

# PARQUET MULTICAPA DE *Eucalyptus globulus* Y *Quercus robur*. RESISTENCIA AL IMPACTO PARA DIVERSAS TIPOLOGÍAS DE FABRICACION

## *Eucalyptus globulus* AND *Quercus robur* ENGINEERED WOOD FLOORING. IMPACT RESISTANCE FOR SEVERAL COMPOSITIONS

Fernando Sepliarsky<sup>1</sup>, Raúl Tapias-Martin<sup>2</sup>, Luis Acuña-Rello<sup>3,\*</sup>

### RESUMEN

Utilizando el test de impacto, basado en la norma ASTM D1037-99, se compara la resistencia de diversas composiciones de fabricación de parquet multicapa de *Eucalyptus globulus* y *Quercus robur*, con distintos espesores de capa noble y utilizando para cada uno de ellos tres tipos diferentes de soporte base con el propósito de evaluar la aptitud de *Eucalyptus globulus* como parte destacada (capa noble) en la elaboración de un parquet multicapa.

El resultado del ensayo de impacto resultó ser estadísticamente independiente de la especie utilizada (eucalipto o roble) como capa noble, habiéndose analizado con niveles de significación superiores al 95%, siendo, sin embargo, dependiente del tipo de elemento de soporte utilizado y del espesor de la capa noble.

Un modelo lineal, que utiliza la densidad media en los 4 primeros milímetros de profundidad de cada pieza, permitió explicar hasta un 82% de la variación del diámetro de huella en el ensayo de impacto, lo que permite utilizar con suficiente garantía esta densidad como predictor del diámetro de huella del ensayo de impacto.

**Palabras clave:** Dureza, eucalipto, pisos de ingeniería, resistencia al impacto, roble.

### ABSTRACT

The resistance of several *Eucalyptus globulus* and *Quercus robur* engineered wood flooring compositions has been tested using the impact test, according to the ASTM D1037-99 standard. The test samples were made up of different top layer, top layer thicknesses and different inner lays. The result not showing significant differences between the two wood species.

The impact test result was statistically independent of the species tested (eucalyptus or oak) as top layer, being analyzed with significance levels above 95%; however, statistically significant results were obtained for support material and top layer thickness.

A linear model, using the average density on the first 4 mm depth, explained 82% of the impact results obtained by the tests that allow to use, with sufficient guarantee, this average density as a good predictor of the results (diameter of impress mark) of the impact test.

**Keywords:** Engineered wood flooring, *Eucalyptus globulus*, hardness, impact test, *Quercus robur*.

<sup>1</sup>Director técnico. Galparquet s.a. Polígono Penapurreira. As Pontes de García Rodríguez. España fsepliarsky@galparquet.com

<sup>2</sup>Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Campus Universitario de La Rábida, Palos de la Frontera. España rtapias@uhu.es

<sup>3</sup>Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid, Palencia. España maderas@iaf.uva.es

\*Autor para correspondencia: maderas@iaf.uva.es

Recibido: 24.03.2017 Aceptado: 30.10.2017

## INTRODUCCIÓN

Los montes implantados o plantaciones son una fuente cada vez más importante de productos madereros en todos los continentes. Sobre un total de 1683 millones de m<sup>3</sup> de consumo anual, la madera en rollo industrial, procedente de plantación, aporta globalmente un 33% (562 millones de m<sup>3</sup>) o bien un 46%, si consideramos las plantaciones semi-naturales (770 millones de m<sup>3</sup>) (Jürgensen 2014). Sin embargo, la madera obtenida de estas plantaciones es, en general, de densidad baja o media, (*Pinus sp.*, *Populus sp.*) y no resulta apta para la elaboración de pisos de madera debido a su baja dureza.

El género *Eucalyptus*, originario de Australia, se destaca entre las frondosas por la adaptabilidad de sus diversas especies y por los importantes crecimientos de algunas de ellas (Ball 1993, Touza 2001). La necesidad de disponer en Europa de especies alternativas al roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*), utilizado tradicionalmente de forma extensiva por la industria transformadora europea, ha sido señalada por diferentes autores (Rozas *et al.* 2005, Németh *et al.* 2014), siendo *E. globulus* una de las especies que puede utilizarse como materia prima para pisos de madera o parquet, tanto por sus adecuadas características tecnológicas, en particular por su densidad, como por su dureza (Hillis and Brown 1988, Baso-López 1998, Blakemore *et al.* 2010).

Las plantaciones de esta especie en el mundo llegan a los 2,5 millones de ha. En Europa se concentran en la Península Ibérica (España y Portugal), donde la superficie implantada se sitúa por encima de un millón de hectáreas (Bermúdez *et al.* 2002, Nutto and Touza 2003, Silva 2003, Iglesias *et al.* 2009, Shi *et al.* 2014). Su uso en forma de madera maciza ha tenido un desarrollo limitado que vino impuesto por su uso casi exclusivo para la fabricación de celulosa y por las dificultades del secado que presentan las especies de este género y su alto coeficiente de contracción e hinchazón (Washusen *et al.* 2000, Touza-Vázquez and Sanz-Infante 2002, Blakemore and Langrish 2007), haciendo que su transformación en productos de madera maciza fuese más costosa que con el resto de especies (Cabrera and Juacida 2004). Entre los distintos productos que se han ido desarrollando se encuentran los pisos de madera, si bien solo han prosperado en mercados regionales cercanos a la fuente de materia prima.

