

# Capítulo 5

# Tratamientos de protección

## 5.1 Introducción

Cuando se ha detectado el ataque de organismos xilófagos en las piezas de madera, es preciso recurrir a un tratamiento con carácter curativo que generalmente consiste en introducir productos químicos en la madera con el objetivo de eliminar la presencia de los agentes degradadores e impedir a su vez que puedan volver a atacar las piezas de madera.

En las zonas del edificio donde no se ha detectado la presencia de organismos xilófagos generalmente se recomienda la aplicación de un tratamiento preventivo para evitar el riesgo de infestación.

Las empresas de tratamientos curativos de la madera, a igual que las dedicadas al tratamiento de plagas en general, deben estar registradas como empresas de aplicación de plaguicidas. Su personal de aplicación debe tener el carnet de aplicados de plaguicidas a nivel básico y al menos un técnico de la empresa deberá tener el carnet a nivel cualificado.

En la actualidad no existe una regulación específica para el tratamiento curativo de la madera, pero la Asociación Nacional de Empresas de Control de Plagas (ANECPLA) junto con el Centro de Investigaciones Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (CIFOR-INIA) organizan cursos de formación específicos de este campo para la obtención de diplomas de capacitación; se pretende que esta capacitación sea reconocida por la administración.

En este capítulo se describen los métodos de tratamiento que se pueden emplear en función del tipo de ataque: hongos de pudrición, insectos de ciclo larvario e insectos sociales.

## 5.2 Metodología del tratamiento contra hongos xilófagos

Los hongos de pudrición de la madera únicamente se desarrollan cuando el contenido de humedad de la misma alcanza un valor superior al 20%. Por este motivo, la simple eliminación de las fuentes de humedad detiene el ataque de los hongos de pudrición. Es decir, las medidas de carácter constructivo son suficientes para resolver el problema. Las medidas de eliminación de las humedades deben ser lo más definitivas que sea posible, ya que en el momento en el que se vuelvan a alcanzar los niveles de humedad adecuados el ataque de los hongos se reactivará.

En el interior de los edificios correctamente diseñados y en los que se realizan periódicamente trabajos de mantenimiento es prácticamente imposible que el contenido de humedad de la madera supere el 20%. Si el contenido de humedad de la madera supera ese valor en períodos de tiempo relativamente largos (superiores a 1 o 2 meses) significa que existen fallos en el funcionamiento y que se han descuidado las tareas de mantenimiento.

### 5.2.1 Tratamiento curativo

Como se ha comentado anteriormente la eliminación de las humedades que han permitido el desarrollo de los hongos de pudrición, es suficiente para detener el ataque y puede considerarse como un tratamiento curativo. En general, es suficiente con esta medida de tipo constructivo.

Una vez eliminadas las fuentes de humedad la obra gruesa y la madera inician un proceso de secado que en general es lento. Si este proceso es muy lento pueden originarse daños en la madera. Las consecuencias dependen de la durabilidad natural de la madera; por ejemplo una

zona de duramen de madera de roble puede permanecer húmeda durante años sin daños de pudrición significativos, pero la mayoría de las maderas de coníferas sufren deterioros al cabo de tan sólo meses. Para acelerar el secado pueden provocarse corrientes de ventilación en los locales, introducir la calefacción o emplear deshumidificadores.

En la literatura técnica se suelen citar algunas actuaciones añadidas que se encaminan a la limpieza de las zonas atacadas y al tratamiento de la madera, principalmente cuando no es posible asegurar el mantenimiento del estado seco de la obra. Este tratamiento consta de las siguientes operaciones:

- Preparación de las superficies
- Tratamiento del suelo, muros y tabiques
- Tratamiento de la madera

Para el tratamiento de la madera se emplean productos químicos de tipo orgánico aplicados por inyección y por pulverización y para el tratamiento de los muros, productos hidrodispersables.

### **a) Preparación de las superficies**

Esta operación consiste en eliminar los materiales que puedan impedir la aplicación del producto protector (levantado de pavimentos del suelo, eliminación de yesos u otros revestimientos de las paredes).

### **b) Tratamiento de suelos, muros y tabiques**

El tratamiento se realizará en los casos en los que se hayan detectado desarrollos miceliares o cuerpos de fructificación en las superficies de estos elementos, aunque todavía no existan pudriciones en las piezas de madera y en aquellos muros con una humedad todavía elevada. Con este proceder se pretende evitar que aparezcan cuerpos de fructificación del hongo durante la fase de secado, que es cuando tienden a aparecer. En primer lugar se recomienda proceder a quemar con soplete los desarrollos miceliares que existan en las paredes.

Posteriormente se procederá a realizar un tratamiento en profundidad mediante la inyección del producto. La aplicación se realizará siguiendo una cuadrícula de 50 cm de lado que abarcará todas las superficies en las que se hayan observado desarrollos miceliares o cuerpos de fructificación y con una profundidad mínima igual a  $2/3$  del espesor del muro, figura 5.1

Los tratamientos superficiales por pulverización de producto se utilizarán solamente como medida complementaria con el fin de eliminar las esporas depositadas en las zonas próximas, ya que su eficacia es mínima.

Como se citó anteriormente, los productos de tratamiento más adecuados a este empleo son los de tipo hidrodispersables. Son menos deslavables que los hidrosolubles en suelos y muros y no contiene los disolventes de los productos orgánicos.

### **c) Tratamiento de las piezas de madera**

- *Eliminación de la zona dañada:* se eliminarán todas las zonas degradadas tanto superficiales como interiores de las piezas de madera, dejando al descubierto la madera todavía sana. Esta operación tiene también la utilidad de permitir conocer la sección residual que ha quedado sana, con el fin de tomar medidas de carácter estructural si son necesarias o proceder a la sustitución de las piezas.

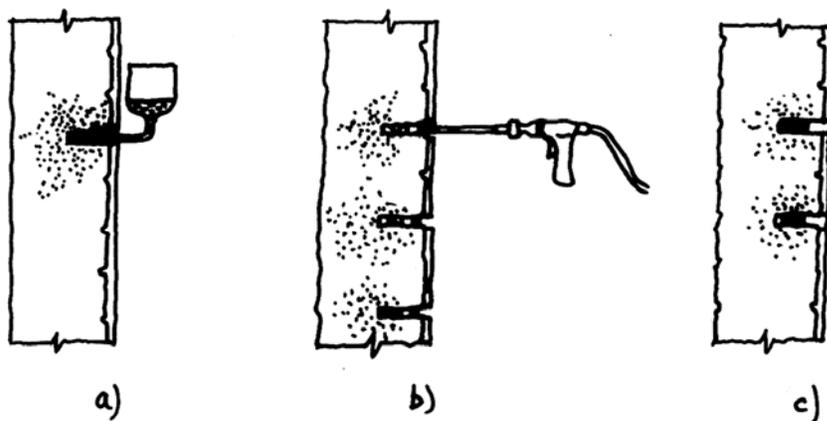


Figura 5.1 Tratamiento de muros con fungicidas: a) Impregnación sin presión, b) impregnación con presión y c) Impregnación con implantes.

- *Tratamiento en profundidad:* se realizará mediante la colocación de implantes o la inyección de un protector fungicida a través de taladros. En las piezas de madera de gran escuadría (cantos o anchos superiores a 200 mm o con perímetros superiores a 400 mm) se realizarán 3 taladros por metro lineal, con una profundidad de  $2/3$  del espesor de la pieza. Este tratamiento se aplicará en todas las piezas de madera que estén en contacto con los muros o con posibles fuentes de humedad y fundamentalmente en las zonas de empotramiento, extendiéndose un metro desde la zona que limita con la madera sana. El producto que se utiliza es de tipo orgánico por su mayor capacidad de penetración en la madera.

En casos especiales con elevados contenidos de humedad se pueden aplicar pastas de productos fungicidas. Los tratamientos superficiales mediante la pulverización sólo se utilizarán como medidas complementarias ya que su eficacia es mínima y su objetivo es eliminar las posibles esporas de los hongos situadas en zonas próximas.

## 5.2.2 Tratamiento con productos en forma de pastas

Se trata de tratamientos que se aplican mediante forros o vendajes impregnados de una pasta con propiedades fungicidas cuya aplicación más característica es la protección de la parte enterrada de los postes. Es decir, tienen un carácter preventivo más que curativo; sin embargo, puede pensarse en su aplicación como tratamiento curativo en partes de las piezas que quedan empotradas en la obra. Utilizan productos sólidos concentrados (emulsión gelatinosa con un alto contenido de solvente orgánico) que contienen los mismos principios activos que los protectores en disolvente orgánico. Su característica principal es que se adhieren a la superficie de la madera y suministran más cantidad de principios activos que los productos líquidos, frente a estos últimos presentan la ventaja de una evaporación más lenta. En la actualidad no se emplean en España aunque fueron utilizados en el tratamiento de postes con carácter recordatorio.

## 5.2.3 Tratamiento con implantes

El tratamiento con implantes se aplica generalmente en situaciones donde el elemento de madera se encuentra en una exposición continuada a la humedad. El producto químico se presenta en cartuchos que se introducen en el interior de la madera dentro de orificios taladrados al efecto. Su aplicación más característica es el tratamiento de la carpintería de ventanas

introduciendo los cartuchos en orificios taladrados en las esquinas de los cercos o de las hojas, figura 5.2a y b y en piezas de madera laminada encolada situada al exterior, figura 5.2c.

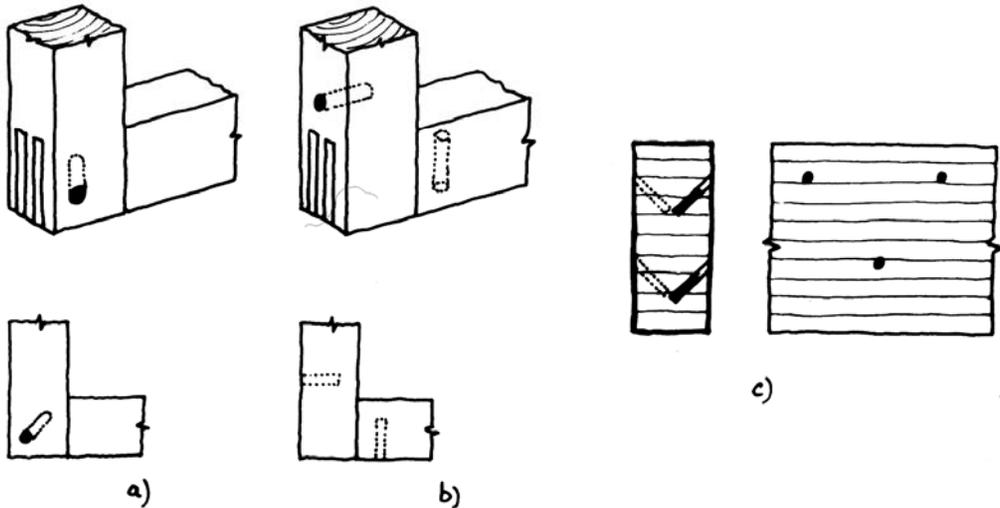


Figura 5.2 Tratamiento con implantes: a) Disposición de implantes en la zona de ensamble de una carpintería como tratamiento curativo, b) Disposición de implantes en el ensamble de una carpintería como tratamiento preventivo y c) Disposición de implantes en una pieza de madera laminada encolada como tratamiento curativo.

