



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-534

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Degradación de la madera al exterior fuera de contacto con el suelo: Efecto del clima y de la especie.

FERNÁNDEZ-GOLFIN SECO, J.I.¹, CONDE GARCÍA, M.¹, DIEZ BARRA, M.R.¹, CONDE GARCÍA, M.², ACUÑA RELLO, L.³, TORRES ÁLVAREZ, E.⁴, PEREA ALONSO, E.⁵

¹ INIA-CIFOR; Ctra. de la Coruña km 7,5 28040 Madrid, golfin@inia.es

² Universidad de Córdoba; Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes Campus de Rabanales, Ctra. N. IV, km 396, 14080 Córdoba,

³ Universidad de Valladolid (Campus Palencia); E.T.S. de Ingenierías Agrarias Av. de Madrid, 57, 34004 Palencia,

⁴ Universidad de Huelva; Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Palos de la Frontera, Huelva (Spain)

⁵ Particular

Resumen

Como parte de la ejecución del Proyecto del plan estatal BIA-42434R titulado *Evaluación del comportamiento funcional de la madera en condiciones de uso exterior fuera del contacto con el suelo*, siete dispositivos experimentales conteniendo siete piezas de madera aserrada de dimensiones 750x100x20 mm³ pertenecientes a siete tipos de madera distintos (pinos silvestre, radiata y laricio; castaño europeo, eucalipto, pino radiata termotratado y picea) fueron expuestos a condiciones de exterior sin protección en siete localidades distintas (Llames, Palencia, Valencia, Madrid, Córdoba, Huelva, Vitoria). En la estación de Madrid se incorporó una pieza adicional de gran escuadría, 750x200x200 mm³ de pino silvestre, para analizar el efecto de la masividad en la velocidad de sorción. La evolución de la temperatura y contenido de humedad de la madera fueron monitorizados cada hora haciendo uso de dispositivos Thermofox+Gigamodule de Scanntronik. Como sensores se emplearon tornillos de acero inoxidable introducidos desde la cara inferior hasta el centro de las piezas (10 mm) si bien recubiertos en sus 7 primeros mm de teflón para evitar la medida de la humedad superficial.

Se presentan las primeras conclusiones que pueden extraerse de los datos obtenidos hasta el momento respecto del efecto de la especie en el comportamiento de la madera al exterior sometida a diferentes climas.

Palabras clave

Durabilidad, durabilidad paramétrica, clima de madera.

1. Introducción

A nivel nacional el INIA actualmente coordina la ejecución de un proyecto (proyecto BIA2013-42434-R “*Evaluación del comportamiento funcional de la madera maciza en condiciones de uso exterior sin contacto con el suelo*”) en el que intervienen no sólo los Laboratorios de Maderas del Centro de Investigación Forestal del INIA sino, también, AITIM, la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Europea, la Universidad de Córdoba y el Instituto Eduardo Torroja (CSCIC) junto con algunos profesionales de la construcción de alto prestigio, como es el Dr. Enrique Nuere. Colaboran también otros centros nacionales como CIS-Madeira, la Universidad de Huelva o NEIKER en Vitoria.

En dicho proyecto se trabaja en la caracterización y modelización del riesgo de degradación de la madera al exterior por localizaciones geográficas, en la cuantificación del efecto de las acciones micro-climáticas y del diseño así como en la caracterización de la resistencia intrínseca de las más importantes maderas nacionales. El objetivo de este proyecto nacional es obtener y volcar los datos específicamente nacionales (muy relacionados con nuestra especificidad climática y de distribución

de agentes biológicos y/o abióticos) en el proceso normalizador europeo de forma y manera que, en un horizonte temporal de tres-cuatro años, puedan existir normas, documentos de aplicación y modelos que permitan a los diseñadores, industriales y usuarios no sólo optimizar sus diseños desde un punto de vista ambiental sino, también, prescribir el mejor tratamiento, especie y/o producto de forma que la vida en servicio estipulada quede asegurada.

Mucha de la actividad investigadora actualmente existente en el ámbito de la durabilidad en Europa (Brischke *et al.* 2011a y b, 2013; Jermer *et al.*, 2011; Thelandersson *et al.*, 2011; Frühwald *et al.* 2012) va encaminada hacia el desarrollo de modelos predictivos del comportamiento del material (construidos haciendo uso de datos tomados *in-situ*) que permitan también calcular la vida en servicio bajo las condiciones de uso así como analizar la influencia que en ella puedan tener aspectos tan relevantes como son el diseño constructivo, el clima local, las dimensiones del material o el tipo de producto considerado (especie de madera, tipo de producto derivado, tratamiento aplicado, etc.).

