

METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENCOLADO DE LA MADERA CONTRALAMINADA (CLT)

METHODOLOGIES FOR BONDING QUALITY ASSESSMENT OF CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT)

E. Hermoso ⁽¹⁾, E. Luengo ⁽²⁾ (P), J. C. Cabrero ⁽³⁾

(1) Dr. Ingeniero de Montes, Científico Titular, INIA-CIFOR, Madrid, España

(2) Ingeniero de Montes, Técnico del Departamento de Estructuras, AITIM, Madrid, España

(3) Ingeniero Industrial, Técnico, INIA-CIFOR, Madrid, España

Dirección de contacto: hermoso@inia.es; (P) Presentador

Código de identificación: T4-07

Resumen

Los tableros contralaminados (CLT) son probablemente el producto estructural de madera con mayor proyección de desarrollo futuro en Europa por sus ventajas constructivas y ambientales. Por este motivo se ha avanzado notablemente en metodologías de cálculo y control de fabricación, si bien estos aspectos aún están en fase de desarrollo. El objetivo de este trabajo es comparar la metodología utilizada hasta el momento para el control de calidad de encolados en el proceso de producción, basado en las normas EN 13354:2009 y EN 14080:2013, con los métodos de ensayo recientemente publicados en la norma EN 16351:2016. De 6 tableros de CLT se extraen muestras para ensayo a cortante con la fibra orientada a 45°, siendo seleccionado un lote para tratamiento de envejecimiento acorde a EN 13354:2009 y otro como testigo. De los mismos tableros, se prepararon muestras para aplicación de los procedimientos propuestos en EN 16351:2016: ensayo de delaminación y ensayo a cortante con carga paralela a la fibra sin tratamiento previo. Los resultados del estudio de comparación entre los métodos, muestran que existen diferencias significativas entre ellos, siendo la metodología propuesta en la nueva normativa la que aporta valores intermedios respecto a las otras aunque también produce coeficientes de variación más altos. El ensayo de delaminación no muestra fallos de cumplimiento y se revela de utilidad para evaluar la calidad de encolado pero se evidencia la ausencia de correlación con los resultados de resistencia al esfuerzo cortante.

Palabras clave: delaminación; esfuerzo cortante; madera contralaminada; calidad de encolado; EN 16351

Abstract

Cross-laminated Timber panels (CLT) are probably the most successful and increasingly used structural timber product in Europe due to its favorable building and environmental performance. Currently a big effort has been made in order to establish appropriate design methodologies and factory production control strategies, however these aspects are still under development. The aim of this work is to compare test methods used to control the bonding quality in CLT panels, based in EN 13354:2009 and EN 14080:2013 standards, using shear test specimens with the grain rotated 45° respect to the test load (with and without ageing processes), with the new test methods stated in the recently issued CLT standard EN-16351:2015, delamination and rolling shear tests. From 6 CLT panels a sample per panel was extracted. Specimens were cut in each panel sample for the 45° shear test with and without ageing process according to EN 13354. Also from the same sample delamination specimens and rolling shear test specimens were extracted to be tested following the EN 16351 methodologies and test procedures. The results of the tests show that significant differences are found between the 3 shear test methods, being the CLT standard shear values intermediate between the 45° with ageing (lower values) and the 45° without ageing tests (highest values). The delamination tests performed have shown no failures in the results, when comparing the values of delamination tests with other tests performed no clear correspondence could be seen between the panels showing the worst delamination results and the panels with lower values in shear strength.

Keywords: delamination; shear strength; cross laminated timber; bond quality; EN 16351

1. ANTECEDENTES

La madera contralaminada (CLT) es un producto estructural constituido por capas de láminas de madera encoladas por sus caras empleando adhesivos estructurales, estando cada capa de láminas dispuesta perpendicularmente respecto a las capas adyacentes. Las láminas que componen estas capas están formadas por tablas de madera clasificada empalmadas en longitud mediante unión dentada. Una de las grandes ventajas que esta composición aporta, es la posibilidad de conseguir elementos superficiales de grandes dimensiones y espesores, y por tanto gran rigidez, superando a cualquier otro tablero de madera existente en el mercado hasta la actualidad, permitiendo un nuevo sistema de construcción que reduce la necesidad de usar vigas y columnas.

