



60 RECTO

60 RECTO

60 RECTO

2x20 NO

90 RECTO

90 RECTO
YA
HO

R 20 351

R 20 351

UNIONES CON BARRAS ENCOLADAS. ESTUDIO EXPERIMENTAL

DOLORES OTERO-CHANS, JAVIER ESTÉVEZ-CIMADEVILA, EMILIO MARTÍN-GUTIÉRREZ,
JOSÉ A. VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, FÉLIX SUÁREZ-RIESTRA. GEM (GEA)-UDC. GRUPO DE ESTRUCTURAS
ARQUITECTÓNICAS DE LA UNIVERSIDAD DE A CORUÑA.

INTRODUCCIÓN

Las barras y chapas encoladas, insertadas en taladros y ranuras realizados en elementos estructurales de madera y conectadas mediante el uso de adhesivos estructurales, se utilizan desde los 1970's en el norte y centro de Europa para prevenir la aparición de fendas relacionadas con esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra en entalladuras, zonas de agujeros y zonas de vértice de elementos realizados con madera laminada encolada. A partir de la década de los 1980's empiezan a realizarse estudios experimentales con el objetivo de modelizar su com-

portamiento y aplicarlas al diseño generalizado de uniones en estructuras de madera. Este tipo de uniones ofrecen numerosas ventajas frente a las uniones mecánicas o las tradicionales: permiten transmitir valores de carga elevados, mediante el trabajo a rasante de la superficie de contacto madera/adhesivo; permanecen ocultas, lo que conlleva tanto beneficios estéticos como de comportamiento en situación de incendio; posibilitan el diseño de uniones rígidas, debido a las limitadas deformaciones asociadas al modo de transmisión de la carga; pueden prefabricarse



Fig. 01



Fig. 02

en taller, disponiendo elementos de conexión que faciliten el ensamblaje en obra; etc. Entre los inconvenientes o limitaciones que se han atribuido a este tipo de uniones estarían el control de las condiciones de ejecución relacionadas con el uso de adhesivos, que necesitan ciertas condiciones ambientales y preferentemente mano de obra especializada; el coste elevado de los adhesivos estructurales; y la inexistencia de un marco normativo que posibilite su uso de forma generalizada.

Los primeros estudios se centraron en el análisis del comportamiento de las uniones realizadas en madera laminada encolada de abeto, debido a que las investigaciones provenían principalmente de la región del centro y norte de Europa antes mencionada. Sólo a partir del inicio del siglo XXI empiezan a realizarse estudios en otros materiales derivados como la madera microlaminada (LVL). Es en ese momento cuando el Grupo de Estructuras de Madera (GEM) perteneciente al Grupo de Estructuras Arquitectónicas (GEA) de la Universidad de A Coruña inicia un extenso estudio experimental del comportamiento de estas uniones, que se ha prolongado durante más de una década superando los 1500 ensayos realizados sobre uniones con barras encoladas. Inicialmente el estudio se centró en evaluar la influencia del tipo de madera en la resistencia a tracción de la unión (**Fig. 01**), analizando el comportamiento en diversas especies de madera laminada y aserrada, cubriendo así un vacío en el conocimiento del comportamiento de este tipo de uniones cuando se realizan sobre especies de madera diferentes a la madera laminada procedente de coníferas europeas. Estos primeros ensayos se realizaron sobre la configuración tradicional de las uniones, lo que hemos denominado anclaje recto. En una segunda etapa del estudio, se exploraron alternativas en el diseño de la unión que posibilitasen aumentar su rendimiento, planteando diferentes soluciones que permiten obtener incrementos de mejora en diferentes situaciones de diseño.

