

NUEVAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA

MIKEL LANDA ESPARZA. DR. ARQUITECTO

Existen varios sistemas de reparación de estructuras de madera dañadas. Este trabajo explica el desarrollo, por parte del autor, de un sistema de reparación de estructuras de madera dañadas basado en aporte de madera y unión encolada; la madera dañada puede ser eliminada y sustituida por madera de las mismas características uniéndola a la madera reparada por medio de una unión encolada, empleando la tecnología de la fabricación de la madera laminada encolada. El método está basado en la posibilidad de controlar los parámetros de fabricación de la M.L.E. en obra y en el correcto diseño de la unión en función de las necesidades del elemento reparado. El estudio está centrado en la reparación de elementos flexionados, en los que el sistema de reparación por medio de encolado, permite devolver al elemento reparado el 100% de su capacidad resistente inicial.

REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA DAÑADAS. ESTADO ACTUAL DEL TEMA

Históricamente la madera ha sido el material ideal para la construcción de estructuras resistentes hasta bien entrado el siglo XX y por ello gran parte de las actuaciones de rehabilitación de edificios con que el arquitecto se puede encontrar se realizan sobre estructuras resistentes de madera.

La forma habitual, todavía hoy, de enfrentarse con un edificio que se pretende renovar, es la de sustituir la estructura portante de madera, de la cual es difícil conocer su estado exacto de conservación y por lo tanto no resulta fiable, por una estructura nueva de hormigón armado o acero laminado.

La fiabilidad de las dos soluciones mencionadas reside en el conocimiento que existe de los materiales, de la divulgación y la generalización de ese conocimiento, de la existencia de Normas para su cálculo y control, y del hecho de que son estructuras nuevas diseñadas y calculadas desde el proyecto. De la estructura de madera sobre la que se va a actuar, no se conocen los cálculos que en su día se hicieron para dimensionar los elementos de la estructura, (probablemente no se hicieron; antiguamente los carpinteros de armar dimensionaban las estructuras basándose en la experiencia), ni la capacidad actual de los elementos resistentes. A esto hay que añadir que las estructuras de madera suelen sufrir deterioros por humedades debidas a falta de mantenimiento de cocinas, baños ó cubiertas, que habitualmente van acompañados de ataque de hongos ó insectos xilófagos; estos ataques pueden afectar a la resistencia de los elementos, disminuyendo la confianza en la estructura.

En la actualidad se puede conocer el estado de un elemento de madera y hasta qué punto éste elemento necesita ser sustituido ó reparado. Existen conocimientos suficientes gracias a los estudios realizados en los distintos centros tecnológicos de aquellos países con tradición maderera.

SISTEMAS DE ACTUACIÓN HABITUALES

El conocimiento de las técnicas de reparación de estructuras dañadas es fundamental a la hora de tomar decisiones en rehabilitación, ya que su desconocimiento puede hacer tomar como solución en gran parte de los casos, la de eliminar toda la estructura de madera y sustituirla por una nueva de acero u hormigón. Es necesaria también una correcta toma de datos de la estructura que permita conocer el alcance de los daños en la misma y las posibilidades de mantenimiento de los elementos que la componen.

Centrándonos en las soluciones de reparación de elementos estructurales de madera, y evitando de esta forma la sustitución de estructuras completas, las posibilidades que existen son diversas; algunas de ellas tienden a conservar la estética de los elementos de madera y serán apropiadas en aquellos elementos que vayan a quedar vistos, otras modifican completamente la estética y por lo tanto se utilizarán en aquellos lugares en que la estructura no vaya a quedar vista.

Además de la estética, que en algunos casos puede llegar a ser fundamental, existen otras razones de tipo económico, de medios de ejecución, de resistencia al fuego, de construcción... que van a hacer que el director de obra se decante por una solución o por otra.



Sustitución de elementos dañados

Si el daño en el elemento estructural es de tal magnitud que no permite una actuación encaminada a reparar y devolver al elemento su capacidad portante, ó el valor del elemento es escaso, la solución que se adopta habitualmente es la de sustituir el elemento dañado por otro que cumpla su función. En algunos casos esta sustitución supone la eliminación de los elementos de madera preexistentes, y en otros, por motivos decorativos, se dejan los elementos de madera adosados ó colgando de la nueva estructura. Los materiales por los que son sustituidos los elementos de las estructuras de madera en rehabilitación son el acero, el hormigón armado y la madera.

