

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL
PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN
(TETUÁN 2016) MARRUECOS

**LA MADERA DE TEA EN LA EDIFICACIÓN TRADICIONAL
CANARIA. UN ESTUDIO COMPARATIVO DE SUS
PROPIEDADES**

E. González⁽¹⁾, J.M. Alonso⁽²⁾, M.A. Fernández⁽³⁾

**Departamento de Técnicas y Proyectos de Ingeniería y Arquitectura.
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Sección de Arquitectura Técnica.
Universidad de La Laguna.
38204-La Laguna, España**

egonza@ull.es⁽¹⁾ jmlopez@ull.es⁽²⁾ mafdez@ull.es⁽³⁾

**ÁREA TEMÁTICA. TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS CIENTÍFICAS PARA LA
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MATERIALES**

RESUMEN

La edificación tradicional canaria forma parte del paisaje rural y espacio urbano de las Islas Canarias. Estas edificaciones constituyen una parte relevante del acervo de estas islas y de su patrimonio histórico. Los intensos procesos de globalización y homogenización en el uso de los materiales de construcción ha supuesto una importante pérdida de identidad de los materiales propios del modelo arquitectónico tradicional canario que es preciso preservar. Para ello se requiere de técnicas que permitan la caracterización de estos materiales originales. Posiblemente el material por antonomasia que define la arquitectura tradicional canaria sea la madera de Tea.

La madera de Tea forma parte del duramen resinoso del *Pinus canariensis* y su caracterización mediante ensayos rápidos y sencillos contribuye y facilita estrategias de conservación y rehabilitación en el marco de la conservación preventiva. La dificultad de la identificación de la madera se debe a la subjetividad que entraña la observación a simple vista de los caracteres diferenciadores. El objetivo de este trabajo es comparar el comportamiento de la madera de Tea procedente de elementos constructivos propios de la edificación tradicional canaria con el observado al ensayar otras dos maderas comerciales: *Pinus caribaea* y *Pinus pinaster*.

PALABRAS CLAVE: Madera de Tea; Conservación Preventiva; Arquitectura Tradicional Canaria; Materiales de Construcción; Patrimonio.

1. INTRODUCCIÓN

La madera de Tea procede del duramen del pino canario o *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC in Buch [1]. Se trata de un duramen resinoso capaz de evitar la pudrición del interior del tronco, de alta densidad y prácticamente inalterable [2] debido a que la producción de resina en las coníferas supone una respuesta defensiva ante patógenos [3]. Sin embargo, no todos los elementos arquitectónicos presentes en estos edificios de arquitectura tradicional canaria son de madera de Tea. En general esto se debe o bien a intervenciones que sustituyeron la madera original, o bien a que aun siendo la madera empleada *Pinus canariensis*, las escuadrías obtenidas contienen parte de la albura no resinosa que no posee las citadas características para la madera de Tea.

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

El objetivo de este trabajo es comparar los resultados obtenidos al aplicar determinados ensayos a muestra madera de Tea procedente de un elemento constructivo propio de una edificación tradicional canaria con los obtenidos al aplicar estas mismas técnicas a muestras de otras coníferas. La dificultad de la identificación de la madera empleando exclusivamente técnicas macroscópicas se debe a la subjetividad que entraña la observación a simple vista de los caracteres diferenciadores. Más aún en construcción donde la madera ha sufrido la pérdida de elementos potencialmente diferenciadores a nivel especie como son las hojas, frutos, yemas, etc. [4]. En las intervenciones sobre el patrimonio histórico es necesario un análisis que permita caracterizar los materiales propios de la arquitectura existente. Este análisis favorece la aplicación de criterios de reutilización de estos materiales así como estrategias orientadas a facilitar las actividades de restauración en el marco de la conservación preventiva en la edificación tradicional canaria.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.