Europa, en concreto Austria, Alemania y Suiza principalmente, es el mayor productor de madera contralaminada (CLT) desde su aparición hace 20 años, representando el 90% de la producción global. En 2014 la producción alcanzó los 625 mil m³ [1] previéndose un incremento sucesivo en años venideros. El alcance de la rápida expansión de este producto demanda una normativa que regularice su producción, ensayo, diseño y uso en construcción [2].

Siendo conscientes de esta necesidad, solo durante 2012 estuvieron en marcha aproximadamente 100 proyectos de investigación relacionados con el desarrollo del CLT, además de numerosos centros de investigación implicados en el estudio de este material [3]. El resultado de una encuesta sobre la visión y necesidades del uso del CLT realizada a profesionales tanto del sector de la producción como a los usuarios, concluye que mayoritariamente consideran necesario la investigación sobre su comportamiento estructural y de las uniones [3].

Como consecuencia de la experiencia acumulada hasta el momento, en octubre de 2015 se ha publicado la norma EN 16351[4], y en febrero de 2016 su transposición a la versión UNE-EN en español, relativa a los requisitos de fabricación, ensayo y prestaciones de la madera contralaminada estructural. Sin embargo, debido a su reciente creación, aún no ha sido posible evaluar de forma prolongada las especificaciones que incorpora.

Previamente a la publicación de la norma de CLT, el control de este producto se ha venido haciendo empleando referencias normativas de otros productos laminados encolados como la madera laminada o los tableros de madera maciza. La norma EN 14080 [5] de madera laminada encolada define un control de calidad de encolado, incorporando dos posibles ensayos, el de evaluación de resistencia a cortante en la línea de cola con la carga paralela a la fibra y el ensayo de delaminación. Ambos a su vez, tienen muy diferente mecanismo de evaluación, el primero por valores de resistencia sin envejecimiento y el segundo consiste en la medición de las aperturas de las líneas de cola tras la aplicación de un proceso de envejecimiento acelerado que genera importantes tensiones.

La nueva norma de CLT toma como base los ensayos de control de madera laminada adaptando las especificaciones a cumplir y el tamaño de las probetas a muestrear, motivado por la disposición perpendicular entre capas adyacentes característica del CLT. Esto por ejemplo se traduce en que el fallo en cortante se produce por rodadura con valores de tensión más bajos que los esperables en madera laminada que a diferencia del CLT tiene todas las láminas con la fibra orientada en la misma dirección.

En España se ha venido utilizando en el control de los CLT en el marco de Sellos de Calidad una variante de ensayo de cortante derivada del control de tableros de madera maciza multicapa (SWP). Se trata de los ensayos de cortante similares a los empleados en madera laminada pero realizados sobre probetas con fibra a 45° del esfuerzo y con envejecimiento basado en la norma EN 13354 [6]. Éstos presentan ventajas e inconvenientes frente a los dos métodos anteriores y existen históricos de control de producción de fábrica bajo ellos.

Un complemento importante en la evaluación del encolado es la determinación del porcentaje de fallo por madera producido tras cualquiera de los ensayos anteriormente mencionados. Estudios [7] concluyen que éste debe ser al menos del 80% para considerar la calidad del encolado adecuada, independientemente de las dimensiones de las probetas utilizadas y el tipo de ensayo realizado.

Sin embargo en cuanto la idoneidad del método seleccionado para valorar la calidad del encolado, no parece que haya unanimidad. Algunos trabajos consideran que un único procedimiento de ensayo no puede proporcionar toda la información necesaria para su evaluación [8, 9]. La predicción de la resistencia al cortante de la línea de cola depende de muchos factores que pueden influir en el resultado, como la propia resistencia de la madera, la geometría de la pieza, el diseño de la herramienta de cortante o la velocidad de la carga [8, 10].

De otras investigaciones [11] parece derivarse que los ensayos de delaminación son los más efectivos en caracterizar la unión encolada y así lo consideran en países como Canadá y EE.UU, quienes en sus manuales establecen que la evaluación de encolado del CLT no tiene sentido hacerla en seco sino tras un proceso de saturación con agua a través de vacío-presión y un posterior secado acelerado [12, 13].

Por tanto, en el momento de auge comercial y de evaluación normativa en el que se encuentra la madera contralaminada actualmente, es pertinente centrar el objetivo de este trabajo en el estudio comparativo de las distintas metodologías de control de la calidad de encolado, característica determinante en el comportamiento y la durabilidad de este material.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del estudio se parte de 6 muestras obtenidas de tableros de CLT de dimensiones 1000x1000 mm fabricados con madera de *Picea abies* (L.) Karst. y adhesivo estructural certificado de poliuretano monocomponente (PUR) compuestos por 3 capas de láminas de espesor medio de 30 mm, sobre los que se diseña el muestreo.

