

CONGRESO

LIGNOMAD

[19]

CONGRESO SOBRE CONSTRUCCIÓN CON MADERA
Y OTROS MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

XUNTA DE GALICIA

María Pilar Giraldo Forero, Ana María Lacasta Palacio y
M^a Azahara Soilán Cañas

Axencia Galega de Industria Forestal

CONGRESO LIGNOMAD [19]

LIBRO DE PONENCIAS

Congreso sobre Construcción con Madera
y otros Materiales Lignocelulósicos

XUNTA DE GALICIA

Comité organizador

M^a Azahara Soilán Cañás
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da
Madeira de Galicia (CIS Madeira)
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Montserrat Rodríguez Ogea
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

José Ignacio Lema Piñeiro
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Pablo Leis Mol
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Ana María Lacasta Palacio
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

María Pilar Giraldo Forero
Institut Català de la Fusta (INCAFUST)
Consorci Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de
Catalunya (CTFC)

Comité Científico

José Manuel Cabrero
Universidad de Navarra - Departamento de Construcción,
Instalaciones y Estructuras

Miguel Esteban Herrero
Universidad Politécnica de Madrid - ETSI Montes,
Forestal y del Medio Natural

Jorge Galván
Universidad Nebrija / INIA

Ana María Lacasta
Universitat Politècnica de Catalunya - Departamento de
Tecnología de la Arquitectura

Azahara Soilán
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos
da Madeira de Galicia (CIS Madeira)
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

María Pilar Giraldo
INCAFUST - Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de
Catalunya (CTFC) / Universitat Politècnica de Catalunya

Ignacio Oteiza
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC
Departamento de Construcción

María José Barriola
Área de Desarrollo Sostenible y Biociencias, Tknika, País vasco

Manuel Touza
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da Madeira de
Galicia (CIS Madeira)
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Rubén Regueira Gay
PEMADE (Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural) –
Universidad de Santiago de Compostela

María Portela Barral
PEMADE (Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural) –
Universidad de Santiago de Compostela

Joaquín Montón
Universitat Politècnica de Catalunya Departamento de
Tecnología de la Arquitectura

Amaia Butron Janices
Área de Materiales de Construcción / Building Technologies
Division. TECNALIA

Josu Benito Ayúcar
Área de Edificación y Ciudad / Building Technologies Division.
TECNALIA

Abel Vega Cueto
Área de Tecnología, Madera Estructural y Construcción
Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias
(CETEMAS)

Santiago Sánchez Beitia
E.T.S. de Arquitectura de Donostia-San Sebastián, Universidad
del País Vasco (UPV/EHU)

Dolores Otero Chans
Departamento de Construcciones y Estructuras Arquitectónicas,
Civiles y Aeronáuticas. Universidad de A Coruña.