UNIONES CON ANCLAJE RECTO

El comportamiento de las uniones realizadas con barras encoladas depende de numerosos factores que podrían dividirse en tres grandes grupos: materiales, geométricos y ambientales. Dentro del primer grupo habría que hacer referencia a su vez a las características de los tres materiales que integran la unión: madera, adhesivo y barra; y a la interacción entre todos ellos. En lo que respecta a la influencia de la madera, la capacidad de la unión estará obviamente condicionada por sus características mecánicas, que de forma convencional se relacionan con la clase resistente. Nuestro grupo ha estudiado el comportamiento de las uniones en un amplio rango de especies de madera, tanto maciza como laminada. La menor densidad (aprox. 430 kg/m³) correspondía a la densidad media de la madera laminada de abeto, tomada como referencia y medida de comparación en relación con la mayoría de estudios existentes, y la mayor a madera aserrada de elondo (aprox. 870 kg/m³), pasando por LVL, madera aserrada de castaño y madera laminada de castaño,

roble y eucalipto. La capacidad de carga de las uniones se incrementó en todos los casos con el aumento de densidad de la especie de madera, a excepción de la madera microlaminada. El modo de fallo que condiciona la resistencia de la unión es el fallo por rasante en la superficie de contacto madera/adhesivo, dando lugar a una rotura que coincide con dicha superficie de contacto o que arrastra un bloque de madera (**Fig. 02**). La transmisión de la carga de forma repartida sobre toda esta superficie de contacto, en contraposición con la transmisión puntual que se produce en las uniones mecánicas tipo clavija habituales, supone además un beneficio para su aplicación en maderas aserradas. Esto se evidenció en las probetas ensayadas en el hecho de que en ningún caso se produjeron fallos de las uniones asociados a defectos puntuales, como por ejemplo nudos de tamaño significativo presentes en la madera aserrada de castaño.

En lo que respecta al material de la barra, las más utilizadas son las barras de acero, bien roscadas bien corrugadas, y las barras de materiales plásticos (FRP). Las barras roscadas de acero ofrecen la ventaja de que posibilitan el diseño de un fallo dúctil de la unión, condicionado por la plastificación del acero, al mismo tiempo que ofrecen cierto anclaje mecánico con el adhesivo derivado de los resaltes de la rosca. Facilitan asimismo el enlace con nudos metálicos externos o el uso de chapas y elementos auxiliares para resolver el encuentro entre varias piezas. Las barras de FRP ofrecen un elevado rango de características mecánicas en función del tipo de fibra utilizado para su fabricación (fibra de vidrio, carbono, Kevlar, aramida, etc.). Constituyen un material más ligero que el acero, pero derivan en un fallo de tipo frágil. También se han desarrollado algunos estudios utilizando barras realizadas con maderas frondosas o con maderas densificadas. Estas barras presentan menores resistencias y ofrecen asimismo un fallo frágil. En los casos en los que se utilizan chapas encoladas, en lugar de barras, éstas pueden ser también de los mismos materiales mencionados.

Los adhesivos estructurales más utilizados en la actualidad para el diseño de estas uniones son los adhesivos bi-componente de tipo epoxi o poliuretano, debido a sus elevadas prestaciones mecánicas y a que se comercializan en multitud

de formulaciones con características ajustadas a diferentes usos. Es necesario utilizar un adhesivo con eficacia contrastada sobre los adherentes que constituyen tanto la pieza de madera como la barra. En la actualidad se están realizando estudios para evaluar la posibilidad de utilizar adhesivos más ecológicos, basados en componentes naturales, aunque por el momento sus prestaciones están limitadas y sólo posibilitan su uso con barras de madera. A pesar de que algunas de las especies de madera utilizadas en nuestros estudios han sido calificadas en algunas publicaciones como difícilmente encolables, en ningún caso se han presentado dichas dificultades con los adhesivos de tipo epoxi bi-componente utilizados en el estudio.

En lo que respecta a los parámetros geométricos, los que se han mostrado significativos en la capacidad resistente de las uniones son la longitud de encolado y el diámetro de la barra o el taladro, que definen la superficie de fallo por rasante entre la madera y el adhesivo. La diferencia entre el diámetro de la barra y el del taladro debe ser pequeña, dado que estos adhesivos tienden a mostrar un fallo cohesivo cuando se utilizan en espesores elevados; por ello habitualmente se recomiendan espesores en torno a 1 mm. El parámetro geométrico clave, de hecho, viene dado por lo que se denomina la esbeltez de la unión, la relación entre la longitud de encolado y el diámetro. Se ha constatado experimentalmente que a medida que se aumenta la esbeltez de la unión la tensión de corte promedio de fallo se reduce. Esto se refleja en el hecho de que para un determinado diámetro de la unión, llega un momento a partir del cual aunque aumentemos la longitud, no se incrementa la capacidad de carga. Cabe señalar que tampoco es recomendable utilizar diámetros de barra muy grandes, dado que éstos precisan de separaciones y distancias al borde proporcionalmente elevadas. Adicionalmente, un diámetro de barra moderado permite proyectar un fallo dúctil de la unión, condicionado por la plastificación del material (siempre que utilicemos barras de acero). Esta limitación, llevó a nuestro grupo a plantear y estudiar experimentalmente una serie de propuestas de mejora para incrementar la capacidad de las uniones realizadas con barra encoladas, sin tener que incrementar la longitud de encolado o el diámetro de la barra.