A nivel europeo actualmente se trabaja en lo que hemos venido en llamar “Durabilidad paramétrica” (Thelandersson *et al.* 2013), que consiste en aplicar a la durabilidad el mismo sistema que actualmente se emplea en el cálculo estructural, que consistiría en este caso en comparar la resultante de las acciones degradadoras de la madera (las acciones con efectos biológicos sobre la madera), con la “resistencia (biológica y física) intrínseca del material” (o habilidad del material o producto para durar en su función).

$$I_{Sd} = I_{Sk} * \gamma_d \leq I_{Rd} \quad [1]$$

Donde:

I_{Sk} : **índice característico de exposición**, que se obtiene mediante el empleo de la ecuación [2]

$$I_{Sk} = I_{S0} * K_{s1} * K_{s2} * K_{s3} * K_{s4} * K_{s5} \quad [2]$$

En la que I_{S0} es el **índice de exposición básica**, que se obtiene en función de las condiciones meteorológicas e higrométricas del lugar, que posteriormente es mayorado o minorado mediante el empleo de diversos factores K_{si} que tienen en cuenta el efecto de diversas variables concomitantes (mayor o menor exposición, las particularidades inducidas por el diseño, las características dimensionales del material, etc.).

γ_d : **factor de seguridad**, que tomará un valor mayor o menor en función de la facilidad y coste de la reposición así como de los riesgos que para las personas y para la economía puedan generar el fallo de los elementos de madera.

I_{Rd} : **índice de resistencia intrínseca del material** (madera o derivado), calculado en laboratorio para las distintas especies de madera, tratadas y sin tratar. En el cálculo de este índice se tiene en cuenta aspectos tales como la durabilidad natural o conferida, la permeabilidad, la propensión al fendado y la facilidad de secado de la especie de madera considerada así como cualquier otro factor que pueda afectar a la resistencia biológica del material.

Tal y como se aprecia en la expresión [2] el elemento clave para la determinación del índice característico de exposición (I_{Sk}) es el valor del índice de exposición básica (I_{S0}), el cual refleja la degradación (y vida en servicio) esperada de una pieza de madera “tipo” (que en Europa se considera la constituida por madera aserrada de albura de abeto) ubicada en una localidad geográfica concreta. Para obtener este valor es necesario, en primer lugar, tener la información de campo necesaria (la evolución del “clima del material” a lo largo del año) para caracterizar los procesos de degradación de la pieza de la madera “tipo” sometida a la acción de los diversos climas europeos (Fernández-Golfín *et al.*, 2016). Paralelamente también se trabaja en Europa en el análisis del efecto que en la cinética de la degradación tienen la especie de madera, las características del microclima local, o las diversas variables inherentes al diseño.

A nivel nacional el desarrollo de un método (expresiones de cálculo, ábacos o mapas) que permita la fácil determinación del valor del índice de exposición básica en cada lugar de la geografía nacional tiene un gran interés para la aplicación práctica de los contenidos prestacionales del Código Técnico de la Edificación y en especial para la determinación de las "Clases de uso" de la norma europea UNE-EN 335, lo que ha de redundar en el mayor empleo de la madera como material de construcción.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto BIA2013-42434R es el de la obtención del valor del índice de exposición básica (I_{so}) así como la determinación de la cuantía de los diversos factores agravantes o reductores de la exposición básica (K_{si}).

En el presente trabajo se avanzan las primeras conclusiones extraídas del análisis de los resultados obtenidos en el seguimiento del "*clima del material*" (temperatura y contenido de humedad) en los climas más representativos a nivel peninsular y del efecto que en el mismo tiene la especie de madera.

3. Metodología

Siete dispositivos experimentales conteniendo siete piezas de madera aserrada de dimensiones 750x100x20 mm³, salvo en la estación de Madrid en la que se introdujo una adicional de 750x200x200 mm³ de pino silvestre para analizar el efecto de la masividad en la velocidad de sorción, pertenecientes a siete tipos distintos de madera (pinos silvestre, radiata y laricio; castaño europeo, eucalipto, picea y pino radiata termotratado) fueron expuestos a condiciones de exterior sin protección contra la lluvia en siete localidades distintas (Asturias-Llames, Palencia, Valencia, Madrid, Cordoba, Huelva y Vitoria).