Utilizan productos sólidos concentrados que incorporan sales de boro, denominados implantes borácicos (Dirol, D., 1996, 1997). El empleo de estos implantes con carácter preventivo y curativo es práctica frecuente en Francia, Reino Unido, Holanda y los países nórdicos. Los principios activos penetran en la madera por difusión cuando esta aumenta su contenido de humedad y evita que se desarrolle el ataque de hongos xilófagos. Cuando la madera se humedece se facilita su difusión. En Francia han sido utilizados para el tratamiento curativo de piezas de madera laminada encolada situadas al exterior. En España no son utilizados actualmente.

Una de sus ventajas es que son poco tóxicas para el ambiente, ya que su deslavado es muy limitado y la difusión tiene lugar sólo en el interior de la madera (con contenidos de humedad superiores al 25 %).

Para su instalación se eliminan en primer lugar las zonas con pudrición y se definen las zonas a tratar no degradadas o con alto riesgo de humectación. El número de implantes se calcula para conseguir una dosis curativa de 5 a 6 kilogramos de ácido bórico por metro cúbico de madera. En las zonas de riesgo extremo se empleará una dosis más elevada. En las zonas limpiadas de pudrición se realizará una impregnación con un producto líquido de protección a base de boro o con implantes de pequeño diámetro. En el tratamiento de piezas de madera laminada se recomienda que los taladros se realicen a 45 ° y se coloquen al tresbolillo por ambas caras de la pieza. La oblicuidad de los implantes permite que su difusión se realice a través de varias láminas.

## 5.3 Metodología del tratamiento contra los insectos de ciclo larvario

### 5.3.1 Tratamiento con productos líquidos

Antes de realizar el tratamiento curativo se deberán haber delimitado las zonas afectadas, procurando diferenciar entre ataque activo y ataque no activo, ya que en las zonas no activas es suficiente un tratamiento preventivo. La secuencia de operaciones a realizar es la siguiente:

- Acceso y limpieza de la zona
- Desbastado
- Tratamiento curativo: en profundidad y superficial
- Tratamiento preventivo

En el tratamiento de la madera se emplean productos químicos de tipo orgánico aplicados mediante pulverización e inyección.

#### a) Acceso y limpieza de la zona

Esta operación consiste en eliminar los materiales que recubren las piezas de madera que puedan impedir la aplicación del producto protector.

#### b) Desbastado

El desbastado consiste en eliminar la zona de madera degradada, dejando al descubierto la madera todavía sana. Sus objetivos son los siguientes:

- Comprobar la pérdida de sección sufrida por las piezas de madera como consecuencia del ataque y determinar los elementos que necesitan refuerzo o sustitución,
- Facilitar la penetración del protector en las zonas a proteger.

En algunas ocasiones, no es posible la operación de desbastado por el valor de la pieza o por la existencia de pinturas en la superficie. En estos casos, el tratamiento se puede realizar con inyecciones y con un consumo de producto muy superior debido a que la zona dañada absorberá parte del producto.

#### c) Tratamiento curativo en profundidad

El tratamiento en profundidad se aplicará a todas las piezas de madera atacadas y a las de su entorno que pueden estar atacadas aunque el ataque no se haya detectado, cuya sección esté dentro de los márgenes que se definen a continuación:

- Piezas de madera escuadradas atacadas con un grueso superior a 50 mm y con un perímetro superior a 340 mm.
- Rollizos atacados con un diámetro superior a 100 mm.

El tratamiento consiste en la inyección del producto protector en el interior de la madera, procurando que se introduzca en la zona correspondiente a la madera de albura. La inyección se realiza a través de taladros que se practican al trespelillo en la cara de la pieza (superficie correspondiente a la mayor dimensión de la sección transversal; en vigas la cara vertical), o alineados sobre el canto de la pieza (superficie correspondiente a la menor dimensión de la

sección transversal de la sección, en vigas la cara superior), figura 5.3, con las condiciones siguientes:

- El número de taladros será igual o superior a 3 taladros por metro lineal, en cada línea.
- La profundidad de los taladros será de  $2/3$  del espesor de la pieza.
- Los diámetros de las válvulas de inyección recomendados, en función de las dimensiones de las piezas, se exponen en la tabla 5.1.

Diámetro de la válvula en mm	Profundidad del taladro	Grueso de la pieza en mm.	Escuadría de la pieza en mm
6	$2/3$ del grueso	50 - 200	100 x 100
9	"	> 200	> 100 x 100

Tabla 5.1. Diámetro de las válvulas en función del grueso o de la escuadría de la pieza.

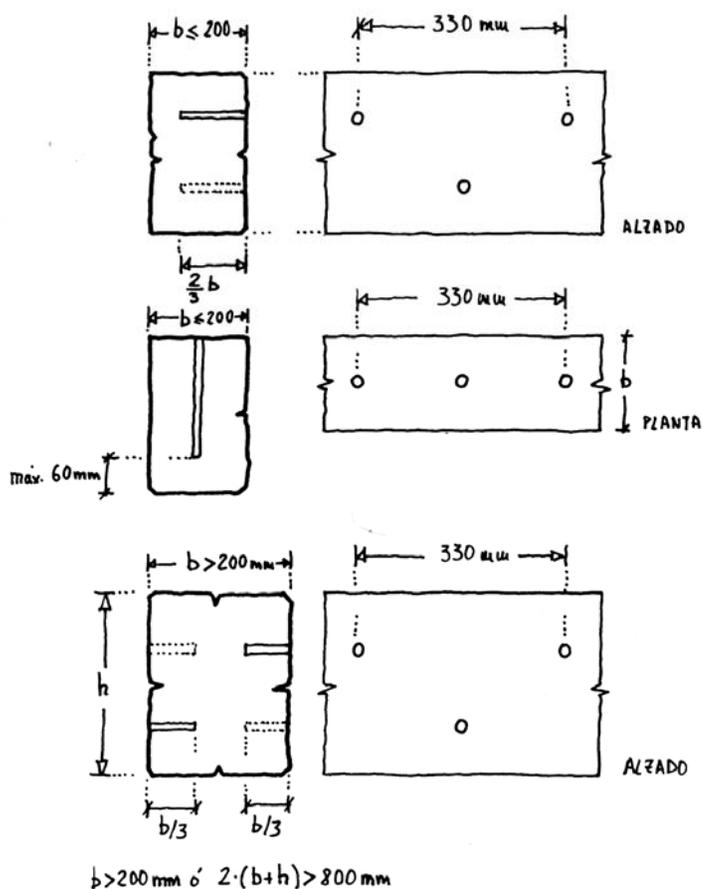


Figura 5.3 Tratamiento en profundidad contra insectos de ciclo larvario mediante inyecciones.

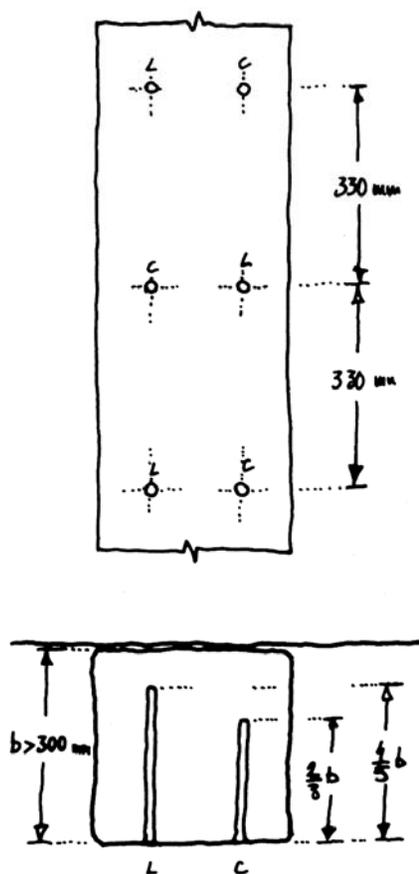


Figura 5.4 Inyección en piezas con grueso superior a 300 mm y una cara no accesible.

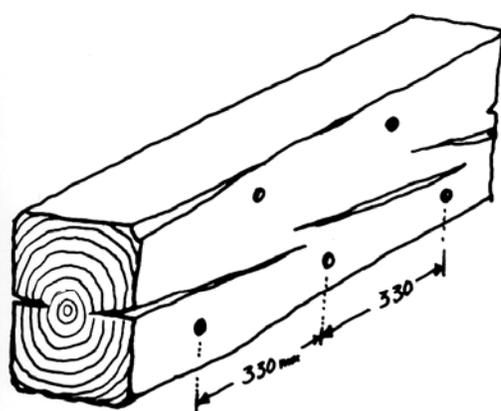


Figura 5.5 Tratamiento por inyección en piezas con fendas muy profundas.

En el caso de piezas de gran escuadría (gruesos superiores a 200 mm y perímetros superiores a 800 mm) y siempre que lo permita la pieza, las inyecciones se realizarán al tresbolillo y sobre las dos caras de la pieza.

En el caso de piezas de grueso superior a 300 mm que sólo tengan una de las caras accesibles, los taladros se dispondrán en dos líneas; en cada línea se alternarán taladros cortos (con una profundidad igual a  $2/3$  del espesor) con taladros largos (con una profundidad igual a  $4/5$  del espesor). El taladro corto o largo de una línea debe quedar alterno con un taladro largo y un taladro corto de la otra línea. Al igual que en el caso general el número de taladros dentro de cada línea será igual o superior a 3 taladros por metro lineal, figura 5.4.

Si existen fendas profundas en las piezas deberán realizarse inyecciones en cada lado de la fenda, figura 5.5, para evitar que una parte de la sección quede sin impregnar.

El procedimiento de inyección debe ser tal que garantice que la dosis de líquido protector aplicado en la madera tratada se corresponda con la dosis definida en los ensayos de umbral de eficacia para los distintos agentes degradadores, teniendo en cuenta la permeabilidad de la madera definida en la norma UNE EN 350. Normalmente, la cantidad mínima de producto introducida por cada metro lineal es de 60 g (unos 20 g por agujero).

#### d) Tratamiento curativo superficial

El tratamiento se realizará por pincelado o pulverización a presión controlada no admitiéndose medios aerográficos. Este tratamiento es obligatorio y se realizará sobre todas las piezas atacadas después de haber realizado el tratamiento en profundidad.

Se efectuará en dos manos de tal forma que la dosis de líquido protector aplicado en la superficie de la madera sea del orden de 250 a 300 gramos por metro cuadrado de superficie desarrollada de la pieza. Se aplicará sobre todas las superficies laterales que deberán estar limpias y libres de cualquier tipo de acabado (pintura, barniz, aceite, etc.) que impida o dificulte la penetración del protector.

Este tratamiento superficial se realiza por las dos caras de la pieza cuando su grueso es superior a 15 o 20 mm; en piezas de grueso inferior (entablados, parquet, tarimas, etc.) es suficiente con aplicar el tratamiento por una cara.

### **e) Tratamiento de piezas de madera policromada**

El tratamiento de las piezas de madera policromada requiere un estudio previo de la compatibilidad del producto químico del tratamiento (principalmente del disolvente empleado) y el tipo de pintura o policromía, así como de las posibles capas de imprimación. También es importante conocer la composición de los pigmentos que componen la policromía antes de su aplicación. Las técnicas más frecuentes de policromía en madera son las siguientes: óleo (al aceite), temple graso (al huevo), temple a la cola (o temple magro, algunas veces realizado únicamente con la clara del huevo) y técnica mixta, que mezcla las grasas, resinas y colas o gomas.

Los productos de tipo orgánico (con disolventes derivados del petróleo) introducidos en el interior de la madera, perjudican las pinturas al temple que pueden sufrir daños irreversibles. No son tan dañinas para las pinturas al óleo, pero en todo caso depende del tipo de capa base que tengan entre la madera y la propia pintura. En algún caso pueden dejar manchas. La aplicación de los productos orgánicos desde el exterior, por ejemplo mediante una pulverización, dejan un residuo seco en la superficie de la policromía que aporta un brillo engañoso.