La utilización de la madera en el recubrimiento de suelos data del siglo IX, en países nórdicos y regiones atlánticas con clima frío (Signorato and Signorato 1990). A partir de 1900 se desarrollan productos con acabados al aceite y en la década de 1980 se verifica un incremento de su popularidad y desarrollo de su transformación industrial en todo el mundo (Bollinger 1990, Donnelly *et al.* 2003, Acevedo *et al.* 2012). En Europa, un 20% de los pisos de madera continúa siendo de madera maciza, mientras que un 76% del total producido corresponde al tipo parquet multicapa (European Federation of the Parquet Industry 2013-2015), representando una mayor proporción del mercado de los pisos de madera año a año (Vignote *et al.* 2010).

La elaboración del parquet multicapa permite incrementar la estabilidad de los elementos (Persson 2000, Castro and Zanuttini 2004) y su mayor estabilidad se debe al encolado multicapa (Bergman and Bowe 2011, Li *et al.* 2013), basado en la utilización de una delgada capa noble o capa de madera dura exterior, situada sobre una o más capas soporte de especies de menor valor, permitiendo incrementar la cantidad de metros cuadrados producidos a partir de cada metro cúbico de madera utilizado, con la consiguiente reducción de coste y aumento de competitividad respecto a los suelos macizos.

El primer material soporte utilizado en el parquet multicapa fue la madera aserrada de conífera. Posteriormente, se han utilizado materiales alternativos como tableros contrachapados de diversas especies y, más recientemente, tableros de fibra de alta densidad (HDF or High Density Fibreboard), de acuerdo a ISO 16895:2016. En EEUU, la mayor parte de la producción de parquet multicapa se ha basado en una especialización de la industria del contrachapado, donde la capa noble no proviene de una tabla aserrada sino del desenrollo de troncos de frondosas. En Asia coexisten ambos sistemas productivos (U.S. Trade Commission, 2008).

Entre las principales características para la utilización industrial de una especie se puede destacar su disponibilidad, sostenibilidad y precio competitivo (Hague 2013). Respecto a ello, la disponibilidad en España de *E. globulus* es en la actualidad grande, existiendo una oferta muy elevada de esta especie, debido, en su mayor parte, al cambio de abastecimiento que ha tenido lugar en las fábricas de celulosa

del país en los último 10-15 años. En cuanto a las características físico mecánicas a tener en cuenta en una especie para su utilización en pisos de madera se encuentran su estabilidad dimensional, gama de colores, comportamiento superficial a la abrasión y se dureza (Jeon *et al.* 2006, Todaro 2011, Németh *et al.* 2014). La estabilidad dimensional que se consigue con el parquet multicapa permite, además, realizar el barnizado en fábrica, disminuyendo los tiempos y cantidad de tareas a realizar en obra. Se puede agregar también su buena capacidad de recibir tintados, que aporta flexibilidad a los acabados con esta especie.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de *Eucalyptus globulus* en diversas tipologías de fabricación de parquet multicapa, se realizaron ensayos de impacto con bola de acero, como predictor de calidad del producto (Deshpande Vaishali *et al.* 2014), comparando los resultados con los obtenidos con roble europeo, *Quercus robur*, ya que éste representa la mayor parte del porcentaje de la producción de parquet producido en Europa, siendo por lo tanto, una referencia en el mercado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El parquet multicapa utilizado en los ensayos se compone de: 1) Capa noble: madera de valor y dureza adecuada, con espesores variables de 3, 2 y 1 mm. 2) Capa soporte: tablero de madera maciza de pino (Pino), tablero contrachapado de chopo (Chopo) y tablero de fibra de alta densidad (HDF). 3) Contratiro: chapa de conífera de 2 mm, utilizado esencialmente para conseguir una planicidad adecuada en el prensado y puesta en servicio de los productos.

### Preparación de la capa noble

En la elaboración de la capa noble se utilizaron dos especies: eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) procedente de Arzúa y Curtis, Galicia, España y roble (*Quercus robur* L.) procedente del distrito Milicz en Polonia.

La capa noble fue preparada a partir de tablas de madera aserrada verde, con una humedad inicial del 60%, que fue secada en cámara hasta el 7%. El proceso comenzó con una temperatura de 27 °C acabando en 64 °C, requiriéndose 30 días para su finalización. Tras ello, fueron estabilizadas durante 14 días en cámara de acondicionado. Posteriormente se cepillaron en moldurera a 4 caras, dimensionándolas a 25,6 mm de espesor por 69 mm de ancho y largos de 300, 350 y 400 mm. De las tablas obtenidas fueron elaboradas las lamelas de 3,3 y 2,3 mm de espesor en sierras alternativas Wintersteiger, siendo luego encoladas lateralmente, constituyendo una capa noble única de 2200 x 206 x 3,3 mm ó 2200 x 206 x 2,2 mm, que posteriormente fueron reducidas a 3 mm y 2 mm de espesor respectivamente. Para obtener las lamelas de 1 mm de espesor se mecanizaron tablas de 2,2 mm en una lijadora-calibradora hasta reducir el espesor de las mismas a 1 mm.

### Preparación del soporte

Se ensayaron 3 tipos de tablero soporte, acondicionados a 7,5% de contenido de humedad durante 14 días previos al encolado, bajo unas condiciones de 65 °C y 50% de humedad relativa.

- a) Tablero de fibras de alta densidad (HDF). Densidad 850 kg/m<sup>3</sup>. Encolado con resina Urea-formol E1, hidrófugo.
- b) Tablero contrachapado de chopo, *Populus sp.* (Chopo), de 11 mm de espesor y 5 capas. Encolado con resina Urea-formol E1. Densidad 440 kg/m<sup>3</sup>.
- c) Tablero de madera aserrada de pino radiata (pino), con densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>.