Refuerzo de elementos de madera

Es en este campo donde los avances se están produciendo con más rapidez, y donde se están concentrando los esfuerzos de investigación. El refuerzo o reparación consiste en devolver la capacidad portante necesaria al elemento de madera dañado para que vuelva a cumplir su función. Los métodos empleados difieren en el material que devuelve a la pieza su capacidad portante y en la forma empleada para hacer trabajar conjuntamente a ese material y la madera. Los refuerzos más empleados son los basados en elementos metálicos y los basados en elementos de fibra de vidrio en combinación con resinas epoxy.

Los refuerzos de elementos de madera, que emplean madera como material resistente son los menos usuales y es en éste grupo donde se engloba la propuesta que presenta éste trabajo; en este grupo se pueden mencionar las investigaciones realizadas en el TRADA Británico para la recuperación de estructuras de madera mediante ensambles tradicionales.

SISTEMA DE UNIÓN ENCOLADA CON APORTE DE MADERA

El sistema de reparación de elementos estructurales de madera con aporte de madera por medio de una unión encolada permite la reparación de elementos estructurales de madera de forma sencilla, de tal forma que los elementos reparados puedan seguir cumpliendo su función resistente. Es éste un sistema que prácticamente no altera la imagen del elemento reparado.

Se trata de reparar un elemento de madera dañado por medio de un aporte de madera y una unión encolada. El sistema consiste en eliminar la parte de madera dañada a la que se realiza un rebaje, aportando madera de las mismas características con el rebaje correspondiente y uniéndolas por medio de un encolado.

Para la realización de dichas uniones es necesario controlar una serie de parámetros como son la temperatura de la madera, la humedad de la madera, la presión de encolado, el tiempo de encolado y la precisión del encolado; necesita además del apuntalamiento de la parte de la estructura afectada por la reparación debido a que momentáneamente el elemento estructural a reparar pierde toda resistencia.

Tipos de unión encolada

La reparación por medio de encolado se

puede afrontar de varias maneras en función de la resistencia final que se necesite, de la zona en que se debe reparar el elemento, y de la accesibilidad de la maquinaria.

Unión ortogonal

Se llama unión ortogonal a aquella unión cuyos planos de encolado forman ángulos rectos. Se trata de cajas y espigas pasantes, las unas en la madera a reparar y las otras en la madera aportada, las uniones ortogonales deben siempre ser ejecutadas de manera que todos los planos que forman la unión sean verticales.

Son uniones adecuadas para los apoyos de vigas, o en zonas de momento máximo, si la resistencia necesaria no excede al 60% de la resistencia del elemento original.

Los tipos de unión ortogonal dependen del número de planos de encolado, desde dos, que corresponden a una espiga sencilla, hasta el número de espigas que permita la escuadría a reparar. A mayor número de espigas, menor longitud de unión; dicha longitud puede ser calculada teniendo en cuenta que la superficie de unión total debe ser por lo menos igual a ocho veces el producto del ancho y el canto del elemento.

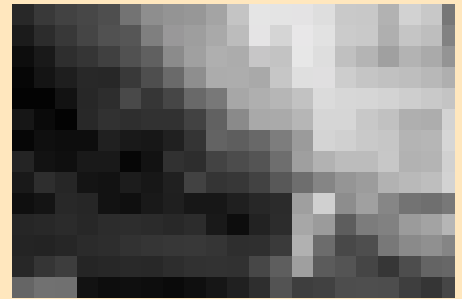
Se considera que la transmisión de los esfuerzos se produce a través de los planos longitudinales de encolado, no teniendo en cuenta la aportación de los planos transversales, ya que se trata de planos encolados a testa, que solamente trabajan correctamente en la zona de compresión de la viga.