El tratamiento se realiza por inyección a baja presión a través de los orificios de salida o las faltas de policromía o mejor aún, si es accesible por la cara no policromada de la pieza. En todo caso las inyecciones son más abundantes pero con menor cantidad por taladro. Generalmente, el producto se introduce sin emplear boquillas antiretorno para evitar dejar vistas estas piezas de plástico

Si no es posible utilizar productos líquidos se puede recurrir a los tratamientos con gases tóxicos, o preferiblemente con gases inertes, o por choque térmico (congelación); tienen carácter curativo, pero no preventivo. La utilización de los gases tóxicos, además de los riesgos que presenta para las personas, los componentes utilizados alteran la composición química de algunos pigmentos utilizados en las pinturas (principalmente los que emplean el cobre, para colores azules y verdes). Actualmente se desaconseja el tratamiento de piezas policromadas con gases tóxicos.

Como gas inerte, el nitrógeno (también el argón y el neón) ha sido empleado en el tratamiento de la madera en locales de dimensiones reducidas o para el tratamiento de tallas de esculturas. La cámara queda sellada y se mantiene durante un periodo de 20 días a 2 meses en un ambiente de nitrógeno, desplazando el oxígeno. Es un proceso muy lento que requiere un control diario de las condiciones interiores, pero no tiene problemas de toxicidad ni para la policromía.

En la bibliografía se recogen algunas obras de interés para este aspecto (Dauchot, 1975, Torracca, 1985, Kühun, 1970, Maltese, 19?? Y Gómez, 1998)

### **f) Tratamiento preventivo**

Los tratamientos preventivos se realizan sobre las piezas de madera nueva que se incorporen a la obra y sobre las piezas de madera vieja que ya están instaladas y que no presentan signos de ataques, con las siguientes condiciones:

- Las piezas nuevas que se añadan incorporarán una protección igual o superior a la protección requerida por las piezas a las que sustituyen.
- Las piezas viejas se protegerán superficialmente.

Antes de aplicar el producto sobre las superficies de las piezas viejas se eliminarán los materiales que las recubren y que puedan impedir la aplicación del producto protector. Los tratamientos preventivos se realizarán con los procedimientos y con el material utilizado para los tratamientos curativos.

La dosis de líquido protector aplicado en la superficie de la madera está normalmente comprendida entre 250 y 300 gramos por metro cuadrado.

Este tratamiento tendrá un carácter curativo para piezas con espesores inferiores a 20 mm.

### Caso particular del tratamiento de piezas de madera laminada encolada

No es frecuente encontrar ataques de insectos en piezas de madera laminada encolada, pero en principio tienen un mismo riesgo. Generalmente, las soluciones constructivas utilizadas están diseñadas para evitar los problemas derivados de la acumulación de humedad, pero los agentes bióticos que actúan en la madera seca presentan el mismo nivel de riesgo.

El tratamiento de las piezas de madera laminada sigue el mismo método descrito anteriormente con unas ligeras matizaciones debidas a la existencia de los planos de encolado que impiden la libre difusión del producto desde una lámina a otra. Por este motivo, los taladros se realizarán buscando interceptar el número mayor de láminas posible.

El tratamiento en profundidad se realizará mediante taladros (3 por metro lineal) practicados sobre las caras de la pieza al trespelillo o desde la cara superior de la pieza, figura 5.6. Si el grueso de la pieza es inferior a 80 mm es preferible taladrar desde las caras para no provocar una disminución de la sección importante. La cantidad mínima de producto en cada orificio será de 20 gramos en secciones pequeñas como correas; en piezas principales se aumentará la dosis proporcionalmente a su volumen.

Finalmente se aplicará un tratamiento superficial análogo al descrito anteriormente.

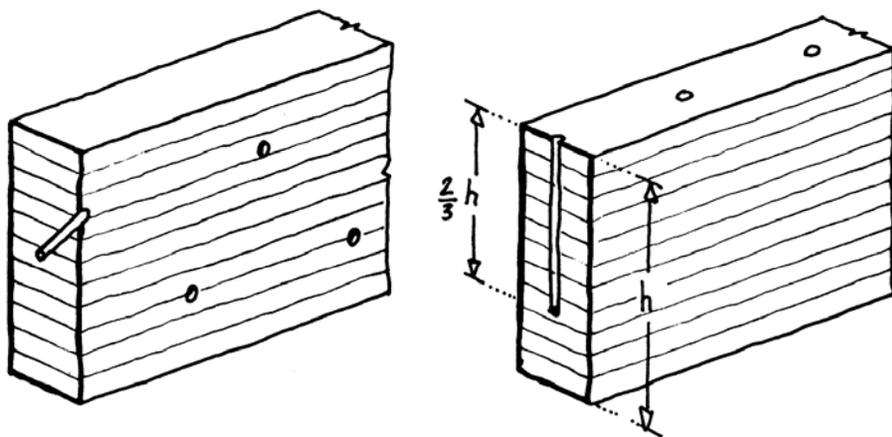


Figura 5.6 Tratamiento por inyección de piezas de madera laminada encolada.

### 5.3.2 Tratamiento con productos gaseosos (fumigación)

Son métodos de tratamiento eficaces contra la eliminación de insectos xilófagos de ciclo larvario y se utilizan cuando se puede aislar fácilmente la pieza de madera en la atmósfera del gas; por ejemplo en esculturas, muebles y otras obras pequeñas en madera en los que no es admisible un deterioro estético provocado por el desbastado. Se han empleado en el tratamiento de edificios completos, pero exige un nivel muy alto de seguridad en el sellado del conjunto para evitar fugas, así como una salida de los gases controlada después del tratamiento.

El elevado riesgo de toxicidad limita su aplicación a casos muy determinados y debe ser aplicado por personal especializado y con una autorización de carácter oficial. En España los tratamientos con gases son realizados por empresas con cierto grado de especialización y requieren una autorización especial de Protección Civil. Su empleo es muy limitado en edificación; se emplean también en el tratamiento de cargas de madera en los puertos y el tratamiento de las bodegas de los barcos. En Francia las empresas necesitan estar autorizadas por el Ministerio de Agricultura y está prohibido su aplicación en edificios de uso residencial, salvo autorización especial. En el Reino Unido, los requisitos de sellado y los riesgos de toxicidad hacen que en la práctica no se emplee en el tratamiento de edificios sino solamente en obras de arte y muebles.

Los tratamientos de fumigación consisten en mantener en una atmósfera hermética el edificio o la pieza de madera a tratar, en la que se ha introducido un gas tóxico. Normalmente se utilizan gases de bromuro de metilo, ácido cianhídrico, fosfuro de hidrógeno (fosfamina), óxido de etileno, gas carbónico, etc.

El bromuro de metilo se ha empleado en el tratamiento de plagas de agricultura y en alguna ocasión en el tratamiento de la madera en edificios. Para determinar la duración del tratamiento es necesario conocer la especie a tratar y su aptitud para permitir la entrada y, posteriormente, la salida del gas. El bromuro de metilo es más pesado que el aire y por tanto se necesitan ventiladores en el interior para que remuevan el gas y no se deposite en la parte inferior. Su duración es del orden de 48 horas. Tiene una elevada peligrosidad pero no afecta a la policromía.

La fosfamina, sin embargo, sí deteriora los dorados de las pinturas. El óxido de etileno, se ha empleado en la desinfección de material quirúrgico, y tiene peligro de explosión.

Los insectos mueren cuando entran en contacto directo con el gas que penetra en el interior de la madera, pero no evita que la madera se pueda reinfestar posteriormente; es decir, tiene carácter curativo pero no preventivo.

### 5.3.3 Tratamiento con productos en forma de humos

Este tipo de tratamiento se suele utilizar en aquellas situaciones en las que es muy difícil acceder a los elementos de madera, normalmente por encontrarse en huecos o espacios angostos en los que no es posible la entrada de personal técnico para la aplicación tradicional.

Se utilizan botes pirotécnicos que producen nubes de partículas (micropulverización) del producto insecticida en forma de humo. El humo se van depositando y deja una fina película del producto insecticida sobre la madera que elimina a los insectos que entran en contacto con ella, pero que no elimina a las larvas que se encuentran en el interior de la madera. Por este motivo,

se requiere repetir cada año el tratamiento hasta transcurrir la duración del ciclo de vida, para alcanzar la seguridad de haber eliminado la plaga. Otro de los inconvenientes es que hay que limpiar las superficies de las zonas que el humo afecta pero no son de madera, para evitar riesgo de toxicidad.

Es un tratamiento más barato que el de la aplicación de productos líquidos y puede resultar adecuado en maderas que son muy poco permeables a la penetración de los productos líquidos. Tienen menor poder de penetración que los gases pero dejan una protección superficial. En España ha sido utilizado por alguna empresa de tratamiento.

Los tratamientos por nebulización y termonebulización son del mismo tipo que los denominados de humos y se utilizan para el tratamiento contra plagas domésticas (ácaros, pulgas, cucarachas, mosquitos, etc.) y en algún caso para el tratamiento contra las carcomas. Sólo son eficaces sobre los individuos adultos por lo que deben aplicarse en la época de emergencia ya que no tienen poder de penetración y no afectarían a las larvas; el tratamiento debería repetirse durante el tiempo de duración del ciclo vital del insecto.

### 5.3.4 Tratamiento por esterilización con calor

Las larvas de los insectos mueren a temperaturas superiores a los 55 o 60°C mantenidas durante un periodo de 30 a 60 minutos. Este tratamiento es frecuente en la esterilización de partidas de madera en el secadero; por ejemplo en el Reino Unido se ha empleado para el saneamiento de partidas de madera de frondosas atacadas por líctidos durante el almacenamiento. En algunos países europeos, como Alemania, se ha empleado para el tratamiento de la madera del espacio bajo la cubierta. El tratamiento consiste en calentar el aire por medio de calefactores móviles y mantener en el interior de la madera temperaturas de 80°C, que se controlan a través de sondas. En España no se emplea.

En la tabla 5.2 siguiente se exponen como datos orientativos la duración del tratamiento para conseguir en el interior de la madera una temperatura de 70°C en función del espesor de la madera.

Espesor de la madera en mm	Duración del tratamiento en horas
inferior a 50	6
50 < e < 75	8
76 < e < 100	10
100 < e < 150	14
150 < e < 300	24

Tabla 5.2. Duración del tratamiento por calor en función del grueso de la pieza. (CTBA- Département Biotec, 1996).

Desde 1995 se ha comenzado a utilizar un procedimiento alternativo de calentamiento mediante radio frecuencia. La madera se somete a un campo eléctrico alterno de alta frecuencia. El efecto del calentamiento destruye a los parásitos. El proceso es rápido, pero requiere medidas de seguridad especiales y sólo es aplicable en desparasitaciones puntuales, es decir en piezas de tamaño reducido.

### **5.3.5 Tratamiento por esterilización con frío**

Este procedimiento se denomina de choque térmico y se aplica en piezas que pueden ser trasladables con facilidad (muebles, libros, textiles y obras de arte). Las piezas se introducen en una cámara donde se hace bajar la temperatura gradualmente en un proceso que puede durar varios días. Después de alcanzar la temperatura adecuada para la eliminación de los insectos, se mantienen durante aproximadamente doce horas.

Finalmente, se vuelve a la temperatura ambiente de manera gradual y se aplica un tratamiento preventivo por impregnación. El tratamiento de frío no daña la pieza, los barnices ni las pinturas.