Fig. 03



Fig. 04

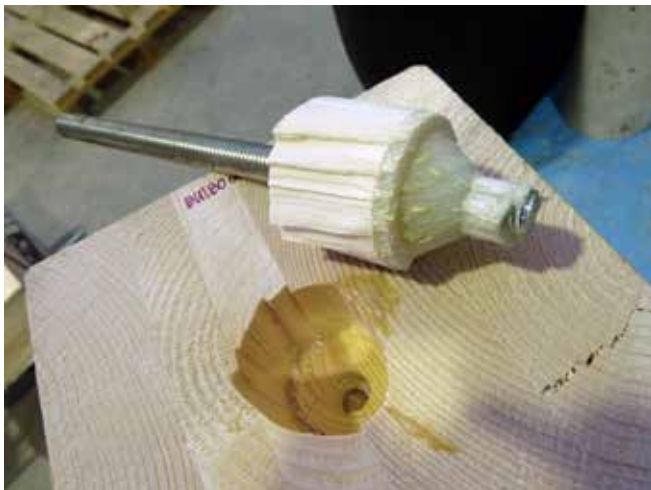


Fig. 05

Dentro del último grupo de parámetros estudiados se encuentran factores habitualmente considerados en el diseño de estructuras de madera, como la duración de la carga, la sensibilidad a las condiciones ambientales o el comportamiento en caso de incendio.

A pesar del elevado número de estudios realizados en relación con el comportamiento de las uniones realizadas con barras encoladas en anclaje recto desde los años '80 hasta la actualidad, no se ha alcanzado un consenso que haya permitido su inclusión en las normativas europeas de diseño (Eurocódigo), y sólo algunos países como Alemania o Italia cuentan con documentos de ámbito nacional que incluyen expresiones que posibilitan su dimensionado. Este podría ser uno de los motivos principales por los que en países como el nuestro no se ha generalizado el uso de una solución que ofrece tantas ventajas y alternativas de ejecución.

SISTEMAS DE MEJORA

El número de publicaciones existentes en relación con sistemas que permitan mejorar el comportamiento de las uniones realizadas con barras encoladas es muy reducido en comparación con el estudio de su comportamiento en anclaje recto. Pueden encontrarse algunas propuestas que podrían dividirse en cuatro grandes grupos: sistemas de zunchado, soluciones híbridas, modificación de la forma de la barra y modificación de la forma del taladro.

Los sistemas basados en el zunchado tienen como objetivo evitar el fallo por hendidura de las piezas de madera, por lo que pueden resultar de utilidad cuando se utilizan secciones de dimensiones reducidas. En cualquier caso, más que incrementar la resistencia de las uniones, estos sistemas permiten aprovechar toda la capacidad de la unión adhesiva evitando el fallo prematuro de la pieza de madera.

La segunda solución, que se ha denominado como híbrida, consiste en la utilización adicional de elementos metálicos transversales a la unión que ofrecen una unión mecánica con la barra central. Estos sistemas se han desarrollado inicialmente como una solución a posibles fallos en situación de incendio de adhesivos sensibles a la temperatura. Debido a la diferencia de rigidez entre los dos sistemas de unión, adhesivo y mecánico, el sistema mecánico sólo entraría en carga una vez se haya producido el fallo del adhesivo. También podrían ser una solución para garantizar un fallo último dúctil vinculado al fallo de la unión mecánica. Tienen el inconveniente de que reducen las ventajas estéticas de la unión adhesiva oculta y suponen un coste adicional, debido a que el rendimiento de los dos sistemas no puede considerarse de forma simultánea, por lo que los dos tipos de unión deben dimensionarse para resistir la carga en su totalidad.