En cada uno de los siete dispositivos se monitorizó en continuo (medidas tomadas cada dos horas) la temperatura y el contenido de humedad de cada una de las siete piezas de madera expuestas, empleando para ello un dispositivo compuesto por un datalogger (Thermofox) y un medidor de resistencia (Gigamodule), ambos de la marca Scantronik.

Todas las piezas monitorizadas fueron seleccionadas de aserrado tangencial y dispuestas "médula arriba" para evitar el efecto colateral producido por un fendado excesivo. Para analizar la situación de máximo riesgo de degradación, todas las piezas fueron dispuestas horizontalmente, tal y como se puede apreciar en la figura 1a.

Como sensores de humedad de madera se emplearon tornillos de acero inoxidable introducidos desde la cara inferior hasta el centro de las piezas (10 mm) si bien recubiertos en sus 7 primeros mm de teflón para evitar la medida de la humedad superficial. Para la determinación de la temperatura de madera se empleó un sensor térmico tipo RTD insertado en una de las piezas de madera de cada dispositivo.

Esta metodología experimental fue adoptada por ser la recomendada en la Acción COST FP 1303 (Brischke *et al.* 2014), en cuyo seno se está llevando a cabo un trabajo a nivel europeo sobre la base de la misma técnica de exposición y medida.



Figura 1. Dispositivo experimental

Los siete dispositivos experimentales fueron dispuestos en los lugares y fechas siguientes:

- Madrid (INIA): 27/11/2014
- Palencia (UVA): 28/01/2015
- Vitoria (NEIKER): 12/03/2015
- Valencia (Particular): 4/03/2015 (retirado el 16 de septiembre de 2016)
- Llames-Asturias (Particular): 19/03/2015
- Córdoba (UCO): 07/04/2015
- Huelva (UHU): 08/04/2015

En el protocolo de los trabajos se preveía que la toma de datos de *clima de material* (temperatura y contenido de humedad) abarcara dos años desde la fecha de la instalación. El dispositivo de Valencia fue retirado en septiembre de 2016 por la necesidad de emplear su equipo de medida en la monitorización de obras, ya que en dicha estación la ausencia de lluvia no aportaba ningún dato de interés.

Para convertir las lecturas de resistencia eléctrica, aportadas por los equipos de medida (Gigamodule de Scanntronik), en valores de contenido de humedad de madera (MC), se emplearon modelos matemáticos que relacionan ambas variables entre sí con el concurso de la temperatura. Para los pinos Laricio (*Pinus nigra*), silvestre (*Pinus sylvestris*) y radiata (*Pinus radiata*) así como para el castaño europeo (*Castanea sativa*), el pino radiata termotratado y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) los modelos empleados en el presente trabajo fueron obtenidos en trabajos anteriores (Fernandez-Golfín, J. *et al*, 2012, 2014) aunque recalculados para ajustarlos al formato exigido por el Gigamodule, mientras que los correspondientes a la picea (*Picea abies*) y el pino pinaster (*Pinus pinaster*) se emplearon los publicados por Forsen y Tarvainen (2010) aunque también recalculados por este equipo investigador para adaptarlos al formato exigido. De acuerdo con esto los modelos finalmente empleados fueron los siguientes:

- Eucalipto: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,20197)/(-0,05422)$ ($R^2 = 99,7\%$)
- Pino Laricio: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,06875)/(-0,037175)$ ($R^2 = 99,7\%$)
- Picea: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,014)/(-0,034)$ ($R^2 = 92,2$)
- Pino silvestre: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,10078)/(-0,039267)$ ($R^2 = 99,3\%$)
- Pino radiata: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,11945)/(-0,0414)$ ($R^2 = 99,4\%$)
- Castaño europeo: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,03248)/(-0,041097)$ ($R^2 = 99,3\%$)
- Pino radiata termotratado: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,08884)/(-0,046215)$ ($R^2 = 99,7\%$)
- Pino pinaster: $MC = (\text{LOG}_{10}(\text{LOG}_{10}(R)+1)-1,08497)/(-0,040351)$ ($R^2 = 99,5\%$)

La medida de la humedad aportada por los modelos anteriormente mencionados ha de ser corregida por efecto de la temperatura de la madera en el momento de la medida, para lo cual fue

empleado el modelo interno presente en el software Softfox 3.02 (de Scantronik), en cuyo seno también fueron incorporados los modelos anteriormente citados.