Para la comparación de distintas metodologías de evaluación de la calidad de encolado, los ensayos considerados fueron los siguientes:

A) Ensayo de cortante tras aplicación de un ciclo de envejecimiento sobre probetas cortadas con fibra a 45° de la arista (45CE):

Procedimiento derivado de una composición de metodologías ya existentes en productos similares: la incluida en la normativa EN 13354 para evaluación de la calidad de encolado de tableros de madera maciza y el establecido en la norma EN 14080 relativa a la madera laminada encolada. La primera define la obtención de las probetas cortadas con fibra a 45° y la aplicación de un pretratamiento de envejecimiento en función de la clase de servicio prevista para el panel. De la segunda se adopta las dimensiones de las probetas (45x45mm) y el método de ensayo de esfuerzo cortante en las líneas de encolado, según su anexo D.

En el caso de estudio se utiliza el pretratamiento correspondiente a la clase de servicio 2, que es la más desfavorable en la que se instala la madera contralaminada, aplicaciones en ambiente húmedo, pero sin estar expuestos de forma directa al agua (instalación bajo protección frente a la lluvia y no en contacto con el terreno). El pretratamiento consiste en mantener las probetas 6 horas en agua hirviendo siendo posteriormente introducidas al menos 1 hora en agua a 20°C.

En total se ensayan 8 probetas por panel de 3 capas, dos líneas de cola por tablero (para 6 tableros un total de 96 ensayos de cortante).

B) Ensayo de cortante sobre probetas cortadas con fibra a 45° sin la aplicación de ciclo de envejecimiento (45SE):

Al igual que el ensayo anterior, el procedimiento de extracción de las probetas es el definido en la norma EN 13354, a 45°, pero en esta ocasión no se realizó un pretratamiento de envejecimiento sino directamente el ensayo de esfuerzo cortante en las líneas de encolado según la norma EN 14080.

El número de probetas ensayadas es también de 8 para los tableros de 3 capas, 2 líneas de cola por tablero, suponiendo un total para 6 tableros de 96 ensayos de cortante.

C) Ensayo de cortante sobre probetas cortadas con fibra a paralela (P):

Se sigue el procedimiento establecido en el anexo D de la reciente norma de madera contralaminada EN 16351, el cual es análogo al existente para la madera laminada (EN 14080) que considera el corte de las probetas en paralelo a los cantos y sin la aplicación de pretratamientos, pero se diferencia de éste en las dimensiones de las probetas que deben ser de 40x40 mm.

Esta metodología se lleva a cabo sobre 8 probetas de los tableros de 3 capas al igual que los casos anteriores.

En todos los ensayos realizados por esfuerzo cortante, se valora el porcentaje de fallo por madera en las superficies de las probetas derivado como consecuencia del ensayo.

D) Ensayo de delaminación (D):

Recogido en la norma EN 16351 en el anexo C el ciclo de ensayo es un procedimiento idéntico al método B seguido para la madera laminada encolada (EN 14080, anexo C), salvo las dimensiones de las probetas sobre las que se aplica. Las probetas utilizadas deben ser cuadradas de 100x100 mm y el grosor del panel al que pertenece, cumpliendo el requisito de tener una superficie de al menos 10000 cm².

El proceso consiste inicialmente en un ciclo de vacío y presión realizado en autoclave con la finalidad de saturar la probeta de agua. Posteriormente se aplica un secado forzado que produce tensiones en las líneas de cola, manifestando los posibles defectos de encolado. Estos se miden y valoran visualmente.

El número de probetas por tablero sobre las que se realiza este estudio de delaminación es de 5, elegidas de forma representativa en cada muestra de tablero CLT.

Sin embargo, la novedad de la nueva normativa respecto al ensayo en madera laminada es la forma de valoración de la misma introduciendo el concepto de evaluación de los planos de encolado. Cuando las delaminaciones totales (DT) y máxima (DM) no cumplen los criterios establecidos, debe procederse a la apertura de los planos de encolado y valorar el porcentaje de fallo por madera de las superficies.