### Preparación del contratiro

Para los soportes HDF se utilizó como contratiro chapa de desenrollo de *Pinus radiata* D. Don, 500 kg/m<sup>3</sup>, de 2 mm de espesor. La chapa fue secada en origen a una humedad promedio del 7%, siendo posteriormente enrastrelada y estacionada en cámara de acondicionado hasta 7,5% de humedad de

equilibrio higroscópico durante 4 semanas, 65°C/50% (T/HR). En el caso del soporte de contrachapado de chopo (*Populus sp.*), el contratiro utilizado fue papel kraft de 80 g/m<sup>2</sup>, impregnado con resinas melamínicas.

### Encolado del parquet multicapa

Los materiales, acondicionados hasta un contenido de humedad de 7,5% se encolaron con cola UF (Urea Formol) Tipo 1285, con catalizador 2505 en una proporción 100/20 en peso; la dosificación fue de 100 g de mezcla por metro cuadrado. La temperatura de prensado utilizada fue de 70 °C, utilizándose un tiempo de 285 segundos para las piezas de 3 mm de espesor de la capa noble y de 200 segundos para las de 1 y 2 mm de espesor. Tras el prensado, utilizando una presión de 6 kg/cm<sup>2</sup>, las piezas se dejaron enfriar durante 48 horas antes de la realización de los ensayos.

### Barnizado

El barnizado de las tablas se llevó a cabo en una línea de aplicación de rodillos con secado ultravioleta. El sistema utilizado consistió en una mano inicial de imprimación acuosa de 10 g/m<sup>2</sup>, secada en horno continuo de aire caliente a 70 °C, aplicación de masilla Ultravioleta, 30 g/m<sup>2</sup>, 3 capas de fondos duros de 15 g/m<sup>2</sup> cada una y, finalmente, dos capas de acabados de alta dureza de 10 g/m<sup>2</sup> cada uno. Los materiales utilizados fueron de base acrílica con foto-iniciadores ultravioletas. En total se aplicaron 105 g/m<sup>2</sup> de producto. Todos estos procesos se realizaron en fábrica, procediéndose bajo las mismas condiciones de fabricación para todos los grupos de piezas objeto de ensayo, incluido el encolado, obteniéndose unos prototipos como los que se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Arriba: Parquet con soporte de HDF. Centro: Parquet con soporte de contrachapado de *Populus*. Abajo: Parquet con soporte de pino macizo.

### Ensayo de impacto

Para comprobar la resistencia al impacto en las diversas composiciones de parquet multicapa, se ensayaron diferentes muestras con 3 espesores de capa noble (3 mm, 2 mm y 1 mm), así como con tres tipos de soporte de distinta densidad (Tablero contrachapado de *Populus sp.*, tablero de fibras HDF y madera maciza de *Pinus radiata*), utilizándose para ello el ensayo de impacto exigido por AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, España) y recogido en su Reglamento (sello de calidad AITIM 7.03. Apartado 2.2.3. C. Resistencia al impacto), válido para obtener su marca de calidad, que puede realizarse en fábrica sin necesidad de sofisticados equipos. Este ensayo mide el diámetro de la huella del impacto de una bola de acero de 500 g y 50 mm de diámetro en su caída libre desde 1,2 m siendo una trasposición modificada del ensayo que recoge la norma ASTM D1037-99.

Para su realización, el método de ensayo establece que se tomen al menos tres piezas de pisos

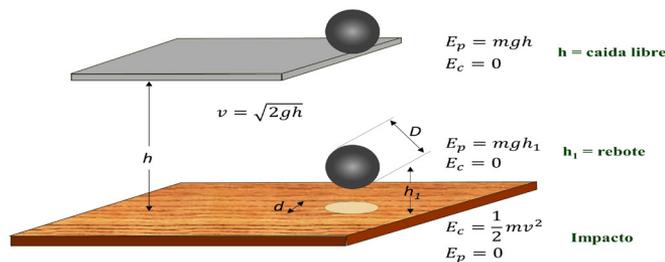
ensambladas y que sean colocadas sobre una capa de espuma de polietileno de 2 mm de espesor, al igual que en condiciones reales de servicio, realizándose dos series de 12 impactos cada una dejando caer la bola desde la altura establecida. Los impactos se producirán en puntos separados entre sí, como mínimo, 5 cm. Los resultados se evaluarán midiendo el diámetro de la huella y la eventual rotura de la capa de barniz, si llegase a ocurrir, expresándose el resultado como el valor medio del diámetro de la huella producida por el impacto de la caída de la bola en las 24 tiradas (12 +12) localizándose los impactos al azar sobre la superficie de las piezas (Medina 2005, AITIM 2012).

El ensayo de impacto permite conocer el comportamiento del parquet a través de la deformación producida por la bola de acero, Figura 2, permitiendo comparar el comportamiento de cada una de las diferentes configuraciones de fabricación del parquet multicapa y de la interacción entre el espesor de la capa noble y las características del tablero soporte. Los ensayos fueron realizados en las instalaciones de la empresa Galparquet S.A. Grupo Intasa, ubicadas en As Pontes de García Rodríguez

(La Coruña, España). La muestra de cada grupo (2 especies de capa noble x 3 espesores de capa noble x 3 tipos de capa soporte) estuvo formada por un mínimo de 24 tablas de cada grupo, con unas dimensiones de 14 x 200 x 2180 mm y 14 x 145 x 2180 mm, realizándose en cada tabla 24 impactos distanciados entre sí, como mínimo, 5 cm. El valor de la huella para cada tabla se expresa como valor medio de los impactos realizados sobre ella.