## 5.4 Metodología del tratamiento contra insectos xilófagos sociales

Como se ha tratado anteriormente, las termitas precisan un contenido de humedad elevado en la madera para poder desarrollarse. Por esta razón debe recordarse la importancia que tienen las medidas de carácter constructivo en la erradicación de estos ataques.

En este apartado se describen los métodos de tratamiento para las termitas subterráneas; el tratamiento químico, que podríamos denominar tradicional, y otros de más reciente aparición que se basan en el aprovechamiento del conocimiento de la biología de las termitas (productos químicos no repelentes, sistema de cebos y lucha biológica).

Mientras que el tratamiento químico tradicional se basa en la aplicación de productos tóxicos para las termitas con la estrategia de conseguir que la colonia abandone el edificio al detectar una situación adversa para su biología, actualmente se han desarrollado otras técnicas que emplean productos químicos con efectos diferentes.

Estos métodos tradicionales de lucha contra las termitas utilizan potentes insecticidas que necesitan ser inyectados en las paredes, en los suelos o en la propia madera y suelen requerir realizar obras en el interior y el exterior de los edificios. No eliminan la colonia de termitas sólo consiguen aislar el elemento o el edificio protegido, por lo que las termitas se dirigirán a otros lugares no protegidos. Como técnicas alternativas se encuentran las citadas anteriormente que se detallan al final de este capítulo.

El tratamiento de la termita de madera seca (*Cryptotermes brevis*) y de la *Kaloterms flavicollis* es el mismo que el utilizado para los cerambícidos.

### 5.4.1 Tratamiento químico tradicional

Las recomendaciones que se recogen a continuación son aplicables exclusivamente para el tratamiento contra las termitas subterráneas con plaguicidas líquidos. Además del tratamiento químico, la protección de un inmueble contra las termitas incluye las medidas de tipo constructivo, comentadas en el capítulo anterior relacionadas con el estado de las instalaciones y soluciones constructivas así como la limpieza del entorno.

Debido a la forma del ataque de las termitas, la planificación del tratamiento curativo deberá tener en cuenta si existen ataques en los elementos comunes con otros edificios anejos y el nivel en que se producen dichos ataques. Con este tipo de tratamiento lo que se consigue es aislar el edificio de las termitas, pero no eliminarlas; por tanto, continuarán su actividad en los edificios vecinos no protegidos y en condiciones adecuadas para su forma de vida.

#### a) Tratamiento curativo

El tratamiento químico contra las termitas incluye una serie de medidas que se complementan entre sí. De modo general el tratamiento completo incluye las actuaciones siguientes:

*Barreras en el suelo:* con el fin de impedir el acceso de las termitas al edificio se debe realizar un tratamiento del suelo (barreras antitermitas en el suelo).

*Barreras en los muros:* para dificultar el acceso de las termitas a la madera en caso de haber superado la barrera del suelo.

*Tratamiento de la madera:* deberán tratarse las piezas de madera para que en caso de que las termitas encuentren un camino libre no puedan sobrevivir en la madera.

La complejidad del tratamiento revela la dificultad que presenta su erradicación. El tratamiento se realizará desde las plantas superiores hacia el terreno, con el fin de conseguir la huida de las termitas hacia el suelo; en caso contrario podrían quedar aisladas poblaciones de insectos en el interior del edificio.

Para el tratamiento de la madera se emplean productos de tipo orgánico, por su mayor poder de penetración, y para el tratamiento de los muros y suelos productos hidrodispersables. Estos últimos no son solubles en agua y por tanto son menos deslavables que los hidrosolubles (que se fijan con facilidad a la madera pero no tanto en el suelo o en el muro cuando existe humedad).

La dosificación de los productos que se utilicen para el tratamiento será la especificada en sus hojas técnicas respectivas teniendo en cuenta la permeabilidad de los materiales (suelos, muros y madera). Las operaciones se describen a continuación por el orden de ejecución:

a.- Preparación de las zonas a tratar

Antes de realizar el tratamiento hay que delimitar las zonas del edificio o los elementos de madera atacados que permita preparar las superficies de las zonas a proteger. Esta operación es imprescindible realizarla antes de aplicar el tratamiento y debe incluir la eliminación de los materiales que puedan impedir la aplicación del producto protector.

b.- Tratamiento de la madera

En el tratamiento de las piezas de madera de un edificio contra las termitas subterráneas se diferenciará entre su función decorativa o estructural:

- carpintería de taller: carpintería de puertas, ventanas, suelos y revestimientos.
- carpintería de armar: forjados, vigas, entramados de muros y armaduras de cubierta.

b.1.- Carpintería de taller

No requieren tratamiento aquellas piezas que no están atacadas ni las que no están en contacto con muros en los cuales existan maderas atacadas.

Las piezas atacadas o las que están en contacto con un muro infestado se tratarán superficialmente o por inyección. Se elegirá el sistema que mejor se adapte a cada caso dependiendo de las características de los elementos de madera: sección, existencia de recubrimientos decorativos, su facilidad de desmontaje, etc.

Los cercos de las puertas se tratarán con 3 inyecciones en cada montante (en los extremos y en el centro) y 2 en el testero (una en cada extremo). Los cercos de las ventanas con 3 inyecciones en la pieza inferior (2 en los extremos y una central), 3 inyecciones en los montantes (con igual distribución) y 2 inyecciones en el testero superior (una en cada extremo).

b.2.- Carpintería de armar

La intensidad del tratamiento depende de la situación de los elementos constructivos en relación al ataque y a su proximidad a los muros. A continuación se especifica el tratamiento para diferentes elementos constructivos:

### Entramados de forjado: viguetas y vigas

El tratamiento incluirá la actuación sobre los niveles afectados más uno superior, aunque no se hayan detectado signos de ataque en ese nivel. En niveles de forjado atacados por las termitas el tratamiento incluirá las siguientes actuaciones:

- Tratamiento superficial de las vigas.
- Inyección de las cabezas de todas las vigas con dos taladros como se indica en la figura 5.7. Uno de los taladros se practicará inclinado hacia la testa de la viga y el otro en vertical al ras de la entrada en el muro.
- Inyección en todo el vano de las piezas a razón de 3 inyecciones por metro lineal en las piezas en contacto continuo con los muros, como las vigas parederas, figura 5.8. Si el forjado se encuentra a una distancia del suelo inferior a 40 cm deberán tratarse por este sistema de inyección no sólo las piezas parederas sino todas las vigas y viguetas.

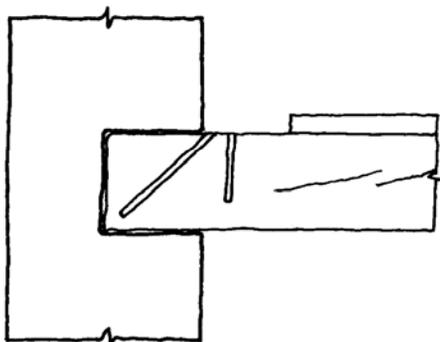


Figura 5.7 Inyección de las cabezas de las vigas.

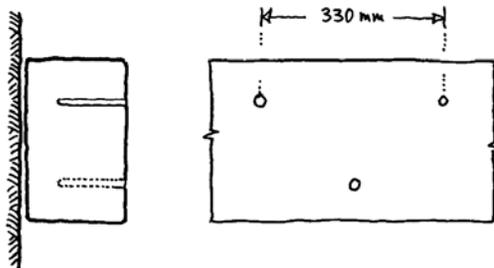


Figura 5.8 Tratamiento por inyección en longitud en las piezas en contacto con los muros.

En niveles de forjado no atacados por las termitas y que se encuentren sobre un nivel afectado, únicamente es necesario el tratamiento por inyección de las cabezas de todas las vigas en su entrega en los muros. Se realizarán, como se ha descrito anteriormente, dos taladros; uno inclinado dirigido a la testa de la pieza y el otro vertical al ras del muro.

### Entramados de madera en muros

Las piezas de madera situadas en muros infestados se tratarán en toda su longitud por inyección, con la misma intensidad definida para las vigas (3 inyecciones por metro lineal).

### Armaduras de cubierta

Siempre que existan ataques en el nivel inmediatamente inferior se tratarán las armaduras, aunque las termitas no hayan alcanzado el nivel de la cubierta. Este tratamiento se realizará de la siguiente forma:

- Inyección de las cabezas de las piezas que se entregan en los muros, mediante la realización de dos taladros; uno inclinado hacia la testa y el otro en vertical y al ras del muro.
- Inyección en todo el vano de las piezas a razón de 3 inyecciones por metro lineal en las piezas en contacto continuo con los muros, como las vigas parederas, los durmientes, estribos.
- Inyección en la base de cada par.
- Tratamiento superficial de los primeros 50 cm de las vigas a partir del muro y en todo el

vano de las piezas que se encuentren en contacto con los muros, como las vigas y pares parederos.

En el caso de que existan ataques en la cubierta, el tratamiento definido anteriormente se completará con la inyección en toda su longitud y el tratamiento superficial de las piezas afectadas, siguiendo el método de tratamiento para insectos de ciclo larvario. Además las piezas atacadas se considerarán como muro en relación con otras piezas de madera que apoyen o estén en contacto directo con ellas.

#### c.- Tratamiento de los muros

Este tratamiento se realizará en los muros susceptibles de ser utilizados como camino hacia la madera por las termitas. El tratamiento consiste en el establecimiento de una barrera en el arranque de los muros de carga mediante la inyección del producto termiticida, en la parte más cercana al suelo.

Los muros de carga, tienen contacto con el terreno a través de la cimentación. Sin embargo los tabiques normalmente descansan sobre la solera o forjado, interrumpiéndose su contacto con el suelo, por lo que en este caso no es necesario realizar barreras en estos elementos.

La introducción del producto se realizará mediante perforaciones practicadas en los muros distanciadas entre sí 20 o 30 cm y con una profundidad de  $2/3$  del espesor del muro, figura 5.9a.

Si el muro tiene más de 60 cm de espesor y el sistema de perforación no permite alcanzar los  $2/3$  del espesor, las inyecciones se practicarán por las dos caras del muro con una profundidad de  $1/2$  del espesor y de forma que las perforaciones queden contrapeadas entre sí, figura 5.9b.

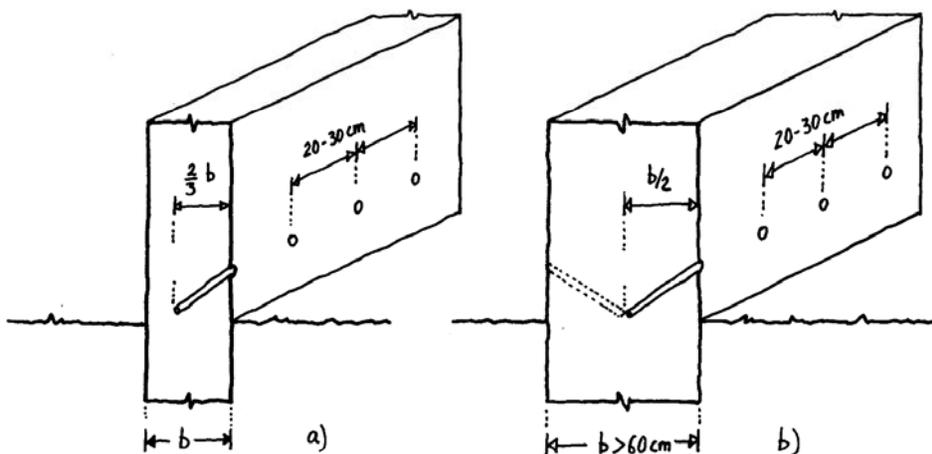


Figura 5.9 Tratamiento de los muros por inyección: a) Muros con espesor inferior a 60 cm y b) Muros con espesor superior a 60 cm en los que no puede alcanzarse una profundidad de  $2/3$  del espesor.

