017.  
Fuente propia.*



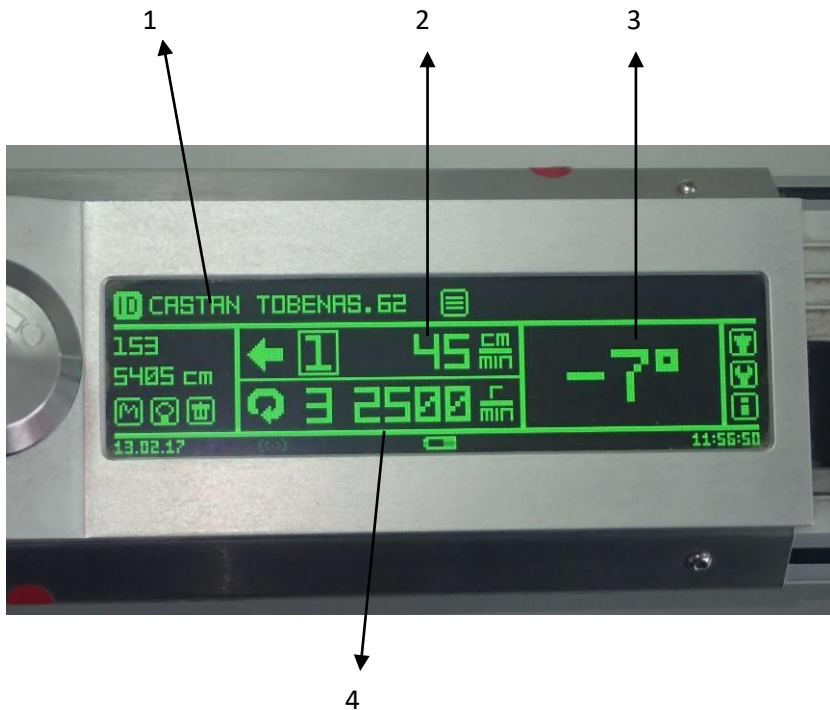
*Figura 3.5. Punta de seguridad por la que sale la aguja perforadora. 2017.  
Fuente propia.*

Por otra parte, la unidad digital registra todos los datos correspondientes a cada una de las perforaciones llevadas a cabo (Figura 3.6).



*Figura 3.6. Unidad digital. 1; botón de activación del resistógrafo/navegación por el menú, 2; pantalla digital. 2017. Fuente propia.*

En el momento previo a la perforación se pueden visualizar los siguientes elementos en la pantalla digital (Figura 3.7).



*Figura 3.7. Pantalla digital. 1; texto identificativo de la calle donde se encuentra el inmueble objeto de inspección, 2; velocidad de avance del resistógrafo, 3; grados de inclinación del resistógrafo, 4; velocidad de rotación del resistógrafo. 2017. Fuente propia.*

Durante el proceso de perforación, se va generando una gráfica que se puede visualizar en la pantalla (Figura 3.8).

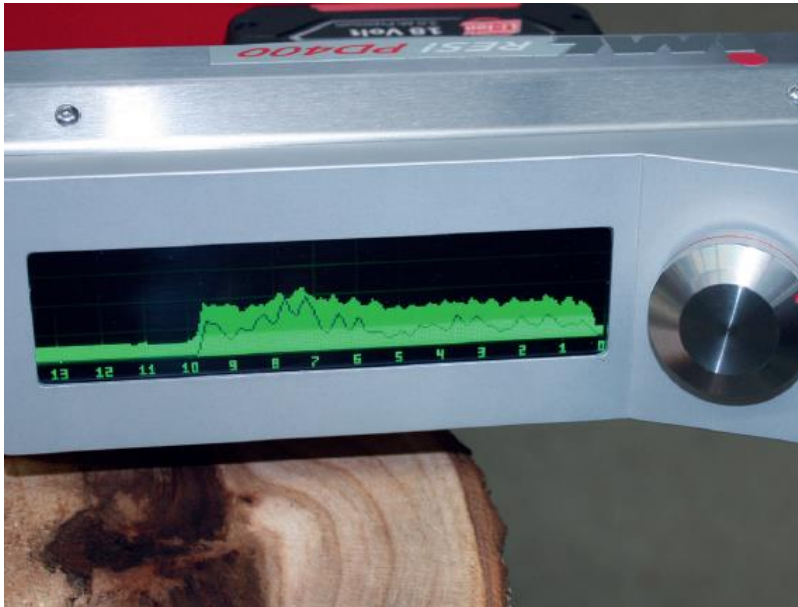
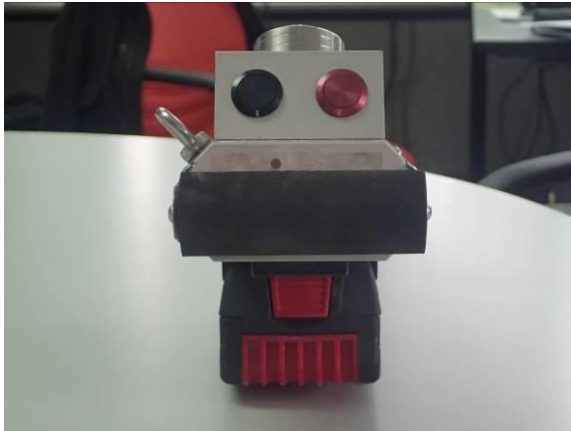


Figura 3.8. Gráfica generada durante el proceso de perforación. S.f. IML.

En uno de los laterales de la unidad digital hay dos botones de diferente color (Figura 3.9). Con el botón negro se puede cambiar la velocidad de avance y rotación, así como cambiar entre diferentes resistografías. El botón rojo tiene la función de marcha y paro de la resistografía.



*Figura 3.9. Botones de la unidad digital. 2017. Fuente propia.*

La gráfica creada, muestra una correlación lineal entre los valores de resistencia y densidad de la madera, según los estudios realizados por Rinn (1994). Los valores medios de los perfiles resistográficos se correlacionan fielmente con la densidad media de la madera. Por lo tanto, al analizar las gráficas obtenidas, es posible identificar posibles pudriciones y defectos de la madera, tanto en la puesta en obra como en árboles vivos. Además de analizar la calidad interna de la madera y determinar el crecimiento anual de los anillos en función de la resistencia que presente a la microperforación.

Resulta fundamental tener en cuenta la naturaleza de la madera e insertar la aguja del resistógrafo en zonas libres de nudos o fendas ya que permite obtener una mayor fiabilidad en cuanto a la dirección de la aguja y en cuanto a la resistencia real de la madera. Según sea la dureza

de la madera a analizar, se debe establecer una velocidad de avance de la microperforación (Tablas 3.1 y 3.2).

Material	Especie	Estado
Madera dura	Carpinus sp., Quercus sp., Fagus sp., Acer sp., Platanus sp., Castanea sp.,...	1-4
Madera blanda	Abies sp., Pinus sp., Picea sp., Tilia sp., Betula sp., Aesculus sp., ...	3-6
Vigas estructurales	Quercus sp., Picea sp., Pinus sp., Abies sp., Larix sp., Thuja sp., ...	2-6

*Tabla 3.1. Velocidad de avance del resistógrafo. 2016. AIDIMME.*

Estado	Velocidad de avance (cm/min)
1	10
2	15
3	20
4	30
5	40
6	45

*Tabla 3.2. Velocidades de avance de la microperforación del resistógrafo. 2016. AIDIMME.*

Se sabe que los perfiles resistográficos obtenidos con ángulos de 90º reflejan fielmente la geometría interna de la madera (Álvarez *et al.*, 2005).

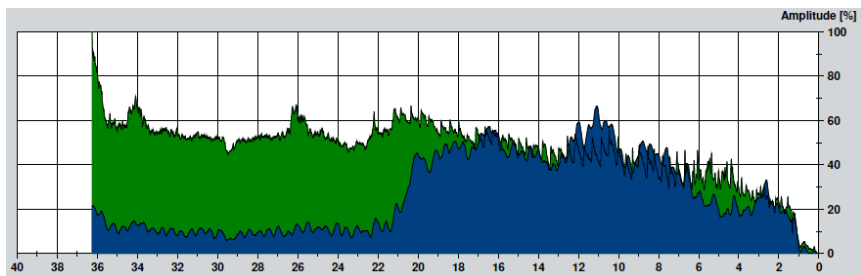
En este trabajo se han utilizado las gráficas “feed force” (fuerza de avance o fuerza para empujar la aguja dentro de la madera) del resistógrafo IML-RESI PD400. Estas gráficas, ya mencionadas antes, no se generaban con los anteriores modelos de resistógrafo y, por tanto, sólo se podía trabajar con la gráfica de resistencia a perforación (“drill resistance”). El problema que plantea esta última gráfica es que, mientras se ejecuta la perforación, la aguja se ve afectada por un rozamiento (“shaft-friction”) causado por el aprisionamiento que sufre



la aguja por las virutas de madera que se van acumulando y esto se incrementa cuanto más profunda es la perforación.

La resistencia a la perforación está compuesta por este tipo de rozamiento y, además, por la fuerza torsional en la punta de la aguja; ambos hechos producen que la gráfica de resistencia a la penetración no refleje con la amplitud adecuada cuando, por ejemplo, la aguja sale de la pieza de madera o se alcanza un hueco o una zona degradada. En estos casos, la curva, en lugar de descender significativamente en amplitud, o bien desciende muy ligeramente o se mantiene en el mismo nivel.

La gráfica “feed force” o de fuerza de avance, por el contrario, apenas se ve afectada por el rozamiento de la aguja, lo que facilita la identificación de ataques, pudriciones y cavidades en la pieza (IML, s.f.). En la Figura 3.10 se representa gráficamente la diferencia descrita anteriormente. Teniendo en cuenta las ventajas expuestas de la gráfica “feed force”, se decidió emplear esta curva para los cálculos de este Trabajo. En la documentación del fabricante no figuran las unidades de la fuerza de avance, que se expresa como un porcentaje de amplitud.



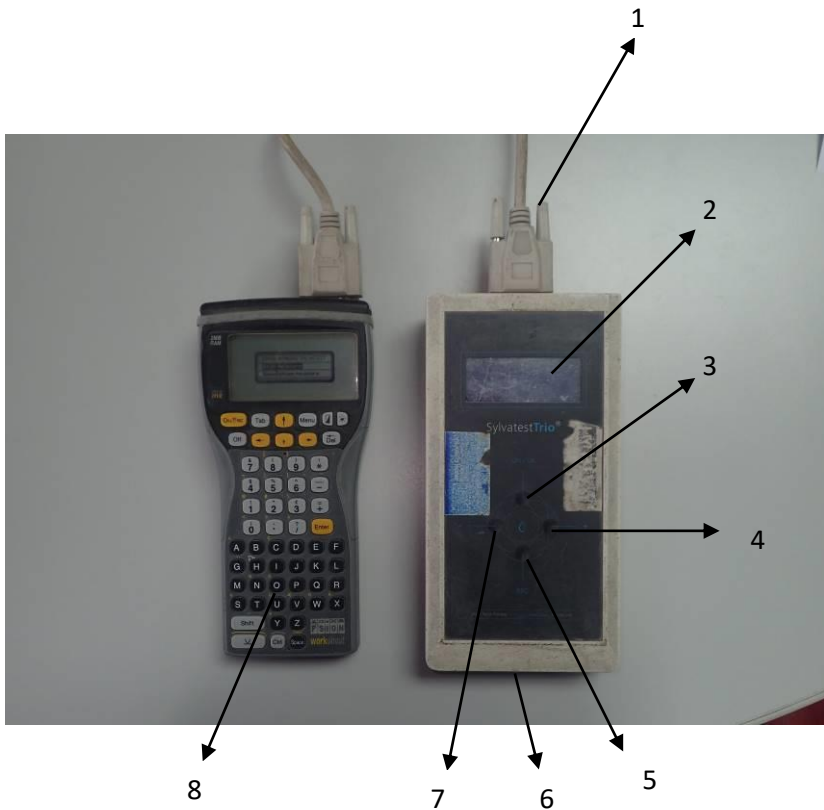
*Figura 3.10. Diferencias entre gráfica “drill resistance” (verde) y gráfica “feed force” (azul). S.f. IML.*

### 1.3 Sylvatest TRIO

El equipo Sylvatest TRIO se basa en la técnica de ultrasonidos (Anexo I). Han sido muchos los investigadores interesados por esta técnica para la determinación de las constantes elásticas y mecánicas de la madera (Bucur y Archer, 1984; Waubke, 1981; Sandoz, 1989; Herzig, 1992; Beaudoin *et al.*, 1992).

Este equipo utiliza dos transductores, uno emisor y otro receptor que, perfectamente acoplados a la madera, miden el tiempo que tarda la onda ultrasónica en llegar de uno a otro (TOF: time of flight), así como su atenuación. El equipo calcula el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión de la madera, así como su clase resistente según el CTE (C16, C18, C20, C22, C24...)

En el modelo Sylvatest TRIO, la unidad central está acompañada de una unidad digital desde la que se seleccionan varias opciones para poder obtener los datos adecuados. La unidad central consta de varias partes, véase la siguiente imagen (Figura 3.11) donde se indica cada una de ellas.



*Figura 3.11. Unidad central y unidad digital de Sylvatest TRIO. 1; puerto de serie, 2; pantalla, 3; encendido / ok, 4; más, 5; escapar, 6; suplemento externo de batería, 7; menos, 8; unidad digital. 2017.*

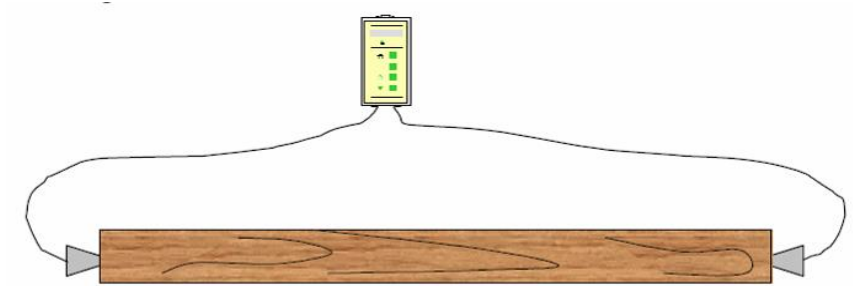
*Fuente propia.*

En la Figura 3.12 puede verse el equipo Sylvatest al completo.



*Figura 3.12. Equipo Sylvatest TRIO. 1; transductor emisor, 2; conector de transmisión ultrasónica, 3; transductor receptor, 4; conector de recepción ultrasónica. 2017. Fuente propia.*

Con Sylvatest TRIO, pueden llevarse a cabo medidas directas e indirectas. El método directo (Figura 3.13) se considera como el más eficaz y preciso. Los valores obtenidos con él presentan una gran precisión debido a que las ondas no son reflejadas entre el emisor y el receptor.



*Figura 3.13. Método directo. 2014. AIDIMME.*

El método directo sólo es posible aplicarlo en aquellos casos donde la testa de la madera se encuentra descubierta y es accesible. En la mayor parte de los casos, en madera instalada no es posible aplicar este método de medida, por lo que se aplicará normalmente el “método indirecto” (Figura 3.14). Este método, se caracteriza por ser menos preciso que el descrito anteriormente. Los valores obtenidos en las mediciones varían en función de la longitud y el ángulo de inclinación dado al emisor y receptor.



*Figura 3.14. Medida de ultrasonidos según el método indirecto. 2017. Fuente propia.*

### *Metodología de uso del equipo Sylvatest TRIO en las inspecciones realizadas para el presente Trabajo*

En las inspecciones realizadas se ha aplicado el método indirecto en la mayoría de las mediciones, ya que el directo no era posible porque las testas de las vigas no estaban al descubierto. Sólo en algunos casos en los que se disponía de elementos apeados, se ha podido aplicar el método directo, como es el caso de las mediciones realizadas en algunos de los elementos de las inspecciones de calle Reina, Benissa y Molino del Testar.

Primero se comenzaba haciendo dos orificios con una inclinación de unos 45º en el canto o en la cara de la viga con una separación determinada entre ellos. Esta distancia se anotaba para utilizarla posteriormente. A continuación, se procedía a insertar los transductores de Sylvatest TRIO en los orificios realizados en la pieza. Una vez colocados los transductores se procedía a conectarlos, a través de unos cables, en los respectivos conectores de la unidad central. Una vez hecho esto, se encendía la unidad central y en el menú se seleccionaba la opción “Terminal”. A continuación, se encendía la unidad digital y se seguía el siguiente procedimiento:

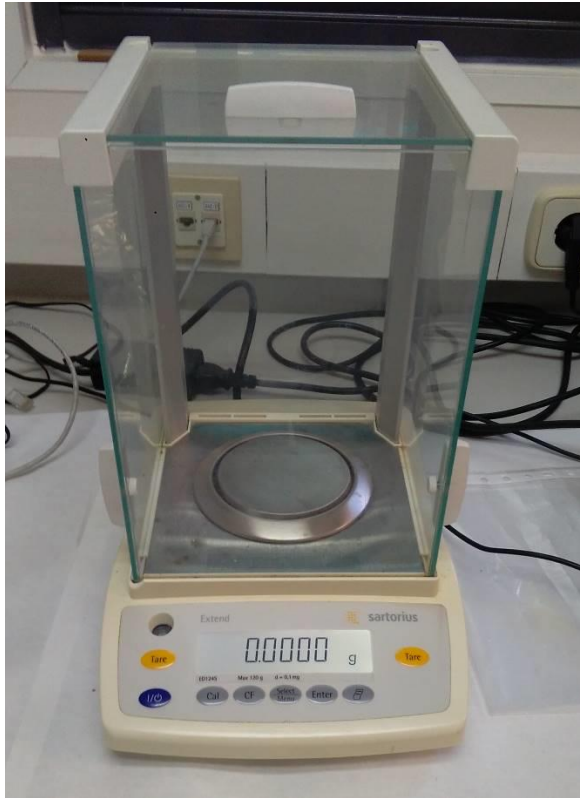
1. En “Main Menu” se seleccionaba la opción “Take Measurements”.
2. En “New Measure Number” se apretaba “Enter”.
3. En “Direction of the Measure” se seleccionaba la opción “Longitudinal”.
4. En “Application Case” se seleccionaba la opción “Sawing”, porque es madera aserrada.
5. En “Measure Type” se seleccionaba la opción “Indirect” o “Direct”, dependiendo del método de medición aplicado.
6. En “Select Species” se escogía la especie de madera correspondiente.
7. En “Batch Letter” se apretaba “Enter”.
8. En “Measure” se seleccionaba la opción “Take the Measure”.