La delaminación total y máxima se obtiene de las ecuaciones (1) y (2).

$$DT = \frac{\text{longitud total de delaminación}}{\sum \text{longitudes todas las líneas}} \times 100 \quad (1)$$

$$DM = \frac{\text{longitud máxima de delaminación}}{\text{longitud total de una línea de cola}} \times 100 \quad (2)$$

A priori, se eligen éstas metodologías para formar parte del estudio porque no es posible seleccionar actualmente un método que destaque claramente como ventajoso sobre los demás, sino que cada uno presenta ventajas e inconvenientes. Como ventaja de los ensayos de cortante a 45° frente al ensayo de cortante paralelo (P), se presenta la obtención de tensiones de fallo mayores al no producirse la rotura por rodadura pura. Al aplicar además al ensayo a 45° el pretratamiento, se somete al encolado a un proceso de envejecimiento por cocción que resaltarán la presencia de fallos en caso de existir. Por otro lado la ventaja del ensayo de cortante frente al ensayo de delaminación, es que el resultado 45CE aporta un valor numérico cuantitativo. El inconveniente fundamental del método de los ensayos a 45° reside en que es un valor no incluido en una norma y que no es relacionable con el nivel de calidad de forma absoluta, y por ese motivo, puede ser usado solo como un control relativo entre sucesivos ensayos.

Por otro lado, la consideración exclusiva de los ensayos de la norma de tableros CLT presentaría también ventajas e inconvenientes, algunas comentadas ya. El método de cortante paralelo presenta la ventaja de ofrecer un resultado cuantitativo, pero por el contrario también el hecho de que el fallo se produzca por rodadura somete a una tensión menor al plano de encolado que en otros productos laminados. Por otro lado, el método de delaminación que como se ha comentado se considera un método valorado por ser muy exigente presenta en esta exigencia su propia desventaja, ya que los tableros CLT se instalan en clase de servicio 2 y raramente están sometidos a humectación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayos de esfuerzo cortante

Los análisis descriptivos de los resultados obtenidos para cada metodología aplicada, se presentan en la tabla 1 y 2, siendo $f_{v,k}$ y CoV el valor característico y el coeficiente de variación, respectivamente, para la tensión de la rotura. C/I indica el cumplimiento o incumplimiento según los requisitos de EN 16351, solo aplicable para los ensayos paralelos. Los ensayos a 45°, no tienen un valor de referencia normalizado para valorar su cumplimiento sin embargo se han evaluado según el criterio de la norma para el cortante paralelo como herramienta de comparación. El valor característico de la resistencia se ha calculado considerando una distribución log-normal de los datos, siguiendo la norma EN 14358 [14].

Tabla 1: Resultados por tablero del ensayo de cortante según metodología de ensayo

Tablero	N	Tensión de rotura $f_v(N/mm^2)$											
		45CE				45SE				P			
		$f_{v,medio}$	CoV (%)	$f_{v,k}$	C/I	$f_{v,medio}$	CoV (%)	$f_{v,k}$	C/I	$f_{v,medio}$	CoV (%)	$f_{v,k}$	C/I
CLT1	16	1,98	16,36	1,41	C	3,19	16,99	2,24	C	2,40	27,88	1,30	C
CLT2	16	2,07	16,41	1,46	C	3,18	19,08	2,24	C	2,17	18,52	1,45	C
CLT3	16	2,03	15,35	1,49	C	3,18	20,35	2,12	C	2,23	26,44	1,32	C
CLT4	16	1,96	24,17	0,99	I	3,37	17,56	2,41	C	2,84	32,29	1,44	C
CLT5	16	1,90	18,08	1,18	I	3,23	22,91	2,05	C	2,45	31,76	1,31	C
CLT6	16	2,15	12,73	1,65	C	3,51	8,56	2,95	C	2,26	30,24	1,24	I
TOTAL	96	2,01	17,43	1,38	C	3,28	17,92	2,37	C	2,39	29,74	1,39	C

Tabla 2: Porcentaje de Fallo por madera por tablero según ensayo

Tablero	N	Porcentaje de fallo por madera (%)					
		45CE		45SE		P	
		Media	CoV (%)	Media	CoV (%)	Media	CoV (%)
CLT1	16	60	40	88	10	81	16
CLT2	16	66	31	92	8	86	14
CLT3	16	57	36	90	10	81	15
CLT4	16	48	45	89	8	75	15
CLT5	16	71	24	88	11	86	9
CLT6	16	63	33	85	13	87	13
TOTAL	96	61	36	89	10	83	14