Para este estudio se seleccionó un elemento de carpintería de armar procedente de un edificio propio de la arquitectura tradicional canaria ubicado en el municipio de Arona, en el sur de la Isla de Tenerife. La selección está motivada por el alto valor significativo del sistema constructivo que justifica su protección. La muestra de madera de Tea usada para este estudio constituye una cabeza de zanca de escalera de dimensiones: 420x140x80 mm. Las maderas usadas para comparar propiedades se corresponden con maderas comerciales de Riga honduras (*Pinus caribaea*), usada frecuentemente para sustituir elementos de madera de Tea en obras de rehabilitación en la edificación tradicional canaria, y otra conífera no recomendada para este fin: el Pino gallego (*Pinus pinaster*)

Las muestras se prepararon extrayendo testigos paralelepípedicos, testigos cilíndricos de 10x15 mm y serrín dependiendo del tipo ensayo a realizar. En la Figura 1 se muestra un esquema de ensayos y técnicas empleadas para la caracterización de las maderas objeto de este estudio. Estas son: densidad aparente, determinación del contenido en resina, análisis elemental CHNS, absorción de agua, resistividad eléctrica, observación mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis a partir de energía de rayos X dispersada (EDX)



Figura 1. Esquema de ensayos y técnicas usadas para la caracterización.

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Densidad aparente y presencia de resina en las muestras.

La densidad envolvente (D_{ap}) se determinó sobre testigos paralelepípedicos de volumen mínimo de 35 cm^3 con un 11% de humedad. La humedad fue calculada mediante secado en estufa a 70°C hasta peso constante. Los valores de D_{ap} obtenidos para la madera de Tea, Riga honduras y Pino gallego fueron: 1,06; 0,76; y 0,55 g/cm^3 , respectivamente. Cabe destacar la alta densidad de la madera de Tea. Este dato es coincidente con el recogido en la literatura [2] donde se describe la Tea como una madera de altísima densidad ($>1\text{g/cm}^3$)

La madera de Tea procede del duramen resinoso del *Pinus canariensis* [2]. Es por ello que para verificar la existencia y cantidad de resina presente en ella, y en el resto de maderas en su caso, se extrajeron 2 testigos cilíndricos de aproximadamente 15 mm de diámetro y 10 mm de altura. Uno en la dirección perpendicular y otro en la dirección paralela a las fibras. Estos testigos se pesaron y colocaron sobre un vidrio reloj de peso conocido con precisión de 0,0001 g. Todas las muestras fueron sometidas a un tratamiento térmico consistente en elevar la temperatura hasta 200°C de manera gradual para evitar salpicaduras de resina fuera del vidrio reloj. Para ello se mantuvieron las muestras durante 30 minutos a la temperatura de: 50°C , 75°C , 100°C , 150°C y 200°C . Al finalizar el tratamiento se pesó nuevamente la muestra y el vidrio reloj con la resina en él depositada. Los resultados obtenidos de resina extraída son el promedio del obtenido en los dos testigos cilíndricos de cada muestra. No se obtuvo resina en las muestras de Riga honduras y de Pino gallego. En la muestra de madera de Tea el porcentaje promedio de resina extraída fue de 1,9%.

3.2. Análisis Elemental.

El Análisis Elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, nitrógeno, hidrógeno y azufre (CNHS). Para cada muestra en forma de serrín se realizaron dos ensayos en el Analizador Elemental CNHS FLASH EA-1112. En general, la composición elemental de elementos mayoritarios en la madera varía entre un 49%-57% de carbono, 5%-6% de hidrógeno y 37%-45% de oxígeno [5] [6]. Con este ensayo se pretende comprobar si la singularidad de la alta presencia de resina en la Tea supone un rasgo diferenciador en su composición química elemental en cuanto al porcentaje de C, N, H y S.

En la Tabla 1 se muestra la composición química para cada una de las muestras obtenida como promedio de dos ensayos de composición de análisis elemental CHNS y microanálisis EDX. La resina ensayada mediante análisis CHNS fue extraída de una muestra paralelepípedica sometidas a una temperatura de 150°C durante 1 hora. En las muestras de madera la desviación estándar media en la determinación del porcentaje de carbono fue de 0,2 y de 0,1 para el hidrógeno. En la resina fue 0,2 y 0,6 para el C e H, respectivamente.