4. Resultados y conclusiones

Aun cuando no se ha finalizado completamente la campaña de medidas, prevista para dos años de duración, de los datos obtenidos durante el primer año (en la figura 2 datos de la estación de Madrid, en la 3 los de Llames y en la 4 los de Huelva) y especialmente de la comparación entre los datos obtenidos en las diferentes estaciones es posible extraer las conclusiones provisionales que seguidamente se detallan.

1. En lo que respecta al “*tiempo de mojado*” (tiempo durante el cual el contenido de humedad de la madera supera un determinado valor umbral) y a igualdad de especie existe una notable diferencia de comportamiento entre las maderas ubicadas en las estaciones de Llames (Asturias) y Vitoria y las ubicadas en el resto de estaciones peninsulares (compárense entre sí las figuras 2, 3 y 4), debido a sus diferentes regímenes pluviométricos y/o de condensaciones (Vitoria sobre todo). En general las estaciones ubicadas en localidades con clima continental (Palencia, Madrid, Córdoba) presentan comportamientos similares, existiendo ligeras diferencias entre ellas en función de su régimen pluviométrico.
2. Lo que más diferencia el comportamiento de las maderas expuestas al exterior es la presencia de lluvia, no la humedad relativa (véase figura 4 correspondiente a la estación de Huelva, junto a las marismas, y compárese con la figura 3 correspondiente a la estación de Llames, junto al mar pero con un régimen de lluvia intenso).
3. La humedad ambiental por sí sola no pone en riesgo a la madera (no permite un contenido de humedad superior al 18%). Por tanto, el factor primordial de la degradación de la madera al exterior debe entenderse que es la presencia de agua líquida procedente de la lluvia o de condensaciones superficiales (presentes al exterior o en locales con clase higrométrica 5 de la norma UNE-EN ISO 13788:2016).
4. El “*tiempo de mojado*” europeo (TOW25) (MC>25%) es muy reducido en todas las estaciones analizadas (véase el caso de Madrid, línea roja, en la figura 2, el de Llames en la figura 3 y el de Huelva en la figura 4). Siguiendo criterio europeo (TOW25), en las estaciones analizadas nunca se pudriría la madera, extremo éste que a todas luces no es cierto. Por ello es necesario afirmar que los modelos predictivos europeos fallan con nuestro clima y condiciones, debido quizá a la presencia de diferentes agentes degradadores (hongos) o a su diferente actividad o sinergia. En la actualidad se trabaja de forma más conservadora considerando un umbral del 18% para definir el tiempo de mojado (TOW18, línea verde, en las figuras 2, 3 y 4) y analizando su relación con la pudrición observada (de momento nula).
5. La presencia de fendas en la superficie de la madera cambia totalmente el comportamiento de las coníferas al exterior, incrementando su permeabilidad e igualándola en cierta medida entre sí. Por tanto, a nuestro criterio para analizar el efecto de la especie en el riesgo de pudrición de la madera de nada sirve la caracterización higroscópica en cámara y ni siquiera la caracterización por inmersión sino que es necesario inducir fendas y analizar la permeabilidad de la madera ya fendada incorporando, por tanto, el agua líquida y el efecto de las fendas en el análisis. Ej. El pino laricio se comporta muy bien a corto plazo, hasta que aparecen las primeras fendas, momento a partir del cual se transforma en una madera mucho más reactiva a los eventos de lluvia (véase figura 2 para el caso de Madrid).
6. La presencia de fendas reduce el efecto inicial de la masividad del elemento (ME vs MEG), tal y como puede apreciarse en la figura 5, correspondiente a la estación de Madrid.
7. La madera termotratada se fenda mucho en la zona interior, poniendo de manifiesto su inadecuación a los climas continentales.
8. Como norma general la permeabilidad al agua de las diferentes especies (sin presencia de fendas) es como sigue: Pino radiata termotratado (PRMMTC)<Castaño (CSC)<Picea (PCC)<Pino Laricio (PLC)<Pino silvestre (PSC) ≈ Pino radiata (PRC) (Ver figura 3).