Fig. 06

Los sistemas que proponen la modificación de la forma del taladro o de la barra se basan en la distribución irregular de tensiones que se genera a lo largo de la unión adhesiva. Esta distribución depende asimismo de la geometría de la unión y de la rigidez de los sustratos. En general, la distribución es más uniforme en uniones cortas y presenta picos de tensión en los extremos, que aumentan a medida que se incrementa la esbeltez de la unión. La modificación de la forma de las barras ha sido planteada tanto en el extremo interior de la unión como en la zona de la barra que coincide con el extremo exterior, con el objetivo de limitar o reducir los picos de tensión. En relación con la modificación del taladro, existía un estudio previo que planteaba la posibilidad de realizar avellanados en el extremo interior de la unión, generando una capa de adhesivo de mayor grosor coincidiendo con dicho punto.

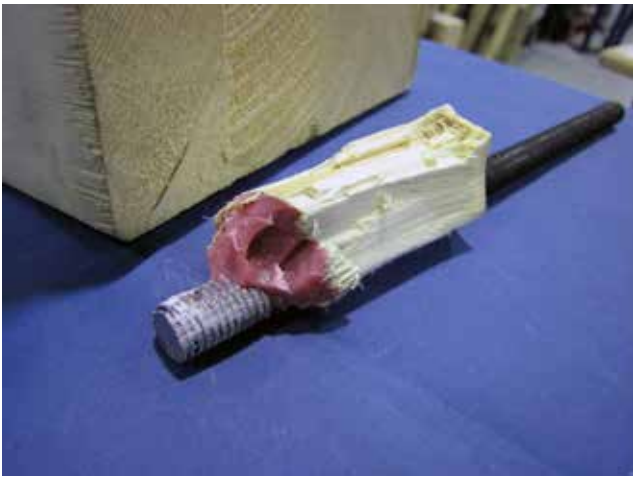


Fig. 08

Partiendo de estos antecedentes, el Grupo de Estructuras de Madera de la Universidad de A Coruña (GEA) realizó una amplia campaña experimental, con más de 800 uniones ensayadas, en la que se ha analizado el comportamiento de tres propuestas de mejora. En el estudio se consideraron adicionalmente otras variables como la influencia de la densidad de la madera y de la geometría de la unión.

El primer sistema de mejora estudiado se basa en la realización de avellanados o ensanchamientos en el extremo exterior del taladro. Se utiliza una barra roscada hueca con rosca interior, que se coloca en la barra coincidiendo con el ensanchamiento del taladro con objeto de generar una capa de adhesivo de espesor constante y reducido (Fig. 03). Esta solución se ensayó en madera laminada de abeto, tanto en la dirección paralela como en la perpendicular a las fibras. En la dirección paralela con esbelteces hasta 10 se obtuvo una mejora de la resistencia entre el 11 y el 30%. En la dirección perpendicular, se realizaron ensayos tanto en probetas de madera laminada de abeto como de madera microlaminada (LVL), la diferencia de resultados no fue significativa. Esto puede explicarse considerando la reducción de rigidez que se produce en la madera al considerar la dirección perpendicular y que conduce a una distribución de tensiones más uniforme.