Edición

Alina Avellaneda López
María Pilar Giraldo Forero
Ana María Lacasta Palacio

ISBN 978-84-09-13315-4



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

ÍNDICE

SESIÓN 1	
Ángel Panero, Lourdes Pérez. Madera esencial, soporte y sistema constructivo, en la rehabilitación de la fábrica de curtidos de pontepedriña de arriba en santiago de compostela	1
David Lorenzo, José Enrique Pardo, Alfonso Lozano, Josu Benito. Proyecto de reparación de la estructura de madera del puente de La Barca en Pontevedra. Aspectos claves en el diseño en la durabilidad de la madera al exterior	6
Alfonso Lozano, Felipe Álvarez, Mar Alonso, Juan José Del Coz, Juan Enrique Martínez, David Lorenzo. Posibilidades de las técnicas de GPR basadas en la interferometría de Coda, en el análisis del deterioro biológico de estructuras de madera laminada encolada	11
Carlos Osuna-Sequera, Francisco Arriaga, Miguel Esteban, Guillermo Íñiguez-González, Ignacio Bobadilla. Consideraciones sobre la medición de la velocidad de ondas de ultrasonidos en piezas de madera puesta en obra	17
Carles Blasco, Oriol Palou. Reflexiones de un caso práctico de actuaciones de refuerzo y mantenimiento en la estructura de un puente de madera en Calonge, Girona	25
SESIÓN 2	
Óscar Andrés Quintela, Iván Andrés Quintela. SIETEYMEDIO, un sistema modular de construcción en madera	30
A. Elejoste, G. Mondragon, A. Butron, A. Arevalillo, A. Eceiza, C. Peña-Rodríguez, F. Elejoste. Valorización del bambú como elemento estructural	35
Edna Moura Pinto, Alfredo Manuel Pereira Gerales Dias, Isabela Cavalcanti dos Santos. Dunas timber gridshell: construction method for a pavilion built in Natal-Brazil	41
N. Torres, H. De Matos. Bóveda desplegable en madera. Pabellón Xuê	46
Sesión de posters 1	
Cecilia López, Juan José Otero, Luis Ángel López. Reconstrucción de vivienda en Saa, Carballeda de Avia	50
Andrea Swiec Kaufmann El uso de la caña (arundo donax) en la arquitectura tradicional	55
Cristina Ouzande, Cristina Ezcurra. Rehabilitación de vivienda con sistema estructural tradicional de madera para casa de la cultura, Villa Concepción, Cambre	57
Ana María Rodríguez. La problemática de la rehabilitación de estructuras de madera en entornos rurales consolidados. Cascos antiguos tradicionales: pasado, presente y futuro de una realidad	63

Posibilidades de las técnicas de GPR basadas en la interferometría de Coda, en el análisis del deterioro biológico de estructuras de madera laminada encolada

Alfonso Lozano^a, Felipe Álvarez^a, Mar Alonso^a, Juan José Del Coz^a, Juan Enrique Martínez^a, David Lorenzo^b

^aUniversidad de Oviedo, Edificio Dptal. Oeste nº7 Campus de Viesques, Gijón, Asturias;

^bUniversidad de Santiago de Compostela, Escuela de Ingeniería Forestal; Campus A Xunqueira 36005 Pontevedra

alozano@uniovi.es

Palabras clave: GPR, Coda, madera laminada, degradación biológica

Resumen

Desde hace unos años, los daños provocados por organismos xilófagos (carcomas, termitas y hongos de pudrición) en las estructuras de madera han aumentado de manera muy significativa. Actualmente, para estimación del grado de deterioro biológico, además de los clásicos punzones, las empresas de control emplean otro tipo de equipos como resistógrafos, emisores de impulsos sónicos o ultrasónicos, etc. Por desgracia, también estos dispositivos presentan varias limitaciones: mediciones locales, lentitud de los procedimientos, peso excesivo de los equipos, maniobrabilidad, accesibilidad, etc. En resumen, que la evaluación del nivel de deterioro biológico, especialmente en el caso de ataques incipientes, no es posible llevarla a cabo con precisión.

Con el fin de evitar los problemas que plantean los equipos de ensayo actuales, se ha analizado la posibilidad de evaluar con mayor precisión el nivel de degradación biológica en elementos portantes de madera laminada mediante metodologías no destructivas basadas técnicas de georradar (GPR – Ground Penetrating Radar). El trabajo expone las posibilidades del GPR en la estimación del grado de degradación por organismos xilófagos en este tipo de estructuras. Se ha utilizado este tipo de material porque, al tratarse de un estudio inicial, se ha optado por aplicar esta tecnología a secciones de piezas homogéneas, sin defectos o singularidades tales como fendas de secado, acebolladuras o incluso desviaciones de fibra, más frecuentes en secciones de madera aserrada. Además este tipo de elementos estructurales son los que alcanzan mayores dimensiones y secciones; y por ende, mayor dificultad en su inspección.

Daños de origen biótico en madera: carcomas, termitas y hongos

La madera utilizada en estructuras puede verse afectada por procesos patológicos de origen biótico (ataques de insectos y hongos xilófagos) y abiótico (fuego, radiación UVA, algunos ácidos, el contacto de algunas especies con determinados metales, etc.).