9. El patrón de corte parece modificar la permeabilidad de la madera ya que en dos estaciones (Vitoria y Llames) el comportamiento de los pinos silvestre y radiata (compárense entre sí las gráficas de PRC y PSC en las figuras 2, Madrid, y 3, Llames) es inverso al observado en las restantes cinco estaciones. Este tema está siendo actualmente objeto de nuevos análisis en laboratorio, en los que se está caracterizando la permeabilidad de la madera de los pinos silvestre y radiata con diferentes patrones de corte (radial, tangencial y mixto), ya que se observó que las piezas de pino radiata de Llames y Vitoria eran de aserrado mixto mientras que las de las restantes estaciones eran de aserrado radial.



Figura 2. Evolución de la humedad de la madera en la estación Madrid durante el primer año de exposición (en verde la línea de TOW18 y en rojo la de TOW25)

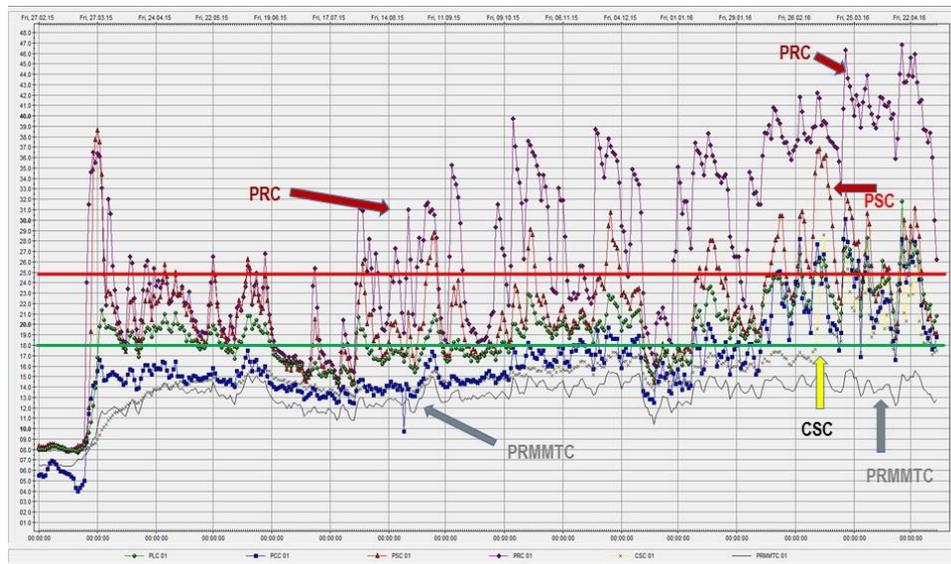


Figura 3. Evolución de la humedad de la madera en la estación de Llames (Asturias) durante el primer año de exposición (en verde la línea de TOW18 y en rojo la de TOW25)



Figura 4. Evolución de la humedad de la madera en la estación de Huelva (Palos) durante el primer año de exposición (en verde la línea de TOW18 y en rojo la de TOW25)