La deformación de la capa superficial se midió con calibre digital con precisión de 0,01 mm. Se valora el impacto a través del diámetro de la huella ( $d$ ) y la posible rotura de la película de barniz y, según establece el método de este ensayo de impacto, esta última no debe superar el 50% del perímetro y la media de los diámetros de huella de los impactos deberá ser inferior a 12,5 mm. No se admiten más de dos valores por encima de los 15 mm de diámetro. Dado que la huella provoca una deformación sensiblemente elíptica debida a la diferente resistencia a compresión en dirección paralela y perpendicular a las fibras, el diámetro se calcula como la media entre el mayor (sentido de fibra) y el menor (transversal a la fibra). La determinación de la fuerza  $F$  se puede realizar por el principio de conservación de la energía (1), Figura 2.

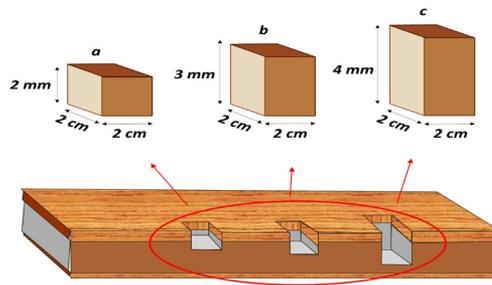
$$W_{neto} = F_{impacto} \times \text{desplazamiento} (h_1) = \text{Energía}_{h_1} - \text{Energía}_{h_1} \quad (1)$$



**Figura 2.** Ensayo de impacto;  $h$ =altura de caída libre,  $h_1$ = altura de rebote.

La esfera metálica de 0,5 kg cae desde una altura de 1,2 m. Si parte del reposo, su velocidad justo antes del impacto es de  $v = 4,849$  m/s y la energía cinética será de 5,88 J. Una vez impactado, la bola salta unos 0,04 m. La fuerza media de impacto, implicada en la deformación del material, usando el principio de conservación trabajo-energía, aceptando que la energía térmica disipada y el rozamiento son nulos, será aproximadamente de  $F = 142,1$  N (Olmo and Nave 2016).

Para la realización de los modelos de dependencia del diámetro de huella con la densidad, ésta fue determinada como densidad ponderada del material desde la superficie visible de la capa noble hasta el segundo, tercer y cuarto milímetro hacia el interior de cada prototipo ensayado, Figura 3. Para su determinación, las piezas así obtenidas se introdujeron en estufa a  $103 \pm 2$  °C durante el tiempo necesario para tener un peso constante. La densidad así obtenida variará atendiendo a la densidad de la capa noble utilizada, a su espesor y, en algunos casos, a la densidad de la capa soporte que se esté utilizando.



**Figura 3.** Toma de muestra para la determinación de las densidades ponderadas.

### Análisis estadístico

En este trabajo los análisis estadísticos se realizaron sobre un total de 578 datos, correspondientes a 18 grupos diferenciados por tipo de capa noble (2), grosor de capa noble (3) y tipo de capa soporte (3). En primer lugar se comprobaron los supuestos de independencia, normalidad y homocedasticidad para la variable estudiada (diámetro de huella) en cada uno de los 18 grupos muestrales. Cuando la estructura de datos no cumpla, como es el caso, con los criterios de normalidad, contrastados en este trabajo mediante los test de Lilliefors (K-S) y Shapiro-Francia, o con la exigencia de homocedasticidad, contrastada mediante el test de Bartlett, no podrán ser utilizados los análisis comparativos habituales (ANOVA) que proporciona la estadística lineal. Para solventar este impedimento se utilizarán test de comparación robustos: Test de Yuen-Welch, Test de Kruskal-Wallis generalizado y t-test con el estimador M de Huber, que utilizan como estimadores, respectivamente, las medias  $\alpha$ -recortadas, las medianas y el estimador  $\Psi$  de Huber.

Los diferentes análisis mencionados se llevaron a cabo mediante los procedimientos contenidos en R (R-Core-Team 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del diseño experimental se recogen en la Tabla 1, en la que se presentan los valores del diámetro de la huella producidos en el ensayo de impacto sobre los diferentes elementos de prueba.

**Tabla 1.** Diámetro de huella, milímetros, del ensayo de impacto bajo diferentes condiciones.

Capa noble	Espesor capa noble	soporte	n*	Media	CV%**	Rango
Eucalipto	3 mm	Pino	30	10,33	5,91	2,62
		Chopo	41	10,60	10,91	4,34
		HDF	30	9,78	9,87	4,28
	2 mm	Pino	33	11,52	5,71	2,67
		Chopo	35	12,65	5,92	3,20
		HDF	31	9,86	7,77	3,49
	1mm	Pino	30	13,46	5,13	2,69
		Chopo	30	14,39	5,41	3,68
		HDF	32	10,39	5,51	2,06
Roble	3 mm	Pino	32	10,57	10,05	3,67
		Chopo	24	11,36	8,78	4,00
		HDF	30	9,83	6,48	2,44
	2 mm	Pino	31	11,88	7,97	3,06
		Chopo	34	13,19	6,12	3,39
		HDF	30	9,98	6,68	3,04
	1mm	Pino	32	12,51	9,33	5,32
		Chopo	39	14,39	6,26	4,21
		HDF	34	10,23	4,14	1,66

\*n = tamaño de muestra; \*\*CV%= Coeficiente de variación.