Una vez realizados todos estos pasos el equipo Sylvatest TRIO tomaba la medida y el último paso era introducir en la unidad digital el contenido de humedad y la distancia entre transductores. En ese momento, en la pantalla de la unidad digital aparecían todos los datos necesarios para nuestro Trabajo. Cabe destacar que una vez realizados por primera vez los pasos 1 a 8, no es necesario volverlos a realizar en las siguientes mediciones de la inspección si no se cambia la especie de madera.

#### 1.4 Instrumentos de análisis del laboratorio

Para el cálculo de la densidad de las probetas se ha aplicado la metodología establecida en la norma UNE 56531:1977 (Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico). Los instrumentos empleados han sido una desecadora, una balanza analítica, una estufa de secado y un calibrador digital (Figuras 3.15, 3.16 y 3.17). Primero, para estabilizar la humedad de las probetas se ha utilizado la desecadora y posteriormente, para llegar al estado anhidra (contenido de humedad del 0%) se ha empleado la estufa de secado.





*Figura 3.15. Balanza analítica Sartorius Extend. Modelo ED124S. 2017. Fuente propia.*



*Figura 3.16. Estufa de secado Memmert. 2017. Fuente propia.*



*Figura 3.17. Calibrador digital Alpha Tools. 2017. Fuente propia.*

## 1.5 Materiales auxiliares y de seguridad

Durante las inspecciones se han utilizado diferentes materiales auxiliares y de seguridad. Para la toma de datos se ha empleado una tablet, un ordenador portátil y una cámara de fotos. Para la toma de muestras de densidad se ha empleado una caladora, siendo a veces necesario el uso de una maza y un cincel. En la inspección visual se ha empleado el punzón, y para realizar los orificios en los ultrasonidos se ha utilizado un taladro.

Se han empleado también linternas, escaleras de mano y cuando era necesario, andamios de trabajo. Como material de seguridad se han empleado distintas protecciones individuales. Dentro de las no integrales se han empleado cascos de protección y calzado de seguridad, utilizando mascarillas de protección cuando ha sido procedente. Como protección individual integral se ha empleado, cuando ha sido necesario, cinturón de seguridad de Clase C- Tipo II. En zonas de forjado poco estables se han dispuesto tablonos de madera para repartir cargas y dar mayor seguridad en las zonas de paso.

## 2 Metodología no destructiva

### 2.1 Introducción

Como base inicial de la metodología no destructiva para evaluación de madera antigua y patrimonial se ha recurrido a las normas UNE 41085-8:2009 IN (Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera) y UNE 56418:2016 (Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas).

Según la norma UNE 41085-8:2009 IN, para evaluar correctamente los procesos patológicos que se dan en las estructuras de madera deben utilizarse, por una parte, técnicas convencionales, de las que se han seleccionado para este Trabajo la inspección visual, el xilohigrómetro y el punzón. Por otra parte, deben emplearse técnicas de evaluación mediante métodos no destructivos (NDT). De las técnicas que menciona la norma se han seleccionado los ultrasonidos, las resistografías y la detección acústica de insectos xilófagos, pues son técnicas bien establecidas y fiables según la bibliografía existente (Pellerin y Ross, 2002).

Siguiendo la anterior norma, cuando se realiza la inspección de una estructura de madera hay que centrarse en las lesiones, que dependen de la tipología del proceso patológico. Las lesiones (degradaciones físicas del material) pueden deberse a ataques de tipo biótico y abiótico. En el primer tipo se incluyen los hongos xilófagos, que a su vez se subdividen en hongos cromógenos y hongos de pudrición (pudrición parda o cúbica, pudrición blanca o fibrosa y pudrición blanda). También están los insectos de ciclo larvario, que se clasifican en anóbidos, cerambícidos, líctidos, curculiónidos y bostríchidos. Por último, están los insectos sociales (termitas), de entre los cuales destaca por su peligrosidad en España la especie *Reticulitermes lucifugus* Rossi. En los ataques de tipo abiótico se incluyen la fotodegradación, la acción del agua y la acción del fuego.

La norma UNE 56418:2016, en cuya redacción y revisión colaboró AIDIMME, establece un protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas, que permite abordar este problema y que sirve de base para el tratamiento de todos los agentes xilófagos. Dentro de las fases en las que se estructura el plan de

actuación, es de interés para el Trabajo la de diagnóstico estructural, que indica cuáles son los indicios de pérdida de capacidad portante que deben tenerse en cuenta cuando se realiza evaluación estructural.

En esa fase debe detectarse la presencia de forjados de madera con ataques de termita, tanto en el interior como en el exterior del inmueble; de elementos que presenten pérdida de volumen, prestando especial atención a las zonas de mayor tensión de flexión, o en los empotramientos; de zonas con evidencias de entradas de agua por filtraciones; y de humedades, tanto puntuales como de tipo general. En cuanto a las técnicas a utilizar en las inspecciones, esta norma establece que se utilizarán aquellas ya mencionados en la explicación de la norma UNE 41085-8:2009 IN.

## 2.2 Metodología específica para madera antigua y patrimonial

Basándose en lo anterior y en la experiencia de los investigadores de AIDIMME, así como teniendo en cuenta las características específicas de la madera antigua y patrimonial, se ha desarrollado una metodología no destructiva específica para evaluar madera antigua y patrimonial. Esta metodología consta de las fases que se explican a continuación.

### *Fase 1. Preparación del material*

Se prepara todo el material necesario, tanto de evaluación no destructiva como de seguridad, y se carga en el vehículo de transporte. Entonces se realiza el desplazamiento al lugar de inspección.

### *Fase 2. Preparación de planos*

Cuando ya está colocado todo el material de inspección dentro del edificio objeto de la inspección, se procede a codificar en los planos los elementos de la estructura de madera (viguetas, vigas de carga, pares,

cerchas o dinteles, según sea el caso). Para identificar estos elementos en la plantilla Excel (parte 1 del Anexo III), se anotarán en la columna Código del elemento en obra, siguiendo la siguiente secuencia: primero se anota el forjado o la cata a la que pertenece el elemento. En el caso de ser un elemento que pertenece al entramado estructural de cubierta se anotará cubierta. Después se anota el vano, si procede y finalmente, el tipo de elemento. El criterio de codificación para todos los tipos de elementos es el alfanumérico, empezando por V1 en adelante en el caso de las viguetas, por VC1 o C01 para las vigas de carga, por P1 para los pares de cubierta, por C1 en el caso de las cerchas y por D1 en el caso de dinteles. La numeración de los elementos se reinicia cada vez que se cambia de planta.

Los planos o croquis se orientan tomando el criterio de exterior/interior e izquierda/derecha para tener claro, en cada momento, el empotramiento o apoyo que se está analizando. Cada planta se divide en vanos, si procede. En este caso, la codificación de los elementos se reiniciará al cambiar de vano. En caso de que no se disponga de planos o croquis, se dibujan *in situ* los que sean necesarios para proceder de la misma manera que en el caso anterior.

### *Fase 3. Análisis y toma de datos*

Siguiendo la norma UNE 41085-8:2009 IN, la inspección se centra sobre todo en aquellos elementos de madera estructural que presentan lesiones, aunque sean superficiales.

El proceso de análisis de un elemento comienza con una inspección visual en la que normalmente se utiliza un punzón para ver el estado en que se encuentra (Figura 3.18). A continuación, se realiza al menos una resistografía y un ensayo de ultrasonidos en la zona que esté degradada

o sea sospechosa de estarlo. Si existe realmente una patología, se determina su extensión realizando sucesivas resistografías a lo largo del elemento, separadas entre sí 10-25 cm.



*Figura 3.18. Análisis visual mediante punzón. 2017. Fuente propia.*

El número de resistografías que se hagan en un elemento dependerá del estado de degradación en que se encuentre éste (Figura 3.19). Así, por ejemplo, si éste se encuentra muy degradado en el empotramiento o apoyo, se continuarán haciendo resistografías a lo largo del mismo hasta encontrar madera en buen estado. En los empotramientos del

elemento inspeccionado suelen hacerse perforaciones verticales y oblicuas, mientras que en el resto del elemento, si procede hacerlas, son verticales. Normalmente, las resistografías que se hacen en zonas degradadas se documentan gráficamente con la cámara de fotos y se anota el número de la misma en la correspondiente columna de la plantilla.



*Figura 3.19. Ensayo de resistografía. 2017. Fuente propia.*

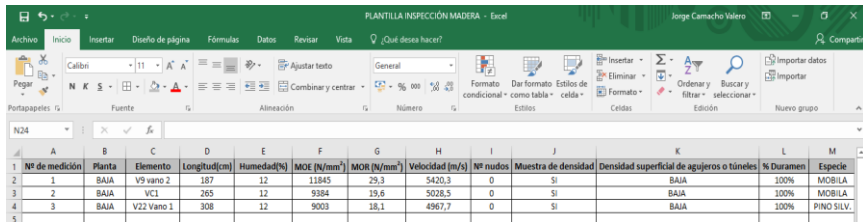


El procedimiento para la toma de datos de resistografías consiste en anotar en una plantilla Excel (Figura 3.20), para cada elemento de madera que se esté analizando, la información sobre el nº de elemento (vigueta, viga de carga, cercha, par, etc.), nº de planta y nº de vano donde se encuentra, orientación, contenido de humedad, nº de resistografía y tipo de degradación. Se detalla también en la plantilla Excel el estado visual del elemento, su estado mediante resistografías; en caso de que existan patologías se anota su posición y extensión, así como los refuerzos o sustituciones que sean procedentes. También se anota toda aquella información que se considere importante, como por ejemplo, las secciones de los elementos, datos complementarios sobre la degradación, especie de la madera, posibles actuaciones, etc.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
PLANTA	VANO	ELEMENTO	ORIENTACIÓN	HUMEDAD(%)	RESISTOGRAFÍA	DEGRADACIÓN	ACTUACIÓN 1	ACTUACIÓN 2	DATOS		FOTO
1	BAJA	1	V1	INTERIOR	12	1 y 2				19 x 16 cm de sección	493
2	BAJA	1	V1	INTERIOR	13		BUEN PERFIL RESISTOGRAFICO	BUEN ESTADO			
3	BAJA	1	V1	INTERIOR	13		BUEN ESTADO VISUAL				
4	BAJA	1	V2	EXTERIOR	12		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 16 cm de sección	
5	BAJA	1	V2	INTERIOR	13		BUEN ESTADO VISUAL				
6	BAJA	1	V3	EXTERIOR	12		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 16 cm de sección	
7	BAJA	1	V3	INTERIOR	13		BUEN ESTADO VISUAL				
8	BAJA	1	V4	EXTERIOR	12		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 18 cm de sección	
9	BAJA	1	V4	INTERIOR	13		BUEN ESTADO VISUAL				
10	BAJA	1	V5	EXTERIOR	13		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 18 cm de sección	
11	BAJA	1	V5	INTERIOR	11		BUEN ESTADO VISUAL				
12	BAJA	1	V6	EXTERIOR	9		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 18 cm de sección	
13	BAJA	1	V6	INTERIOR	13	3 y 4	DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN PERFIL RESISTOGRAFICO	2-3 CM SUPERFICIAL		494
14	BAJA	1	V7	EXTERIOR	10		BUEN ESTADO VISUAL			19 x 18 cm de sección	
15	BAJA	1	V7	INTERIOR	12	5, 6 y 7	DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN PERFIL RESISTOGRAFICO	1-2 CM SUPERFICIAL		495
16	BAJA	1	V8	EXTERIOR	12	8 y 9	DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN PERFIL RESISTOGRAFICO	2-3 CM SUPERFICIAL		496
17	BAJA	1	V8	INTERIOR	10		BUEN ESTADO VISUAL				
18	BAJA	1	V9	EXTERIOR	11		DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN ESTADO VISUAL	2-3 CM SUPERFICIAL	19 x 16 cm de sección	
19	BAJA	1	V9	INTERIOR	8		DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN ESTADO VISUAL			
20	BAJA	1	V10	EXTERIOR	12		DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN ESTADO VISUAL	1-2 CM SUPERFICIAL	19 x 18 cm de sección	
21	BAJA	1	V10	INTERIOR	9	10 y 11	DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN PERFIL RESISTOGRAFICO	BUEN ESTADO		497
22	BAJA	1	V11	EXTERIOR	11		DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN ESTADO VISUAL			
23	BAJA	1	V11	INTERIOR	9		DEGRADACIÓN POR CARCOMA	BUEN ESTADO VISUAL			
24	BAJA	1	V12	EXTERIOR	9		BUEN ESTADO VISUAL			Las viguetas 12-15 son nuevas	
25	BAJA	1	V12	INTERIOR	9		BUEN ESTADO VISUAL				
26	BAJA	1	V13	EXTERIOR	12		BUEN ESTADO VISUAL				
27	BAJA	1	V13	INTERIOR	11		BUEN ESTADO VISUAL				
28	BAJA	1	V14	EXTERIOR	10		BUEN ESTADO VISUAL				
29	BAJA	1	V14	INTERIOR	11		BUEN ESTADO VISUAL				

Figura 3.20. Plantilla de toma de datos de resistografías. 2017. Fuente propia.

Para la toma de datos de ultrasonidos, se dispone de otra plantilla Excel (Figura 3.21). En ella, para cada medición que se realiza, se recogen datos correspondientes a la codificación del elemento, longitud (distancia entre transductores), contenido de humedad y si se toma una muestra de densidad o no. También se anota el MOE, el MOR y la velocidad de la onda ultrasónica, que son datos proporcionados por la unidad digital.



Nº de medición	Planta	Elemento	Longitud(cm)	Humedad[%]	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	Nº nudos	Muestra de densidad	Densidad superficial de agujeros o túneles	% Duramen	Especie
1	BAJA	V9 vano 2	187	12	11845	29,3	5420,3	0	SI	BAJA	100%	MOBILA
3	2	BAJA VC1	265	12	9384	19,6	5028,5	0	SI	BAJA	100%	MOBILA
4	3	BAJA V22 Vano 1	308	12	9003	18,1	4967,7	0	SI	BAJA	100%	PINO SILV.

Figura 3.21. Plantilla de toma de datos de ultrasonidos. 2017. Fuente propia.

En la Figura 3.22 puede verse como se colocan los transductores para la medición de ultrasonidos.



*Figura 3.22. Colocación de los transductores para la medición de ultrasonidos. 2017. Fuente propia.*

En las muestras de densidad se anota un código interno de AIDIMME (Figura 3.23). La toma de muestras se realiza con una caladora y si es necesario, con el apoyo complementario de un cincel y un martillo. Siempre se intenta recoger la muestra en la zona del elemento donde se realicen los ultrasonidos y las resistografías.



Figura 3.23. Algunas muestras de densidad de las inspecciones realizadas. 2017. Fuente propia.

En aquellos elementos donde se realizan ensayos de resistografía y de ultrasonidos y se toma muestra de densidad, se valora para el Proyecto el número de nudos, densidad superficial de agujeros o túneles, proporción de longitud degradada, porcentaje de duramen y especie (aproximada; posteriormente se averigua en el laboratorio de microbiología en AIDIMME cuál es exactamente), que son variables que se incorporarán a los cálculos matemáticos del proyecto (Figura 3.21). Se han elegido estas variables porque *a priori* son las que mayor influencia pueden tener en la resistencia de la madera.

El número de nudos, densidad superficial de agujeros o túneles, proporción de longitud degradada y porcentaje de duramen se evalúan siempre en la zona analizada.

La densidad superficial de agujeros o túneles se clasifica visualmente como alta, media o baja. Para clasificarla como baja se ha tomado el criterio de que los agujeros y túneles cubran menos del 25% de la superficie de la madera situada entre el emisor y el receptor de ultrasonidos. Si cubren entre el 25 y el 50%, ambos incluidos, de la superficie la densidad superficial se clasifica como media. Por último, se considera alta si los agujeros y túneles cubren más del 50% de la superficie. Esta variable se registra en los datos para su análisis estadístico como:

- Baja = -1
- Media = 0
- Alta = +1

La variable longitud degradada/longitud total se calcula en AIDIMME, mediante el análisis de las resistografías (véase capítulo 5.2).

El porcentaje de duramen se determina visualmente o, si no es posible, mediante punzón o resistografía; y se registra como:

- < 25% (se registra en la Excel = -2)
- $\geq 25\%$  y  $\leq 50\%$  (se registra en la Excel = -1)
- > 50% y < 75% (se registra en la Excel = +1)
- $\geq 75\%$  (se registra en la Excel = +2)

# Capítulo 4.

## Programa experimental

El programa experimental del presente Trabajo se estructura en 6 fases.

### 1 Fase 1

Se realizan un mínimo de 6-7 inspecciones de estructuras de madera antigua y patrimonial y en cada una de ellas realizar, en un mínimo de tres elementos distintos, resistografías, ultrasonidos, toma de muestras y valoración de las siguientes variables: densidad superficial de agujeros o túneles, porcentaje de longitud degradada, porcentaje de duramen, especie y número de nudos.

Toda esta información va anotándose en una plantilla Excel (Figuras 3.20 Y 3.21) durante la realización de las inspecciones. Se intentará, en la medida de lo posible, que todos los ensayos no destructivos, la toma de muestras y valoración de las variables se realicen en la misma zona del elemento escogido.

### 2 Fase 2

Se pasan todos estos datos a una plantilla Excel cuyo contenido se puede ver en el Anexo III, de forma que se disponga de la información correspondiente a todas las inspecciones en un solo archivo.

### 3 Fase 3

Una vez trasladados los datos de cada inspección a la plantilla Excel, se procederá a calcular en AIDIMME la información siguiente, que también se recogerá en la plantilla Excel (parte 2 del Anexo III): densidad anhidra de cada una de las muestras recogidas en las inspecciones, MOE y MOR de cada medición y longitud degradada/longitud total de cada resistografía (en el caso de tener varias resistografías en un mismo elemento se calculará el promedio de longitud degradada/longitud total de todas ellas).

Para calcular el porcentaje de longitud degradada (o longitud degradada/longitud total) es necesario realizar antes el cálculo de la amplitud resistográfica media filtrada de la resistografía correspondiente (en el caso de realizar varias resistografías en un mismo elemento se procederá de la misma forma que en el caso de longitud degradada/longitud total). Para ello se utilizarán dos programas informáticos: PD-Tools Pro y Excel. Después de cada inspección se descargarán en un PC las resistografías que estaban almacenadas en la memoria de la unidad digital del resistógrafo. Posteriormente, con el programa PD-Tools Pro se analizarán las gráficas de cada resistografía (Anexo IV) y se exportarán en formato texto, para poder realizar el cálculo de las amplitudes resistográficas medias filtradas con el programa Excel.