La norma de madera contralaminada establece que la resistencia del encolado entre capas es suficiente si el valor característico del esfuerzo cortante $f_{v,k}$, es mayor o igual a $1,25 N/mm^2$ y si la f_v de cada plano de encolado es de $1 N/mm^2$ como mínimo. En la tabla 1 se observa que el ensayo a 45CE y P aportan dos y un incumplimiento respectivamente en sus valores característicos; no obstante los incumplimientos para el ensayo de cortante paralelo lo son por una tensión muy escasa que no sería un síntoma claro de fallo, pese a incumplir formalmente la especificación, especialmente dado que todos los planos de encolado sí lo hacen de forma individual para la segunda condición ($1 N/mm^2$)

mientras que en el ensayo a 45 CE, hay dos planos que no llegan al mínimo de 1 N/mm² (0,64 N/mm² y 0,87 N/mm² pertenecientes al tablero CLT4 y CLT5). No obstante, debe recordarse que para este ensayo no hay establecido un límite normativo concreto y es recomendable adoptar un valor característico mínimo para control, basado en el conjunto histórico de datos obtenidos del seguimiento realizado durante un periodo largo.

Analizando los resultados medios de porcentaje de fallo por madera obtenidos para esos valores (tabla 2), se deriva que los valores más bajos no se corresponden, en general, con los valores de resistencia inferiores obtenidos de la tensión de rotura. En la valoración de resultados de ensayo de madera laminada y tableros, generalmente los valores de aceptación de cortante están relacionados con los valores de porcentaje de fallo por madera asociados a la línea, de manera que valores de resistencia a cortante bajos con porcentajes de fallo por madera altos suelen aceptarse como resultados correctos.

Sin embargo, en la norma de CLT no se sigue este criterio. De emplearse significaría que el valor bajo de resistencia teniendo un porcentaje de fallo por madera alto podría asociarse, no a una deficiente calidad de encolado, sino a un posible valor menor asociado a la calidad local de la madera en la probeta. Así, en definitiva puede señalar que la evaluación del porcentaje de fallo por madera producido tras el ensayo a cortante no es indicativo exclusivamente de la calidad de encolado, pudiendo influir otros factores como la superficie de encolado o la propia calidad de la madera, como ya apuntaran otros estudios [8].

También conviene señalar que el ensayo a cortante paralelo (P) es el que muestra variabilidades más altas en sus resultados de tensión de rotura (CoV tabla 1), no siendo así en la evaluación de los porcentajes de fallo por madera.

El estudio de los datos de la tensión de rotura para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tres tipos de ensayos aplicados, se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis, por la ausencia de normalidad de los mismos. La tabla 3 muestra los resultados. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza. En la gráfica de caja y bigotes de la figura 1, se puede distinguir la diferencia entre ensayos.

Tabla 3: Análisis de Kruskal-Wallis de la tensión de rotura a esfuerzo cortante por ensayo

ENSAYO	Tamaño Muestra	Rango Promedio
45CE	96	83,0
45SE	96	219,915
P	96	123,284

Estadístico = 139,024; Valor-P = 0

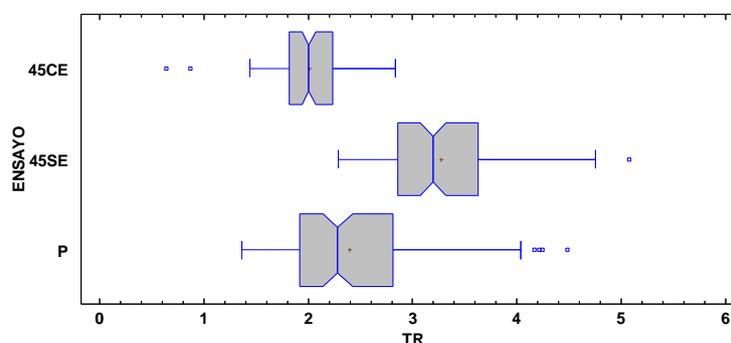


Figura 1: Gráfico de cajas y bigotes de la tensión de rotura según ensayos

Del análisis de los datos se puede observar que el ensayo aportado por la reciente normativa EN 16351 para evaluar la calidad de encolado aporta resultados intermedios entre los valores de los ensayos de cortante en línea de cola con esfuerzo a 45° de la fibra sin envejecimiento y los ensayos a 45° con envejecimiento previo, siendo más próximos a estos últimos. El ensayo a 45° con envejecimiento es el que proporciona valores de tensión más bajos.