Los valores medios de diámetro de huella obtenidos, para los parquet multicapa de *Q. robur*, entre 9,83 y 14,39 mm dependiendo del grosor de esta capa noble y del tipo de capa soporte, se encuentran acorde con los datos determinados por otros autores. Así, Lewis (1971), que presenta el trabajo más completo encontrado a este respecto, ofrece valores de 9,55 mm para madera maciza de roble (*Q. rubra*) en unas condiciones análogas de ensayo, dando Brischke (2014) valores para *Quercus robur* de 10,2 mm de huella; estando unos y otros valores en un rango similar a los obtenidos en el presente trabajo. Respecto a otras especies ensayadas por este método la bibliografía es tremendamente escasa y se puede destacar a Cortez-Barbosa *et al.* (2014) que centran su trabajo en el bambú (*Dendrocalamus giganteus*), con capa soporte de *Pinus radiata*, obteniendo pequeñas profundidades de indentación, que se corresponden a diámetros de huella de alrededor de 7,20 mm. En el otro extremo se encuentran aquellas maderas que presentan elevados valores de diámetro de huella y/o elevada indentación como las maderas de coníferas como *Pinus ponderosa*, y *Pseudotsuga menziessi*, de las que Lewis (1971) reporta valores de 12,5 y 13,03 mm respectivamente, mientras que en *Picea abies*, Meyer (2011) presenta valores de 8,4 mm siendo todos estos últimos valores obtenidos mediante ensayo con bola de acero de 110 g.

Respecto a la madera de *Eucalyptus globulus* utilizada como capa noble, los valores encontrados para las diferentes tipologías de fabricación se situaron entre 9,78 y 14,39 mm de diámetro de huella, no habiéndose encontrado datos bibliográficos que aporten valores del ensayo de caída libre de bola.

Para cada uno de los 18 grupos de piezas ensayados, 2 (capas nobles) x 3 (espesores) x 3 (soportes), se analizó la normalidad de los datos, Tabla 2, mediante los test de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) y Shapiro-Francia (Mbah and Paothong 2015), encontrándose en todos los casos que los p valores de ambos test resultan superiores a 0,05 por lo que puede asumirse la normalidad de nuestras poblaciones.

**Tabla 2.** Análisis de normalidad de los diferentes grupos ensayados.

Capa noble	Eucalipto				Roble			
	Lilliefors (K-S)		Shapiro-Francia		Lilliefors (K-S)		Shapiro-Francia	
Espeor + soporte	D*	p valor	W*	p valor	D*	p valor	W*	p valor
3 mm + Pino	0,081	0,881	0,973	0,543	0,135	0,146	0,964	0,290
3 mm + Chopo	0,106	0,295	0,981	0,621	0,087	0,908	0,991	0,989
3 mm + HDF	0,139	0,144	0,943	0,102	0,149	0,086	0,955	0,197
2 mm + Pino	0,099	0,559	0,972	0,455	0,139	0,064	0,938	0,077
2 mm + Chopo	0,119	0,242	0,957	0,166	0,090	0,688	0,984	0,795
2 mm + HDF	0,150	0,062	0,941	0,082	0,140	0,138	0,956	0,211
1 mm + Pino	0,149	0,089	0,938	0,066	0,087	0,780	0,962	0,268
1 mm + Chopo	0,135	0,180	0,932	0,053	0,092	0,553	0,976	0,478
1 mm + HDF	0,141	0,107	0,957	0,200	0,095	0,603	0,992	0,980

\* D y W: Estadísticos de contraste.

La homogeneidad de varianzas se comprobó utilizando el test de Bartlett, Tabla 3, que se aplicó a los distintos grupos atendiendo a los factores del diseño experimental.

**Tabla 3.** Homogeneidad de varianzas, test de Bartlett, para diámetro de huella.

Grupos	Bartlett's K-squared	Grados de libertad	p valor
Capa noble	0,116	1	0,734
Tipo de soporte	130,474	2	2,2 e-16
Espeor capa noble	63,467	2	1,653 e-14

Algunos de los p valores obtenidos son inferiores a 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis de homogeneidad de varianzas, impidiendo formalmente realizar las comparaciones entre grupos utilizando los test ANOVA habituales, utilizándose métodos robustos (Wilcox 2016), Tabla 4, que permitirán realizar las comparaciones entre los diferentes grupos, diferenciados por capa noble, soporte y espeor, con las garantías estadísticas imprescindibles.

**Tabla 4.** Influencias de los factores. Análisis de la varianza de medias 0,1 – recortadas.

Factor	Est. contraste	p valor
Capa.noble	2,901	0,0900
Espeor capa noble	632,561	0,0001 ***
Tipo de soporte	1211,283	0,0010 ***
Espeor x Soporte	226,550	0,0010 ***

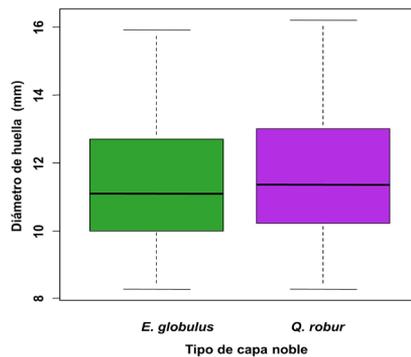
Códigos de significación:\*\*\*: p valor &lt; 0,001 ; \*\*:p valor&lt; 0,01; \*:p valor&lt; 0,05

Del análisis del diseño (Tabla 4) se puede observar la ausencia de significación de la capa noble, lo que permite inferir el idéntico comportamiento global de *Q. robur* y *E. globulus* en la prueba de impacto. Efectivamente, aplicando diferentes test robustos de comparación, Tabla 5, que utilizan como estimadores: las medias  $\alpha$ -recortadas ( $\alpha = 0,1$  en nuestro caso), las medianas y el estimador  $\Psi$  de Huber, entre los dos grupos con diferente capa noble, se comprueba que todos los p valores son mayores que 0,05 por lo que puede afirmarse que no existen diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento al impacto de las dos especies, Figura 4.