El archivo en formato texto de las resistografías genera, para cada curva de la gráfica, una columna de puntos que reflejan el valor de la amplitud en cada uno de ellos. La amplitud aparece en la gráfica en el rango de 0 a 100%; pero, en el archivo en formato texto, por motivos informáticos, ésta tiene un rango de 0 a 10.000. El modelo de

resistógrafo utilizado en este Trabajo genera puntos cada 0,01 cm. Con objeto de eliminar las posibles variaciones en el arranque de la máquina se filtrará la gráfica desechando los puntos comprendidos entre 0 y 1 cm como máximo. Así, a la hora de calcular la amplitud resistográfica media de las resistografías se obtendrán amplitudes resistográficas medias filtradas.

#### 4 Fase 4

En esta fase se realizarán análisis de regresión lineal multivariante con las variables recogidas en la plantilla Excel (parte 2 del Anexo III). En concreto se obtendrán, de cada análisis, los datos correspondientes al  $R^2$ , variables significativas y no significativas y las ecuaciones que relacionan las variables dependientes (MOE y MOR) y las variables independientes propuestas (densidad, especie, etc.), además de algunas ecuaciones adicionales de interés.

#### 5 Fase 5

Se analizarán y se interpretarán los resultados obtenidos y se sacarán las conclusiones pertinentes en base a los mismos.

#### 6 Fase 6

La fase final consistirá en calcular, para cada una de las especies de madera con las que se haya trabajado en este proyecto, los valores promedios de MOE, MOR y densidad. Basándose en esos valores promedios se determinará la clase resistente de estos elementos según el CTE.



# Capítulo 5.

## Resultados y análisis

### 1 Fase 1

Durante enero y mayo de 2017 se han realizado un total de 10 inspecciones de estructuras de madera antigua y patrimonial en distintas ciudades de la provincia de Valencia y Alicante. Los días concretos de las inspecciones, así como la descripción de todas las actividades llevadas a cabo en ellas, se han desarrollado en el Anexo II: Diario de obra.

Durante las inspecciones se han empleado los equipos y materiales conforme a lo establecido en el capítulo 3.1 y se ha aplicado la metodología no destructiva establecida en el capítulo 3.2.

### 2 Fase 2-3

De acuerdo con la fase 2 del programa experimental de este Trabajo, se han pasado todos los datos de las inspecciones a una plantilla Excel. En total se han recogido datos de 87 elementos.

Continuando con el programa experimental, la fase 3 ha consistido en calcular varios datos en AIDIMME. El cálculo de la densidad anhidra de las muestras de madera se ha realizado conforme a lo establecido en el

capítulo 3.1.4. En la Figura 5.1 pueden verse algunas muestras de densidad con distintos niveles de degradación.



*Figura 5.1. Muestras de densidad con distintos niveles de degradación procedentes de la inspección realizada en la C/Reina (Valencia). 2017. Fuente propia.*

Posteriormente, se han introducido los valores de estas densidades en la unidad digital del equipo Sylvatest TRIO, donde se habían guardado

las mediciones realizadas en las inspecciones, para obtener los nuevos valores de MOE y MOR, recalculados con la densidad real.

Otra de las tareas realizadas en esta fase ha consistido en calcular la amplitud resistográfica media filtrada de las resistografías que se habían hecho en cada uno de los elementos analizados, tal y como se explica en el capítulo 4.

Para el cálculo de la longitud degradada/longitud total de cada resistografía se ha aprovechado la misma sucesión de puntos que se había utilizado para el cálculo de la amplitud resistográfica media filtrada de las resistografías. Se ha tomado el criterio de que una zona está degradada cuando la amplitud cae más de un 45% respecto a la amplitud resistográfica media filtrada de la resistografía. Este criterio se ha aplicado a todas las resistografías que tenían una amplitud resistográfica media filtrada igual o mayor del 20%. En los casos en que no se cumplía este requisito, la zona degradada se ha considerado que consistía en aquella que tuviera una amplitud igual o menor del 10%. Una vez calculada la longitud degradada de cada resistografía se dividía por la longitud total del elemento. Como se explicó en el capítulo 3 se desconocen las unidades de esta amplitud, que siempre se expresa como un porcentaje.

La plantilla Excel (parte 1 y 2) completamente rellena se puede visualizar en el Anexo III. En las Figuras 5.2 y 5.3 pueden verse extractos de la parte 1 y 2 de esta plantilla Excel.

INSPECCIÓN	CÓDIGO DEL ELEMENTO EN OBRA	RESISTOGRAFÍAS	CÓDIGO DEL ELEMENTO EN EL TRABAJO
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 1 C04	19, 20, 21 y 22	1
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 1 C05	23 y 24	2
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 3 C05	1, 3 y 4	3
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta VC2	1, 2 y 3	4
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta VC1	11	5
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta P27	26 y 27	6
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta P41	28	7
Calle Castán Tobeñas nº 62	Forjado de planta 2 V7	23	8
Calle Castán Tobeñas nº 62	Cubierta VC4	72 y 77	9
Calle Castán Tobeñas nº 62	Forjado de planta 2 VC1	13, 14, 16 y 97	10

Figura 5.2. Extracto de la plantilla Excel (parte 1). 2017. Fuente propia.

CÓDIGO ELEMENTO	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES	% DURAMEN	ESPECIE	Nº DE NUDOS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	LONGITUD DEGRADADA/ LONGITUD TOTAL	AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)
1	15054,00	42,10	0	1	2	0	466,29	0,09	51,30
2	17301,00	63,02	-1	2	2	0	706,15	0,07	60,78
3	15276,29	42,46	-1	2	2	0	511,41	0,06	37,96
4	17973,94	53,30	-1	1	2	0	633,21	0,10	54,58
5	18196,21	67,45	-1	2	2	0	892,69	0,05	59,99
6	19120,45	64,49	-1	2	2	1	719,67	0,09	54,62
7	18196,21	61,00	-1	2	2	0	643,24	0,01	63,15
8	16263,00	46,90	-1	2	-2	1	579,83	0,05	43,19
9	16789,00	49,00	-1	2	-2	0	575,50	0,09	42,27
10	15872,00	40,96	0	2	-2	0	494,56	0,06	44,12

Figura 5.3. Extracto de la plantilla Excel (parte 2). 2017. Fuente propia.

### 3 Fase 4

Para el análisis estadístico se han utilizado variables discretas y continuas. En concreto, las variables continuas son MOE, MOR, longitud degradada/longitud total, nº de nudos, densidad de la muestra y amplitud resistográfica media filtrada. Las variables discretas son las siguientes: densidad superficial de agujeros o túneles, porcentaje de duramen y especie.

La densidad superficial de agujeros o túneles se clasifica visualmente como alta, media o baja. Para clasificarla como baja se ha tomado el criterio de que los agujeros y túneles cubran menos del 25% de la superficie de la madera situada entre el emisor y el receptor de ultrasonidos. Si cubren entre el 25 y el 50%, ambos incluidos, de la superficie la densidad superficial se clasifica como media. Por último, se considera alta si los agujeros y túneles cubren más del 50% de la superficie. Esta variable se registra en los datos para su análisis estadístico como:

- Baja = -1
- Media = 0
- Alta = +1

La variable porcentaje de duramen se ha categorizado de la siguiente manera:

- si el porcentaje es  $< 25\%$  = -2
- si el porcentaje está dentro del intervalo  $\geq 25\%$  y  $\leq 50\%$  = -1
- si el porcentaje está dentro del intervalo  $> 50\%$  y  $< 75\%$  = +1

- si el porcentaje era  $\geq 75\%$  = +2

La variable especie se ha categorizado basándose en las 4 especies distintas con las que se ha trabajado finalmente en este Trabajo.

- la especie *Pinus nigra* es = -2,
- la especie *Pinus halepensis* es = -1
- la especie *Pinus sylvestris* es = +1
- la especie mobila es = +2

Los análisis de regresión lineal multivariante programados en esta fase se han realizado con el programa informático SPSS y se han realizado con un intervalo de confianza del 95%. Esto significa que las variables significativas serán aquellas que tengan un nivel de significación igual o menor que 0,05. La ecuación que define la correlación entre la variable dependiente y las independientes se obtiene de una de las tablas generadas por el programa SPSS al presentar los resultados del análisis de regresión lineal multivariante. A continuación, se exponen los resultados de cada uno de los análisis.

### Análisis 1

Se analiza la variable MOE en función de las variables densidad superficial de agujeros o túneles, longitud degradada/longitud total, porcentaje de duramen, especie, nº de nudos, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra.

Como se puede ver en la Tabla 5.1 el  $R^2$  es 0,931. Es decir, el 93,1% de la varianza de la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

#### Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,965 <sup>a</sup>	,931	,925	1067,61591

a. Predictores: (Constante), AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%), % DURAMEN, Nº DE NUDOS, DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES, ESPECIE, LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL, DENSIDAD(kg/m<sup>3</sup>)

Tabla 5.1. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 1. 2017. Fuente propia.

Por otra parte, como puede verse en la Tabla 5.2, las variables significativas son densidad de la muestra, longitud degradada/longitud total y amplitud resistográfica media filtrada. Las no significativas son densidad superficial de agujeros o túneles, porcentaje de duramen, especie y nº de nudos.

Coeficientes<sup>a</sup>

Modelo	Sig.
1 (Constante)	,000
DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES	,601
% DURAMEN	,102
ESPECIE	,794
Nº DE NUDOS	,652
DENSIDAD(kg/m3)	,000
LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL	,000
AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)	,012

a. Variable dependiente: MOE (N/mm2)

Tabla 5.2. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 1. 2017. Fuente propia.

Hay variables significativas que quedan reflejadas en la tabla con una significación de 0,000. Esto quiere decir que la significación individual de cada una de ellas es menor que 0,001.

La ecuación que relaciona la variable dependiente y las independientes es la siguiente:

$$\text{MOE} = 5079,656 - 112,573 * \text{Densidad superficial de agujeros o túneles} - 3788,431 * \text{Longitud degradada/longitud total} - 153,237 * \text{Porcentaje de duramen} - 23,445 * \text{Especie} + 41,921 * \text{Nº de nudos} + 18,046 * \text{Densidad de la muestra} + 38,307 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada}$$



## Análisis 2

Se analiza la variable MOR en función de las variables densidad superficial de agujeros o túneles, longitud degradada/longitud total, porcentaje de duramen, especie, nº de nudos, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra.

Como se puede ver en la Tabla 5.3 el  $R^2$  es 0,938. Es decir, el 93,8% de la varianza de la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,969 <sup>a</sup>	,938	,933	4,03897

a. Predictores: (Constante), AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%), % DURAMEN, Nº DE NUDOS, DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES, ESPECIE, LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL, DENSIDAD(kg/m<sup>3</sup>)

*Tabla 5.3. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 2. 2017. Fuente propia.*

Por otra parte, como puede verse en la Tabla 5.4, las variables significativas son densidad de la muestra, longitud degradada/longitud total y amplitud resistográfica media filtrada. Las no significativas son densidad superficial de agujeros o túneles, porcentaje de duramen, especie y nº de nudos.

		Coeficientes <sup>a</sup>
Modelo		Sig.
1	(Constante)	,835
	DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES	,688
	% DURAMEN	,112
	ESPECIE	,978
	Nº DE NUDOS	,753
	DENSIDAD(kg/m3)	,000
	LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL	,000
	AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)	,005

a. Variable dependiente: MOR (N/mm2)

*Tabla 5.4. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 2. 2017. Fuente propia.*

Hay variables significativas que quedan reflejadas en la tabla con una significación de 0,000. Esto quiere decir que la significación individual de cada una de ellas es menor que 0,001.

La ecuación que relaciona la variable dependiente y las independientes es la siguiente:

$$\text{MOR} = 0,492 - 0,327 * \text{Densidad superficial de agujeros o túneles} - 12,975 * \text{Longitud degradada/longitud total} - 0,563 * \text{Porcentaje de duramen} + 0,009 * \text{Especie} + 0,111 * \text{Nº de nudos} + 0,074 * \text{Densidad de muestra} + 0,162 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada}$$

### Análisis 3

Se analiza la variable MOE en función de las variables longitud degradada/longitud total, porcentaje de duramen, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra. Este análisis corresponde al análisis 1 eliminando las variables estadísticamente no significativas.

Como puede apreciarse en la Tabla 5.5, el  $R^2$  es 0,928. Es decir, el 92,8% de la varianza de la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,963 <sup>a</sup>	,928	,925	1062,83895

a. Predictores: (Constante), AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%), LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL, DENSIDAD(kg/m3)

*Tabla 5.5. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 3. 2017. Fuente propia.*

La ecuación que relaciona la variable dependiente y las independientes es la siguiente:

$$\text{MOE} = 5021,264 - 4089,697 * \text{Longitud degradada/longitud total} + 18,407 * \text{Densidad de la muestra} + 33,680 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada}$$

### Análisis 4

Se analiza la variable MOR en función de las variables longitud degradada/longitud total, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra. Este análisis corresponde al análisis 2 eliminando las variables estadísticamente no significativas.

Como puede verse en la Tabla 5.6, el  $R^2$  es 0,936. Es decir, el 93,6% de la varianza de la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,967 <sup>a</sup>	,936	,934	4,00861

a. Predictores: (Constante), AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%), LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL, DENSIDAD(kg/m3)

*Tabla 5.6. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 4. 2017. Fuente propia.*

La ecuación que relaciona la variable dependiente y las independientes es la siguiente:

$$\text{MOR} = - 0,005 - 14,029 * \text{Longitud degradada/longitud total} + 0,076 * \text{Densidad de la muestra} + 0,147 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada}$$

## Análisis 5

Se analiza la variable MOE en función de la variable densidad de la muestra. Como se puede ver en la Tabla 5.7 el  $R^2$  es 0,880. Es decir, el 88% de la varianza de la variable dependiente es explicada por la variable independiente. Por tanto, la densidad de la muestra es la variable que más influye en el módulo de elasticidad.

<b>Resumen del modelo</b>				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,938 <sup>a</sup>	,880	,878	1356,84858

a. Predictores: (Constante), DENSIDAD(kg/m3)

*Tabla 5.7. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 5. 2017. Fuente propia.*

La ecuación que relaciona la variable dependiente y la independiente es la siguiente:

$$\text{MOE} = 2275,463 + 24,551 * \text{Densidad de la muestra}$$

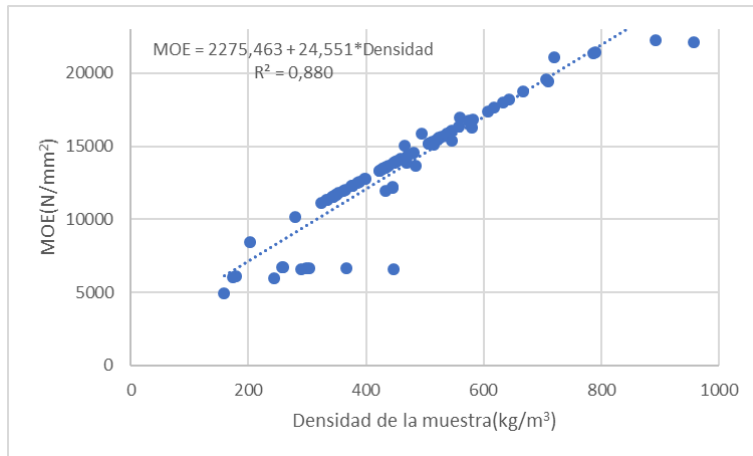


Figura 5.4. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 5. 2017. Fuente propia.

## Análisis 6

Se analiza la variable MOR en función de la variable densidad de la muestra. Como se puede ver en la Tabla 5.8 el  $R^2$  es 0,897. Es decir, el 89,7% de la varianza de la variable dependiente es explicada por la variable independiente. Por tanto, la densidad de la muestra es la variable que más influye en la resistencia a flexión o módulo de rotura.

### Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,947 <sup>a</sup>	,897	,895	5,03110

a. Predictores: (Constante), DENSIDAD(kg/m3)

Tabla 5.8. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 6. 2017. Fuente propia.

La ecuación que relaciona la variable dependiente y la independiente se muestra a continuación.

$$\text{MOR} = -9,686 + 0,099 * \text{Densidad de la muestra}$$

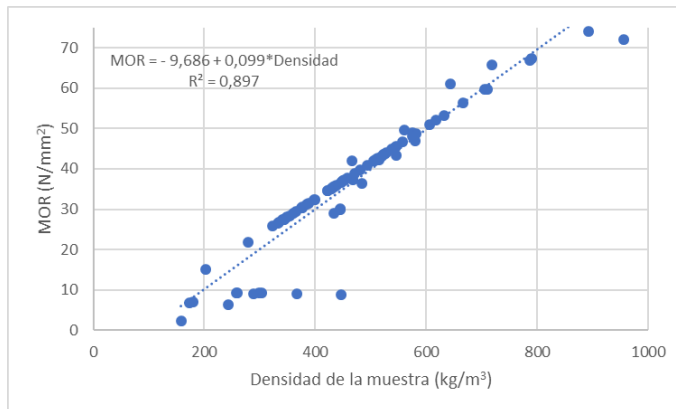


Figura 5.5. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 6. 2017. Fuente propia.

## Análisis 7

Se analiza la variable densidad de la muestra en función de las variables densidad superficial de agujeros o túneles, longitud degradada/longitud total, porcentaje de duramen, especie, nº de nudos y amplitud resistográfica media filtrada.

Como se puede ver en la Tabla 5.9 el  $R^2$  es 0,738. Es decir, el 73,8% de la varianza de la variable dependiente es explicada por las variables independientes.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,859 <sup>a</sup>	,738	,719	78,84325049

a. Predictores: (Constante), LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL, % DURAMEN, Nº DE NUDOS, ESPECIE, AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%), DENSIDAD DE AGUJEROS O TÚNELES

*Tabla 5.9. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 7. 2017. Fuente propia.*

Por otra parte, como puede verse en la Tabla 5.10 las variables significativas son especie, nº de nudos y amplitud resistográfica media filtrada. Las no significativas son densidad superficial de agujeros o túneles, porcentaje de duramen y longitud degradada/longitud total.



**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo		Sig.
1	(Constante)	,000
	DENSIDAD DE AGUJEROS O TÚNELES	,125
	% DURAMEN	,152
	ESPECIE	,004
	Nº DE NUDOS	,011
	AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)	,000
	LONGITUD DEGRADADA/LONGITUD TOTAL	,844

a. Variable dependiente: DENSIDAD(kg/m3)

*Tabla 5.10. Nivel de significación obtenido en SPSS de las variables independientes propuestas para el análisis 7. 2017. Fuente propia.*

Hay una variable significativa que queda reflejada en la tabla con una significación de 0,000. Esto quiere decir que la significación individual de ésta es menor que 0,001.