Si el estudio se realiza a nivel de tablero, la conclusión es que las diferencias significativas de los datos de tensión de rotura entre los 3 ensayos se presentan en 3 de los tableros, y en los otros 3 no aparecen diferencias entre los ensayos a 45CE y P, lo que se intuye en la figura 1 y en la tabla 1 por la proximidad de sus valores. En las gráficas de la figura 2 se muestran los resultados del análisis particularizado en los tableros.

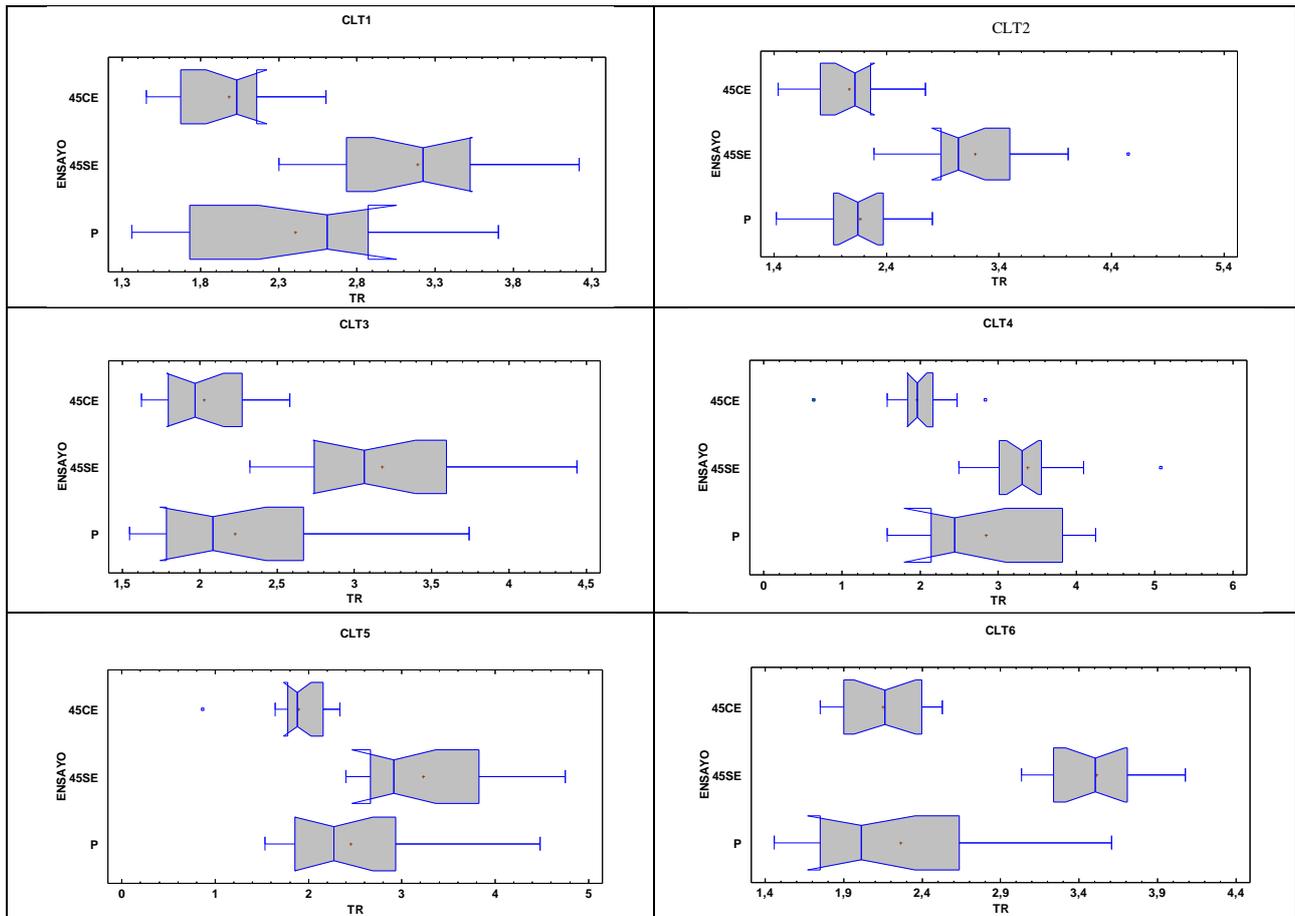


Figura 2: Gráficos de cajas y bigotes de la resistencia a cortante según ensayos para cada tablero

Del mismo modo, para el análisis estadístico de los porcentajes de fallo por madera, se aplica la prueba de Kruskal-Wallis. El valor de P es menor de 0,05, indicando que existe de nuevo un efecto del factor ensayo estadísticamente significativo. Este fenómeno se aprecia en la gráfica de la figura 3, donde hay diferencias entre el ensayo a cortante 45CE y los otros ensayos, pero de nuevo es el ensayo a cortante paralelo el que aporta valores intermedios.