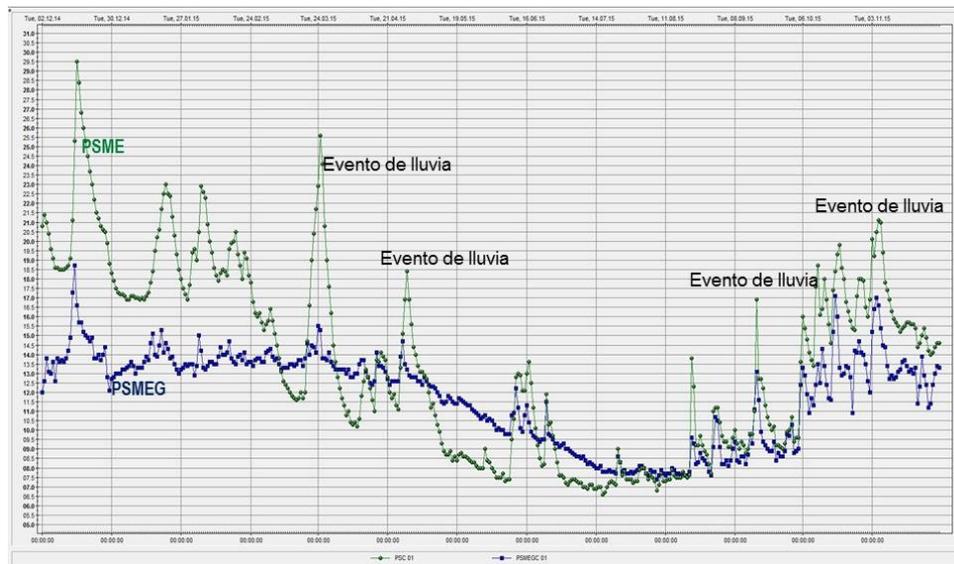


Figura 5. Evolución de la humedad de la madera de pino silvestre de gruesa escuadría (PSMEG) y de menor escuadría (PSME)

5. Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Plan Estatal y ejecutado en el seno del proyecto BIA2013-42434R. Los autores desean, así mismo, expresar su gratitud a todos aquellos que han colaborado en la toma de medidas de los dispositivos experimentales, especialmente NEIKER en el País Vasco, Rafael Sánchez en la Universidad de Córdoba y Rafael Capuz en la estación de Valencia.

6. Bibliografía

BRISCHKE, C; FRÜHWALD HANSSON, E; KAVURMACI, D; THELANDERSSON, S. (2011a) *Decay hazard mapping for Europe*. IRG/WP 11-20463. IRG, Stockholm.

BRISCHKE, C; FRÜHWALD HANSSON, E. (2011b) *Modeling biodegradation of timber - Dose-response models for above-ground decay and its climate-dependent variability*. Internat Conf on Structural Health assessment of Timber Structures, SHATIS'11, Lisbon, Portugal.

BRISCHKE, C., UMAR, M, MEYER, L, BARDAGE, S, BULCKE, JV DEN (2014). Cost Action FP 1303. *Cooperative Performance Test. Instructions for participants*. (http://www.costfp1303.com/en/news/Documents/Table_Info.pdf, último acceso noviembre 2016).

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DB-HE "Documento básico de ahorro energético" (2013). Ministerio de Fomento, España (<http://www.codigotecnico.org>, último acceso noviembre 2016).

FERNANDEZ-GOLFIN, J.I.; CONDE GARCIA, M.; CONDE GARCIA, M.; FERNANDEZ-GOLFIN, J.J.; CALVO HARO, R.; BAONZA MERINO, M.V. DE PALACIOS, P. (2012). *Curves for the estimation of the moisture content of ten hardwoods by means of electrical resistance measurements*. Forest Systems (2012) 21(1):121-127. DOI: 10.5424/fs/2112211-11429.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I., CONDE GARCÍA, M.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.J.; CONDE GARCÍA, M., HERMOSO, E.; CABRERO, J.C. (2014). *Efecto de la temperatura de termotratamiento en el comportamiento eléctrico de la madera de pino radiata*. Maderas Ciencia y Tecnología (2014) 16(1): 25-36. DOI: 10.4067/S0718-221X2014005000003.

FERNANDEZ-GOLFIN, J.I.; LARRUMBIDE, E.; RUANO, A.; GALVAN, J.; CONDE, M (2016). *Wood decay hazard in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement*. Eur. J. Wood Prod. (2016). 74 (4): 591-599. DOI: 10.1007/s00107-016-1036-z.

FORSÉN, H., TARVAINEN, V. (2000) *Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters*. VTT publications num 420. 95 pp. ISBN 951-38-5581-3.

FRÜHWALD HANSSON, E; BRISCHKE, C; MEYER, L.; ISAKSSON, T.; THELANDERSSON, S; KAVURMACI, D (2012). *Durability of timber outdoor structures. Modelling performance and climatic impacts*. World Conference on Timber Engineering. Auckland 16-19 July 2012.

ISO 15686-1 *Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 1, General principles and framework*. International Organization for Standardization.

JERMER, J. et al. (2011). *WoodExter-Service life and performance of exterior wood above ground*. Final SP Report 2011.

THELANDERSSON, S; ISAKSSON, T; SUTTIE, E; FRÜHWALD HANSSON, E; TORATTI, T; GRÜLL, G; VIITANEN, H; JERMER, J (2011) *Quantitative design guideline for wood in outdoor above ground applications*. IRG/WP 11-20465. IRG, Stockholm.

THELANDERSSON, S. (2013). *Service life evaluation of wood-an engineering approach*. IRG/WP 13-20515. IRG, Stockholm.