La ecuación que relaciona la variable dependiente y las independientes es la siguiente:

$$\text{Densidad de la muestra} = 287,260 - 24,172 * \text{Densidad superficial de agujeros o túneles} - 9,751 * \text{Porcentaje de duramen} + 18,760 * \text{Especie} + 17,089 * \text{Nº de nudos} + 6,448 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada} - 11,492 * \text{Longitud degradada/longitud total}$$

## Análisis 8

Se analiza la variable densidad de la muestra en función de la variable amplitud resistográfica media filtrada. Como se puede ver en la Tabla 5.11 el  $R^2$  es 0,663. Es decir, el 66,3% de la varianza de la variable dependiente es explicada por la variable independiente.

### Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,814 <sup>a</sup>	,663	,659	86,82179287

a. Predictores: (Constante), AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)

Tabla 5.11. Datos estadísticos obtenidos en SPSS para el análisis 8. 2017.

Fuente propia.

La ecuación que relaciona la variable dependiente y la independiente es la siguiente:

$$\text{Densidad de la muestra} = 226,770 + 8,569 * \text{Amplitud resistográfica media filtrada.}$$

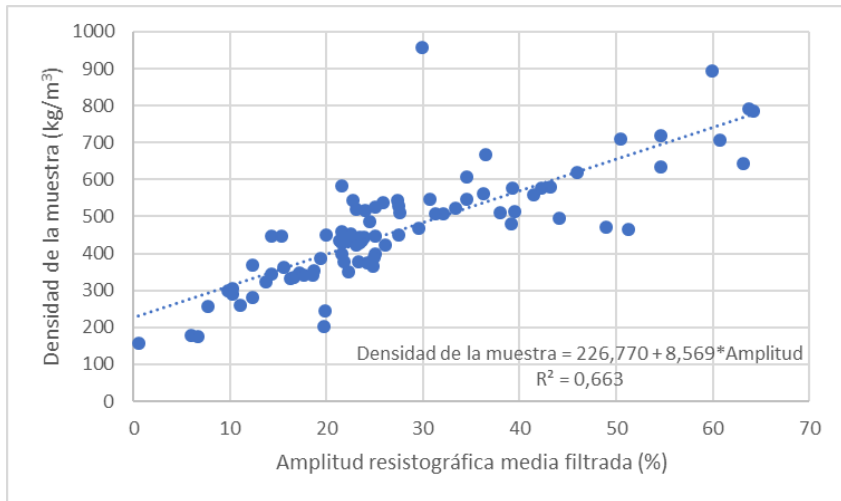


Figura 5.6. Gráfica lineal univariante con puntos y recta de regresión del análisis 8. 2017. Fuente propia.

## 4 Fase 5

A la vista de los resultados del análisis 1 y 2, puede constatarse que las variables significativas en este ajuste son longitud degradada/longitud total, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra. Por otra parte, los resultados del análisis 1 ( $R^2 = 0,931$ ) y del análisis 2 ( $R^2 = 0,938$ ) reflejan que las regresiones lineales multivariantes tienen unas excelentes correlaciones.

Por otra parte, para averiguar por qué no son significativas las demás variables se ha realizado un análisis, mediante el coeficiente de

correlación de Pearson, de las relaciones lineales existentes entre esas variables y la conclusión es que algunas variables no son significativas porque en realidad ya se encuentran integradas indirectamente en las significativas. En concreto, la variable densidad superficial de agujeros o túneles tiene su mayor correlación con la variable longitud degradada/longitud total (0,638); asimismo, la variable especie tiene su mayor correlación con la variable densidad de la muestra (0,586). En el caso de la variable porcentaje de duramen y la variable nº de nudos no está claro porque no son significativas, y en el futuro deberán realizarse estudios más amplios para establecer su grado exacto de significatividad.

En cuanto a los análisis 3 y 4 queda demostrada la alta correlación existente entre las variables dependientes MOE y MOR y las variables significativas longitud degradada/longitud total, amplitud resistográfica media filtrada y densidad de la muestra ( $R^2$  con MOE como variable dependiente= 0,928 y  $R^2$  con MOR como variable dependiente= 0,936).

En los análisis 5 y 6 se demuestra la fuerte correlación que existe entre la variable MOE en un caso y la variable MOR en otro con la variable densidad de la muestra ( $R^2$  de 0,880 y 0,897, respectivamente). Esta es la variable significativa que posee la correlación más alta; por tanto, queda demostrado que la variable densidad de la muestra es la variable que más influye en el MOE y en el MOR.

En el análisis 7 ( $R^2 = 0,738$ ) se hace patente que, como sucede con el MOE y MOR (análisis 5 y 6), la densidad de la muestra es la variable significativa más influyente.

En el último análisis (análisis 8), tras comprobar la correlación existente entre la variable densidad de la muestra y la variable amplitud

resistográfica media filtrada ( $R^2 = 0,663$ ) se puede concluir que el ajuste es bueno, sobre todo teniendo en cuenta que por motivos prácticos (no debilitar más zonas ya degradadas o muy degradadas) y estéticos (no dejar huecos en zonas muy visibles) las muestras para el cálculo de la densidad no siempre pudieron tomarse en la zona exacta donde se realizaron las resistografías y los ultrasonidos. También que como se explicó en el capítulo 3.1.2 (capítulo del resistógrafo), se desconocen las unidades de las gráficas de resistografías, y es una novedad relacionarlas con densidades.

## 5 Fase 6

En este Trabajo se han analizado 17 elementos de *mobila*, 48 elementos de *Pinus nigra*, 4 elementos de *Pinus halepensis* y 18 elementos de *Pinus sylvestris*. El promedio de las densidades, MOE, MOR, así como la clase resistente según el CTE de cada especie se refleja en la tabla siguiente (Tabla 5.12):

ESPECIE	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CLASE RESISTENTE SEGÚN EL CTE
Mobila	18236,20	55,18	654,75	C50
<i>Pinus nigra</i>	11941,65	29,33	398,31	C27
<i>Pinus halepensis</i>	13521,31	35,41	432,18	C35
<i>Pinus sylvestris</i>	13938,36	37,14	464,18	C35

Tabla 5.12. Tabla de promedios de densidad, MOE y MOR y clasificación estructural de cada especie según el CTE. 2017. Fuente propia.

Se ha determinado la clase resistente de cada una de estas especies en base al MOR medio de cada una de ellas utilizando la Tabla E.1.1 del Anejo E del Documento Básico SE-M. Seguridad Estructural. Madera perteneciente al CTE (Tabla 5.13).

### E.1.1 Valores de las propiedades asociadas a cada clase resistente de la madera aserrada

- 1 En la tabla E.1 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada clase resistente para las especies de coníferas y chopo y en la tabla E.2 para las especies frondosas.

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades	Clase resistente	Clase resistente														
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50			
<b>Resistencia (característica) en N/mm<sup>2</sup></b>																
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50			
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30			
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4			
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29			
-Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2			
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0			
<b>Rigidez, en kN/mm<sup>2</sup></b>																
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16			
- Módulo de elasticidad paralelo 5 <sup>o</sup> percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7			
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53			
- Módulo transversal medio	$G_{medio}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00			
<b>Densidad, en kg/m<sup>3</sup></b>																
- Densidad característica	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460			
- Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550			

Tabla 5.13. Tabla E.1.1 del Anejo E del Documento Básico SE-M. Seguridad Estructural. Madera perteneciente al CTE. 2009. CTE.

# Capítulo 6.

## Conclusiones

Los principales resultados del Trabajo son los siguientes:

- 1) Una metodología de evaluación no destructiva, basada parcialmente en las normas UNE 41085-8:2009 IN y UNE 56418:2016, para evaluar madera antigua y patrimonial.
- 2) Clasificación estructural según el CTE de 4 especies de madera antigua/patrimonial utilizadas en la Comunidad Valenciana.
- 3) Relaciones matemáticas estadísticas entre el MOE y el MOR obtenido mediante técnicas de ultrasonidos y otras variables y características de la madera.

A continuación, se detallan algunos aspectos e impactos importantes de estos resultados.

### Aspectos integradores de las disciplinas de la titulación:

Las partes de este Trabajo relacionadas con la madera (métodos de clasificación no destructivos de la madera estructural, patologías de origen biótico y abiótico, diferencias entre albura y duramen), la física de la madera y la estadística están íntimamente relacionadas con disciplinas muy importantes de la titulación como son Materiales de Construcción, Física y Matemáticas. A su vez, el anexo de Diario de

obra está totalmente relacionado con la titulación ya que las inspecciones descritas en él se circunscriben en una de las posibles salidas profesionales de los graduados en Arquitectura Técnica. La temática general de este Trabajo, que tiene que ver con el campo experimental y de la investigación, es otra de las posibles salidas profesionales de los arquitectos técnicos.

#### Aportaciones y avances en el ámbito concreto de desarrollo del TFG:

Se ha establecido una metodología específica adaptada a madera antigua y patrimonial que hasta el momento no había sido formulada.

Por otra parte, se han relacionado estadísticamente los resultados obtenidos mediante evaluación no destructiva con otras propiedades y características de la madera antigua y patrimonial y se han obtenido muy buenas correlaciones.

Hasta ahora se desconocían en muchos casos las propiedades mecánicas de la madera antigua y patrimonial. En concreto, en este Trabajo, se han caracterizado de manera no destructiva 4 especies de madera antigua y patrimonial utilizadas en la Comunidad Valenciana. En ocasiones, este tipo de madera tampoco está actualmente clasificada según el CTE por entrar éste en vigor en 2006, pero gracias a los resultados obtenidos en este Trabajo, ahora se dispone de información relativa a la clasificación estructural de estas 4 especies. A partir de ahora se dispondrá de más información y ello servirá de ayuda para que al menos, las estructuras y edificios resueltas con elementos pertenecientes a estas cuatro especies de madera antigua y patrimonial se puedan rehabilitar de forma económica, rápida y segura.



Una de las novedades que presenta este Trabajo respecto a anteriores trabajos de investigación, es que se han utilizado las gráficas “feed force” (fuerza de avance) del resistógrafo IML-RESI PD400. Estas gráficas no se generaban en ninguno de los anteriores modelos de resistógrafo y, por tanto, sólo se podía trabajar con las gráficas “drill resistance” (resistencia a la perforación), que presentan limitaciones que son superadas con las gráficas “feed force”.

#### Utilidad y ámbito de utilización del Trabajo:

A partir de ahora, cuando se tenga previsto realizar una rehabilitación de una estructura de madera antigua y patrimonial, se podrá aplicar la metodología de evaluación no destructiva establecida en este Trabajo para poder conocer el estado real de los elementos estructurales y actuar en consecuencia, objetivo que hasta el momento no se solía alcanzar porque no se disponía de una metodología específica.

Los datos obtenidos en este Trabajo referentes a la clasificación estructural según el CTE de 4 especies de madera antigua y patrimonial permitirán asignar con mayor seguridad estas especies a determinados elementos estructurales. También y cuando sea necesario, se podrán sustituir elementos estructurales por elementos de estas especies procedentes de rehabilitaciones o demoliciones que ahora ya estarán clasificados estructuralmente según el CTE.

Por otra parte, este Trabajo podría servir como base para la redacción de un futuro proyecto de clasificación no destructiva de madera antigua y patrimonial según el CTE.

### Impacto social:

La publicación de los resultados obtenidos fomentará que la sociedad tenga una visión más positiva de este tipo de madera y descubra su calidad, por ejemplo, en el caso de la mobla, en cuanto a propiedades mecánicas se refiere. Además, la evaluación de la madera con la metodología desarrollada permitirá evaluar periódicamente el estado de la madera estructural y preservar el patrimonio histórico valenciano con madera.

### Impacto económico:

Al haberse demostrado la efectividad de la metodología desarrollada, podrá utilizarse en futuras rehabilitaciones de estructuras de madera antigua y patrimonial. Por tanto, se mantendrán más elementos de madera que en las rehabilitaciones actuales, en las que por desconocimiento del estado del material se eliminan innecesariamente muchos elementos y se efectúan sustituciones de coste elevado. Además, la madera procedente de rehabilitaciones y demoliciones podrá reutilizarse, ya que se clasificará según el CTE mediante la nueva metodología.

### Facilidad de utilización de los resultados del Trabajo por terceras personas. Potencialidad y limitaciones:

La metodología no destructiva resultante de este Trabajo está estructurada y explicada para que puedan entenderla y aplicarla terceras personas (arquitectos técnicos, arquitectos, ingenieros, peritos, aseguradoras) interesadas en conocer el estado de determinadas estructuras con madera antigua y patrimonial. Por otra parte, la clasificación estructural de las 4 especies con las que se ha

trabajado en este Trabajo es un dato muy importante y fácil de usar por terceras personas que se encargan de las rehabilitaciones de estructuras de madera (constructoras, ingenierías, consultores, empresas de rehabilitación). Por último, los datos resultantes del análisis estadístico podrán ser fácilmente interpretados y usados por terceras personas que se dediquen a la investigación en el campo de la evaluación no destructiva.

Para aplicar la metodología no destructiva establecida en este Trabajo, la limitación más importante se da en el ámbito económico: los costes del equipo Sylvatest y del resistógrafo son de 8.000-9.000 €.

# Capítulo 7.

## Futuras líneas de trabajo

Las futuras líneas de trabajo que se pueden llevar a cabo respecto de todo lo desarrollado en este Trabajo Fin de Grado son las siguientes:

- Preparar, basándose en los resultados del Trabajo, un proyecto para clasificación no destructiva de madera antigua y patrimonial según el CTE.
- Ampliar el nº de muestras y de especies para poder conseguir unos mejores ajustes estadísticos y para confirmar los niveles de significación de todas las variables inicialmente de interés.
- Extender la clasificación estructural a las especies de madera antigua y patrimonial de todo el país.

## Capítulo 8.

### Referencias Bibliográficas

Abián Pérez, M.A. (2017). *Automatic and remote monitoring of structural wood in buildings of cultural heritage through wireless sensors*. XXXI SALÓN TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN EXCO 2017. Valencia, España.

Abián Pérez, M.A. y Segura Orenga, G. (2016). *Evaluación del estado estructural de la madera después de incendios mediante técnicas no destructivas*. IV FIRE ENGINEERING CONFERENCE. Valencia, España.

Abián Pérez, M.A. y Zapata Zapata R. (2007). Evaluación no destructiva de madera en pie, en rollo y aserrada. *AIDIMA Informa*, nº 57.

Acuña, L., Díez-Barra, M.R. y Casado, M. (2006). *Los ultrasonidos y su aplicación a la madera estructural. Aplicación a Pinus pinaster Ait*. Huelva, España: Universidad de Huelva.

AENOR (1977). *Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico*. UNE 56531:1977. Madrid: AENOR.

AENOR (2009). *Diagnóstico de edificios. Parte 8: Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera*. UNE 41805-8:2009 IN. Madrid: AENOR.

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

AENOR (2013). *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas*. UNE 56546:2013. Madrid: AENOR.

AENOR (2016). *Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas*. UNE 56418:2016. Madrid: AENOR.

Álvarez, L., Basterra, A., Casado-Sanz, M., y Acuña-Rello, L. (2005). “Aplicación del resistógrafo al diagnóstico de elementos singulares en estructura de madera” en *I jornadas de investigación en construcción (2-4 de junio de 2005. Madrid, España)*. Madrid, España: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. 165-181.

Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadilla, I., y García, F. (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Rivas, España: AITIM.

Associació Valenciana d'Arqueologia Industrial (2010). “El Molino del Testar será un museo etnológico” (2010) en *Associació Valenciana d'Arqueologia Industrial*, 10 de noviembre. <<https://arqueologiaindustrial.wordpress.com/2010/11/10/el-molino-del-testar-sera-un-museo-etnologico/>> [Consulta: 27 de mayo de 2017].

Bankia(s.f.). *La Alqueria Juliá*.

<<https://www.bankia.com/recursos/doc/corporativo/20160607/castellano/conoce-la-historia-de-la-alqueria-julia.pdf>> [Consulta: 7 de junio de 2017].

Beaudoin, M., Hernández, R.E. y Koubaa, A. (1992). Interclonal, intraclonal, and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science*, 24, 147–153.

Benissa Digital (2017). “Se inician las obras en las antiguas escuelas Pare Melchor de Benissa” (2017) en *Benissa Digital*, 7 de marzo. <<http://benissadigital.es/not/7987/se-inician-las-obras-en-las-antiguas-escuelas-pare-melchor-de-benissa/>> [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Bucur, V., y Archer, R.R. (1984). Elastic constants for wood by an ultrasonic method. *Wood Science and Technology*, 18, 255- 265.

Capuz Lladró, R. (2005). *Materiales orgánicos: Maderas*. Valencia, España: Editorial UPV.

Chudnoff, M., Eslin, W.E., y McKeever, D.B. (1984). Decay in mine timbers: Part III, Species-independent stress grading. *Forest Products Journal*, 34(3), 43-50.

Creffield, J.W. (1996). *Wood destroying insects. Wood borers and termites*. Melbourne, Australia: CSIRO Publications.

Dirección general de arquitectura y política de vivienda (2009). Documento Básico SE-M. Seguridad Estructural. Madera. Madrid: Ministerio de Fomento.

España. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. *BOE*, 10 de noviembre de 1995, núm. 269, p. 32590-32611.

España. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. *BOE*, 12 de junio de 1997, núm. 140, p. 18000-18017.

España. Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras

de construcción. *BOE*, 25 de octubre de 1997, núm. 256, p. 30875-30886.

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *BOE*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, p. 11816-11831.

Gruber, F. (2001). Comparing results to identify defects in wood of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) using the drill devices Resistograph 1410. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 172(1), 1-7.

Hermoso, E., Fernández-Golfin J.I., y Díez, M.R. (2003). Mechanical characterization of timber according to European standards from Spanish provenances of Scots Pine. *Revista de Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12 (3), 103-110.

Herzig, L. (1992). *Evaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage*. (M.Sc. Thesis. Génie Forestière). Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des Sciences du Bois et de la Forêt. Université Laval, Quebec(Canadá).

Hofstrand, A.D., y Howe, J.P. (1963). *Relationship between modulus of elasticity and compression strength of white fir*. Lewinston, Estados Unidos: Potlatch Forests, Inc.

Hoyle, R.J. (1961). A nondestructive test for stiffness of structural lumber. *Forest Products Journal*, 11(6), 251-254.

Hoyle, R.J. (1962). *Analysis of relationship between stiffness and strength of 2"x 8"white fir (*Abies Grandis*) used as joist and plank*. Lewinston, Estados Unidos: Potlatch Forests, Inc.



IML (s.f.). *Measured Variables of the IML-RESI PowerDrill®: Drill Resistance and Feed Force Measurement*. <[http://www.impl-na.com/fileadmin/user\\_upload/Measured\\_Variables\\_PD\\_USA.pdf](http://www.impl-na.com/fileadmin/user_upload/Measured_Variables_PD_USA.pdf)>

[Consulta: 12 de junio de 2017].