Tabla 4: Prueba de Kruskal-Wallis para PFM por ENSAYO

ENSAYO	Tamaño Muestra	Rango Promedio
45CE	96	76,9096
45SE	96	191,043
P	96	157,879

Estadístico = 97,7978; Valor-P = 0

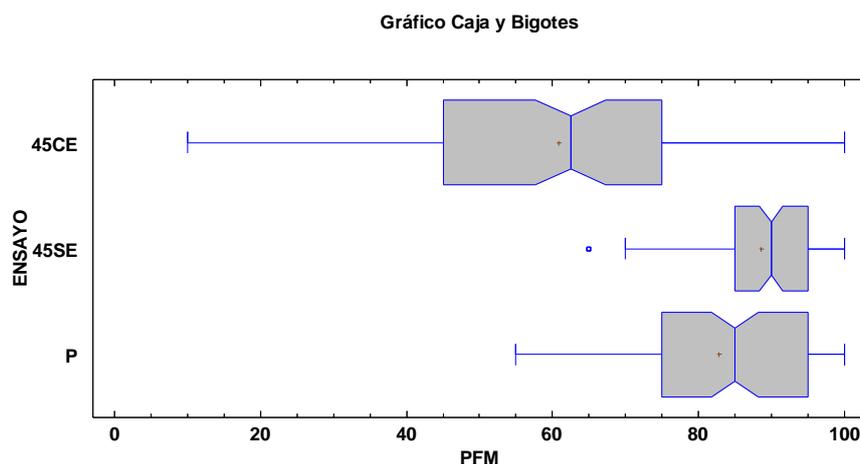


Figura 3: Gráfico de medias del porcentaje de fallo por madera según ensayos

3.2 Ensayos de delaminación

Los resultados del cumplimiento obtenido del ensayo de delaminación según lo establecido en la norma de madera contralaminada EN 16351, realizados sobre 5 probetas de cada tablero, se presentan en la tabla 5. Los requisitos mínimos que deben cumplirse son: Delaminación Máxima (DM) $\leq 40\%$ y Delaminación Total (DT) $\leq 10\%$. Si no se cumplen, todos los planos de encolado deben ser abiertos y el porcentaje de fallo por madera (PFM) evaluarse. Para que la muestra supere el ensayo, el porcentaje de fallo por madera del peor plano debe ser $\geq 50\%$ y para todos los planos debe ser $\geq 70\%$.

Tabla 5: Resultados medios por tablero del ensayo de delaminación

Tablero	Nº Probetas ensayadas	Valoración de Delaminaciones		Valoración de PFM por apertura de planos		Resultados finales
		Nº probetas que cumplen		Nº probetas que cumplen		
		DM	DT	Peor plano	Todos los planos	% de probetas correctas
CLT1	5	5	5	5	5	100
CLT2	5	5	1	5	5	100
CLT3	5	5	0	4	5	80
CLT4	5	5	2	5	5	100
CLT5	5	5	0	5	5	100
CLT6	5	5	2	5	5	100
TOTAL	30	30	10	29	30	97

En la tabla 5 se puede observar que si se realiza el ensayo de delaminación propuesto en EN 16351, algo más del 65% de las probetas muestreadas (83% de los tableros) incumplen el requisito para la Delaminación Total, debiendo realizarse la segunda fase de apertura de planos. Es en esta fase donde la gran mayoría de las probetas cumplen con los mínimos establecidos. Esta forma de evaluación permite valorar una mayor superficie de encolado y por tanto a priori es más idónea para evaluar la calidad real del mismo.

El ensayo de delaminación se presenta como un buen complemento para los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante, aunque la norma EN 16351, establece la realización de uno u otro indistintamente aunque admite la falta de correlación entre ellos, impidiendo la comparación de los resultados obtenidos por ambas metodologías. En este estudio se comprueba esa ausencia de relación ya que los tableros que muestran peores resultados en resistencia al esfuerzo cortante (CLT4, CLT5 y CLT6), cumplen con los requisitos de delaminación, lo que además concuerda con otros estudios publicados [15].