Sin embargo, a excepción del fuego, los problemas más graves se asocian al primer grupo; y más concretamente a la acción de determinados coleópteros, como la carcoma grande de la familia de los Cerambícidos (Figs. 1 y 2), las termitas y los hongos de pudrición (1). Los restantes organismos xilófagos (carcomas de pequeño tamaño de las familias Lícidos y Anóbidos), solo causan deterioros leves en la madera de albura.



Figuras 1 y 2. Ataques de Hylotrupes bajulus en vigas de madera laminada.

Instrumentación para evaluar el daño biológico en madera in situ

Además de la imprescindible inspección visual previa, acompañada de los habituales martillos de pasta y punzones, las técnicas de instrumentación mecánica y electrónica, con carácter no destructivo, más empleadas en la inspección de estructuras de madera a pie de obra pasan por la utilización de los ya conocidos penetrómetros, resistógrafos (Figs. 3 y 4), equipos de medición del pulso sónico y ultrasónico, detectores de termitas e incluso en ocasiones la termografía infrarroja.



Figuras 3 y 4. Ensayos con resistógrafo.

El GPR en la inspección de elementos de madera

El georradar (GPR de sus siglas en inglés: Ground-Penetrating Radar) es un dispositivo que utiliza pulsos electromagnéticos (EM), generados en una antena transmisora, que viajan a través de un medio sólido. Los contactos entre materiales de diferentes propiedades electromagnéticas producen un eco de los pulsos, siendo estos recogidos en una antena receptora (2).

Los datos recogidos son procesados y visualizados en un ordenador. Habitualmente las medidas GPR se toman siguiendo un perfil, agrupando las correspondientes a cada punto (trazas), en una imagen 2D llamada radargrama. En este trabajo siempre se emplearán medidas individuales o a lo largo del tiempo, y no a lo largo de un perfil. El GPR tiene múltiples aplicaciones en los ámbitos de la hidrogeología, sedimentología, arqueología, ciencia forense o la ingeniería civil (3). Las frecuencias de los pulsos GPR se sitúan normalmente entre los 10 MHz y los 2 GHz, siendo especialmente interesantes para la inspección de estructuras las frecuencias altas, por encima de los 500 MHz.

La profundidad alcanzada con equipos GPR es muy variable. Dependiendo de la frecuencia utilizada y el medio a inspeccionar, la profundidad máxima puede ir desde cientos de metros en glaciología, a pocos centímetros en la inspección de estructuras de hormigón. La velocidad de los pulsos electromagnéticos en un medio es un parámetro característico de este. La velocidad puede verse afectada por inclusiones de otro material, variaciones en el contenido de humedad, compactación o temperatura. La velocidad característica de un medio puede ser estimada de múltiples formas conocidas en la bibliografía: ajuste de hipérbolas, campañas Common Mid-Point (CMP) o medida de tiempos de ida y vuelta, por ejemplo.

Estimación del deterioro biológico de la madera mediante el GPR

En apartados anteriores se ha expuesto cómo la madera es degradada por diversos organismos xilófagos como los insectos y los hongos de pudrición. En el primer caso el deterioro se asocia a las galerías que excavan las larvas dentro de las piezas.

Las galerías de las carcomas y termitas son normalmente demasiado pequeñas (de unos pocos milímetros) en comparación con la longitud de onda de los pulsos GPR (del orden de 10 cm para una frecuencia de 1.6 GHz en la madera) para producir un eco interpretable. Por ello, el GPR no consigue resolución suficiente para capturar una imagen de las galerías de forma individual. Sin embargo, la presencia de las galerías supone una pequeña reducción de la densidad de la madera y, con ello, una pequeña variación de la velocidad de los pulsos en el medio. Por lo tanto, una medida muy precisa de la velocidad en el medio puede detectar un pequeño deterioro en la escuadría. Sin embargo, no se hacen medidas de velocidad GPR suficientemente ajustadas sobre señales GPR (4), principalmente porque en la mayoría de aplicaciones no se necesita tanta precisión. Por su parte los hongos provocan una degradación de las fibras de la madera, lo que conlleva una bajada muy relevante de su densidad.