Jayne, B.A. (1959). Vibrational properties of wood as indices of quality. *Forest Products Journal*, 9(11), 413-416.

Johnson, J.W. (1965). "Relationships among moduli of elasticity and rupture" en *Proceedings, 2nd nondestructive testing of wood symposium (abril de 1964. Spokane, Estados Unidos)*. Pullman, Estados Unidos: Washington State University. 419-457.

Kramer, P.R. (1964). Correlation of vending strength and stiffness of Southern Pine. *Forests Products Journal*, 14(10), 495-496.

Krishna, H. y Weesner, F. (1970). *Biology of termites. Volumen II*. New York, Estados Unidos: Academic Press.

Mariño, R., Fernández, M., y Fernández, C. (2002). Análisis comparativo de la densidad de *Pinus sylvestris* L. mediante la utilización de resistógrafo. *Revista CIS-Madera*, 9, 60-70.

O'Halloran, M.R. (1969). *Nondestructive parameters for lodgepole pine dimensions lumber* (M.S thesis). Colorado State University, Fort Collins (Estados Unidos).

Pellerin, R.F. (1963). *Correlation of strength properties of 1-inch lumber*. Washington State University, Division of Industrial Research. Lewinston, Estados Unidos: Potlatch Forests, Inc.

Pellerin, R.F. (1965). A vibrational approach to nondestructive testing of structural timber. *Forest Products Journal*, 15(3), 93-101.

Pellerin, R.F. y Ross, R.J. (2002). *Nondestructive evaluation of wood*. Madison, Estados Unidos: Forest Products Society.

Rinn, F. (1994). "Catalogue of relative density profiles of trees, poles, and timber derived from resistograph micro-drillings" en *Proc. of the 9th Int. Symposium on Non-destructive Testing of Wood (22-24 de septiembre de 1993. Madison, Estados Unidos)*. Pullman, Estados Unidos: Washington State University. 61-67.

Ross, R.J., Geske, E.A., Larson, G.L., y Murphy, J.F. (1991). *Transverse vibration nondestructive testing using a personal computer*. Madison, Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Sandoz, J.L. (1989). Grading of construction timber by ultrasound. *Wood Science and Technology*, 23, 95-108.

Segura Orenga, G. y Martínez Ruiz, G. V. (2015). "Mobila: la madera "especial" de nuestros abuelos" en *Noticias Habitat*, 28 de septiembre. <<http://www.noticiashabitat.com/2015/la-madera-especial-de-nuestros-abuelos/>> [Consulta: 16 de junio 2017].

UNE (2017). *Madera estructural. Clases resistentes*. UNE-EN 338:2016. Madrid: AENOR.

UNEP. (2000). *Finding alternatives to persistent organic pollutants (POPs) for termite management*. UNEP/FAO/Global IPM Facility Expert Group on Termite Biology and Management. Nairobi, Kenia.

Wang, Z., Ross, R.J., y Murphy, J.F. (1993). A comparison of several NDE techniques for determining the modulus of elasticity of lumber. *Wood Forestry Research*, 6(4), 86-88.

Waubke, N. V. (1981). *Grundsätzliche Untersuchungen zur Eignung der Ultraschall – Impulslaufzeitmessungen als vereinfachte und genauere Methode zur Klassifikation von Bauhölzern*. Munich, Alemania: Institut für Baustoffkunde und Bauphysik der Hochschule der Bundeswehr.

Winistorfer, P.M., Xli, W., y Wimmer, R. (1995). Application of drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels. *Forest products journal*, 45(6), 90-93. Winsconsin, Estados Unidos.

# Anexo I.

## Principios físicos para la determinación de MOE/MOR de la madera por ultrasonidos

### 1 Introducción a la evaluación no destructiva

La evaluación no destructiva, es una técnica no destructiva de análisis de la calidad interna de la madera. El estudio de la calidad interna de la madera difiere notablemente al llevado a cabo con otros materiales homogéneos tales como metal, plástico o cerámica. A la hora de llevarse a cabo una evaluación no destructiva (END) de la madera, es necesario considerar la presencia de discontinuidades, nudos, fendas, bolsas de resina o cualquier tipo de inclusión en la madera. En ocasiones, estas irregularidades aparecen en la madera, y favorecen la degradación de la misma por acción de agentes externos (Pellerin y Ross, 2002). Desde el punto de vista económico, los defectos en la madera bajan el precio de la madera, si bien algunos defectos no afectan a la resistencia estructural. Los nudos deben considerarse como el principal defecto interno de la madera.

La hipótesis fundamental de END de la madera propone que la energía almacenada en los materiales cuando son sometidos a vibraciones y ondas y las propiedades de disipación de esa energía pueden medirse mediante determinadas técnicas (Jayne, 1959). Mediante análisis

estadísticos de regresión, es posible establecer una relación matemática exitosa entre propiedades de disipación de la energía y el estado elástico y su resistencia.

Se emplean modelos de regresión para establecer una relación entre las características de la madera y los parámetros no destructivos de la madera. A través de ellos, es posible predecir las características de la madera analizada. Según estudios recientes, se establece un coeficiente de correlación " $r$ " entre las dos variables consideradas, donde tal coeficiente tiene un rango de valores comprendido entre +1 y -1. Pueden tomarse valores positivos o negativos dependiendo de la fuerza de la relación. Un coeficiente próximo a 0,7 establece una relación exitosa entre las dos variables, sin embargo, si " $r$ " tiene de valor cero, no existe correlación entre las variables. Para la madera, la relación entre el módulo de elasticidad estático y la resistencia a flexión o módulo de rotura estático tiene un coeficiente de correlación próximo a 0,7. Por tanto, puede determinarse con bastante precisión el MOR estático a partir del MOE estático. Véase la siguiente tabla (Tabla AI.1):

Referencia	Especie	Humedad (%)	Coefficiente de correlación " $r$ " entre MOE estático y MOR estático
Hoyle (1961)	Abeto de Douglas	12	0,79-0,72
	Cicuta del Oeste	12	0,74
	Alerce del Oeste	12	0,70

Hoyle (1962)	Abeto de Vancouver	12	0,72
Hofstrand y Howe (1963)	Abeto de Vancouver	12	0,75
Pellerin (1963)	Abeto de Douglas	12	0,76
Hoyle (1964)	Pino del Sur	12	0,76
Kramer (1964)	Pino del Sur	12	0,88
Johnson (1965)	Abeto de Douglas	10	0,85
	Cicuta del Oeste	10	0,86

*Tabla AI.1. Coeficiente de correlación según especie entre MOE y MOR estáticos (madera actual y sin defectos). 2017. Pellerin y Ross, 2002.*

Medir el módulo de elasticidad (MOE) es relativamente sencillo; basta conocer la relación entre carga y deformación padecida por el propio material. Así pues, existe una ecuación matemática para el cálculo de MOE en una situación donde el material se apoya en dos puntos cercanos a sus extremos y en su centro se establece una carga (Pellerin y Ross, 2002).

$$\text{MOE (en Pa)} = \text{PL}^3 / (48\text{I}^3)$$

Donde:

-P: carga (kg)

-L: longitud (m)

-I: inercia (kg m<sup>2</sup>)

- $\delta$ : deflación media (m)

Existen pequeñas variaciones para el cálculo de MOE en caso de variar los puntos de apoyo y/o cargas en el material a analizar.

## 2 Evaluación mediante técnicas de ultrasonidos.

A día de hoy, las técnicas de vibración transversal han recibido una gran atención para una END. Por ello, ha sido posible establecer una ecuación para el cálculo de MOE para una viga soportada libremente desde dos puntos:

$$\text{MOE (en Pa)} = 4L^2f^2\rho$$

Donde:

-f: frecuencia resonante (Hz)

-L: longitud de la viga (m)

-  $\rho$ : densidad de la viga (kg/m<sup>3</sup>)

Jayne (1959) utilizó técnicas de vibración transversal en END para evaluar la dureza de la madera. Fue capaz de establecer una relación entre la energía almacenada por la vibración y la disipación de esta energía mediante técnicas de vibración transversal forzada, así como entre ésta y la flexión estática de la madera. Algunos resultados de interés se exponen en la siguiente tabla (Tabla Al.2):

Referencia	Técnica END	Material	Parámetros medidos	Propiedades estudiadas	Comparación de parámetros y propiedades (coeficiente de correlación $r$ )
Pellerin (1965)	Vibración transversal libre	Vigas de Abeto de Douglas	Frecuencia resonante, $E_d$	$E_{SB}$ , MOR	$E_{SB}$ y $E_d$ (0,98) MOR y $E_d$ (0,67-0,93)
O'Halloran (1969)	Vibración transversal libre	Vigas de <i>Pinus contorta</i>	Frecuencia resonante, $E_d$	$E_{SB}$ , MOR	$E_{SB}$ y $E_d$ (0,98) MOR y $E_d$ (0,89)
Wang <i>et al.</i> (1993)	Vibración transversal libre	Vigas de picea-abeto-pino	$E_d$	$E_{SB}$	$E_{SB}$ y $E_d$ (0,96-0,99)
Ross <i>et al.</i> (1991)	Vibración transversal libre	Vigas de picea-abeto-pino	$E_d$	$E_{SB}$	$E_d$ y $E_{SB}$ (0,99)

Tabla Al.2. Estudio de las propiedades de la madera según técnica de evaluación no destructiva. 2017. Pellerin y Ross, 2002.

Donde:

- $E_d$ : módulo de elasticidad (MOE) dinámico
- $E_{SB}$ : MOE obtenido de la flexión estática
- MOR: resistencia a flexión o módulo de rotura



A partir de conocer la densidad de la madera, es posible calcular fácilmente su módulo de elasticidad dinámico.

La velocidad de transmisión de la señal se calcula a una frecuencia de 30 KHz midiéndose el tiempo que tarda en llegar la onda de un sensor a otro colocados a una distancia conocida (Figura A1.1). Por lo tanto,  $V=L/t$ .

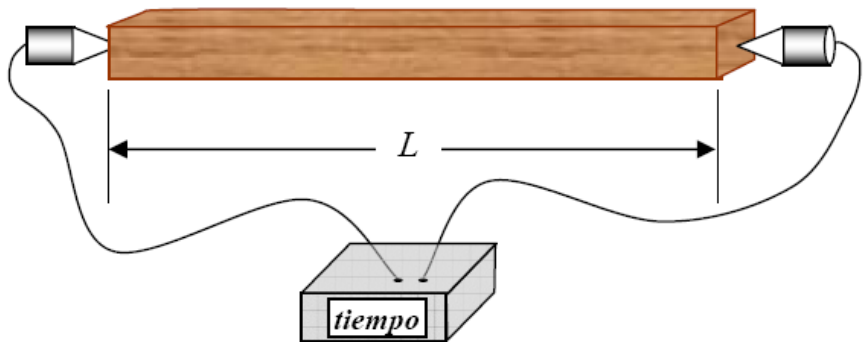


Figura A1.1. Medición de la velocidad de la onda, en este caso por el método directo. 2016. Acuña et al., 2006.

Donde:

-V: velocidad de la onda (m/s)

-L: separación entre sensores (m).

-t: tiempo empleado en la transmisión de la señal entre los sensores (s).

Atendiendo a la relación existente entre la velocidad de la onda con las propiedades elásticas del material, se puede establecer:  $V^2 = MOE/\rho$

Donde:

-MOE: módulo de elasticidad.

- $\rho$ : densidad de la madera.

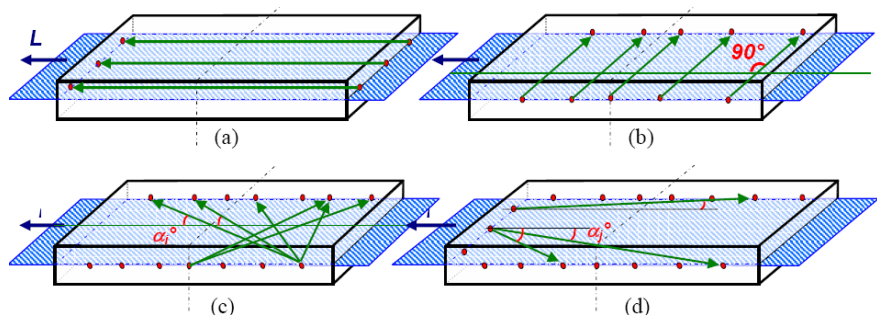


Figura A1.2. Posicionamiento de los palpadores en medidas longitudinales (a), transversales (b) y con un ángulo  $\alpha$  (c y d). 2016. Acuña et al., 2006.

La relación existente entre la velocidad de la onda y el módulo de elasticidad (Acuña et al., 2006) aporta información sobre la calidad general de las piezas, sin embargo, la relación con el módulo de rotura pierde interés ya que éste suele depender de un defecto local que produce la rotura y en la propagación de la onda no influye un defecto por sí solo (Hermoso et al., 2003). En definitiva, la velocidad de

propagación será mayor cuanto menor sea la presencia de defectos en la madera. Por lo tanto, la velocidad con la que se propagan las ondas de presión en la madera depende, así como de otras propiedades físicas y mecánicas, del ángulo en el que se encuentran las fibras de la madera alineadas. Normalmente, las fibras de madera se encuentran alineadas con la longitud axial de la madera. El tiempo empleado en transmisión de las ondas de presión depende de la especie de madera. Además, para una misma especie, las ondas de presión se transmiten más rápidamente en el sentido de las fibras que perpendicular a ellas (Pellerin y Ross, 2002).

Se han llevado a cabo diversas investigaciones (Pellerin y Ross, 2002) donde se prueba la influencia que tiene la humedad interna de la madera en la velocidad de transmisión de las ondas de presión en sentido perpendicular a las vetas de la madera (Figura A1.3). Si la humedad interna de la madera es inferior al 30%, la velocidad de transmisión de las ondas disminuye conforme disminuye la humedad. En cambio, si la humedad interna de la madera es igual o superior al 30%, la velocidad de transmisión de las ondas no varía o aumentan ligeramente. Por lo tanto, según Pellerin y Ross (2002), no resulta necesario llevar a cabo un ajuste de los valores tomados en zonas húmedas.

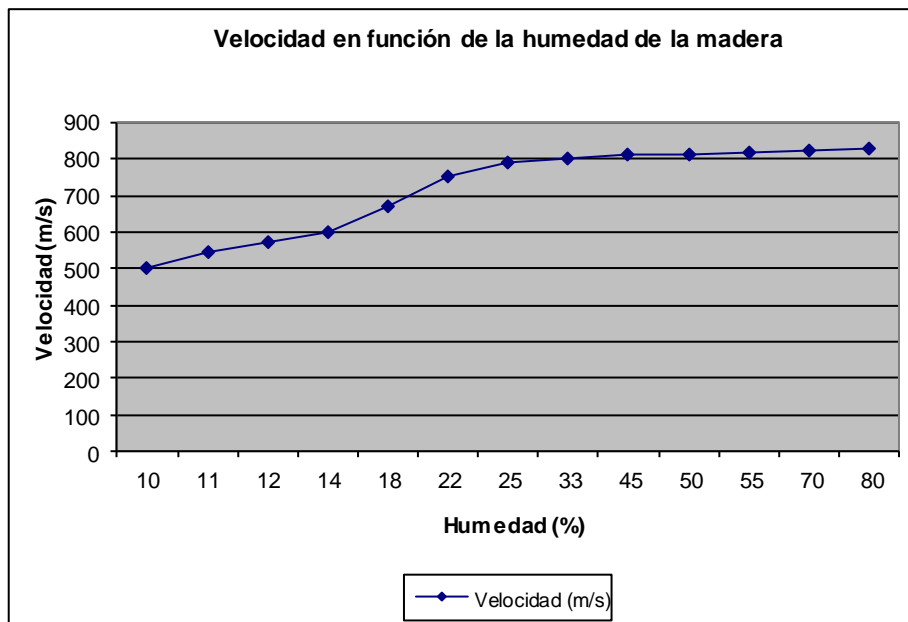


Figura A1.3. Relación entre la velocidad de la onda y la humedad interna de la madera. 2016. Pellerin y Ross, 2002.

# Anexo II.

## Diario de obra

### 1 Enero 2017

31-01-2017. Calle Gandía nº 15, 17 y 19. Valencia.

Se ha realizado la inspección de la estructura de madera de un edificio de viviendas situado en la Calle Gandía nº 15, 17 y 19, en la ciudad de Valencia.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja, planta altillo y tres plantas tipo. Actualmente, el edificio se encuentra en fase de rehabilitación estructural y a la espera de los resultados de la inspección que hemos realizado.

Los forjados son unidireccionales, de viguetas de madera (secciones: -) con bóveda inferior de revoltón cerámico. En unos casos, tanto las viguetas como la bóveda quedan vistas y en otros, se había colocado falso techo de cañizo clavado a las viguetas. Estas viguetas descansan en vigas de carga (secciones: -), también de madera.

Nos han facilitado los planos de refuerzo estructural de las distintas plantas, donde ya se habían señalado las zonas a inspeccionar (concretamente, de los forjados de planta primera, segunda y tercera

hemos tenido que analizar puntos concretos de vigas de carga, encuentros de vigas de carga con pilares (Figura AII.1), de viguetas con vigas de carga y encuentros de dinteles con cerramientos).

En los casos de forjados con falso techo de cañizo, éste ha sido despejado para que pudiéramos acceder a las zonas objeto de inspección. Lo mismo se ha hecho en los dinteles. La evaluación del estado de la estructura de madera se ha realizado empleando técnicas convencionales (inspección visual, higrómetro y punzón) y técnicas de clasificación por métodos no destructivos (ultrasonidos y resistógrafo).



*Figura AII.1. Realizando una resistografía en una viga de carga en la inspección de Calle Gandía. 2017. Fuente propia.*

En total se han realizado 5 ultrasonidos y 81 resistografías. Se ha tomado una muestra de madera de cada uno de los tres primeros elementos en que se han realizado ultrasonidos.

## 2 Febrero 2017

En todas las inspecciones llevadas a cabo durante el mes de febrero se han empleado, para el análisis de la estructura de madera analizada, tanto técnicas convencionales (inspección visual, higrómetro y punzón) como técnicas de clasificación por métodos no destructivos (ultrasonidos y resistógrafo)

06-02-2017. Calle San Francisco de Borja nº 13. Valencia.

Se ha realizado la inspección del entramado estructural de cubierta de un edificio de viviendas entre medianeras situado en la Calle San Francisco de Borja nº 13, en la ciudad de Valencia.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja y seis plantas tipo. Actualmente, se está realizando la rehabilitación integral del edificio de acuerdo a un proyecto de ejecución de 12 viviendas y local comercial y se está a la espera de los resultados de la inspección que hemos realizado para poder actuar en la cubierta.