El tratamiento de los muros incluye los siguientes casos posibles:

*Muros perimetrales:* deben tratarse al nivel del suelo en la planta baja formando una barrera continua.

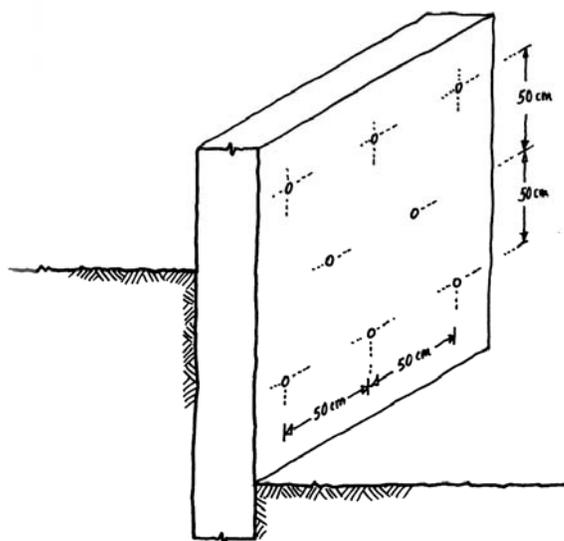


Figura 5.10 Tratamiento de muros bajo la cota del terreno mediante una pantalla constituida por una retícula de inyecciones.

Dentro de estos puede darse el caso de muros bajo la cota del terreno, como los muros de sótano de contención de tierras, en los que es necesaria la realización de una pantalla contra las termitas. Esta pantalla consiste en la ampliación de la barrera lineal, antes citada, a toda la superficie del muro que además sólo es accesible por una cara. En general la bibliografía técnica indica que la pantalla se consigue mediante la realización de inyecciones que alcancen los  $2/3$  del grueso del muro sobre una retícula al tresbolillo de 50 cm, figura 5.10.

La profundidad máxima a la que normalmente se mueven las termitas bajo el suelo es del orden de los 50 cm. No es frecuente, por tanto, que el ataque se inicie en una cota inferior, pero si puede ocurrir que las termitas accedan por la parte superior de un muro de sótano y después descendan para alcanzar otras piezas de madera.

*Muros interiores:* los muros o tabiques que tengan contacto con la cimentación se tratarán de la forma antes descrita.

*Muros medianeros:* si existe ataque en los edificios contiguos se deberán tratar con barreras horizontales además de las zonas de arranque de los muros al nivel de planta baja, cada nivel de forjado de la medianería, figura 5.11 a.

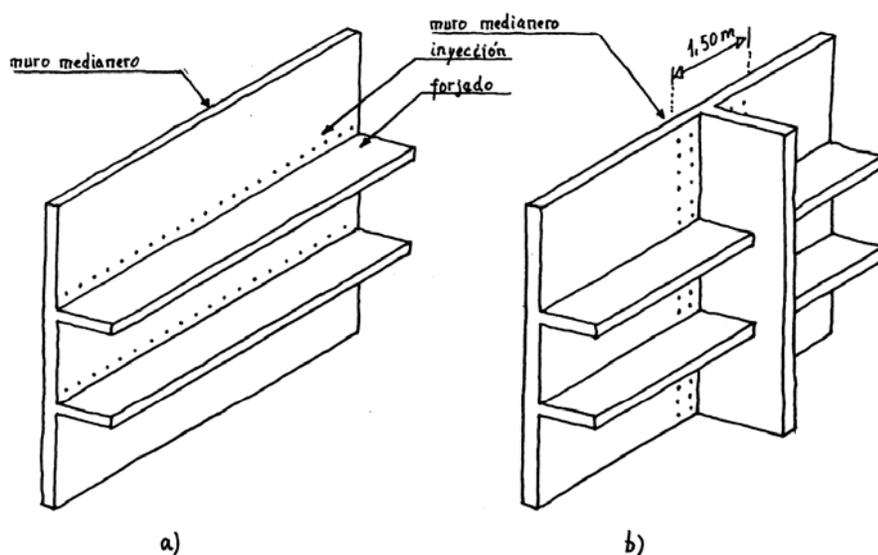


Figura 5.11 Tratamiento de muros medianeros: a) Barreras horizontales al nivel de los forjados y b) Barreras verticales a lo largo de la intersección con los muros transversales.

Es recomendable establecer también una barrera en forma de franja vertical con una anchura del orden de 1,50 m en las líneas de intersección del muro medianero con los transversales, figura 5.11b.

*Doblado de muros:* en el caso de doblado de muros mediante un tabique que deja una cámara de aire o rellena de aislamiento térmico la barrera horizontal en el arranque de planta baja deberá realizarse con doble inyección: una penetrará en el muro y la otra morirá en el tabique de doblado, figura 5.12.

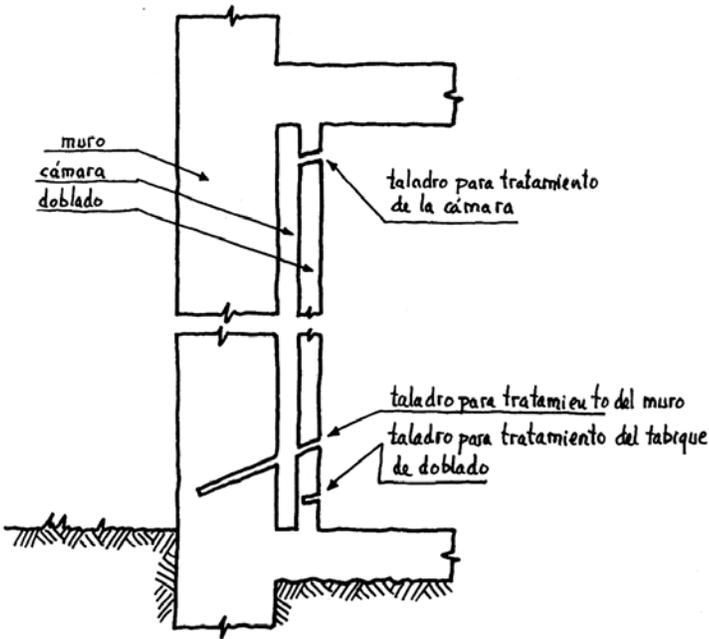


Figura 5.12 Tratamiento de muros trasdosados.

ción con el fin de cortar el paso de las termitas y además se complementa con el tratamiento del suelo en las proximidades de los muros interiores y a veces con el tratamiento del suelo del interior mediante pantallas contra termitas. El empleo de estas técnicas requiere tomar precauciones para evitar la contaminación de aguas subterráneas que puedan existir bajo la edificación.

#### d.1.- Tratamiento del perímetro del edificio

La barrera se dispone al exterior de los muros perimetrales y debe ser continua largo de todo el edificio. Se puede realizar por uno de los siguientes procedimientos:

##### *Procedimiento de inyección en el suelo*

Consiste en practicar perforaciones en el suelo a través de las cuales se introduce el producto termiticida específico para suelos por el procedimiento (gravedad o presión) que asegure su correcta distribución en el volumen de tierra que bordea el edificio.

El producto debe alcanzar una profundidad mínima de 40 a 50 cm. La distancia entre el muro y las perforaciones deberá ser inferior a 40 cm. Los taladros pueden realizarse en vertical o inclinados hacia la base de cimentación del muro. La distribución de las perforaciones, según la naturaleza del terreno o las características del inmueble, puede realizarse en una línea paralela al

Además, deberán tratarse mediante una línea de inyecciones que afecte a la cámara interior que se realizará preferiblemente en la parte alta. En caso de que esta operación pueda perjudicar al aislamiento térmico, si existe, las inyecciones pueden practicarse en la parte inferior de la pared.

d.-Tratamiento del suelo: El objeto del tratamiento del suelo es la disposición de unas barreras en el suelo próximo a los muros que impida el acceso de las termitas a la construcción. Estas barreras antitermitas se disponen de manera continua en el perímetro de la edifica-

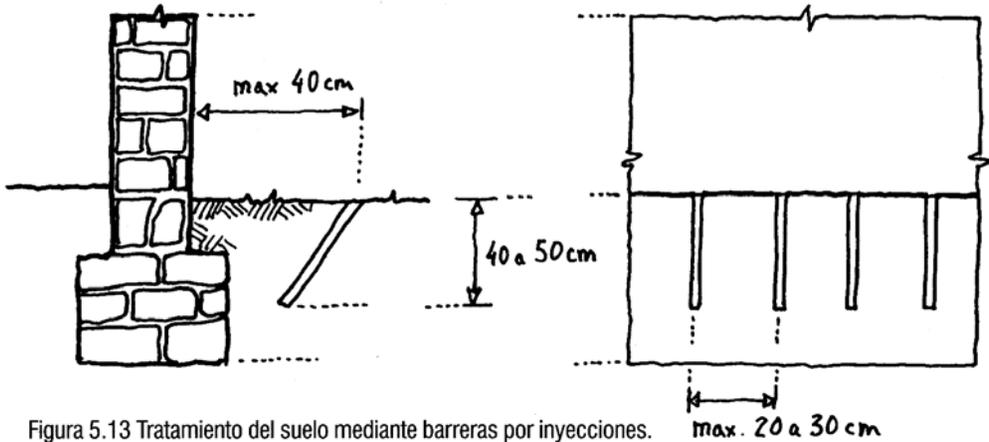


Figura 5.13 Tratamiento del suelo mediante barreras por inyecciones.

muro o al tresbolillo. La separación entre las perforaciones será inferior a 20 o 30 cm, figura 5.13.

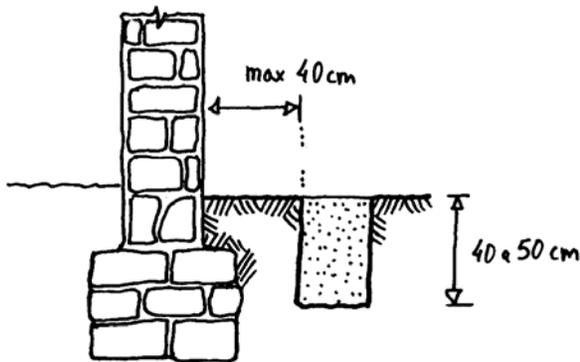


Figura 5.14 Tratamiento del suelo mediante barreras por zanja.

#### Procedimiento de zanja

Consiste en cavar una zanja de 40 a 50 cm de profundidad mínima, a una distancia máxima del muro de 40 cm. El fondo y las paredes de la zanja se regarán (pulverización y cuando se quiere intensificar el tratamiento se añaden inyecciones complementarias) abundantemente con el producto termiticida. Posteriormente la zanja se rellena con tierra mezclada con el termiticida, que en algunas ocasiones también se complementa con un film que además de actuar como barrera antihumedad lleva incorporado productos tóxicos contra las termitas, figura 5.14.

En el caso de que la barrera no pueda realizarse en el exterior del edificio, por ejemplo al existir aceras en zonas urbanas puede efectuarse en el mismo muro mediante taladros oblicuos, figura 5.15.