**Tabla 5.** Test robustos de comparación entre grupos: capa noble. Grupos homogéneos.

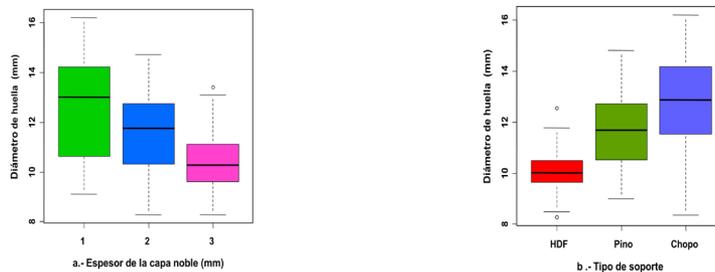
Test de Yuen	Test K-W generalizado	$\Psi$ de Huber
0,1469***	0,4023***	0,1435***
Grupos homogéneos robustos		
<i>Q.robur</i>	11,435 $\pm$ 0,103 a	
<i>E.globulus</i>	11,481 $\pm$ 0,115 a	

Códigos de significación:\*\*\*: p valor &lt; 0,001 ; \*\*:p valor&lt; 0,01; \*:p valor&lt; 0,05



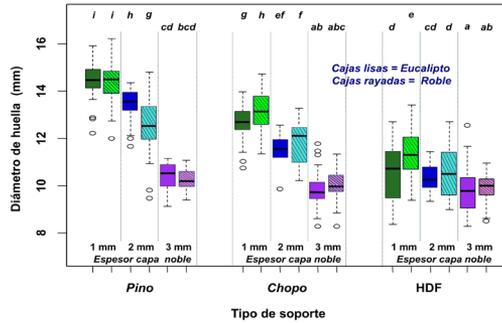
**Figura 4.** Diagramas de cajas del diámetro de huella (mm) según la capa noble.

En cuanto a los factores “espesor de capa noble” y “tipo de soporte”, existe una influencia significativa de ambos en el diámetro de la huella producida en el ensayo de impacto, con independencia de la especie utilizada como capa noble (Tabla 4). Respecto a la primera, Figura 5a, existen diferencias significativas atendiendo al espesor de la capa noble, disminuyendo el diámetro de la huella con el aumento del espesor. Atendiendo al tipo de soporte, también se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos, Figura 5b, aumentando el diámetro de huella según disminuye la densidad del tipo de soporte base.



**Figura 5.** Diagramas de caja del diámetro de huella (mm) según el espesor de la capa noble (a) y el tipo de soporte (b).

La respuesta general de todos los grupos se representa en la Figura 6, donde en la parte superior se han añadido las letras diferenciadoras correspondientes a los grupos homogéneos encontrados utilizando el test robusto de comparaciones múltiples de medias 0,1-recortadas, con un nivel de significación del 0,05.



**Figura 6.** Diagramas de cajas y diferencias significativas, grupos homogéneos robustos, del diámetro de huella para todos los grupos experimentales.

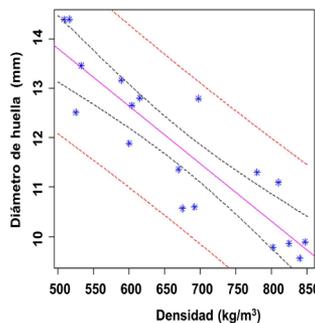
Con los resultados obtenidos de los diámetros de huella para las diversas tipologías de parquet multicapa y, atendiendo a la notable influencia que presenta la densidad global de la pieza en el ensayo de impacto, se utilizó el valor de la densidad ponderada, considerada en la parte del material que comprende desde la superficie hasta el segundo, tercer y cuarto milímetro hacia el interior de cada prototipo ensayado. Con estos 3 grupos de valores de densidad se establecieron tres modelos lineales que relacionan el diámetro de huella con la densidad ponderada a 2 mm (Modelo a), a 3 mm (Modelo b) y a 4 mm (Modelo c) de profundidad del material. Los resultados de estos modelos se encuentran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Coeficientes, p valor y R<sup>2</sup> ajustado de los modelos analizados.

		Valor estimado	Error est.	Valor t	Pr(> t )	R <sup>2</sup> ajustado
Modelo a	Intercepto	23,545	2,467	9,544	5,24e-08 ***	0,576
	Pendiente	-0,017	0,003	-4,908	0,00016 ***	
Modelo b	Intercepto	21,956	1,120	18,297	3,75e-12 ***	0,817
	Pendiente	-0,0148	0,002	-8,796	1,59e-07 ***	
Modelo c	Intercepto	19,598	1,033	18,923	2,24e-12 ***	0,819
	Pendiente	-0,012	0,002	-7,659	9,71e-07 ***	

Códigos de significación:\*\*\*: p valor < 0,001 ; \*\*:p valor< 0,01; \*:p valor< 0,05

Los dos últimos modelos deparan una buena explicación, análoga entre ambas, de la variable regresora, densidad, respecto del diámetro de huella en el ensayo de impacto, si bien la varianza residual del Modelo c, Figura 7, resultó menor que la del Modelo b, por lo que se hace aconsejable utilizar la densidad ponderada calculada en los 4 primeros milímetros superficiales como un predictor adecuado del diámetro de huella.



**Figura 7.** Modelo de regresión y límites de confianza y predicción de Diámetro de huella vs Densidad en 4 mm (Modelo c).