El entramado estructural de cubierta está constituido por pares de 18 x 6 cm que están dispuestos de forma que la cubierta sea a dos aguas. Estos pares descansan, en la mayoría de los casos, en vigas de carga de madera (VC1: 24 x 10 cm; VC2: 22,5 x 10 cm; VC3 y VC4: 23 x 10 cm; VC5, VC6, VC7 y VC8: 30 x 11 cm; VC9 y VC10: 22 x 15 cm) y en el resto de casos empotran en los cerramientos que conforman la fachada

principal y la que da al patio interior de manzana. Los extremos de las vigas de carga empotran en algunos casos en medianeras o en cerramientos de fachada y en otros, en pilares de obra de fábrica. Hay un total de 41 pares y 10 vigas de carga.

El falso techo de cañizo, que ha sido despejado en su totalidad para que se pudiese realizar la inspección sin problemas, se sujeta del entramado estructural de cubierta por medio de una estructura adicional dejando un espacio o cámara a partir de su cara inferior. En el plano del estado actual de cubierta que se nos ha proporcionado, únicamente estaba señalada la dirección de las pendientes de los faldones por lo que hemos procedido a dibujar los pares y las vigas de carga cuya numeración también hemos marcado. Posteriormente se ha procedido a analizar todos los empotramientos de los pares y de las vigas de carga y también se ha hecho un análisis visual de los extremos de los pares que descansaban en las vigas de carga.

En total se han realizado 5 ultrasonidos y 28 resistografías. Se han recogido 4 muestras de madera.

07-02-2017 al 10-02-2017. Calle Castán Tobeñas nº 62. Valencia.

Durante estos 4 días se ha realizado la inspección de la estructura de madera de la Alquería Juliá, situada en la Calle Castán Tobeñas nº 62, en la ciudad de Valencia.

La Alquería Juliá fue declarada Monumento Artístico Nacional en 1978 y Bien de Interés Cultural, BIC, en 2007 y se puede considerar como uno de los escasos ejemplares que se conservan de alquería valenciana del siglo XVII. El edificio consta de planta baja y planta primera además de



una torre de dos alturas que coincide con el eje de la puerta principal. (Bankia, s.f.) Actualmente, se está en fase de proyecto básico de intervención para rehabilitar el edificio y convertirlo en la Casa de la Música, que a su vez será la futura sede de la Federación de Sociedades Musicales de la Comunidad Valenciana (Bankia, s.f.). El cliente solicitó que se analizara parte del forjado de segunda planta, el entramado estructural de cubierta del edificio (exceptuando dos faldones) y los tres forjados de la torre, incluyendo el de cubierta.

El forjado de planta segunda es, por una parte, unidireccional, de viguetas de madera de distintas secciones (V1: 15 x 25 cm; V2: 15 x 22 cm; V3: 15 x 23 cm; V4: 23 x 20 cm; V5, V6, V7 y V8: 16 x 26 cm; V9: 15 x 23 cm; V10 y V11: no visibles; V12: 16 x 28 cm; V13: 7 x 10 cm; V14: 14 x 19 cm; V15: 17 x 11cm; V16: 9 x 8 cm) con bóveda inferior de revoltón cerámico, quedando las viguetas y las bóvedas vistas. En el resto de casos, el forjado consiste en estructuras adicionales de madera por medio de las cuales se han sujetado los falsos techos de cañizo al entramado de cubierta. De estas estructuras adicionales se han analizado los extremos de 17 viguetas. Esta parte del forjado de segunda planta incluye una viga de carga de madera (VC1) de 30 x 27 cm de sección, que en su extremo derecho apoya en una ménsula de madera de 20 x 27 cm. Las viguetas 1-4 y la 12-16 empotran en uno de los cerramientos por su extremo interior y apoyan en la VC1 por su extremo exterior. El resto de viguetas apoyan en la VC1 por su extremo interior y empotran en cerramientos por su extremo exterior.

La tipología del tejado corresponde a un tejado compuesto constituido por 7 faldones diferentes. Los 5 faldones que finalmente se han analizado incluyen un total de 82 pares. El primer faldón incluye los pares 1-22(secciones: -) y 61-65(secciones: -). También incluye las vigas

de carga VC1(25 x 25 cm), VC2(42 x 36 cm) y VC3(30 x 32 cm). El segundo faldón incluye los pares 23-30(secciones de 23 x 12 cm y 23 x 14 cm) y 46-60(secciones de 27/29 x 14/16 cm). En este faldón se encuentra la viga de carga VC4(sección: -). El tercer faldón incluye los pares 31-45 cuyas secciones son de 20 x 12 cm. Se incluye también la viga de carga VC7(sección: -). Los faldones 2 y 3 comparten las vigas de carga VC5 y VC6 que son de 30 x 32 cm de sección. El cuarto faldón incluye los pares 66-75 y el quinto los pares 76-82.

El primer forjado de la torre es unidireccional, de viguetas de madera con bóveda inferior de revoltón cerámico. Hay un total de 3 viguetas (secciones: -). El segundo forjado es de la misma tipología que el anterior y en este caso hay 4 viguetas (secciones: -). Por último, el entramado estructural de cubierta de la torre consiste en un forjado unidireccional de viguetas de madera con tablero superior y listones de madera colocados entre las viguetas (8 viguetas de 20 x 10 cm) y el tablero. También hay una viga de carga(VC1). Todos estos elementos quedan vistos.

Durante los 4 días de la inspección se fueron numerando y dibujando los elementos objeto de inspección conforme avanzaba esta. El primer día se analizaron los extremos interiores y exteriores de las viguetas 1-8 del forjado de segunda planta, desde el forjado de primera planta y posteriormente se transportó todo el material por un andamio hasta estar al nivel del forjado de 2ª planta, para poder analizar al día siguiente el entramado estructural de cubierta y el resto del forjado de segunda planta desde ese mismo nivel.

El segundo día se analizaron todos los extremos de los pares y vigas de carga pertenecientes a los faldones 1, 2 y 3. Algunas zonas del faldón 1

eran poco accesibles, por lo que algunos pares no se pudieron analizar. El forjado de segunda planta era inestable porque el entrevigado era muy frágil y en algunas zonas estaba roto. Las viguetas tampoco eran muy seguras, por lo tanto, hubo que poner tablones para poder andar por la zona con seguridad. Para aumentar la seguridad se utilizó arnés de seguridad y línea de vida. En los planos de estructura que se facilitaron se tuvieron que añadir 10 nuevos pares en el faldón 1. También se añadieron las viguetas 9-16 del forjado de segunda planta, las 17 viguetas de la estructura adicional y la viga de carga VC7.

El tercer día se analizaron los extremos exteriores e interiores de los pares del faldón 4. En este caso fue necesario emplear un andamio de castilletes para poder acceder a los pares ya que la altura desde el suelo era imposible de cubrir con las escaleras de mano. Al finalizar el día se trasladó el material a la zona de la torre para poder analizarla el día siguiente.

El último día se analizó la torre con sus dos forjados y cubierta. En el primer forjado de la torre se habían descubierto los extremos de las viguetas para que pudiesen ser analizadas. También se analizó el extremo derecho de la VC6 y algunos pares de cubierta que no se pudieron analizar los días anteriores. Para ello se utilizó otro andamio de castilletes desde el nivel de suelo de 1ª planta. Por último, se analizaron los pares del faldón 5. En los faldones 4 y 5 se habían descubierto los falsos techos de cañizo en su totalidad para poder realizar las inspecciones sin problemas. Lo mismo ocurría en la zona de los faldones 2 y 3, cercana al extremo derecho de la VC6.

En total se han realizado 8 ultrasonidos y 153 resistografías. Se han recogido 4 muestras de madera.

14-02-2017 y 15/02/2017. Calle Reina nº 135. Valencia.

Durante estos dos días se ha realizado la inspección de la estructura de madera de un edificio de 3 viviendas entre medianeras, situado en la Calle Reina nº 135, en la ciudad de Valencia.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja y dos plantas tipo. Actualmente, se está en fase de rehabilitación parcial de los elementos comunes del edificio y a la espera de los resultados de la inspección que se ha realizado, para poder actuar.

Los forjados de planta primera y segunda son unidireccionales de viguetas de madera de 22 x 10 cm de sección con revoltón cerámico, quedando todo ello visto. La tipología del tejado corresponde a un tejado simple a dos aguas.

El primer forjado incluye las viguetas 1-20 y tres vigas de carga (VC1 y VC2: 30 x 22 cm; VC3: -). El segundo incluye las viguetas 21-46 (las viguetas 21-26 son de 18 x 7/7,5 cm de sección) y otras tres vigas de carga (VC4 y VC5: 22 x 30 cm; VC6: -).

El entramado estructural de cubierta se ha analizado mediante catas realizadas en el falso techo, que en algunas zonas es de cañizo y en otras es registrable de placas de escayola, por lo que no ha sido posible visualizar el entramado en su totalidad. Se han realizado un total de 6 catas. En cada una de las catas 1, 2, 5 y 6 se ha analizado únicamente el estado de una vigueta. En la cata 3 se han analizado los extremos interiores de dos pares (secciones: -) y el empotramiento derecho de la viga de carga VC7(40 x 30/35 cm de sección). En la cata 4 se han analizado los extremos exteriores de 2 pares de 22/23 x 7,5 cm de

sección y el empotramiento izquierdo y el centro de una viga de carga (VC8) de 35/40 cm de diámetro.

Las viguetas se encuentran todas apuntaladas y se había descubierto el pavimento del forjado de planta 1 para que se pudiesen analizar las viguetas de ese mismo forjado.

El primer día se procedió a numerar y revisar las viguetas y vigas de carga que aparecían en los planos de apuntalamiento que se nos había proporcionado. Hubo que eliminar una vigueta y dibujar una nueva. Las viguetas 1-13 se analizaron en sus extremos interiores y exteriores. En las viguetas 14-20 (Figura AII.2) sólo se analizaron sus extremos interiores mientras que en las viguetas 21-30 fueron los exteriores. Se analizaron los extremos interiores y exteriores de la 31 y a partir de la vigueta 42 hasta la 46 sólo se analizaron los extremos interiores. Respecto a las vigas de carga se analizaron los extremos de cada una de ellas.



*Figura AII.2. Realizando una resistografía en una de las viguetas del forjado de planta 1 en la inspección de Calle Reina nº 135. 2017. Fuente propia.*

Del entramado estructural de cubierta no se nos facilitó ningún plano, por tanto, procedimos a realizar un croquis de las catas, que por otra parte, ya estaban realizadas.

En total se han realizado 49 ultrasonidos y 103 resistografías. Se han recogido 50 muestras de madera.

28-02-2017. Calle San Mauro nº 22. Alcoy.

El día 28 de febrero y el 2 de marzo se ha realizado la inspección de la estructura de madera de un edificio de viviendas entre medianeras, situado en la Calle San Mauro nº 22, en la ciudad de Alcoy.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja, cuatro plantas tipo y planta bajo cubierta. Actualmente se está en fase de proyecto básico y se está a la espera de los resultados de la inspección que se ha realizado para poder seguir avanzando. El cliente solicitó que se analizaran los forjados de planta primera, segunda, tercera, cuarta y bajo cubierta, además del entramado estructural de cubierta del edificio.

Los forjados son unidireccionales, de viguetas de madera de diferentes secciones, con bóveda inferior de revoltón cerámico. En unos casos, tanto las viguetas como la bóveda quedan vistas y en otros, se había colocado falso techo de cañizo clavado a las viguetas. Las secciones de las viguetas por forjados son las siguientes: forjado de planta 1(21 viguetas: - ); forjado de planta 2(viguetas 1-14: - ; viguetas 15-19: rollizos de 10/12 cm de diámetro; viguetas 20-22: 13 x 26 cm; viguetas 23-25: 18 x 18 cm); forjado de planta 3(22 viguetas: - ); forjado de planta 4(28 viguetas: rollizos de 15/17 cm de diámetro; vigueta 21: rollizo de 10 cm de diámetro); forjado de planta bajo cubierta(19 viguetas: - ).

La tipología del tejado corresponde a un tejado compuesto constituido por 4 faldones diferentes. Estos faldones incluyen un total de 34 pares de diferentes secciones. El primer faldón incluye los pares 1-9(secciones: -). El segundo faldón incluye los pares 10-16(secciones: -) y el tercero incluye los pares 17-25(secciones: -). Los extremos interiores de los pares del faldón 2 y los exteriores de los pares del faldón 3 descansan sobre la viga de carga VC1(sección: -). Por último, el faldón 4 incluye los pares 26-34(secciones: -).

Al principio de la inspección se disponía de los planos de distribución (estado actual) de las distintas plantas. Durante estos dos días se han ido dibujando y numerando los distintos elementos objeto de inspección, conforme avanzaba esta. La inspección comenzó el primer día en la planta 3 desde la que se analizó el forjado de planta 4. Se analizaron los extremos de las viguetas y también, los extremos de cuatro dinteles de madera (D1: -; D2 y D3: 20 x 20 cm de sección; D4: -). Después se hizo lo mismo en la planta 1 para analizar el forjado de planta 2. En este caso se analizaron los extremos de tres dinteles, también de madera (D1: 10 x 10 cm de sección; D2 y D3: -). La última parte del día se dedicó a analizar parte del entramado estructural de cubierta (desde planta bajo cubierta), incluidos los extremos de algunos pares y de la VC1.

### 3 Marzo 2017

En todas las inspecciones llevadas a cabo durante el mes de marzo se han empleado, para el análisis de la estructura de madera analizada, tanto técnicas convencionales (inspección visual, higrómetro y punzón) como técnicas de clasificación por métodos no destructivos (ultrasonidos y resistógrafo).

02-03-2017. Calle San Mauro nº 22. Alcoy.

Hoy continuó la inspección en zonas y plantas que el primer día no habían sido accesibles porque no se habían despejado los falsos techos de cañizo de esas zonas. Se retomó la inspección del entramado estructural de cubierta (Figura AII.3), analizando los extremos de los pares que quedaban y también se analizaron los extremos de 6 dinteles de madera (D1-D6: -).





*Figura AII.3. Anotando datos en la plantilla Excel en la planta bajo cubierta del edificio de la Calle San Mauro nº22. 2017. Fuente propia.*

Posteriormente se pasó a analizar el forjado de planta bajo cubierta desde la planta 4, donde se analizaron todos los extremos de las viguetas y también los extremos de 4 dinteles de madera (D1-D4: -). A continuación, se volvió a la planta 3 para analizar los elementos del forjado de planta 4 que no habían sido accesibles el primer día. El paso siguiente consistió en analizar todos los extremos de las viguetas y de 2 dinteles de madera (D1 y D2: -) del forjado de planta 3 desde la planta 2. El extremo derecho del D1 no se pudo examinar. Después se analizaron los elementos del forjado de planta 2(desde la planta 1) que

no habían sido accesibles el primer día y por último se analizaron los extremos de las viguetas y de una viga de carga (VC1) del forjado de planta 1 desde la planta baja. En esta planta no fue posible examinar ningún extremo de las viguetas 3,5 y 6. Tampoco se pudieron examinar los extremos interiores de las viguetas 2 y 4 ni los exteriores de las viguetas 9,13,14 y 15.

En total se han realizado 10 ultrasonidos y 116 resistografías. Se han recogido 6 muestras de madera.

31-03-2017. Calle Zapateros nº 12. Valencia.

Se ha realizado la inspección del forjado de planta primera de un edificio de viviendas entre medianeras, situado en la Calle Zapateros nº 12, en la ciudad de Valencia. Se ha accedido a este forjado desde la planta baja del edificio.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja y tres plantas tipo. Actualmente, se está en fase de consolidación de la estructura y a la espera de los resultados de la inspección que se ha realizado, para poder avanzar con el proyecto.

El cliente ha solicitado que se analizara, únicamente, la parte del forjado cuyos elementos estructurales son de madera. Esta parte se corresponde con un forjado unidireccional, de viguetas de madera de diferentes secciones, con bóveda inferior de revoltón cerámico, quedando todo ello visto. Este forjado incluye un total de 19 viguetas (V1: - ; V2: 20 x 10 cm; V3: - ; V4: 17 x 9 cm; V5: 21 x 10 cm; V6: 19 x 10 cm; V7: 17 x 9 cm; V8,V9,V10,V11 y V12: - ; V13: 20 x 12 cm; V14: 21 x

11 cm; V15: 22 x 13 cm; V16: 22 x 13 cm; V17,V18 y V19: - ) y tres vigas de carga (VC1: 22 x 20 cm; VC1': 22 x 15 cm; VC2: 30 x 32 cm; VC3: 30 x 30 cm). La VC1 está dividida en dos piezas. La que lleva el mismo nombre empotra en sus extremos en el cerramiento de fachada principal mientras que la VC1' no empotra y está reforzada en todo su perfil con una pletina metálica. Los extremos de las vigas de carga VC2 y VC3 empotran en las medianeras. En el caso de la VC2 se ha incrustado en las medianeras una especie de estructura vertical realizada con perfiles metálicos que sirve como apoyo complementario a los extremos de esta viga de carga. Los extremos exteriores de las viguetas 2-5 descansan en la VC1 mientras que los pertenecientes a las viguetas 1 y 7 empotran en el cerramiento de fachada principal. Los extremos interiores de las viguetas 2-5 y los exteriores de las viguetas 8-13 apoyan en la VC2. El extremo interior de la vigueta 1 empotra en la medianera. Los extremos interiores de las viguetas 8-13 y los exteriores de las viguetas 14-19 apoyan en la VC3. Las viguetas 14-19 descansan también, por el centro de su luz, en una viga metálica, que a su vez apoya, en sus extremos, en perfiles verticales. La mayoría de las viguetas y la VC1 se encuentran apuntaladas.

Se disponía del plano de estructura de este forjado, por lo que se ha procedido a revisar y numerar todos los elementos. Se han eliminado dos viguetas en el plano ya que actualmente no están. Durante la inspección se han analizado todos los extremos de las viguetas, excepto el extremo interior de la vigueta 1, ya que éste se encontraba oculto en la medianera. De la vigueta 4 también se ha analizado el centro de la misma. De las vigas de carga VC1 y VC1' se han analizado los extremos derechos e izquierdos y el centro de las mismas, mientras que de las vigas de carga VC2 y VC3 sólo se han analizado los extremos derechos e izquierdos.

En total se han realizado 7 ultrasonidos y 49 resistografías. Se han recogido 4 muestras de madera.

## 4 Abril 2017

03-04-2017. Av. Corts Valencianes nº 37. Tavernes Blanques.