Unión oblicua

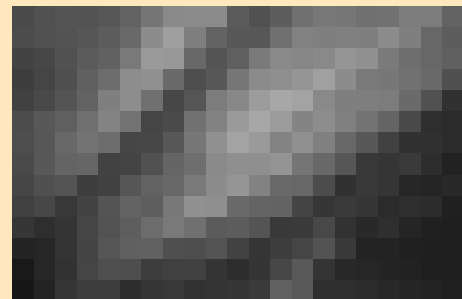
Las uniones oblicuas son aquellas cuyos planos de encolado no son paralelos a ninguna de las caras del elemento a reparar. Se pueden ejecutar de dos maneras: verticales, o inclinadas.

Son uniones adecuadas para cualquier zona de la viga de madera, debido a que son capaces de devolver el 100% de la capacidad resistente de la madera inicial independientemente de la zona en la que se ubiquen.

La unión oblicua vertical es la más eficaz de las uniones encoladas hasta el punto de que ha quedado demostrado que se puede hablar de continuidad de material. La longitud de la unión debe ser superior a seis veces el grueso de la escuadría.



Unión oblicua, dos planos de encolado



Unión oblicua vertical, dos planos de encolado. Par de cubierta reparado

Unión encolada ortogonal-oblicua

REHABILITACIÓN

Del mismo modo que en las uniones ortogonales no es lo mismo ejecutar dicha unión de manera vertical u horizontal, tampoco en las uniones oblicuas el comportamiento es el mismo si dicha unión se realiza vertical ó inclinada. Las uniones inclinadas necesitan de ayudas en la zona inferior de tracción, debido al esfuerzo de separación de planos de encolado que en ésta parte se produce, de manera que sin dichas ayudas la eficacia de la unión oblicua inclinada a rotura es del 30% de la correspondiente a la madera completa, independientemente de la longitud de la unión. Las ayudas mencionadas consisten en la colocación de clavijas cilíndricas de madera dura encoladas de manera perpendicular al plano de encolado en la zona de tracción, de manera que la eficacia de la unión aumenta en rotura hasta casi el 80%; eficacia que se consigue con una longitud de unión de cuatro veces el canto de la escuadría.

Materiales empleados

Se emplean únicamente dos materiales, la madera aportada y la cola.

Madera

La madera se aporta para completar el elemento estructural. La resistencia del elemento completo depende de dos factores: de la calidad de las dos partes de madera empleadas, la vieja y la aportada, y del tipo y calidad de la unión.

Cola

La cola que se emplea en este tipo de uniones es la de resorcina. Su empleo se justifica por la amplia experiencia que sobre esta cola existe, gracias a su mayoritario empleo en la fabricación de la madera laminada encolada.

Condiciones de ejecución de la unión

Las condiciones más determinantes para garantizar la calidad de la unión son la temperatura y la humedad de la madera.

La temperatura no deberá ser inferior a los 20°C y la humedad en la madera no deberá superar el 20%.

Si estas condiciones no se cumplen la unión no garantiza su fiabilidad. En el caso de la temperatura, ésta depende de la temperatura ambiente y por ello se puede decir que la unión debe ser ejecutada en aquellos días del año en que el tiempo lo permita. En caso de que no se cumpla dicha condición, la temperatura se puede conseguir en el plano de

encolado a través de calentadores, conectados a sondas y controladores que permiten a la madera alcanzar la temperatura adecuada durante el tiempo de encolado. Si es la humedad el parámetro que no se cumple debido a que es superior al 20% mencionado, se deben tomar medidas constructivas que permitan que dicha humedad sea reducida hasta niveles inferiores al 20% en toda la parte de madera cercana a los planos de encolado antes de comenzar a ejecutar la unión. La presión de encolado, tiempo de prensado, y tolerancias entre planos de encolado, conviene mantenerlas dentro de los siguientes valores: la presión de encolado no debe ser inferior a 0,5MPa, el tiempo de prensado no deberá ser inferior a las 4 horas y la tolerancia entre planos de encolado no será superior a 2 mm.

TIPOS DE REPARACIÓN. DISEÑO DE LA UNIÓN. EJEMPLOS.