## CONCLUSIONES

El ensayo de impacto por caída libre de una bola permite diferenciar diversas construcciones de parquet multicapa y evaluar la contribución de la capa noble y el tablero soporte a la resistencia total del producto final.

Los valores medios de diámetro de huella obtenidos para los parquet multicapa de *Q. robur*, se situaron entre 9,83 y 14,39 mm mientras que para *E. globulus* los valores estuvieron entre 9,78 y 14,39 mm no encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los productos fabricados con ambas especies, por lo que se puede afirmar que la resistencia al impacto de las tipologías fabricadas con capa noble de eucalipto se presenta adecuada a su uso como parquet multicapa.

La utilización de un soporte de alta dureza, como el HDF, mejora las propiedades de resistencia al impacto del parquet, respecto de soportes de menor densidad, como el contrachapado de chopo (*Populus sp.*) o el pino macizo (*Pinus radiata*), siendo los valores al impacto de los parquets multicapa construidos con HDF significativamente mejores, más pequeños, que los de los otros dos tipos de soporte.

Cuando la capa noble es más delgada (1 mm) el resultado del ensayo es significativamente peor, mayor huella, que con calibres superiores de la capa noble (2 ó 3 mm), pero a su vez existe una dependencia con el material utilizado como soporte, observándose que a mayor densidad del soporte, menor es la huella marcada para las mismas características de la capa noble y con independencia de la especie.

La utilización de la densidad ponderada en los primeros 4 mm de espesor como variable predictora permite, mediante un modelo de regresión lineal, explicar un 82% el resultado del valor del diámetro de huella del ensayo de impacto, siendo esta variable un buen predictor del ensayo de impacto.

## REFERENCIAS

**Acevedo, A.; Bustos, C.; Lasserre, J.P.; Gacitúa, W. 2012.** Efecto de la tasa de compresión en la morfología de grietas de debobinado para chapas de *Eucalyptus nitens*. *Maderas-Cienc Tecnol* 14(3): 289-301.

**AITIM. 2012.** Reglamento del sello de calidad Aitim para pavimentos de madera, parquet industrial, parquet mosaico, lamparquet y tarima. [En línea] [Disponible en] [http://infomadera.net/uploads/sellos\\_calidad/reglamento\\_23\\_Sello%204.1,%204.3%20y%204.4%20Pmosytarim\\_19%2007%2012.pdf](http://infomadera.net/uploads/sellos_calidad/reglamento_23_Sello%204.1,%204.3%20y%204.4%20Pmosytarim_19%2007%2012.pdf). [Fecha de consulta: 12/05/2016]

**American Society of Testing and Materials. ASTM. 1999.** Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. Designation: ASTM D1037-99. ASTM: West Conshohocken, PA, pp. 16.

**Ball, J. 1993.** Development of Eucalyptus Plantations - an Overview. *Proceedings of the Regional Expert*. Bangkok, Thailand: FAO.

**Baso-López, C. 1998.** Perspectivas de utilización de la madera de eucalipto *Eucalyptus globulus* en carpintería y mobiliario. Técnicas de aserrado de la madera. 1º Encuentro sobre tecnologías apropiadas de aserrado, secado y utilización de madera de eucalipto. (págs. 186-190). Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil.: Sociedad de investigaciones forestales. Vicosa. Minas Gerais.

**Bergman, R. D.; Bowe, S. A. 2011.** Life cycle inventory of manufacturing prefinished engineered wood flooring in eastern US with comparison to solid strip wood flooring. *Wood and Fiber Science* 43(4): 421-441.

**Bermúdez-Alvite, J. D.; Touza-Vázquez, M.C.; Sainz-Infante, F. 2002.** *Manual de la madera de eucalipto blanco*. Ourense: CIS Madeira. Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico da Galicia. ISBN: 84-607-4430-2

**Blakemore, P.; Langrish, T. A. G. 2007.** Effect of mean moisture content on the steam reconditioning of collapsed *Eucalyptus regnans*. *Wood Science and Technology* 41(1): 87-98.

**Blakemore, P.; Morrow, A.; Washusen, R.; Hardwood, C.; Wood, M.; Ngo, D. 2010.** Evaluation of thin-section quarter-sawn boards and rotary veneer from plantation-grown *Eucalyptus nitens*. Hobart. Tasmania: CSIRO.

**Bollinger, D. 1990.** *Hardwood Floors. Laying, sanding and finishing*. Newtown, CT, USA: The Tauton Press. ISBN-13: 978-0-942391-62-6.

**Brischke, C.; Iseler, N.; Meyer, L.; Sawyer, G. 2014.** Testing the mechanical resistance of timber used for construction in the marine environment. *International Wood Products Journal* 5(1):39-49.

**Cabrera, P.; Juacida, R. 2004.** *Eucalyptus nitens* en Chile. Procesos industriales de la madera. Informe Técnico n° 164. Imprenta Austral: Valdivia.

**Castro, G.; Zanuttini, R. 2004.** Multi-laminar wood: Manufacturing process and main physical-mechanical properties. *Forest Products Journal* 54 (2): 61-67.

**Cortez-Barbosa, J.; Moreira-daSilva, J.R.; deAlvarenga, F.; Duarte-deSouza, A.J.; Almeida-de Araujo, V.; Garcia, J.N. 2014.** Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. *Advanced Materials Research* 1025-1026:233-240.

**Deshpande-Vaishali, M.; Sheikh, M.J.; Wade-Komal, P. 2014.** A Review on Impact Testing Machine for Measuring Strength of Wooden Furniture. *International Journal of Research in Advent Technology* 2(2):2331-9637.