Se ha realizado la inspección de la estructura de madera de un edificio entre medianeras, situado en la Avenida Corts Valencianes nº 37, en la ciudad de Tavernes Blanques.

Este edificio es propiedad de Mercadona S.A. y ha sido utilizado como almacén de uno de los supermercados de la empresa, el cual se encuentra a tan solo a unos metros del edificio. El edificio consta de planta baja y planta primera. Actualmente existe una propuesta de reutilización del edificio y se está a la espera de los resultados de la inspección que se ha realizado para poder seguir avanzando con el proyecto. El cliente ha solicitado que se analizara el forjado de planta primera y el entramado estructural de cubierta. La inspección comenzó ayer, ha continuado hoy y finalizará la semana que viene.

El forjado es unidireccional, de viguetas de madera de diferentes secciones, con bóveda inferior de revoltón cerámico. Todo ello quedaba oculto por un falso techo de cañizo decorado con molduras. Este falso techo se encontraba sujeto de las viguetas mediante clavos. Las vigas de carga son metálicas, por tanto, han quedado fuera de la inspección. Este forjado se ha subdividido en tres vanos. El primer vano incluye las viguetas 1-19 (secciones: -), el segundo las viguetas 1-26(secciones: -) y el tercero las viguetas 1-26(secciones: -).

La tipología del tejado corresponde a un tejado simple a dos aguas. El faldón cuyo alero da a la Avenida Corts Valencianes nº 37 se ha subdividido en dos vanos. El vano 1 incluye los pares 1-23(sección par 3: 21 x 11 cm; secciones resto de pares: -) y el vano 2 los pares 1-22(secciones: -). El vano 3 que pertenece al otro faldón incluye los pares 1-22(secciones: -). Los pares del vano 1 empotran en el cerramiento de fachada principal en sus extremos exteriores y apoyan en las vigas de carga VC1 (sección: -) y VC2 (sección: -) en sus extremos interiores. Los pares del faldón 2 apoyan en sus extremos exteriores en VC1 y VC2 y en los interiores en las vigas de carga VC3(sección: -) y VC4(sección: -). Por último, los pares del faldón 3 apoyan en sus extremos exteriores en VC3 y VC4 y en los interiores en el cerramiento de fachada posterior. El falso techo se sujeta del entramado estructural de cubierta por medio de una estructura adicional dejando un espacio o cámara a partir de su cara inferior.

Se disponía del plano correspondiente al estado actual de las plantas, por lo que se ha procedido a numerar todos los elementos. También se han señalado los vanos. El primer día, la inspección comenzó en el vano 3 del forjado de primera planta y se analizaron los extremos interiores de las viguetas 1-10. Hoy se ha continuado en ese vano y se han analizado los extremos interiores de las viguetas 11-16. Después se han examinado los extremos exteriores de las viguetas 1-12. A continuación se han analizado el resto de vanos. En el vano 2 se han analizado los extremos interiores y exteriores de las viguetas 1-13 y en el vano 1 (Figura All.4) los extremos exteriores e interiores de las viguetas 1-6. También los extremos exteriores de las viguetas 16,17,18 y 19 y el interior de la 16.



*Figura AII.4. Colocando los transductores para la medición por ultrasonidos de una vigueta del forjado de planta 1 del edificio de Av. Corts Valencianes nº37. 2017. Fuente propia.*

Por último, se analizaron los empotramientos exteriores de los pares 1-10 del vano 1 del entramado estructural de cubierta. La evaluación del estado de la estructura de madera se ha realizado empleando técnicas convencionales (inspección visual, higrómetro y punzón) y técnicas de clasificación por métodos no destructivos (ultrasonidos y resistógrafo).

En total se han realizado 5 ultrasonidos y 83 resistografías. Se han recogido 4 muestras de madera.

## 5 Mayo 2017

En todas las inspecciones llevadas a cabo durante el mes de mayo se han empleado, para el análisis de la estructura de madera analizada,

tanto técnicas convencionales (inspección visual, higrómetro y punzón) como técnicas de clasificación por métodos no destructivos (ultrasonidos y resistógrafo).

02-05-2017 y 03/05/2017. Calle Sueca nº 26. Valencia.

Se ha realizado la inspección de la estructura de madera de un edificio de viviendas entre medianeras, situado en la Calle de Sueca nº 26, en la ciudad de Valencia.

La tipología del edificio corresponde a viviendas colectivas de carácter urbano en manzana cerrada y consta de planta baja y cinco plantas tipo. La numeración de viviendas respecto de cada planta es la siguiente: planta 1(viviendas nº 3 y 4), planta 2(viviendas nº 5 y 6), planta 3(viviendas nº 7 y 8), planta 4(viviendas nº 9 y 10) y planta 5(viviendas nº11 y 12). En la planta baja hay dos locales comerciales (bajo 1 y 2). Actualmente, el cliente está a la espera de los resultados de la inspección que se ha realizado para poder determinar qué elementos pueden ser reparados. El mismo nos encargó que analizáramos los forjados de todas las plantas y el entramado estructural de cubierta, por catas y vivienda. Las catas se han realizado por parte del cliente y han sido consensuadas con los técnicos de AIDIMME, en las zonas que se consideran de riesgo para la madera estructural (baños, cocinas, fachadas; etc.).

Los forjados son unidireccionales, de viguetas de madera de diferentes secciones, con bóveda inferior de revoltón cerámico, quedando todo ello oculto por un falso techo de cañizo que está sujeto de las viguetas, exceptuando el falso techo de la vivienda nº10, que es registrable de placas de escayola.

La tipología del tejado corresponde a un tejado simple a dos aguas. El faldón cuyo alero da a la terraza de la planta 5 se ha subdividido en dos partes (vivienda nº 11 y vivienda nº 12). La parte de este faldón que pertenece a la vivienda nº 11 incluye los pares 1-8(secciones P1-P3: -; P4: 19 x 8 cm; P5-P8: -). Los extremos exteriores de los pares 1-3 empotran en uno de los cerramientos mientras que los de los pares 4-8 descansan sobre un durmiente(VC1). Los extremos interiores apoyan en la viga de carga VC2(sección: -). La VC2 empotra en cada uno de sus extremos en pilares de obra de fábrica. La parte del faldón que pertenece a la vivienda nº12 incluye los pares 19-25(secciones: -). Los extremos exteriores de los pares 19-23 descansan sobre un durmiente(VC5), mientras que los de los pares 24 y 25 empotran en uno de los cerramientos. Los extremos interiores apoyan en la viga de carga VC6(sección: -). La VC6 empotra en cada uno de sus extremos en pilares de obra de fábrica.

El otro faldón también se ha subdividido en dos partes (vivienda nº 11 y vivienda nº 12). La parte de este faldón que pertenece a la vivienda nº 11 incluye los pares 9-16(secciones: -). Los extremos exteriores de estos pares apoyan en la VC2 mientras que los interiores descansan sobre las vigas de carga VC3 y VC4(secciones: -). Estas vigas de carga empotran en sus extremos en pilares de obra de fábrica. La parte del faldón que pertenece a la vivienda nº12 incluye los pares 26-32(secciones: -). Los extremos exteriores de estos pares descansan sobre la viga de carga VC6 mientras que los interiores descansan en unos casos en la viga de carga VC7(sección: -) y en otros empotran en uno de los cerramientos. La VC7 empotra en cada uno de sus extremos en pilares de obra de fábrica. En la vivienda nº12 existe una pequeña continuación de la cubierta en la cual hay varios pares (secciones: -) de corta longitud que se han numerado a partir del P33. Los extremos interiores de estos



pares quedan en voladizo respecto de la fachada de patio interior de manzana y sus extremos exteriores apoyan en la VC7. Tanto en la vivienda nº11 como en la nº12, el entramado estructural de cubierta queda visto.

En esta inspección no se ha usado la plantilla Excel ya que cuando se realizan inspecciones por catas lo normal es ir anotando cada cata en un cuaderno. No se disponía de los planos del edificio por lo que se descargó el plano catastral del inmueble. Se disponía de varias copias del mismo y en una de ellas se dibujó el entramado estructural de cubierta y se marcaron sus correspondientes catas. En las demás copias se marcaron las catas del resto de las viviendas. La metodología de numeración de catas ha sido la siguiente: nº de vivienda/nº de bajo.nº de cata de la vivienda/bajo.

El orden de las catas del primer día fue el siguiente:

1. Cata 9.4(forjado de planta 5). En esta cata se analizaron los empotramientos interiores de 5 viguetas (20 x 7,5 cm de sección) en el cerramiento de fachada posterior.
2. Cata 9.5. Análisis del empotramiento interior de una vigueta (sección: -) en el cerramiento de fachada posterior.
3. Cata 11.1(entramado estructural de cubierta). Análisis del empotramiento exterior del par nº4 en el cerramiento de fachada principal.
4. Cata 5.3(forjado de planta 3). Análisis de una vigueta (sección: -) en un punto.

5. Cata 5.1. Análisis de dos viguetas (secciones: -) en los puntos en que apoyan en la viga de carga VC1 (22 x 15 cm de sección) y análisis del empotramiento izquierdo de VC1.
6. Cata 9.1. Análisis del extremo exterior de una vigueta de 20 x 8 cm de sección, en su apoyo en una viga de carga(VC1). También, análisis de un punto interior de la vigueta y del empotramiento derecho de VC1 en cerramiento interior.
7. Cata 9.2. Análisis del extremo exterior de una vigueta (sección: -) en el punto en que apoya en VC1.
8. Cata 9.3. Análisis de una viga de carga(VC1) en dos puntos (empotramiento con partición).
9. Cata 8.2(forjado de planta 4). Análisis del empotramiento interior de dos viguetas (secciones: -).
10. Cata 8.3. Análisis de varios puntos de dos viguetas (secciones: -) y una viga de carga(VC1).
11. Cata 8.1. Análisis de un punto de una vigueta (sección: -).
12. Cata 7.1(forjado de planta 4) Análisis de un punto de una vigueta (sección: -).
13. Cata 3.1(forjado de planta 2). Análisis resistográfico del extremo interior de una vigueta (sección: -) en su apoyo en una viga de carga(VC1) y análisis resistográfico de VC1 en ese mismo punto.
14. Cata 3.2. Análisis visual de dos viguetas (secciones: -. Resistografía en un punto de una de las viguetas.

15. Cata 3.3. Análisis de los empotramientos exteriores de dos viguetas (secciones: -).
16. Cata 6.1(forjado de planta 3). Análisis de los empotramientos interiores de dos viguetas (secciones: -).
17. Cata 6.2. Análisis del empotramiento derecho de una viga de carga(VC1).

El orden de las catas del segundo día fue el siguiente:

1. Cata 5.2. Análisis de un punto de una vigueta de 20 x 8 cm de sección.
2. Cata 12.2. Análisis en un punto del par nº20.
3. Cata 12.1. Análisis del empotramiento izquierdo y derecho de VC5.
4. Cata 11.2. Análisis del empotramiento izquierdo y derecho de VC1.
5. Cat 12.4. Análisis visual del extremo interior en voladizo del par nº 33 y resistografía en dos puntos del par.
6. Cata 12.5. Análisis del empotramiento izquierdo y derecho de VC6.
7. Cata 4.1(forjado de planta 2). Análisis visual y resistografía en un punto de una vigueta (sección: -).
8. Cata 10.2(forjado de planta 5). Análisis visual y resistografía de los empotramientos interiores de dos viguetas (secciones: -).

9. Cata 10.1. Análisis visual de una vigueta (sección: -) y de una viga de carga(VC1). Resistografía en un punto de la vigueta y de VC1.
10. Cata 2.2(forjado de planta 1). Análisis del empotramiento derecho de una viga de carga(VC1).
11. Cata 2.1. Análisis de los empotramientos derecho e izquierdo de una viga de carga(VC1). Utilización del dispositivo acústico Audiometer en esta viga de carga. Análisis visual de 4 viguetas (secciones: -) que han quedado vistas al destapar la cata (Figura All.5).
12. Cata 1.1(forjado de planta 1). Análisis visual y resistografía de los extremos interiores de dos viguetas (secciones: -) en los puntos de apoyo de estas en una viga de carga(VC1).
13. Cata 1.2. Análisis de los empotramientos derecho e izquierdo de una viga de carga(VC1).
14. Cata 1.3. Análisis de los empotramientos derecho e izquierdo de una viga de carga(VC1) y del extremo exterior de una vigueta(sección: -) en el punto en que apoya en VC1.



*Figura AII.5. Realizando un análisis visual de la cata 2.1. durante la inspección de Calle Sueca nº 26. 2017. Fuente propia.*

En total se han realizado 9 ultrasonidos y 75 resistografías. Se han recogido 8 muestras de madera.

16-05-2017. Avenida del País Valencià nº 184. Benissa.

Se ha realizado la inspección del entramado estructural de cubierta de las Antiguas Escuelas Graduadas, un edificio situado en la Avenida del País Valencià nº 184, en la ciudad de Benissa.

Este edificio, conocido también como las Escuelas Antiguas Padre Melchor, fue la primera escuela pública de toda la zona de la comarca y ha sido y es, un referente para el municipio y la comarca, tanto en el aspecto educativo como en el arquitectónico. El edificio se construyó entre los años 20 y 30 del siglo pasado y comenzó a funcionar en el año 1936. El año 2005 fue abandonado y comenzó su degradación. (Benissa Digital, 2017). El edificio consta de planta baja y planta primera. Actualmente, se está en fase de proyecto básico y de ejecución de adecuación estructural de la cubierta del edificio. El cliente solicitó que se analizara todo el entramado estructural de cubierta. La inspección se ha realizado entre ayer y hoy.

La cubierta está solucionada con cerchas (tipo 1 y 2) que se conocen como cuchillo español. La planta del edificio tiene forma rectangular y uno de los lados menores del rectángulo es la fachada principal. Este rectángulo se subdivide a su vez en tres rectángulos cuyos lados mayores son paralelos a los lados mayores del rectángulo principal.

La parte del entramado estructural de los rectángulos izquierdo y derecho se corresponde con cerchas de tipo 1 (rectángulo izquierdo: C15-C28; rectángulo derecho: C1-C14), cuyas secciones de sus distintos elementos son las siguientes: correas (15 x 6 cm), pares (22 x 8 cm), pendolón (22 x 8 cm), tirante (25 x 8 cm), tornapuntas (10 x 8 cm) y

listones (5 x 5 cm). La longitud del tirante es de 8,80 m, la de los pares, 4,71 m y la altura del pendolón es de 1,26 m.

El rectángulo central se subdivide a su vez en tres rectángulos. Tomando como criterio de orientación exterior la fachada principal, el rectángulo exterior se corresponde con la parte del entramado estructural que está solucionada con cerchas de tipo 2(C29-C33), cuyas secciones de sus distintos elementos son las siguientes: correas (10 x 6 cm), pares (15 x 6 cm), pendolón (15 x 6 cm), tirante (15 x 6 cm), tornapuntas (8 x 6 cm) y listones (4 x 4 cm). La longitud del tirante es de 5,20 m, la de los pares, 2,76 m y la altura del pendolón es de 0,72 m. El rectángulo central consiste en un patio de luces que llega al nivel del suelo y el interior se corresponde con un forjado de cubierta que está al mismo nivel que las cerchas. Este forjado es unidireccional (perpendicular a la fachada principal), de viguetas de madera (secciones: -) con tablero superior de bardos cerámicos. En este forjado hay un total de 12 viguetas repartidas en dos vanos (6 en cada uno). Los extremos de estas viguetas empotran en cerramientos.

El análisis de las cerchas ha consistido en examinar los empotramientos (con los cerramientos) izquierdo y derecho de los nudos formados por la unión de los tirantes y los pares. Ayer se analizaron los empotramientos de las cerchas C1-C14 y los empotramientos derechos de las cerchas C15-C28. En estas 28 cerchas faltan los listones y las tejas. En algunas cerchas se han sustituido algunos elementos antiguos por otros nuevos y se está colocando panel aislante. El falso techo, que era de cañizo se ha eliminado en su totalidad y se encontraba suspendido del entramado estructural por medio de una estructura adicional.

En esta inspección no se ha usado la plantilla Excel, por lo que se ha ido anotando todo en los planos del estado actual de la planta primera y de los tipos de cercha que se nos había proporcionado. Hoy se ha comenzado analizando los empotramientos de las cerchas C29-C33. No faltaba ningún elemento del entramado estructural y el falso techo había sido despejado en su totalidad. Éste, que era de cañizo, se sujetaba del entramado estructural de cubierta por medio de una estructura adicional dejando un espacio o cámara a partir de su cara inferior. Después se han analizado los empotramientos interiores y exteriores de las 12 viguetas del forjado. Por último, se han analizado los empotramientos izquierdos de las cerchas C15-C28.

En la inspección de hoy se han realizado 5 ultrasonidos (para el proyecto se realizaron ayer 6 ultrasonidos) y las resistografías 21-32(para el proyecto) y 33-40. Se han recogido 2 muestras de madera (para el proyecto se recogieron ayer 3).

25-05-2017 y 26/05/2017. Acequia de Moncada (afueras del casco urbano de Paterna).

Durante estos dos días se ha realizado la inspección de parte de la estructura de madera del Molino del Testar, situado en la acequia de Moncada a las afueras del casco urbano de Paterna.

Este edificio es un antiguo molino de harina del primer tercio del siglo XIX y es de titularidad pública. (Associació Valenciana d'Arqueologia Industrial, 2010) El edificio consta de planta baja y planta primera. Actualmente, se está en fase de. El cliente solicitó que se analizara toda la estructura de madera del molino, incluido el entramado estructural



de cubierta. Durante estos dos días se ha analizado parte del forjado de planta 1 desde la planta baja y la semana que viene se analizará el resto del forjado y el entramado estructural de cubierta.