Muestra	Composición química								
	% C	% H	%N	%S	%O	%Si	%Cl	%K	%Ca
Madera de TEA	61,7	7,4	0,0	0,0	28,1	1,1	0,4	0,4	1,0
Resina de TEA	79,1	10,4	0,2	0,0	8,7	0,2	0,3	0,2	0,6
Riga honduras	50,0	6,3	0,0	0,0	46,8	0,0	0,0	0,0	1,3
Pino gallego	45,9	6,0	0,0	0,0	43,7	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 1. Composición CNHS + EDX.

Los resultados muestran que la madera de Tea posee un mayor porcentaje de C que las muestras de Riga honduras y Pino gallego. Esto se corresponde con los resultados de análisis elemental realizado sobre la muestra de resina extraída cuyo porcentaje en C e H es del 79,1% y 10,4%, respectivamente.

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

3.3. Microscopía electrónica de barrido.

Mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) se observaron las muestras de madera objeto de estudio. La SEM se realizó con el objetivo de disponer de una imagen de la topografía de las muestras de las tres especies de madera incluidas en el estudio y realizar un microanálisis a partir de la energía de rayos X dispersada. Para ello se empleó el microanalizador de energías dispersivas de rayos X Oxford 6699 ATW acoplado al microscopio electrónico de barrido SEM JEOL JSM 6300.

El microanálisis EDX se realizó sobre cada muestra en tres zonas diferentes de la superficie (ver Figura 2). Además, en la muestra de Tea se realizó el microanálisis sobre zonas en las que se observó la presencia de resina sobre la superficie. La composición química porcentual de las muestras de madera y la resina se determinó combinando los resultados obtenidos en el análisis elemental CNHS y el microanálisis EDX (ver Tabla 1)