#### Barreras físicas

Para la construcción de nueva planta existe un procedimiento que consiste en colocar un film de polietileno con propiedades antitermitas sobre el

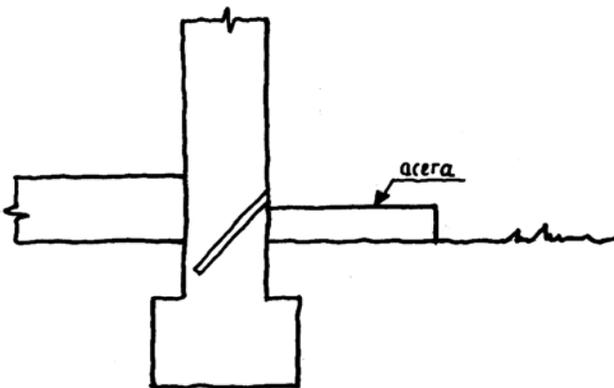


Figura 5.15 Barrera en el suelo a través del muro debido a la existencia de aceras que impiden el método habitual.

terreno (bajo la solera) y envolviendo los muros y zapatas de cimentación.

#### d.2.- Tratamiento del suelo interior

El tratamiento del suelo en el interior del edificio (sótanos, cámaras bajo forjado y plantas bajas), deberá adaptarse a la naturaleza del mismo.

##### *Suelos con solera de hormigón:*

Se realizará por inyección bordeando todos los muros de carga en los que se aprecie el paso de termitas, de la misma forma que en los suelos exteriores y con una profundidad mínima de 40 cm, figura 5.16a. En todo caso se deberá asegurar que las perforaciones atraviesan la solera. Si existen juntas o grietas se aprovecharán para introducir los taladros.

Si el grado de infestación en el local es muy elevado se recomienda la realización de una pantalla en la superficie del suelo mediante inyecciones con una profundidad mínima de 40 cm y sobre una retícula de 50 cm, figura 5.16b.

##### *Suelos con base de tierra compactada:*

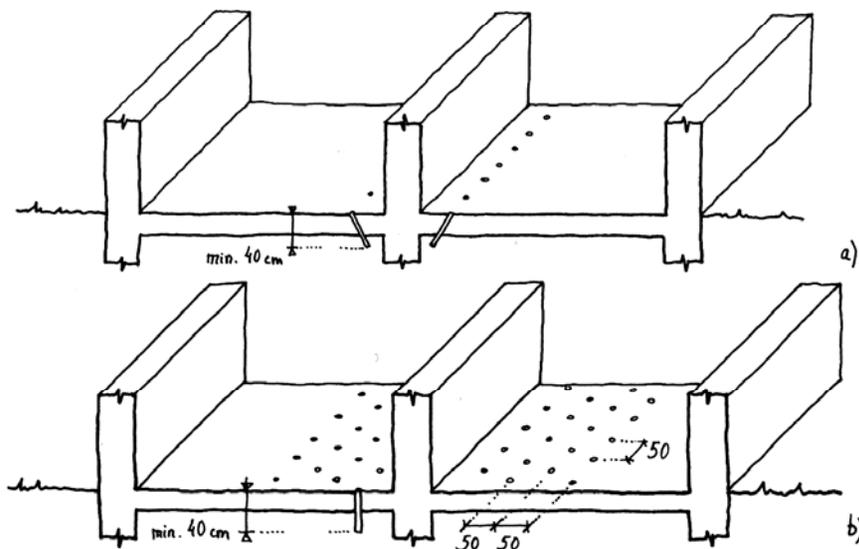


Figura 5.16 Tratamiento del suelo en muros interiores: a) Tratamiento a lo largo de los muros y b) Tratamiento del suelo añadido en caso de infestación muy elevada.

El producto se aplicará en toda la superficie o solamente de forma perimetral, dependiendo de la distribución del ataque. La aplicación del producto se puede realizar por riego o por perforaciones, en este último caso y cuando se quiera cubrir toda la superficie se deberá seguir la retícula antes citada.

Si sobre el suelo de tierra compactada existe un suelo de madera, el tratamiento se realizará por medio de perforaciones que atraviesen las piezas de madera. En el caso de que exista una capa de impermeabilización entre la tierra compactada y la madera se tratará exclusivamente ésta última.

## b) Tratamiento preventivo

El tratamiento preventivo puede plantearse para un edificio aún no construido o para uno existente. El primer caso no es objeto de esta publicación. En el segundo caso en un edificio en el que no se han detectado ataques de termitas pero existe un riesgo debido a otros edificios próximos afectados es recomendable la aplicación de un tratamiento preventivo.

El tratamiento se limita a crear una barrera a nivel del suelo, que impida el acceso a las termitas procedentes del exterior. Esta barrera se realizará siguiendo los procedimientos descritos para los tratamientos curativos y en la bibliografía especializada se recomiendan las siguientes actuaciones:

### *Sótano o cámara de ventilación*

- Distribución del producto sobre el suelo (si está sin pavimentar)
- Aplicación superficial sobre muros y piezas de madera vistas
- Inyección de los arranques de pies derechos y cercos de madera en contacto con el suelo

La efectividad de las dos primeras acciones es discutible ya que en caso de infestación un tratamiento superficial no impide el acceso por el interior de la madera.

### *Planta baja*

- Barrera perimetral en el suelo por inyección o por zanja
- Barrera por inyección en los muros de carga
- Inyección de los arranques de pies derechos y cercos de madera en contacto con el suelo

Existe un tipo de barrera física consistente en una lámina de polietileno con propiedades anti-termitas, que se puede disponer recubriendo las zanjas de cimentación y bajo la solera de la planta baja.

## 5.4.2 Tratamiento químico no repelente

La técnica que aquí se describe se basa en la utilización de una formulación perteneciente a la familia de los fenilpirazoles, en concreto el fipronil, que actúa sobre los insectos por ingestión o por contacto, afectando al sistema nervioso central. La muerte del insecto se produce por hiperexcitación (Bobadilla, I., 2000).

El tratamiento consiste en la disposición de barreras en el suelo y en los muros aplicando este producto con técnicas similares a las utilizadas en los tratamientos tradicionales (inyecciones y zanjas). Además, se recomienda complementar con el tratamiento de la madera mediante el procedimiento tradicional de productos tóxicos de acción rápida.

En las barreras del suelo se emplea el producto utilizando como vehículo el agua y en concentraciones muy bajas (2,5 l de producto por cada 100 l de agua). Se aplica un mínimo de 5 l de solución por metro cuadrado mediante inyección o por zanja. En las barreras de los muros se emplea con una concentración de 7,5 l por cada 100 l de agua.

Sus ventajas radican en los aspectos siguientes: es un producto no repelente, es decir, las termitas no detectan el origen de sus efectos. Actúa por ingestión o por simple contacto y tiene un efecto retardado. La transmisión del veneno se realiza también por el intercambio alimentario entre individuos. Al ser activo en concentraciones muy bajas plantea menos proble-

mas medioambientales, de intoxicación y de olores. Su consecuencia es la inhibición del efecto neuroregulador del GABA (ácido gamma-aminobutírico), provocando la muerte del insecto por hiperexcitación.

El fabricante del producto indica que en el plazo de 3 meses no quedaría ningún individuo vivo en la colonia. En Francia existe una experiencia positiva de 5 años y unas 20.000 viviendas tratadas con este sistema. Su baja solubilidad en agua y su elevada absorción en los coloides órgano minerales, aseguran su correcta fijación al sustrato (suelo y muros), así como su permanencia prolongada en el mismo. El fabricante garantiza un período de funcionamiento del producto de 5 años.

Como siempre, la efectividad del tratamiento requiere que las medidas de carácter constructivo no sean olvidadas. Para ello, como se trata en el capítulo 4, deberán eliminarse todas las fuentes de humedad del edificio (fugas, infiltraciones, condensaciones, etc.).

### 5.4.3 Sistema de cebos

El sistema de cebos se basa en el conocimiento de la biología y en el comportamiento social de las termitas. Las termitas son insectos xilófagos sociales en los que las obreras (95% de la colonia) realizan la función de alimentar al resto de la colonia y son las que provocan los daños en la madera.

El sistema consiste en colocar cebos que incorporan un producto químico de efectos retardados. Las obreras se alimentan de los cebos, al cabo de unas semanas el producto empieza a funcionar impidiendo que completen su desarrollo normal (inhibe la síntesis de la quitina y las obreras no pueden realizar las mudas necesarias para llegar a la fase adulta). La progresiva desaparición de las obreras provoca, lógicamente, la desaparición de la colonia por falta de alimento. Hay que resaltar que al actuar con efecto retardado las obreras son incapaces de relacionar los cebos con la causa de su desaparición.

Los cebos pueden ser de superficie en forma de cajas rectangulares en los que se colocan tiras de celulosa impregnadas con el producto; éstos se colocan en el paso de las termitas normalmente en conductos que se manifiestan al exterior. También existen otros cebos para enterrar en el suelo en forma de cilindros abiertos por la parte superior en los que se introducen los cartuchos que incorporan las tiras de celulosa impregnadas con el insecticida. Estos cebos tienen cierres de seguridad para evitar que sean abiertos por personas ajenas al tratamiento y que dejen olores que permitan a las termitas detectar una presencia extraña. La colocación de las estaciones y la reposición de los cebos es muy sencilla, pero para evitar que las termitas detecten la presencia humana se recomienda manipularlos con guantes.

El sistema se realiza en tres fases:

#### 1.- Inspección:

Se comprueba la existencia de termitas en el interior y en el exterior de los edificios mediante la instalación de «estaciones de control» y de «detectores acústicos». Los detectores acústicos son instrumentos que captan los sonidos en el interior de la madera seleccionando las frecuencias que emiten en su actividad las termitas. Las estaciones de control suelen consistir en cebos que no contienen veneno sino solamente alimento. La colocación de estaciones de control dentro y fuera del edificio permite representar un plano de distribución de la presencia y ataque de las termitas.

## 2.- Eliminación de la colonia:

Si la comprobación es positiva, se colocan en las estaciones los testigos de celulosa impregnados con el insecticida. Las estaciones de control se colocan tanto en el exterior como en el interior de los edificios.

Como se ha comentado anteriormente, las obreras comen de estos cebos y alimentan al resto de la colonia con esta celulosa impregnada del producto. Los cebos consumidos se sustituyen, dependiendo del consumo registrado, cada 3 o 5 semanas hasta que se elimina totalmente la colonia.

## 3.- Mantenimiento y vigilancia:

Una vez que se comprueba que ha desaparecido toda la colonia, se mantiene durante al menos 5 años la vigilancia de las estaciones que incorporan la celulosa impregnada con el insecticida.

Las pruebas realizadas hasta el momento indican que es un método muy efectivo y fácil de utilizar, aunque su costo es elevado. El tiempo requerido para la eliminación de la colonia, dependiendo de su tamaño, suele ser de 3-4 meses.

Algunas fuentes indican que el tratamiento con cebos no debería mezclarse con los tratamientos químicos clásicos, ya que estos productos podrían ahuyentar a las termitas. Sin embargo, se han empleado con éxito los cebos junto con el tratamiento por inyección de la madera contra las carcomas; el tratamiento de los suelos y los muros es sustituido por los cebos en el suelo.

En edificios entre medianeras el tratamiento con cebos puede tener menor eficacia si no se extiende el tratamiento a la manzana conjunta de edificios. Este problema es el mismo que se presenta en el tratamiento tradicional con productos químicos tóxicos.

### 5.4.4 La lucha biológica

Existen otras técnicas basadas en la lucha biológica donde se aprovecha numerosos agentes biológicos depredadores (nematodos, bacterias, virus y hongos) para terminar con las termitas. Estos sistemas todavía se encuentran en fases de investigación y su resultado no tiene efectos de protección frente a posibles nuevos ataques.