CONCLUSIONES

Del análisis realizado en este estudio se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- La valoración de distintos ensayos para la determinación de la resistencia del encolado en madera contralaminada, como son el realizado sobre probetas de corte a 45° con envejecimiento previo, probetas iguales a las anteriores pero sin tratamiento y probetas cortadas paralelamente según establece la nueva norma específica de madera contralaminada, arroja diferencias estadísticamente significativas entre ellos,
- El ensayo de resistencia al esfuerzo cortante realizado con probetas ensayadas con la carga paralela a la fibra de la capa exterior (P), proporciona valores intermedios entre los resultantes del ensayo a cortante a 45° de la fibra de la cara exterior con envejecimiento (45CE), inferiores, y los del ensayo a cortante a 45° sin envejecimiento (45SE), superiores.
- Considerando la especificación mínima de cortante de la norma de CLT, el ensayo de cortante a 45° con envejecimiento presenta 2 tableros que incumplirían y el ensayo de cortante paralelo sin envejecimiento, un tablero que incumpliría, si bien de forma poco significativa. En principio, los valores mínimos para el primer ensayo deberían establecerse mediante un valor característico derivado de la experiencia acumulada en el control, y el hecho de que no cumplan los valores establecidos para el ensayo de cortante paralelo, no podría considerarse, con la información disponible actualmente, indicador de un problema de fabricación.
- No siempre se aprecia una correspondencia clara, indicativa de la calidad del encolado, entre los resultados de resistencia a esfuerzo cortante y el porcentaje de fallo por madera consecuencia del mismo.
- Los ensayos de delaminación no han mostrado en general incumplimientos como resultado final, salvo un plano de cola de una probeta, si bien han requerido en muchos casos recurrir a la apertura de planos y su valoración del porcentaje de fallo por madera para obtener conclusiones.

REFERENCIAS

- [1] Plackner, H., “Brettsperholz wlichdt global”, *Holzkurier* 12-13 (2015).
- [2] Brandner, R., Report Cost Action FP1004 (2014).
- [3] Espinoza, O., Rodriguez Trujillo, V., Laguarda Mallo, M, F., Buehlmann, U., “Cross-Laminated Timber: Status and research needs in Europe”, *Bioresources* **11**(1) (2016) 281-295.
- [4] EN 16351:2015, Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. CEN (European Committee for Standardization). Bruselas, Bélgica.

- [5] EN 14080:2013, Timber structures. Glued laminated timber and glued solid timber. Requirements. CEN (European Committee for Standardization). Bruselas, Bélgica.
- [6] EN 13354:2009, Solid wood panels (SWP). Bonding quality. Test method, CEN (European Committee for Standardization), Bruselas, Bélgica.
- [7] Mohamadzadeh, H. and Hindman, D., “Mechanical Performance of Yellow-Poplar Cross Laminated Timber”. Report No. CE/VPI-ST-15-13. Virginia Polytechnic Institute and State University (2015).
- [8] Sikora, K.S., McPolin, D.O., Harte, A.M., “Shear strength and durability testing of adhesive bonds in cross-laminated timber”, *The Journal of Adhesion* **92**(7-9) (2015) 758-777.
- [9] Custodio, J., Broughton, J., Cruz, H., “A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints” *International Journal of Adhesion Adhesives* **29**(2) (2009) 173-185.
- [10] Serrano, E., “A numerical study of the shear-strength-predicting capabilities of test specimens for wood-adhesives bonds” *International Journal of Adhesion Adhesives* **24**(1) (2004) 23-25.
- [11] Lascivi, P., Borti, S., Pizzo, B., Triboulot, P., Zanuttini, R., “ A shear test for structural adhesives used in the consolidation of old timber” *Holz als Roh Und Werkstoff* **59** (2001) 145-152.
- [12] Casilla, R., Lum, C., Pirvu, C., Wang, B.J., *Checking in CLT Panels: An exploratory study*. Publication W-2877. Report FP Innovations. Vancouver. Canadá (2011).
- [13] Gagnon, S., Pirvu, C., Handbook Cross-Laminated Timber. FP Innovations, Quebec. Special Publicación SP-528E (2011). CEN (European Committee for Standardization). Bruselas, Bélgica.
- [14] EN 14358:2016, Timber structures. Calculation and verification of characteristic values.
- [15] Steiger, R., Arnold, M., Risi, W., “Integrity check of structural softwood glue lines: correspondence between delamination and block shear tests” *European Journal of Wood Products* **72** (2014) 735-748.