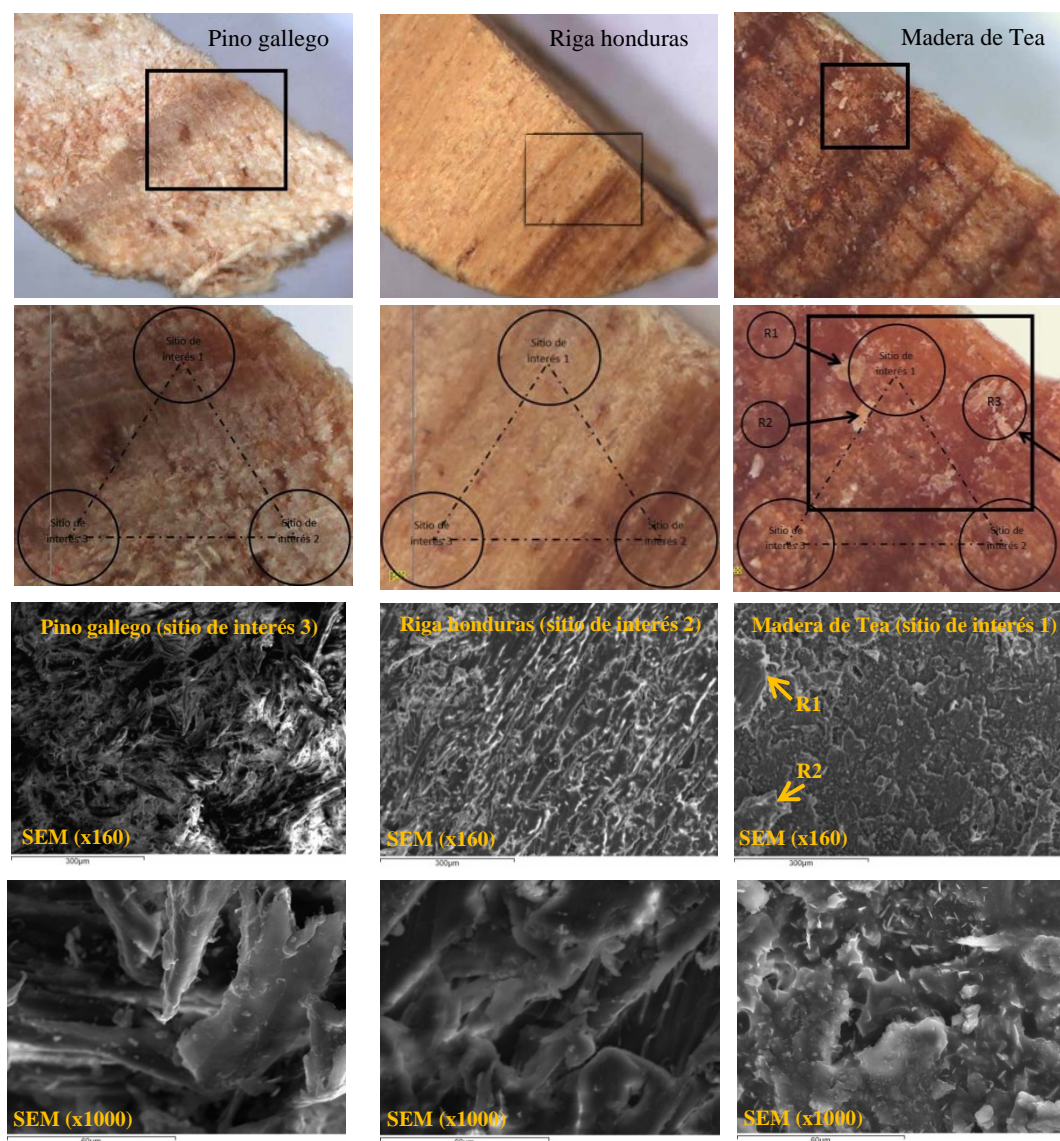


Figura 2. Imágenes ópticas y de microscopía electrónica (SEM).

Las imágenes ópticas y las obtenidas mediante SEM de las muestras analizadas se presentan en la Figura 2. Sobre las imágenes ópticas se indican los sitios de interés en los que se realizó el microanálisis EDX. En la imagen correspondiente a la madera de Tea se marcan las zonas

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

R1, R2 y R2 en las que se realizó el microanálisis de la resina de esta muestra. Las imágenes SEM (x160) se corresponden con: el sitio de interés 3 para Pino gallego, sitio de interés 2 para la Riga honduras, y sitio de interés 1 para la madera de Tea. A su vez, la ampliación a 1000 aumentos (SEM x1000) se corresponde aproximadamente con la zona central de las imágenes tomadas a 160 aumentos (SEM x160)

Los resultados muestran que el porcentaje en oxígeno en el Pino gallego y Riga honduras es superior al obtenido para la madera de Tea. El porcentaje de carbono y de oxígeno en la composición de la madera de Tea se sitúa en la franja superior e inferior, respectivamente, del intervalo general de composición de C y O para otras especies de madera cuyas composiciones recoge la literatura [5] [6]. Esto coincide con el mayor porcentaje en carbono y menor de oxígeno que también se observa en la composición de la resina.

3.4. Absorción de agua y resistividad eléctrica.

Para la medida de la absorción de agua se sumergieron las muestras paralelepípedicas en agua determinando la variación de su peso en función del tiempo durante 30 días. En la figura 3 se representan los datos del porcentaje de absorción de agua de las muestras en función del tiempo. Se observa en la gráfica que la madera de Tea alcanza la saturación en torno al 25% y que las muestras de Riga honduras y Pino gallego la alcanzan por encima del 50% y 100%, respectivamente.