Limitaremos la exposición a los casos relacionados con elementos flexionados. Las actuaciones las clasificaremos por criterios mecánicos en función de la ubicación de los daños, esto es: reparación en el extremo de la viga, reparación en el centro del vano, reparación en el apoyo central de una viga triapoyada y por último necesidad de aumento de resistencia de una viga con o sin rotura o reparación.

Viga biapoyada. Reparación cerca del apoyo.

Este caso suele ser habitual sobre todo en las vigas de madera cuyo apoyo en el extremo se produce por medio de un empotramiento en el muro de fábrica; esta solución está muy extendida en la arquitectura tradicional y por desgracia también en arquitectura contemporánea, y es foco de daños en la madera debido a la dificultad de ventilar la viga por la testa.

Estructuralmente ésta es la configuración más sencilla para una solución a través de uniones encoladas desde el punto de vista mecánico. En una viga biapoyada se producen momentos máximos en el centro del vano, y éstos momentos flectores se reducen hasta cero en el apoyo; por lo tanto, los valores de momentos que se producen en la zona de la reparación son cercanos a cero.

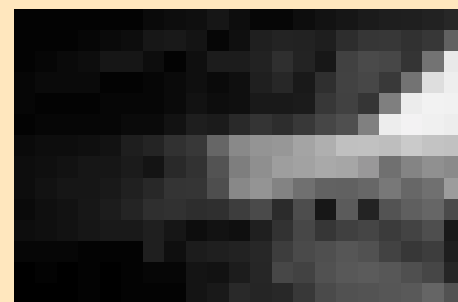
Se ha probado que la zona crítica de toda unión encolada es aquella que

está sometida a esfuerzos de tracción. Para el correcto funcionamiento de cualquier unión encolada, independientemente de las que nos afectan en este artículo, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: el plano de encolado debe trabajar a cortante, el plano de encolado puede trabajar correctamente a compresión, y por último, el plano de encolado no debe trabajar a tracción.

Las uniones adecuadas para este tipo de reparaciones desde el punto de vista mecánico son tanto las uniones ortogonales de uno, dos, tres o más planos de encolado, y las uniones oblicuas tanto inclinadas como verticales.



Reparación en el apoyo



Unión oblicua vertical. Luz 8,00 m
Preparando plano de encolado. Encolando

Las uniones ortogonales deberán cumplir que la suma de las longitudes de cada

uno de los planos de encolado sean superiores a 8 veces la dimensión de la escuadría de madera en el plano horizontal "b". La unión oblicua vertical necesita que la longitud de la unión cumpla con la relación de pendiente 1/6 y la unión oblicua inclinada necesita una longitud que cumpla con la relación 1:4, siempre que se incluyan clavijas de madera dura en zona de tracción que atraviesen el plano de encolado y soporten la componente de tracción que se produce en la parte inferior del plano. Cumpliendo las condiciones comentadas, cualquiera de las uniones mencionadas devuelve al elemento de madera en ese punto un 100% de la capacidad resistente de la escuadría de que se trate. La decisión de la idoneidad del empleo de un tipo de unión u otra no se debe a cuestiones de resistencia de la unión en este caso, sino en la posibilidad de trabajo en vertical ó en horizontal, ó la posibilidad de desmontar el elemento y trabajarlo con herramienta más precisa que la que se puede emplear en altura.

Viga biapoyada. Reparación en el centro del vano.

Los problemas que se suelen producir en el centro del vano se derivan en gran parte de los casos de las siguientes fuentes: ataques de agentes xilófagos debidos a humedades puntuales producidos por ejemplo por goteras y roturas producidas por exceso de cargas o variación de las mismas a lo largo de la vida de la estructura. En cualquier caso suponemos que el elemento estructural ha perdido prácticamente toda su capacidad resistente.

Se trata de la zona más crítica para una reparación a través del encolado debido a que en la zona central de una viga biapoyada es donde el momento flector es máximo. El momento flector producido en una viga se descompone en un esfuerzo de compresión máximo en la zona superior de la escuadría y en un esfuerzo de tracción máximo en la zona inferior del elemento. Este esfuerzo a tracción que se produce en la zona inferior es el que condiciona el diseño de la unión debido a que es el que con más dificultad se puede soportar por la unión.