El forjado es unidireccional, de viguetas de madera de diferentes secciones con bóveda inferior de revoltón cerámico en unas zonas y de hormigón en otras. En unos casos, tanto las viguetas como la bóveda quedan vistas y en otros, había falso techo de cañizo clavado a las viguetas. La planta baja se ha dividido en 5 vanos, pero hoy sólo se han analizado los tres primeros. El primer vano incluye las viguetas 1-24(secciones V1-V10: 19 x 16/18 cm; secciones V11-V17: -; secciones V18-V24: 19 x 9,5 cm), el segundo las viguetas 1-21(secciones V1-V6: 17 x 7 cm; secciones V7-V13: 20 x 10 cm; secciones V16-V21: -) y el tercero las viguetas 1-18(secciones V1-V10: 19 x 14 cm; secciones V11-V18: 20 x 15 cm ). Las viguetas 14 y 15 del vano 2 no han sido analizadas ya que son metálicas. En el vano 1 las viguetas 1-4 empotran en sus extremos exteriores en la fachada principal y apoyan en sus extremos interiores en una viga metálica. Las viguetas 5-7 apoyan en sus extremos exteriores en la viga metálica mientras que sus extremos interiores empotran en una partición interior. Los extremos exteriores de las viguetas 8-24 empotran en la fachada principal y los interiores, en una partición interior, excepto los de las viguetas 12-17 que apoyan en la viga de carga de madera VC1(sección: 31 x 20 cm). En el vano 2, los extremos interiores y exteriores de las viguetas 1-6 empotran en particiones interiores. Los extremos exteriores de las viguetas 7 y 8 empotran en una partición y los interiores apoyan en una viga metálica. Los extremos exteriores de las viguetas 9-13 apoyan en la VC1 y los interiores en la viga metálica anterior. Los extremos interiores y exteriores de las viguetas 16-21 empotran en particiones. En el vano 3,

los extremos derechos de las 18 viguetas empotran en uno de los cerramientos de fachada y los interiores apoyan en una viga metálica.

Ayer trasladamos todo el material de inspección al interior del edificio y estuvimos preparando planos y revisando toda la estructura de madera que iba a ser objeto de inspección. En el día de hoy se han analizado los extremos interiores y exteriores de todas las viguetas de los vanos 1 y 2 y los izquierdos y derechos de las del vano 3 y de la VC1.

En total se han realizado 3 ultrasonidos y 58 resistografías. Se han recogido 3 muestras de madera.

# Anexo III.

## Plantilla Excel. Parte 1 y 2.

A continuación, se muestra la Plantilla Excel (parte 1; Tabla AIII.1) donde se ha asignado un código del elemento en el Trabajo a cada uno de los códigos de los elementos en obra:

INSPECCIÓN	CÓDIGO DEL ELEMENTO EN OBRA	RESISTOGRAFÍAS	CÓDIGO DEL ELEMENTO EN EL TRABAJO
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 1 C04	19, 20, 21 y 22	1
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 1 C05	23 y 24	2
Calle Gandía nº 15, 17 y 19	Forjado de planta 3 C05	1, 3 y 4	3
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta VC2	1, 2 y 3	4
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta VC1	11	5
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta P27	26 y 27	6
Calle San Francisco de Borja nº 13	Cubierta P41	28	7
Calle Castán Tobeñas nº 62	Forjado de planta 2 V7	23	8
Calle Castán Tobeñas nº 62	Cubierta VC4	72 y 77	9
Calle Castán Tobeñas nº 62	Forjado de planta 2 VC1	13, 14, 16 y 97	10
Calle Castán Tobeñas nº 62	Cubierta VC1	55, 56, 64 y 71	11
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V3	9 y 10	12
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V2	2	13
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V1	1	14

Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V4	3	15
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 VC1	11	16
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V5	4	17
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V6	5	18
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V7	6	19
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V8	7	20
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V9	8	21
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V10	13	22
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V14	17	23
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V15	18	24
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V16	19	25
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V20	23	26
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V11	14	27
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V12	15	28
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V13	16	29
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V17	20	30
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V21	24	31
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V22	25	32
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V23	26	33
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 VC2	12	34
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V24	27	35
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V25	28	36
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V26	29	37
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V27	30	38
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V28	31	39

Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V29	32	40
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V30	33	41
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V31	34	42
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V32	35	43
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V33	36	44
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 VC4	50	45
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V18	21	46
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 1 V19	22	47
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V35	38	48
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V37	40	49
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V36	39	50
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V34	37	51
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V39	42	52
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V40	43	53
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V38	41	54
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V41	44	55
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V42	45	56
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V43	46	57
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V44	47	58
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V45	48	59
Calle Reina nº 135	Forjado de planta 2 V46	49	60
Calle Sant Maure nº 22	Cubierta D4	54	61
Calle Sant Maure nº 22	Cubierta P30	52 y 53	62
Calle Sant Maure nº 22	Forjado de planta 2 V5	102 y 103	63
Calle Sant Maure nº 22	Forjado de planta 3 V14	91 y 92	64

Calle Zapateros nº 12	Forjado de planta 1 VC3	37 y 38	65
Calle Zapateros nº 12	Forjado de planta 1 VC2	28, 29, 30, 31 y 32	66
Calle Zapateros nº 12	Forjado de planta 1 V7	25, 26, 27 y 33	67
Calle Zapateros nº 12	Forjado de planta 1 VC1	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 y 12	68
Av. Cortes Valencianas nº 37 (Tavernes Blanques)	Forjado de planta 1 Vano 2 V8	51	69
Av. Cortes Valencianas nº 37 (Tavernes Blanques)	Forjado de planta 1 Vano 2 V9	50	70
Av. Cortes Valencianas nº 37 (Tavernes Blanques)	Forjado de planta 1 Vano 1 V2	54 y 55	71
Av. Cortes Valencianas nº 37 (Tavernes Blanques)	Forjado de planta 1 Vano 1 V3	56	72
Calle Sueca nº 26	Cata 9.4 V4	4 y 5	73
Calle Sueca nº 26	Cata 9.4 V3	3	74
Calle Sueca nº 26	Cata 9.4 V2	2	75
Calle Sueca nº 26	Cata 9.4 V1	1	76
Calle Sueca nº 26	Cata 9.5 V1	9	77
Calle Sueca nº 26	Cata 11.1 P1	12	78
Calle Sueca nº 26	Cata 12.2 P20	49	79
Benissa	Cubierta C1	26 y 27	80
Benissa	Cubierta C2	21, 22, 23, 24 y 25	81
Benissa	Cubierta C3	28	82
Benissa	Cubierta C4	29 y 30	83
Benissa	Cubierta C6	31 y 32	84
Molino del Testar	Forjado de planta 1 Vano 2 V9	19 y 20	85
Molino del Testar	Forjado de planta 1 VC1	17 y 18	86
Molino del Testar	Forjado de planta 1 Vano 1 V22	21, 22 y 23	87

*Tabla AIII.1. Plantilla Excel (parte 1). 2017. Fuente propia.*

En la siguiente tabla se muestra la Plantilla Excel (parte 2; Tabla AIII.2) donde los 87 elementos se encuentran ahora ordenados conforme a los códigos de los elementos en el Trabajo asignados en la anterior tabla:

CÓDIGO ELEMENTO	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	DENSIDAD SUPERFICIAL DE AGUJEROS O TÚNELES	% DURAMEN	ESPECIE	Nº DE NUDOS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	LONGITUD DEGRADADA/ LONGITUD TOTAL	AMPLITUD RESISTOGRÁFICA MEDIA FILTRADA (%)
1	15054,00	42,10	0	1	2	0	466,29	0,09	51,30
2	19589,48	59,79	-1	2	2	0	706,15	0,07	60,78
3	15276,29	42,46	-1	2	2	0	511,41	0,06	37,96
4	17973,94	53,30	-1	1	2	0	633,21	0,10	54,58
5	22244,00	74,10	-1	2	2	0	892,69	0,05	59,99
6	21107,00	65,70	-1	2	2	1	719,67	0,09	54,62
7	18196,21	61,00	-1	2	2	0	643,24	0,01	63,15
8	16263,00	46,90	-1	2	-2	1	579,83	0,05	43,19
9	16789,00	49,00	-1	2	-2	0	575,50	0,09	42,27
10	15872,00	40,96	0	2	-2	0	494,56	0,06	44,12
11	13877,00	37,40	1	-1	-2	4	468,84	0,07	29,52
12	15965,41	45,23	-1	-1	2	0	542,53	0,39	27,38
13	12287,86	30,45	-1	2	1	0	376,49	0,01	21,85
14	12784,43	32,45	-1	2	1	0	398,91	0,04	21,62
15	13846,54	36,72	-1	2	1	1	446,86	0,02	25,02
16	17645,07	51,98	-1	2	1	3	618,36	0,15	45,92
17	14114,39	37,79	-1	2	1	2	458,96	0,08	21,54

18	13668,70	36,00	-1	2	1	0	438,83	0,08	22,97
19	13516,66	35,39	-1	2	1	0	431,97	0,08	21,83
20	13547,28	35,51	-1	2	1	0	433,35	0,05	21,32
21	13446,31	35,11	-1	2	1	0	428,79	0,08	21,53
22	13592,38	35,70	-1	2	1	1	435,39	0,03	22,38
23	15248,30	42,35	-1	2	1	3	510,15	0,02	27,64
24	11930,85	29,02	-1	2	1	0	433,27	0,06	23,68
25	12161,80	29,95	-1	2	1	0	444,74	0,04	23,85
26	12232,80	30,23	-1	2	1	0	445,09	0,07	23,44
27	5930,78	6,34	1	2	-2	0	243,06	0,83	19,79
28	6091,53	6,97	1	2	-2	0	179,51	0,80	5,96
29	4904,99	2,32	1	2	-2	0	158,34	0,98	0,50
30	6043,05	6,78	1	2	-2	0	173,88	0,79	6,68
31	8443,52	15,01	1	2	-2	0	202,92	0,18	19,68
32	10137,97	21,82	0	2	-2	0	279,42	0,47	12,38
33	13871,73	36,82	0	2	-2	1	448,00	0,39	15,29
34	16691,69	48,15	-1	2	-2	4	575,32	0,08	39,24
35	14010,42	37,38	-1	2	-2	1	454,26	0,30	22,52
36	11642,62	27,86	0	2	-2	1	347,36	0,31	17,19
37	11116,44	25,75	0	2	-2	0	323,60	0,45	13,77
38	11323,25	26,58	0	2	-2	0	332,94	0,35	16,22
39	11533,17	27,42	0	2	-2	0	342,42	0,29	17,68
40	11343,06	26,66	-1	2	-2	0	333,83	0,31	16,60



41	11521,31	27,37	-1	2	-2	0	341,88	0,26	18,62
42	11784,93	28,43	-1	2	-2	0	353,78	0,25	18,67
43	12487,84	31,26	-1	2	-2	0	385,52	0,21	19,37
44	16852,55	48,80	-1	2	-2	3	582,58	0,12	21,62
45	17398,18	50,99	-1	2	-2	3	607,21	0,04	34,53
46	6637,60	9,11	1	2	-2	2	366,85	0,58	12,36
47	6663,12	9,21	1	1	-2	0	303,76	0,60	10,25
48	6665,67	9,22	0	1	-2	0	298,83	0,61	9,82
49	6614,63	9,02	1	1	-2	0	289,43	0,57	10,23
50	6688,63	9,31	1	1	-2	0	259,76	0,53	11,07
51	6693,74	9,33	1	1	-2	0	257,77	0,64	7,69
52	11558,98	27,53	1	1	-2	1	343,58	0,43	14,27
53	14589,81	39,70	0	1	-2	2	480,42	0,08	39,09
54	13314,26	34,58	-1	1	-2	1	422,83	0,01	26,03
55	12768,27	32,38	-1	1	-2	0	398,18	0,03	25,04
56	12293,57	30,48	0	1	-2	0	376,75	0,05	23,27
57	12028,81	29,41	0	1	-2	0	364,79	0,01	24,80
58	12256,29	30,33	0	1	-2	0	375,06	0,03	24,20
59	12561,76	31,55	0	1	-2	0	388,86	0,01	24,92
60	13317,29	34,59	-1	1	-2	1	422,97	0,01	23,12
61	15153,16	41,97	-1	-1	-1	8	505,85	0,28	32,10
62	15315,57	42,62	-1	-1	-1	1	513,19	0,24	39,51
63	11675,45	27,99	1	-2	-1	0	348,84	0,20	22,30

64	11941,05	29,06	1	-2	-1	0	360,83	0,32	15,57
65	14376,14	38,85	-1	2	-2	3	470,77	0,06	48,92
66	16050,45	45,57	-1	-1	-2	1	546,37	0,09	30,69
67	6591,67	8,93	-1	2	-2	1	447,53	0,53	14,28
68	16006,74	45,40	1	-1	-2	3	544,39	0,45	22,71
69	21370,92	66,95	-1	2	2	0	786,58	0,13	64,22
70	16319,30	46,65	1	2	1	4	558,50	0,13	41,46
71	22146,48	72,12	0	2	2	2	957,04	0,17	29,95
72	13916,89	37,00	-1	-2	1	1	450,04	0,11	20,00
73	15460,79	43,20	-1	2	2	0	519,74	0,17	23,04
74	15554,42	43,58	0	-1	-2	0	523,97	0,13	25,03
75	15167,09	42,02	0	-2	-2	1	506,48	0,07	31,23
76	15649,59	43,96	0	-1	-2	0	528,27	0,09	27,49
77	13920,40	37,01	0	-2	-2	0	450,20	0,10	27,52
78	15865,17	44,83	0	-1	-2	0	538,00	0,17	25,81
79	13434,88	35,06	0	-2	-2	0	428,28	0,19	23,42
80	18720,67	56,30	-1	1	2	0	666,92	0,08	36,51
81	15369,00	43,30	-1	-1	2	0	546,11	0,04	34,47
82	15091,00	42,20	0	-1	2	1	515,46	0,10	24,04
83	16989,00	49,70	-1	-1	1	0	560,42	0,08	36,20
84	15537,98	43,51	-1	-1	2	0	523,23	0,02	33,33
85	19467,00	59,60	-1	2	2	0	710,48	0,02	50,42
86	21445,28	67,25	-1	2	2	0	789,94	0,02	63,73

87	13642,00	36,50	-1	2	1	0	485,21	0,09	24,50
----	----------	-------	----	---	---	---	--------	------	-------

*Tabla AIII.2. Plantilla Excel (parte 2). 2017. Fuente propia.*

# Anexo IV.

## Ejemplos de gráficas resistográficas

A continuación, se muestra la gráfica de la resistografía nº 28 realizada en el par 41 del entramado estructural de cubierta de la inspección de calle San Francisco de Borja, nº 13 en la ciudad de Valencia (Figura AIV.1):

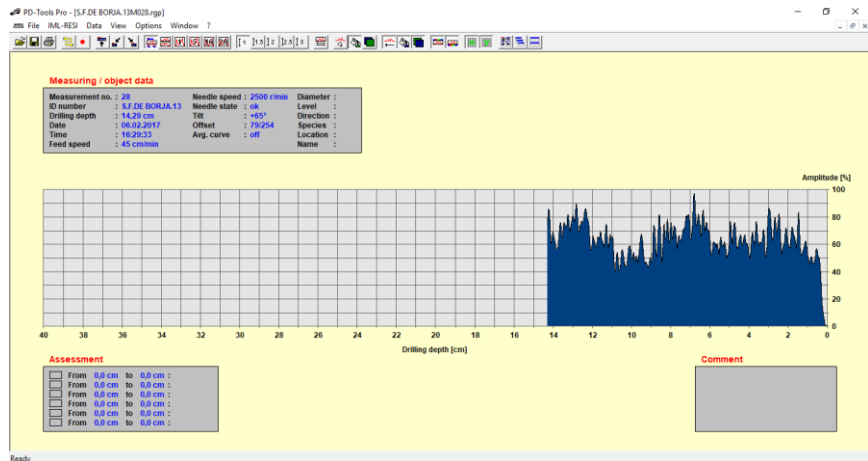


Figura AIV.1. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº 28 realizada en el par 41 del entramado estructural de cubierta de la inspección de calle San Francisco de Borja, nº13. 2017. Fuente propia.

En la siguiente figura, se muestra la gráfica de la resistografía nº 9 realizada en la vigueta 3 del forjado de planta 1 de la inspección de calle Reina, nº 135 en la ciudad de Valencia (Figura AIV.2):

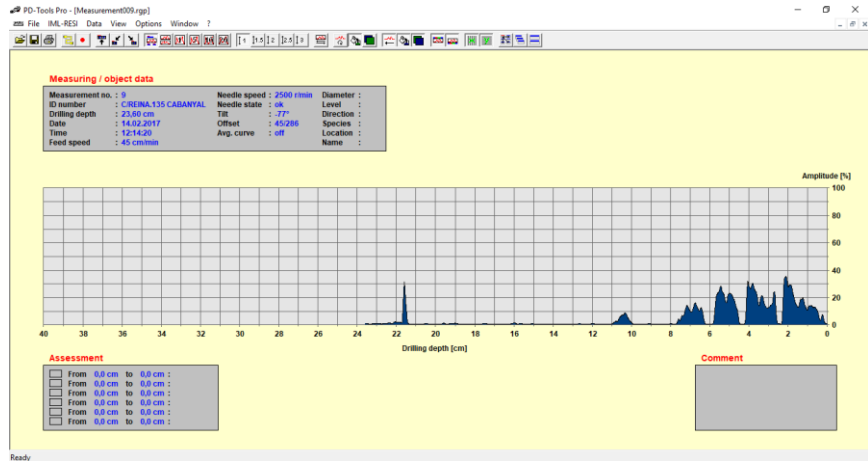


Figura AIV.2. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº 9 realizada en la vigueta 3 del forjado de planta 1 de la inspección de calle Reina, nº135. 2017. Fuente propia.

A continuación, se muestra la gráfica de la resistografía nº 54 realizada en el dintel 4 de la planta bajo cubierta del entramado estructural de cubierta de la inspección de calle San Mauro, nº 22 en la ciudad de Alcoy (Figura AIV.3):

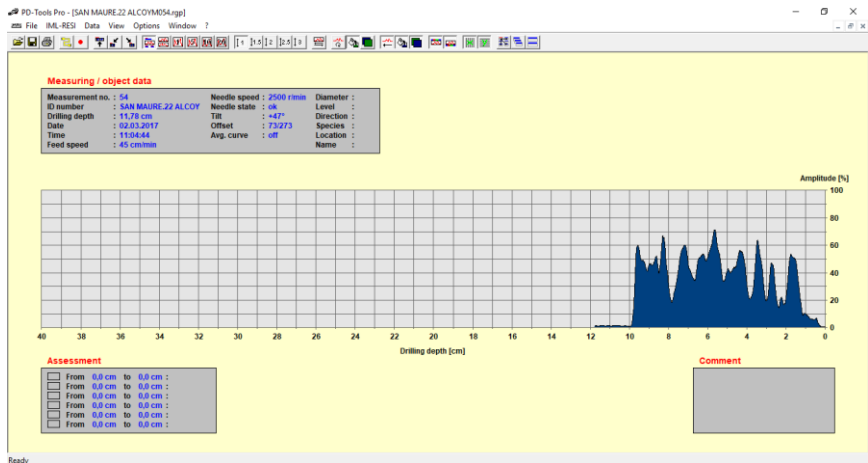


Figura AIV.3. Gráfica resistográfica generada con el programa PD-Tools Pro. Resistografía nº 54 realizada en el dintel 4 de la planta bajo cubierta de la inspección de calle San Mauro, nº22. 2017. Fuente propia.