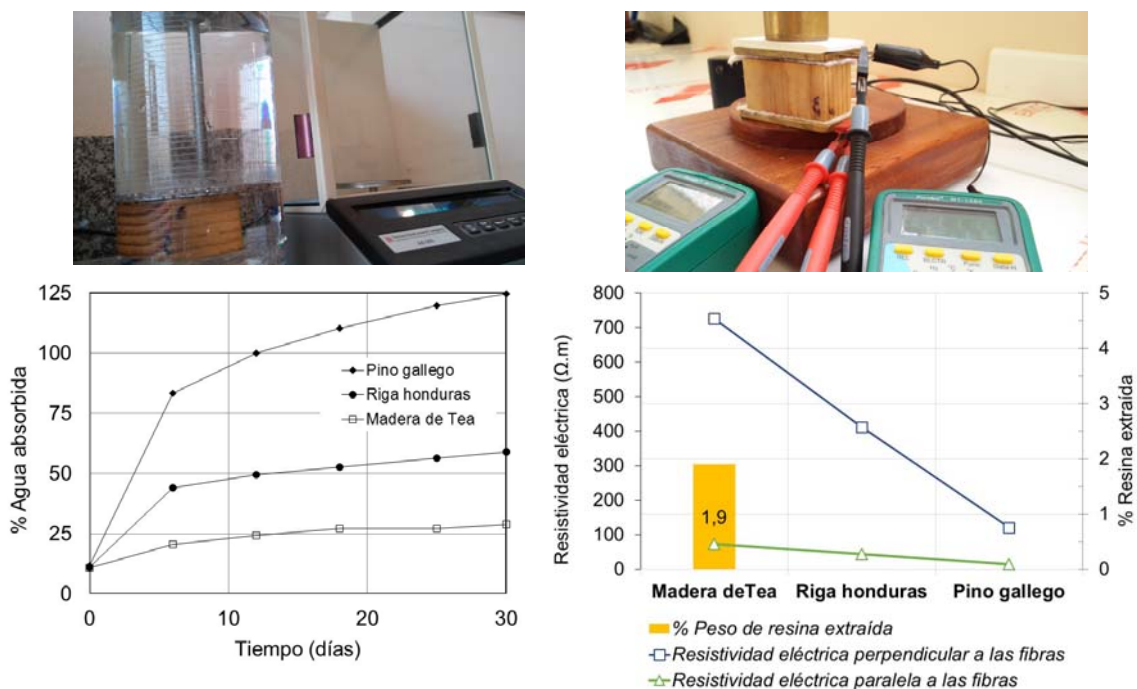


Figura 3. Absorción de agua tras inmersión en función del tiempo (izquierda) y medida de la resistividad eléctrica (derecha)

La resistividad eléctrica se midió en dirección paralela y perpendicular a las fibras sobre las muestras saturadas adaptando un equipo usado para la medida de la resistividad eléctrica en el hormigón [7]. Se aplicó una corriente alterna de 16V a través de dos electrodos colocados en caras opuestas de la muestra. Se usó corriente alterna para evitar la polarización del electrodo [8]. Con el objetivo de posibilitar el adecuado contacto eléctrico entre el electrodo metálico y la muestra de madera se insertó una esponja húmeda. La resistencia eléctrica de la esponja se determinó previamente. Sobre el electrodo superior se colocó un aislante y un peso de 500g para garantizar el contacto entre los diferentes elementos. Una vez situada la muestra entre las esponjas y los electrodos se mide la intensidad de corriente que circula y la diferencia de potencial. El cálculo de la resistividad eléctrica se realiza mediante la siguiente expresión:

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

$$\rho_e = k \cdot R_{em} = \frac{S}{L} R_{em} \quad [1]$$

donde k es la constante de la celda en metros, R_{em} la resistencia eléctrica de la madera en Ω , S el área de la cara de la muestra donde se sitúan los electrodos en m^2 , y L la altura de la probeta en metros. La resistencia eléctrica de la muestra se obtiene como diferencia entre la resistencia eléctrica de la madera con las esponjas en contacto con los electrodos (R_{em+esp}) y la resistencia sólo de las esponjas (R_{esp}) según la ecuación [2].

$$R_{em} = R_{em+esp} - R_{esp} \quad [2]$$

Los valores obtenidos de la resistividad eléctrica se representan en la Figura 3. Se observa que la madera de Tea posee un valor de resistividad eléctrica superior a $500\Omega \cdot m$ en la dirección perpendicular a las fibras. Sin embargo, en la dirección paralela a las fibras, si bien los valores de resistividad eléctrica son también mayores, no se observa una diferencia significativa con respecto a las muestras de Riga honduras y Pino gallego.