En este caso se necesita una unión que permita soportar los esfuerzos de compresión y de tracción elevados que se producen en la zona; una unión que permita devolver aproximadamente el

100% de la capacidad resistente de la escuadría de madera.

El abanico de uniones eficaces para esta reparación se reducen y solamente se aconseja el empleo de dos de ellas, la unión oblicua vertical y la unión oblicua inclinada (se podrán emplear las uniones ortogonales siempre que el elemento estructural esté sobredimensionado y no se necesite más allá del 65% de la capacidad resistente del elemento; el empleo de este tipo de uniones estará condicionado al estudio de la gráfica de momentos del elemento y a su valor en la zona en que se coloque la unión).

Reparación en el centro. Esquemas



Uniones oblicuas: inclinada y vertical

Las condiciones de las uniones a emplear son similares a las mencionadas en las reparaciones cerca del apoyo; la unión oblicua vertical necesita que la longitud de la unión cumpla con la relación de pendiente 1:6 ó superior y la unión oblicua inclinada necesita una longitud

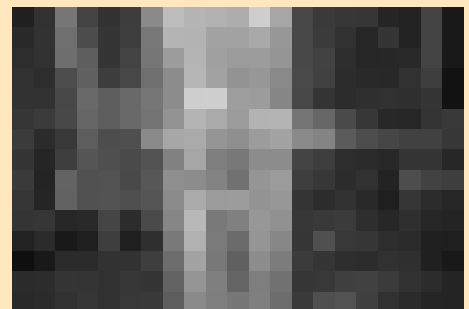
que cumpla con la relación 1:6 ó superior, siempre que se incluyan clavijas de madera dura en zona de tracción que atraviesen el plano de encolado y soporten la componente de tracción que se produce en la parte inferior del plano.

Cumpliendo las condiciones comentadas, la unión oblicua vertical devuelve al elemento de madera en ese punto un 100% de la capacidad resistente de la escuadría de que se trate y la unión oblicua inclinada necesita de una relación 1:6 para devolver el 75% de la capacidad resistente de la escuadría. En el caso de la unión oblicua vertical se puede hablar de continuidad de material.

La decisión de la idoneidad del empleo de un tipo de unión u otra, se debe a cuestiones de resistencia de la unión, ya que si se necesita llegar al 100% de la resistencia total de la escuadría, se debe emplear la unión oblicua vertical y en caso de que baste con valores cercanos al 80%, se podrá emplear además la unión oblicua inclinada. El otro factor que influye en este caso es la dificultad de ejecución de cada uno de los tipos de unión en función de las condiciones de obra.



Reparación de pilar. Catedral de Santa María. Vitoria-Gasteiz. Espiga sencilla. Madera aportada



Reparación de pilar. Catedral de Santa María. Vitoria-Gasteiz. Encolado

METODOLOGÍA DE PUESTA EN OBRA.

La puesta en obra de este tipo de reparaciones variará en función de las condiciones de la misma obra y de las condiciones ambientales, de manera que se explicará el método general, sin entrar en todas las

posibles variaciones de las condiciones de obra que se puedan producir.

El primer paso consiste en la toma de datos. Los datos que son imprescindibles para la realización de una correcta reparación, deben incluir los siguientes: datos acerca del estado exacto de la madera, de los ataques que ha sufrido, de los defectos de la propia madera, de los posibles defectos constructivos, dimensiones del elemento a reparar, distancia entre apoyos, cargas soportadas o a soportar tras la rehabilitación, altura de trabajo, accesibilidad de los operarios, accesibilidad de la herramienta, luz de trabajo, temperatura en el momento del encolado (previsión), humedad en la madera en la zona de encolado y en la zona deteriorada, necesidad de alterar alguno de los parámetros de encolado durante la ejecución del mismo, posibilidad de desmontaje, posible forma de trabajo, posibilidades de apeo de la estructura durante la operación (1 día mínimo) y todos aquellos detalles constructivos o de ambiente o trabajo que pudieran resultar de interés para la realización de la reparación.