La interferometría de ondas de coda

Coda Wave Interferometry (CWI), o interferometría de ondas de coda, es una técnica aplicada en el ámbito de las ondas mecánicas en inspección por ultrasonidos y sísmica. Utilizando la parte final de las señales, de aspecto caótico y amplitud decreciente (llamada coda), se comparan dos señales tomadas en exactamente las mismas condiciones, pero en instantes diferentes.

Se ha comprobado que las ondas de coda son reproducibles mientras el medio no cambie, pues son producidas por las ondas difractadas y reflejadas varias veces en el

interior del medio (5). Esta es también la razón por la que las ondas de coda son muy sensibles a pequeños cambios en el medio: efectivamente, al haber viajado una mayor distancia en el interior del medio, se ven más afectadas que los primeros ecos recibidos (aunque estos tengan una mayor amplitud y sean más fácilmente reconocibles).

El objetivo principal del estudio ha sido utilizar las ondas que sufren múltiples rebotes dentro de varias muestras de madera laminada encolada, con el fin de detectar pequeños defectos artificiales. Para ello se han determinado variaciones de velocidad más pequeñas de las que se suelen detectar en la técnica de GPR.

Muestras, equipos y procedimientos de medida

A partir de muestras inalteradas de madera laminada de abeto rojo (*Picea abies*) y haya (*Fagus sylvatica*), se simularon las galerías provocadas por la acción de los insectos xilófagos mediante perforaciones realizadas con un resistógrafo. Los taladros tenían una longitud máxima de 40 cm y un diámetro de 3 mm. El serrín producido se drenó utilizando una varilla roscada de 2 mm de diámetro y un taladro manual a batería. Para evaluar la funcionalidad de la CWI en la detección de los efectos producidos por los xilófagos, los taladros se practicaron progresivamente, seguidos de mediciones con el equipo GPR. El equipo GPR utilizado fue un MALÅ Geosciences ProEx System (6), con una antena apantallada de 1.6 GHz (Figs. 5 y 6). Transmisor y receptor se encuentran encapsulados a una distancia de 4 cm. Los datos fueron exportados a MATLAB® usando una librería específica.



Figuras 5 y 6. Antena sobre probeta de haya y pino silvestre, respectivamente.

Todas Las medidas se tomaron durante una hora, con una traza cada 15 s. El promediado fue el máximo permitido por el equipo: 512 medidas. Con el promediado se consigue una menor influencia del ruido ambiente aleatorio y una mejor SNR. La frecuencia de muestreo se fijó en 20,98 GHz. El tiempo de grabación tras cada emisión se fijó en 96,5 ns. La temperatura del laboratorio no fue controlada, aunque sí medida. Para asegurar la máxima repetibilidad, todas las medidas se efectuaron partiendo del equipo frío y con las baterías en el mismo estado de carga (100%).

El resultado obtenido de cada medida se ejemplifica en la Fig. 7.

Conclusiones de los ensayos preliminares y variaciones intramuestrales

Para evaluar la funcionalidad de la CWI en la detección de daños por insectos xilófagos, se utilizaron las ya mencionadas muestras de madera laminada encolada a las que se fueron realizando perforaciones progresivamente, seguidas de mediciones con el equipo GPR. Tras el filtrado correspondiente (7), finalmente se compararon las diferentes señales (Fig. 8).