Conclusiones

El valor de alta significación de los sistemas constructivos y materiales empleados en la arquitectura tradicional canaria justifica su protección. Para ello se requiere de la caracterización de estos materiales originales aportando valores de referencia que permitan conocer su comportamiento para favorecer estrategias orientadas a facilitar las actividades de restauración en el marco de la conservación preventiva.

Los resultados obtenidos en el estudio muestran características diferentes entre la madera de Tea, la Riga honduras y el Pino gallego. La densidad aparente en la madera de Tea es superior a 1 g/cm^3 , siendo este valor un 28% mayor que el obtenido para la Riga honduras y un 48% superior a la densidad aparente del Pino gallego.

Los ensayos de absorción de agua y el análisis elemental CNHS muestran también diferencias significativas. La madera de Tea ensayada posee valores de absorción a los 30 días que se sitúan en torno al 25%. Esta absorción es muy inferior a la obtenida para la Riga honduras y el Pino gallego con valores algo superiores al 50% y 120%, respectivamente. En cuanto a la composición elemental los porcentajes de carbono en la madera de Tea son superiores al 60%, frente al 50% y 41% obtenido para la Riga honduras y Pino gallego.

Con respecto a la resistividad eléctrica los valores en la dirección perpendicular a las fibras para la madera de Tea son superiores a $500\Omega \cdot m$. Sin embargo en la dirección paralela, si bien la tendencia también es una disminución de la resistividad al pasar de la Tea al Pino gallego, la diferencia entre los valores de resistividad eléctrica no es muy significativa.

Referencias

- [1] J. R. Arevalo and J. M. Fernandez-Palacios, "Natural Regeneration of *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC in Buch in Forest Plantations After Thinning," *Open For. Sci. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 54–60, 2008.
- [2] J. Climent, R. López, S. González, and L. Gil, "El pino canario (*Pinus canariensis*), una especie singular," *Ecosistemas*, vol. 16, no. 1, pp. 80–89, 2007.
- [3] S. Trapp and R. Croteau, "Defensive Resin Biosynthesis in Conifers," *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, vol. 52, pp. 689–724, 2001.
- [4] A. Rodríguez, L. Acuña, M. Casado, and E. Spavento, "Estudio anatómico de la madera de las principales especies de coníferas de carácter estructural en Castilla y León," *6º Congr. For. Español. Soc. Española Ciencias For.*, pp. 1–12, 2013.
- [5] G. N. Inari, M. Pétrissans, A. Pétrissans, and P. Gérardin, "Elemental composition of wood as a potential marker to evaluate heat treatment intensity," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 94, no. 3, pp. 365–368, 2009.

XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y EDIFICACIÓN (TETUÁN 2016) MARRUECOS

-
- [6] A. Abuarra, S. Bauk, R. Hashim, S. Kandaiya, and E. T. Tousei, "XRF Technique for the Evaluation of Gum Arabic Bonded Rhizophora spp . Particleboards as Tissue Equivalent Material," *Int. J. Appl. Phys. Math.*, vol. 4, no. 3, pp. 201–204, 2014.
- [7] E. González-Díaz, P. Sánchez-Luis, and F. J. Gutiérrez-García, "Guía de buenas prácticas: fabricación y validación de un equipo para la medida de la resistividad eléctrica en el hormigón. Aplicación en el control del curado.," *DYNA Ing. e Ind.*, vol. 89, no. 3, pp. 422–430, 2014.
- [8] R. B. Polder, "Test methods for on site measurement of resistivity of concrete — a RILEM TC-154 technical recommendation," *Constr. Build. Mater.*, vol. 15, no. 2–3, pp. 125–131, Mar. 2001.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Servicio General de Apoyo a la Investigación (SEGAI) de la Universidad de La Laguna (<http://www.segai.ull.es/>) por el soporte científico, instrumental y técnico facilitado. También expresan su agradecimiento al Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de La Laguna (ULL), así como al Aula Cultural de Carpintería Tradicional de la ULL y a D. Sebastián Martín y D. Francisco Valladares por su colaboración en la preparación de testigos y realización de pruebas.