Con los datos tomados se deberán realizar los cálculos necesarios y la toma de decisiones adecuada para el posterior diseño de la unión en función de criterios estructurales, de ejecución o de los que se estimen oportunos en función de las particularidades de la obra. Con el diseño de la reparación realizado, se procederá a la ejecución de dicha reparación.

Los pasos para dicha realización serán los que siguen:

Apeo. Se debe apear la estructura en todos los casos excepto en el de aumento de la capacidad resistente de la viga. El apeo se debe producir antes de trabajar sobre la viga y hasta después de soltar la presión de encolado.

Realización de la unión. Se desmonta el elemento a reparar y se realizan los trabajos necesarios para obtener la unión en el elemento dañado in situ. Se realiza el negativo de dicha unión en el elemento a aportar.

Preparación y aplicación de la cola. Se prepara la mezcla de cola, en cantidad necesaria y con la dosificación indicada por el fabricante de colas. La aplicación de la cola se realiza por medio de algún elemento que permita su aplicación homogénea.

Ajuste de los elementos. El ajuste de los elementos realizará a pie de obra, si el elemento y su colocación lo permiten. En caso contrario, se realizará el ajuste una vez colocado el elemento a reparar en su lugar definitivo y después de haber presentado las dos partes de la unión para asegurarse de que la ejecución es correcta.

Aplicación de la presión. Una vez ajustada la presión, colocando las chapas aplicadoras de presión, ajustando los sargentos, y aplicando la presión por medio del sistema elegido.

Aplicación de calor. En los casos en que sea necesario para la fiabilidad de la unión, debido a bajas temperaturas en el local, se aplicará calor por medio de resistencias fijas a las chapas de aplicación de presión; se colocará una sonda para controlar la temperatura en el interior de la madera y de este modo garantizar un correcto encolado. Posteriormente el conjunto se aislará para evitar pérdidas de calor.

Eliminación de calor y presión. Una vez transcurrido el tiempo de prensado, se retiran el aislante, la sonda, las resistencias y los sargentos.

Eliminación de los apeos. Por fin se eliminan los apeos. Estos apeos, se eliminarán preferentemente dos días

después de realizar el encolado.

BIBLIOGRAFIA

- AITIM: **Estructuras de madera. Diseño y cálculo.** 1996
- Argüelles R. - Arriaga F.: **Curso de construcción en madera.** C.O.A.M. Madrid. 1988.
- Arriaga MARTITEGUI F.: **Consolidación de estructuras de madera mediante refuerzos embebidos en formulaciones Epoxy.** Tesis Doctoral. 1986
- Aspiazu I. Arregui J.: **Horreo de agarre.** Departamento de cultura. Diputación foral de Guipúzcoa. 1988
- CTBA: **Le collage du bois**
DIN 1052 Teil 1: **Holtzbauwerke; Berechnung und Ausführung**
DIN 1052 Teil 2: **Holtzbauwerke; Mechanische Verbindungen**
DIN 4074 Teil 1: **Bauholz für Holzbauteile; Gütebedingungen für Bauschnittholz. (Nadelholz)**
- Eurocódigo N° 5: **Estructuras de madera.** 1996
- Gauzin-Müller D.: **Le bois dans la construction.** **Moniteur** 1990
- Grauber W.: **Ensamblés de madera.** CEAC. **Barcelona** 1991
- Informationsdienst Holz: **Zimmermannsmässige Holzverbindungen**
- LANDA m.: **Comportamiento de las uniones encoladas para la reparación de elementos estructurales de madera que trabajan a flexión.** Tesis Doctoral 1997
- Natterer J. - Götz K. H. - Hoor D. - Möhler K.: **Holzba Atlas.** Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München 1980
- Natterer J. - Herzog T. - Volz M.: **Holzba Atlas Zwei.** Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München 1991
- Sistema beta: **Manual técnico del sistema Beta.** **Protección de maderas S.A.**
- TRADA: **Repair of Structural Timbers. Part 1. Tests on experimental beam repair.** 1993
- UNE EN 338: **Madera estructural. Clases resistentes.** 1995
- UNE EN 384: **Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.** 1996
- UNE EN 408: **Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.** 1995