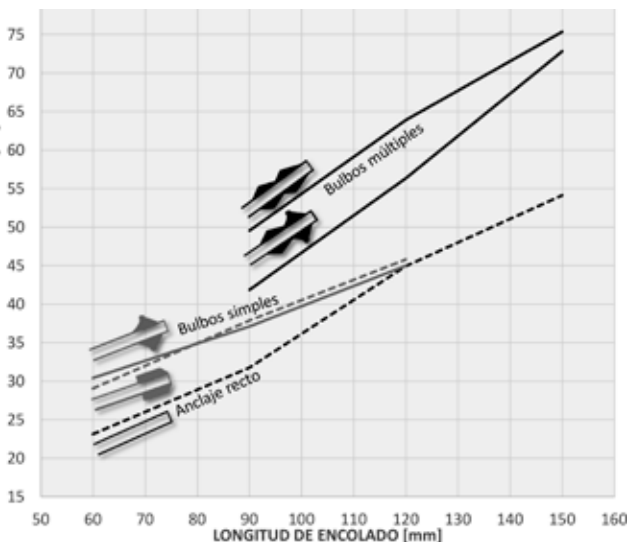


Fig. 07

El segundo sistema de mejora planteado se basa en la realización de un ensanchamiento en el extremo interior del taladro, que genera un bulbo adhesivo cuando se inserta una barra recta. Esta solución ofrece dos ventajas: por una parte, actúa sobre el pico de tensión que se genera en dicho extremo y, por otra parte, al trabajo de la unión adhesiva por esfuerzo cortante en el taladro recto se suma la compresión perpendicular derivada del efecto tope del bulbo producido en el interior del taladro recto. La ejecución de estos ensanchamientos dio lugar a un trabajo paralelo de investigación para materializar una herramienta que posibilitase su desarrollo desde el interior de la pieza de madera sin generar fallos por hendidura.



Fig. 09



Fig. 10



Fig. 11

Tras el estudio de diversas alternativas y prototipos, se patentó un sistema de broca conformada con una serie de barras articuladas que se introduce en un pretaladro recto previo y se abren a medida que se empuja contra el extremo ciego del taladro (Fig. 04). La modificación del tamaño de las barras articuladas permite adicionalmente formalizar ensanchamientos con diferentes formas y proporciones geométricas. Inicialmente se ensayaron cuatro tipos de ensanchamientos diferentes, aunque los desarrollos posteriores se centraron en los dos tipos que presentaron mejores resultados en la fase inicial (Fig. 05-06). Las especies de madera utilizadas fueron: abeto, castaño, roble y eucalipto, todas ellas configuradas como madera laminada encolada. Se ensayaron tres longitudes de anclaje, 60, 90 y 120 mm. En el caso de la madera laminada de abeto, para la menor de las longitudes se obtuvo una mejora de la resistencia en torno al 30%, que se reducía a medida que se incrementaba la longitud. La mejora fue prácticamente nula para la mayor de las longitudes ensayadas (Fig. 07). En el caso de las maderas frondosas, el comportamiento seguía el mismo patrón, reduciéndose la eficacia del sistema a medida que aumenta la longitud de anclaje, pero las mejoras conseguidas resultaron menores. Para las uniones ensayadas con mayor longitud y con maderas de densidad elevada, la resistencia de las uniones con bulbo fue en algunos casos inferior a las uniones con anclaje recto. Este patrón puede explicarse observando los modos de fallo. En las uniones más cortas, el bulbo funciona de acuerdo a lo esperado, involucrando una mayor superficie de madera en la transmisión de la carga (Fig. 05-06). A medida que se incrementa la longitud, las tensiones en el bulbo aumentan, alcanzándose valores de tensión tan elevados que producen su fallo en un plano situado aproximadamente a 45° respecto a la barra, derivando en menores cargas de rotura (Fig. 08).

Los resultados obtenidos con la solución de bulbos simples encaminaron la investigación hacia el diseño de un tercer sistema de mejora que se denominó sistema de multibulbos. Como su nombre indica, se basa en la realización de no uno sino múltiples ensanchamientos a lo largo de la barra, para generar un mayor reparto y limitar las tensiones que se producen en cada uno de ellos. La solución puede ejecutarse de forma sencilla utilizando la misma broca patentada para el sistema de bulbos simples. Se ensayaron configuraciones formales diferentes (Fig. 09-10), estudiando su comportamiento tanto en madera laminada de abeto como en madera laminada de castaño. En el estudio experimental de esta solución se aumentó la longitud de las uniones hasta los 180 mm (Fig. 11). Los resultados de los ensayos mostraron que esta solución no pierde eficacia al aumentar la longitud (Fig. 07), logrando mejoras de entre el 50 y el 60% respecto a los taladros rectos independientemente de la esbeltez de la unión y de la madera utilizada para los ensayos.

REFERENCIAS

Estévez-Cimadevila J, Otero-Chans D, Martín-Gutiérrez E (2013).