**Donnelly, R.; Flynn, R.; Shield, E. 2003.** The global Eucalyptus wood products industry. A Progress Report on Achieving Higher Value Utilization. Brochure. Dana Publishing.

**European Federation of the Parquet Industry. 2015.** The parquet industry. Annual report, Brussels. Belgium.

**European Federation of the Parquet Industry. 2013.** Statistics 2012. Statistics 2011. General Assembly in Bruselas. (págs. 7-9). Bruselas. Bélgica.: [En línea] [Disponible en] <http://www.realwood.eu/en/home/home.php> [Fecha de consulta: 04/02/2016].

**Hague, J. R. 2013.** Utilization of plantation eucalypts in engineered wood products. Melbourne, Victoria. Australia: Forest & Wood Products Australia Limited.

**Hillis, W. E.; Brown, A.G. 1988.** *Eucalyptus for wood production*. East Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization; Sydney: Academic Press, c1984. ISBN: 0123487609.

**Iglesias-Trabado, G.; Carballeira-Tenreiro, R.; Folgueira Lozano, J. 2009.** *Eucalyptus universalis: cultivated Eucalyptus forest Map Version 1.2*. Lugo.

**ISO 16895. 2016.** Dry process fibreboard. International Organization for Standardization: Geneva. Switzerland.

**Jeon, J. Y.; Ryu, J. K.; Jeong, J. H.; Tachibana, H. 2006.** Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound. *Acta Acustica united with Acustica* 92(5):777-786.

**Jürgensen, C. K. 2014.** Assessment of industrial roundwood production from planted forests.

FAO Planted Forests and Trees Working Paper. [En línea] [Disponible en] <http://www.fao.org/3/a-i3384e.pdf>. [Fecha de consulta: 09/03/2016]

**Lewis, W. C. 1971.** Simulated service testing of wood and wood-base finish flooring. U.S.D.A. FOREST SERVICE RESEARCH NOTE FPL -0215 1971. [En línea] [Disponible en] <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn0215.pdf> [Fecha de consulta: 25/08/2017]

**Li, N.; Tsushima, E.; Tsushima, H. 2013.** Comparison of impact force attenuation by various combinations of hip protector and flooring material using a simplified fall-impact simulation device. *Journal of Biomechanics* 46(6): 1140-1146.

**Mbah, A.K.; Paothong, A. 2015.** Shapiro-Francia test compared to other normality test using expected p-value. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 85(15): 3002-3016.

**Medina-Gallego, G. 2005.** Pavimentos de Madera. Manual de Instalación. Madrid: AITIM. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.

**Meyer, L.; Brischke, C.; Welzbacher, C.R. 2011.** Dynamic and static hardness of wood: method development and comparative studies. *International Wood Products Journal* 2(1):5-11.

**Németh, R.; Posch, P.; Molnar, S.; Bak, M. 2014.** Performance evaluation of strip parquet flooring panels after long-term, in-service exposure. *Drewno* 57(193):119-133.

**Nutto, L.; Touza-Vázquez, M. C. 2003.** Producción de madera de sierra de alta calidad con *Eucalyptus globulus*. *CIS Madeira* 6-18.

**Olmo, M.; Nave, R. 2016.** Fuerza de Impacto de la caída de objetos. [En línea] [Disponible en] <https://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/flobi.html>. [Fecha de consulta: 25/02/2016]

**Persson, N. E. 2000.** Recubrimientos UV. Resistencia a la abrasión, recubrimientos cerámicos y diferentes métodos de prueba. Bona Kemi. (reporte interno).

**R Core Team. 2016.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. [En línea] [Disponible en] <https://www.R-project.org/>.

**Rozas, C.; Sánchez, R.; Pinedo, P. 2005.** Secado de *Eucalyptus nitens* y *globulus* y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. *Maderas-Cienc Tecnol* 7(2):109-120.

**Shi, L.; Gao, Z.; Chen, X. 2014.** The cross-price effect on willingness-to-pay estimates in open-ended contingent valuation. *Food Policy* 46: 13-21.

**Signorato, A.; Signorato, D. 1990.** Il Pavimento di Legno, vemicci e adesivi. Milano, Italia: PEG, 263p.

**Silva, J. C. 2003.** Eucalipto: pesquisa amplia usos: perspectivas do setor florestal brasileiro. *Revista da Madeira* 13(75): 4-6.

**Todaro, L. 2011.** Effect of steaming treatment on resistance to footprints in Turkey. *European Journal of Forest Products* 70(2): 209-214.

**Touza-Vázquez, M. 2001.** Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España): influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas-Cienc Tecnol* 3(1-2):68-89.

**Touza-Vázquez, M. C.; Sanz- Infante, F. 2002.** Nuevas aplicaciones de la Madera de eucalypto. *Revista CIS-Madera* 6-22.

**U. S. Trade Commision. 2008.** Wood Flooring and Hardwood Plywood. Competitive Conditions

Affecting the U.S. Industries.

**Vignote, S.; Ambrosio, Y.; Martínez, I.; González, V. 2010.** Análisis de la evolución del mercado de la madera en España y perspectivas de desarrollo. *Boletín de Información Técnica* nº 128. AITIM Noviembre - Diciembre 2010.

**Washusen, R.; Blakemore, P.; Northway, R.; Vinden, P.; Waugh, G. 2000.** Recovery of dried appearance grade timber from *Eucalyptus globulus* Labill, grown in plantations in medium rainfall areas of the Southern Murray-Darling Basin. *Australian Forestry* 63:277-283.

**Wilcox, R. 2016.** *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing*. 4<sup>th</sup>. Edn. New York, NY: Academic Press. Hardcover ISBN: 9780128047330, eBook ISBN: 9780128047811