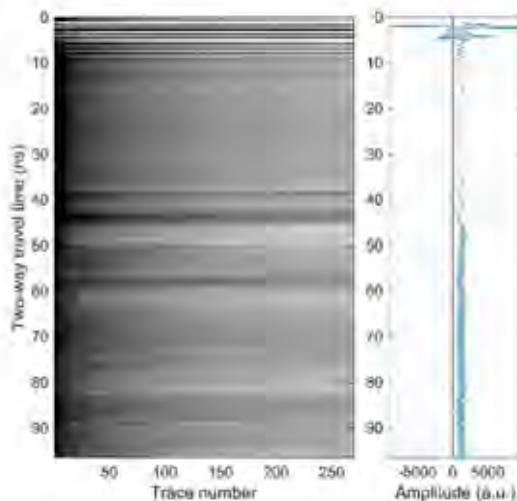


Figura 7. Radargrama con mapa de color truncado (izda.) y traza aislada (der.).

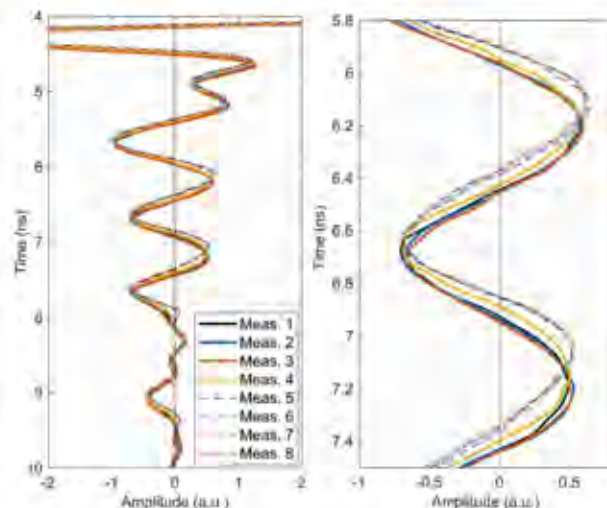


Figura 8. Medidas superpuestas tras las correcciones.

Como puede verse en las curvas anteriores, las diferencias en las señales no son graduales. Sin embargo, el hecho más significativo es la aparición de un escalón brusco en el comportamiento de las señales tras el set de perforaciones nº 3, de manera que la curva correspondiente a la medida nº 4 queda situada en el medio de los dos grupos.

Este comportamiento parece asociado al mínimo nivel de alteraciones de la muestra. En otras palabras, que a pesar de que la reducción de masa tras las perforaciones previas es de solo un 2%, este mínimo cambio es detectado por el GPR.

Así, a pesar de que hasta el momento se han realizado un número muy limitado de ensayos preliminares, todo parece indicar que la utilización de este método de monitorización mediante CWI resultará viable, una vez que se ajusten determinados parámetros y se efectúen las correcciones oportunas.

En este supuesto se espera que, partiendo de una muestra de la que se conozca su estado inicial (por ejemplo, una viga o un tablero de CLT inmediatamente después de fabricados en el taller), a través del GPR pueda controlarse la aparición de defectos a lo largo del tiempo.

Esta característica puede ser interesante incluso en la inspección de elementos estructurales de los que se conozca la ausencia de daños de tipo biológico a través de ensayos anteriores realizados con los equipos habituales.

Bibliografía

- (1) Clausen, C. A. Biodeterioration of Wood. In: Ross RJ (ed) Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory, Madison, WI. 2010, 312–327.
- (2) Annan, A. P. Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. In: Jol HM (ed) Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier, Amsterdam. 2009, 3–40.
- (3) Jol, H. M. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier, 2009.
- (4) Torgovnikov, G. Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials, 1st edn. Springer-Verlag, 1993.
- (5) Planès, T.; Larose, E. A review of ultrasonic Coda Wave Interferometry in concrete. Cem Concr Res, 2003, 53:248–255.
- (6) MALÅ Geoscience. MALÅ ProEx Professional Explorer Control Unit. Operating Manual v. 2.0. 2011.
- (7) Cassidy, N. J. Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis. In: Jol, H. M. (ed) Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, 1st ed. Elsevier, Amsterdam. 2009, 141–176.