Los nematodos se viven en el suelo y se introduce en el cuerpo de las termitas, nutriéndose de sus órganos internos y les traspasan bacterias que provocan la muerte del insecto. Se ha estudiado principalmente la especie *Neoaplectana carpocapsae*, fácil de producir a nivel industrial, pero la duración de su vida en el suelo es de sólo dos a seis meses por lo que la renovación de su aplicación encarece el costo del tratamiento.

Hay varias especies de hongos que contaminan a las termitas produciéndoles toxinas. La especie más conocida y estudiada es el *Metarhizium anisopliae*. Sin embargo, los resultados obtenidos experimentalmente dan lugar a una eficacia muy variable; en unos casos se ha conseguido la destrucción completa de la colonia y en otros las termitas han continuado su actividad a pesar de la presencia del hongo (CTBA Département Biotec, 1.996)

## **Anexos relacionados con este capítulo:**

Anexo G: Productos protectores.

Anexo H: Métodos de tratamiento tradicionales.

Anexo I: Seguridad e higiene en el trabajo.

## **Referencias bibliográficas:**

**Berry, R.W. (1994).** Remedial treatment of wood rot and insect attack in buildings. Building Research Establishment, BRE. Watford, 122 págs.

**Bobadilla, I. (2000).** Tratamiento químico no repelente contra las termitas. AITIM n° 208, pág. 9.

**CTBA, Département Biotec (1996).** Le traitement curatif des bois dans la construction. Ed. Eyrolles. Paris, 140 págs.

**Dauchot-Dehon, M. (1975).** Les effects des solvants sus les couches picturales. I. Alcools et acetone. Preprints to the ICOM Congress, venecia, 1975/21/7.

**Dirol, D. (1996).** Implants boraciques: une technique de traitement du bois idéale. CTBA Info n° 63, Paris. Págs. 33-37.

**Dirol, D. (1997).** Implants boraciques: une technique «douce» de traitement du bois. Le bois National, 22 mars 1997.

**Gómez, M.L. (1998).** La restauración. Examen científico aplicado. Ediciones Cátedra.

**Kraemer, G. (1958).** Compendio de la conservación de maderas. 526 págs.

**Kühn, H. (1970).** Verdigris and koper resinat. Studies in conservation, 15. Págs. 12-36.

**Rayzal, M. (1998).** Guide de la preservation du bois, CTBA. 165 páginas.

**Hardwoods for joinery and construction: test results and recommendations (1998).** BRE Digest 431. 16 páginas.

**Insecticides treatments against wood-boring insects (1998).** BRE-Digest 37. 8 págs.

**Maintaining exterior wood finishes (1995).** BRE Good Building Guide 22. 4 págs.

**Maltese, C. (19??).** Las técnicas artísticas. Ediciones Cátedra, Madrid.

**Manual del Grupo Andino para la preservación de la madera (1988).** Junta del Acuerdo de Cartagena.

**Martinez, J. Benito (1963).** Investigaciones sobre termicidas y maderas resistentes a los termitos., IFIE, 119 págs.

**Remedial wood preservatives: use them safely (1992).** BRE DIGEST 371. 4 págs.

**Rodríguez Barreal, J.A. (1998).** Patología de la madera, Fundación Conde del Valle Salazar. 349 páginas.

**Rodríguez Barreal, J.A. y Arriaga, F.** Patología, tratamiento y consolidación de la madera puesta en obra. AITIM,, 163 págs.

**Torraca, G. (1985).** Solubilité et solvants utiles pour la conservation des biens culturels. ICROM, Roma. Dangers presentes par l'utilisation des produits syntétiques pour les oeuvres d'art et pour les restaurateurs. Produits syntétiques pour la conservation et la restauration des oeuvres d'art. Seminaire, Berna, 1985, págs. 41-55.

**Wood-boring insect attack: treating damage.** BRE Good Repair Guide 13 - Part 2, 6 págs.

# Capítulo 6

# Medidas de carácter estructural

## 6.1 Introducción

Como resultado del diagnóstico de la estructura se deducen las medidas de carácter estructural que deberán adoptarse para recuperar la seguridad y estabilidad de la construcción.

Generalmente, el tipo de problemas que se presentan se pueden resumir en los dos grupos siguientes: el primero tiene un origen biótico y se traduce en una pérdida de la sección resistente de la pieza de madera provocada por la acción de los agentes xilófagos. El segundo está relacionado con las exigencias de la normativa actual de cálculo que requiere cargas de uso elevadas, normalmente a causa de un cambio de uso, o una limitación más estricta de la deformación.

A partir de un análisis del problema se deberá elegir la solución más adecuada. Una de las opciones puede ser simplemente la sustitución de las piezas cuyo estado sea irrecuperable. La consolidación tiene como objetivo la recuperación de la capacidad portante original y finalmente, el refuerzo comprende las actuaciones encaminadas a aumentar la capacidad de carga o la limitación de la deformación de la estructura.

En este capítulo se describen las posibles soluciones técnicas que pueden emplearse ordenadas por los diferentes problemas que pueden plantearse. Dentro de cada uno se recogen soluciones de refuerzo o consolidación con técnicas diferentes (madera, hormigón, acero, formulaciones epoxi). En el texto principal se describen varias opciones, sin un carácter exhaustivo, y en anexos se profundiza en algún aspecto más especializado como puede ser el cálculo o las propiedades de los materiales que se utilizan.

## 6.2 Descripción general de las técnicas

En los apartados siguientes se describen algunas soluciones para la consolidación o el refuerzo de las piezas estructurales utilizando diferentes técnicas según los materiales que emplean. Estas actuaciones pueden clasificarse en los siguientes grupos: utilización de apeo, utilización de perfiles metálicos, soluciones con hormigón, soluciones con madera y soluciones con resinas epoxi

La primera consiste en una intervención mínima que pretende mantener, a veces con carácter temporal, la estabilidad del elemento constructivo sin apenas modificar su estado. Dentro de este apartado se encuentran todas las soluciones de apeo, disposición de elementos parteluz o de recalce de los apoyos defectuosos. Son soluciones económicas cuyo resultado queda visto por lo que el aspecto estético o funcional no es bueno.

La segunda utiliza perfiles metálicos de refuerzo que en algunos casos dan lugar a soluciones pobres desde el punto de vista estructural y estético, como pueden ser los refuerzos o sustitución parcial con perfiles adosados. Sin embargo, con este material es posible la fabricación de piezas especiales para solucionar problemas estáticos complejos, como pueden ser los encuentros con la fábrica o el añadido de atirantados para mejorar el diseño de armaduras de cubierta.

La tercera hace referencia a la utilización del hormigón en soluciones de sustitución de las piezas de madera, a veces dejando la estructura como un simple encofrado sin función estructural, como por ejemplo en el refuerzo de los forjados. Recientemente su aplicación más prometedora es el empleo como parte de una estructura mixta de madera y hormigón. Un claro ejemplo es la disposición de capas delgadas de hormigón armado conectadas a las viguetas de un forjado, cuyo principal problema de ejecución radica en la conexión a rasante entre ambos materiales.

La cuarta alternativa se centra en la utilización de la madera para la consolidación o el refuerzo de la estructura. En muchos casos el refuerzo puede consistir simplemente en el adosado de nuevas piezas de madera a las existentes. También puede recurrirse a la sustitución de las piezas inservibles por otras nuevas, con la simplificación de las operaciones constructivas. En la sustitución de elementos de madera también se puede utilizar la madera laminada encolada o productos derivados de la madera de alta resistencia como la madera microlaminada (LVL) o la madera laminada en tiras (PSL), sobre todo cuando no sea posible encontrar escuadrías grandes o piezas con largos suficientes en madera maciza.

El empleo de tableros derivados de la madera (tableros contrachapados, tableros de partículas y tableros de virutas de virutas) puede servir para plantear soluciones mixtas muy ligeras. Tienen como resultado soluciones de menor eficacia estructural frente a las de madera hormigón.

Finalmente, existe la posibilidad de la aplicación de la tecnología de las resinas epoxi, que suponen una amplia gama de soluciones de alta eficacia, que combinan elementos de refuerzo (generalmente de materiales compuestos) encolados a la madera. Son soluciones limpias en el resultado, eficaces desde el punto de vista estructural, pero de costo elevado en algunas situaciones.

## 6.3 Actuaciones sobre los apoyos de las vigas

### 6.3.1 Introducción

Las zonas de apoyo de las vigas o de las viguetas constituyen lugares con riesgo de pudrición sobre todo si se encuentran en zonas con humedad. Como consecuencia se llega a una pérdida de sección que implica una falta de la superficie de apoyo. Aunque el resto de la pieza se encuentre en buenas condiciones se hace necesario actuar para recuperar la estabilidad comprometida. Una de las opciones es la sustitución completa de la pieza por otra nueva, que en muchas ocasiones resulta lo más económico. Pero en general pueden emplearse soluciones como las que a continuación se describen, indicando sus ventajas e inconvenientes.

### 6.3.2 Apeo sobre una línea adosada al muro

Se trata de una solución que es frecuente encontrarla en estructuras antiguas que ya han sufrido daños de pudrición en las cabezas de las vigas. Consiste en disponer una nueva línea de apoyo adosada al muro mediante una carrera, generalmente de madera, que descansa en ménsulas de piedra que se empotran en el muro, figura 6.1. A veces, apoya sobre pies derechos adosados, también, al muro. Sus inconvenientes principales radican en que la carga que transmiten al muro

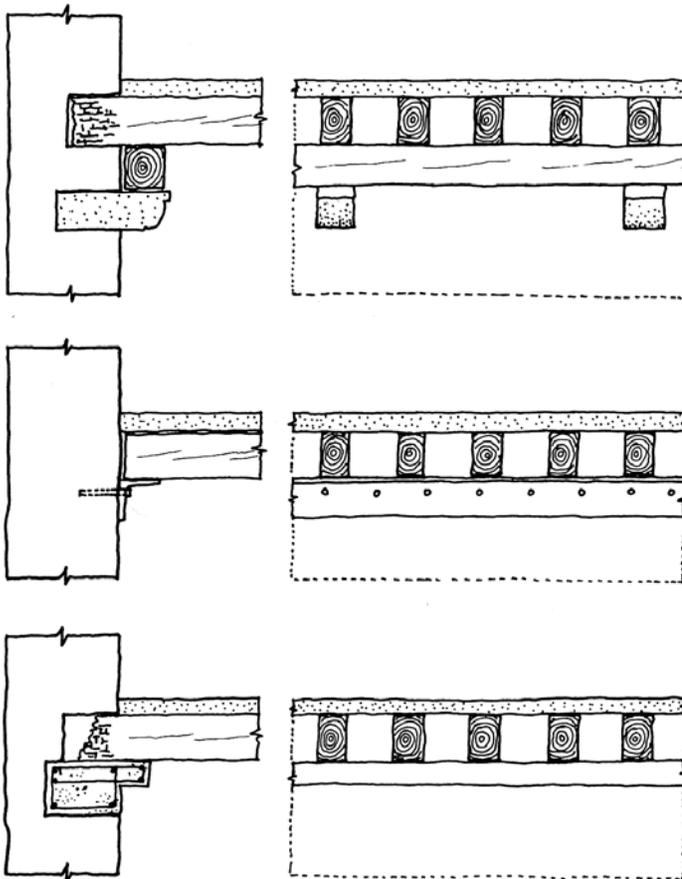


Figura 6.1. Apeo de las cabezas de las vigas con una línea adosada al muro (carrera de madera, perfil metálico y ménsula de hormigón armado).

queda descentrada respecto a su eje, en el caso de apoyo sobre ménsulas, lo que provoca una flexión en el muro que favorece su tendencia al desplome; por otro lado, si no se corrigen las causas de la pudrición, ésta puede seguir avanzando y afectar también a la carrera.