Adhesive multi-bulbs: A novel anchoring system using threaded steel rods glued into wood. *Construction and Building Materials* 48:131-136. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.079

Estévez-Cimadevila J, Otero Chans D, Martín Gutiérrez E, Vázquez Rodríguez J (2012). New anchoring system with adhesive bulbs for steel rod joints in wood. *Construction and Building Materials* 30:583-589. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.079

Otero-Chans D, Estévez-Cimadevila J, Martín-Gutiérrez E (2013). Withdrawal strength of threaded steel rods glued with epoxy in wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 44:115-121. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2013.02.008

Otero-Chans D, Estévez-Cimadevila J, Martín-Gutiérrez E (2008). Glued joints in hardwood timber. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 28: 457-463. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2008.04.008

GEM (GEA)-UDC. Grupo de Estructuras Arquitectónicas de la Universidad de A Coruña, Subgrupo de Estructuras de Madera: <http://gea.udc.es/gem/>

Nuevos adhesivos para tableros contrachapados

Luís Castro – Responsable de Asistencia Técnica de FORESA

Los diferentes tipos de adhesivos y los diferentes sistemas de encolados que se utilizan en la actualidad en la industria del contrachapado son elementos que están “condenados a entenderse”, ya que forman un tándem que debe garantizar la calidad del proceso y del producto fabricado. Es por ello que al analizarlos en conjunto el número de combinaciones a tener en cuenta por parte de los fabricantes de adhesivos aumenta exponencialmente. Más aún si añadimos variables como regulación medioambiental, seguridad y salud, REACH y otras muchas, cada día más presentes en nuestro entorno de trabajo.

Incluso cuando estamos hablando de tecnologías maduras donde hay una cierta estandarización, las tendencias evolucionan y mientras que en un primer momento a nivel Europeo la mayoría de fabricantes optaron por encoladoras de rodillos, cada vez es más habitual encontrarse con otros sistemas, siendo todavía éste el más habitual. Desde el conocimiento de los adhesivos y desde la experiencia en procesos en el sector de la madera, debe acompañarse a los fabricantes en la evolución de sus necesidades. Así, a través de las resinas de urea-formol, melamina-formol, resinas fenólicas, colas de PVA y de otros productos desarrollados a medida para cubrir necesidades concretas, se trabaja mano a mano con los clientes para dar respuesta a un mercado cada día más exigente, tanto en prestaciones mecánicas, como en valores de resistencia al fuego o a la humedad, como en todo lo que afecta a normativa en materia de seguridad y salud, tanto desde el punto de vista de los trabajadores como de los usuarios finales de los productos fabricados.

Es por ello que cuando los clientes se plantean nuevos retos, se abre también un nuevo abanico de posibilidades sobre cómo mejorar los adhesivos para que el conjunto ADHESIVO-SISTEMA DE ENCOLADO funcione adecuadamente y ofrezca las ventajas que estos están demandando. Surge de este modo la necesidad de disponer de una solución para el proceso de ENCOLADO EN CORTINA, que empieza a ser adoptado por algunos fabricantes a nivel europeo y nacional.

Siguiendo una metodología de trabajo estandarizada, los técnicos trabajan desde el proceso hacia la obtención del producto, empezando a nivel laboratorio, continuando por la escala piloto para dar el salto al escalado industrial con mayor seguridad y confianza en el resultado final.

Así, aunando el conocimiento teórico y la experimentación práctica a nivel de planta piloto se van puliendo productos que ya se encuentran en fase industrial, como por ejemplo:

CurtainGlue PF: Solución bicomponente de Resina fenólica + aditivo.

CurtainGlue MUF: Solución bicomponente de Resina Urea-Formol + aditivo.

CurtainGlue MF: Solución bicomponente de Resina Melamina-Formol + aditivo (en fase de desarrollo a escala piloto)

Con esta solución es posible obtener producto de acuerdo a los estándares que lo clasifican a emisión según las Normas UNE-EN ISO 12460-3 y ASTM 1333 y calidad de encolado según Norma UNE-EN 314

Con el conocimiento adecuado de producto y proceso, y con la metodología y rigor necesarios para evolucionar las soluciones desde el laboratorio hasta la fabricación industrial, los fabricantes de los adhesivos siguen afrontando los retos que se presenten en éste y en otros sectores.