### 6.3.3 Refuerzo del apoyo mediante perfiles metálicos

La utilización de los perfiles metálicos como refuerzo de las zonas de apoyo de las vigas es un recurso frecuente en obras de reparación antiguas y que presenta un carácter poco elaborado o de emergencia. Una de las posibilidades se orienta a la disposición de una estructura de apeo a modo de emparrillado y que consta de una o dos carreras, dependiendo de la extensión de la pudrición, en posición paralela al muro de apoyo, que descansan sobre otras vigas paralelas a la dirección del forjado que apoyan sobre los muros de carga. Generalmente, el hueco entre las carreras se maciza en parte con una bovedilla fabricada con ladrillo retacando el hueco superior, para evitar desprendimientos del entrevigado, figura 6.2.

Con frecuencia es posible encontrar reparaciones puntuales de las cabezas de las vigas colocando pletinas o perfiles en ángulo para alargar la longitud de la pieza. Estas piezas metálicas se atornillan a la pieza de madera. Su forma de trabajo es de difícil justificación o garantía por cálculo y pueden considerarse como simples remiendos, figura 6.3. En la misma figura puede verse la solución clásica de la incorporación de una ménsula de piedra o el herraje de cuelgue para las viguetas.

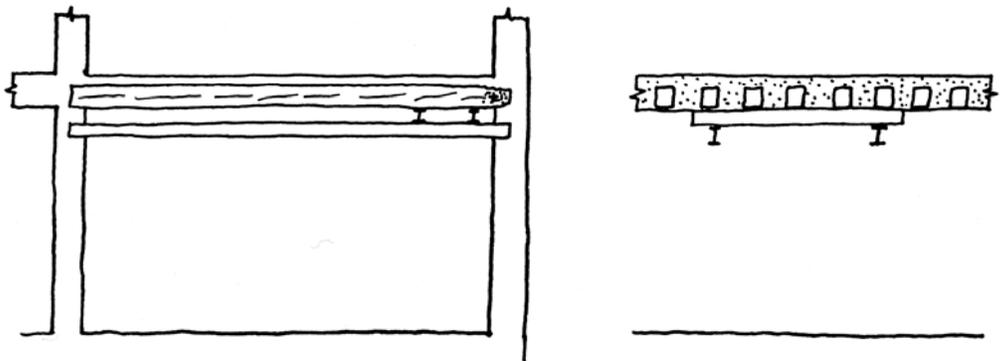


Figura 6.2. Vigas metálicas para soporte del forjado de madera en un tramo.

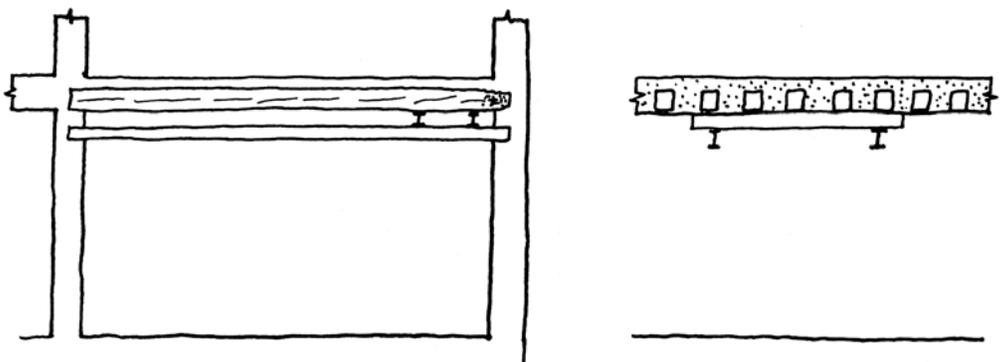


Figura 6.3. Reparaciones consistentes en alargar la longitud de la pieza o de apoyo sobre pieza exterior al muro

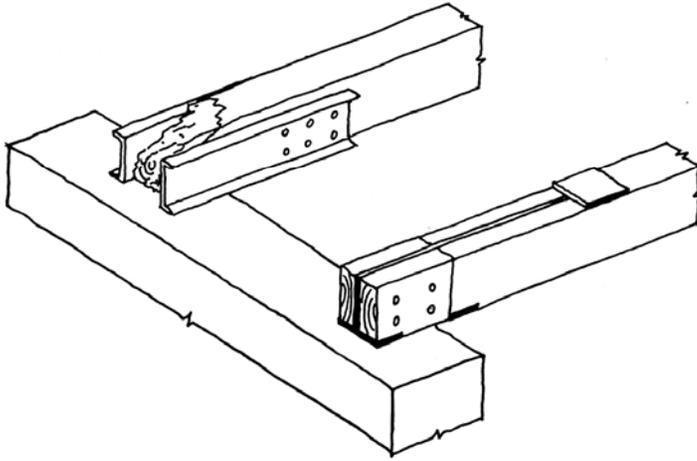


Figura 6.4. Aumento de la longitud de la viga mediante perfiles metálicos.

Una versión de mayor consistencia es el adosado de perfiles metálicos, generalmente perfiles de tipo UPN, que solapan con la madera sana en una longitud del orden de los 50 a 80 cm y se conectan mediante pernos a la madera, figura 6.4. La experiencia práctica de esta solución da lugar a un costo superior a la sustitución de la zona de forjado afectado. Por otro lado, como la conexión con elementos mecánicos de fijación (pernos, clavos, etc) requiere una deformación para su entrada en carga, la solución puede ser excesivamente deformable comparada con la estructura original. En la misma figura se describe una solución de alargamiento de la longitud de la pieza mediante un herraje en el interior de la sección, de mayor eficacia que la anterior.

### 6.3.4 Soluciones con aporte de madera

La consolidación y refuerzo adosando piezas de madera unidas con medios mecánicos tiene un comportamiento similar al de los aportes metálicos. La solución más inmediata es la de adosar dos piezas de madera nuevas uniéndolas mediante pernos, clavos o bridas metálicas, en un tramo de longitud suficiente en la madera sana, figura 6.5. Probablemente sea más sencillo adosar una nueva vigueta en todo el largo de la dañada, sin molestarse en eliminar la antigua.

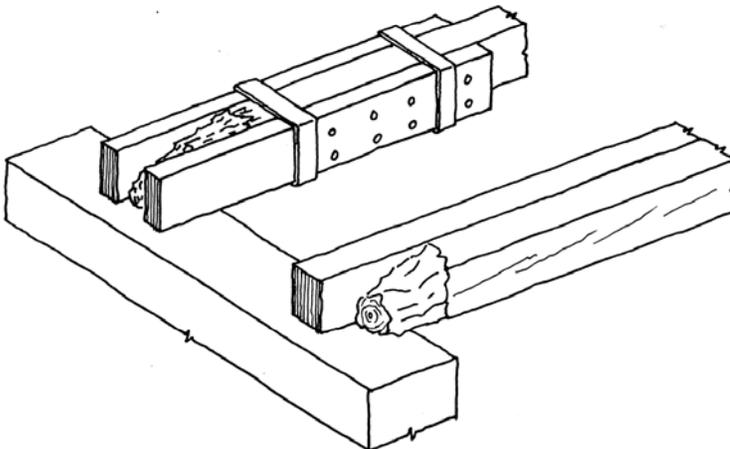


Figura 6.5. Refuerzo del apoyo de la viga mediante encepado con dos piezas o simple adosado de otra viga.

Existe un trabajo de investigación (Mettem et al., 1993) sobre las posibilidades de reparación con aporte de madera conectada a la antigua mediante elementos de fijación mecánicos (ensambles, clavijas, pernos, pasadores). Se puede definir la eficacia de una unión de este tipo como la relación entre la capacidad de carga de la pieza reparada y la capacidad de carga de la pieza original. De esta manera se puede hablar de la eficacia en flexión cuando se refiere a la resistencia a esta sollicitación, o de la eficacia en la rigidez, cuando se trata de comparar la deformabilidad.

Las soluciones analizadas en dicho estudio consisten básicamente en empalmes de las piezas mediante un corte oblicuo, figura 6.6. Las piezas tenían secciones de  $150 \times 250 \text{ mm}$ . La primera solución es de corte oblicuo en la cara de la pieza y se refuerza con espigas de madera de roble, figura 6.6a. La pendiente del corte es tal que la longitud,  $l$ , de la unión es 3 veces el canto,  $h$ , de la viga. La eficacia a flexión de esta solución en el caso de madera de conífera es de tan solo 0,20 y 0,24 en rigidez. En la figura 6.6b se representa una variante de la anterior en la que se han añadido cuatro pernos perpendiculares al plano inclinado; la situación mejora ligeramente alcanzando una eficacia en flexión de 0,35 y una eficacia en la rigidez de 0,27.

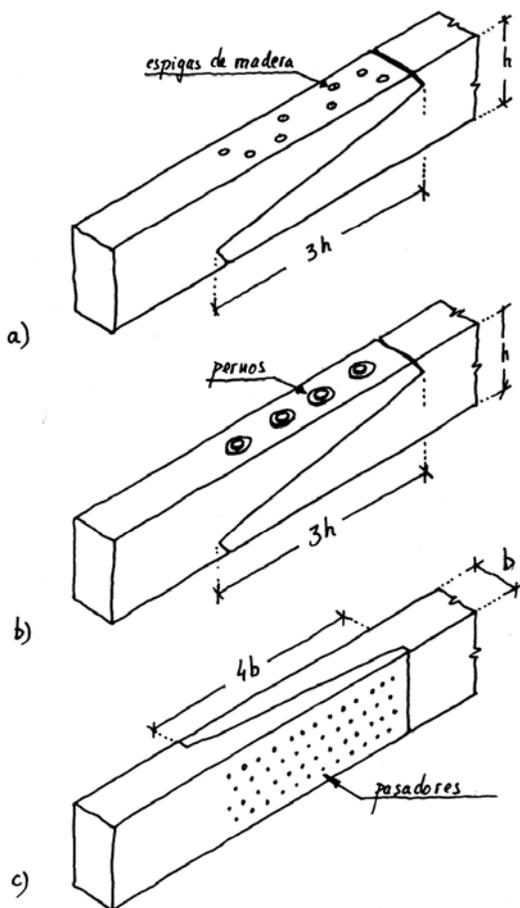


Figura 6.6. Consolidación de vigas con madera (Mettem et al., 1993).

La mayor eficacia se observa en el empalme según un plano oblicuo realizado en el canto de la pieza, figura 6.6c. En este caso la pendiente del plano de corte cumple la relación longitud/ancho de la viga igual a cuatro. La unión se reforzaba con pasadores metálicos de  $12 \text{ mm}$  de diámetro. La eficacia en flexión era de 0,34 y en rigidez de 0,59.

En resumen estas soluciones presentan eficacias muy bajas y solo podrían ser empleadas en zonas de la viga donde la flexión sea muy reducida, como es el caso de las zonas de apoyo. Sin embargo, el estudio anterior no analiza la situación de cortante elevado con baja flexión, sino que los ensayos se realizaron únicamente en flexión pura.

Para alcanzar eficacias elevadas en este tipo de soluciones hay que recurrir al encolado como medio de unión. Sobre este aspecto pueden comentarse las investigaciones realizadas con uniones de piezas por empalmes encolados (Landa, 1997 y 1999). En este estudio se analizaron básicamente tres tipos de soluciones, figura 6.7, consistentes en reparar la pieza mediante otra pieza unida por un empalme encolado con resinas de resorcina.

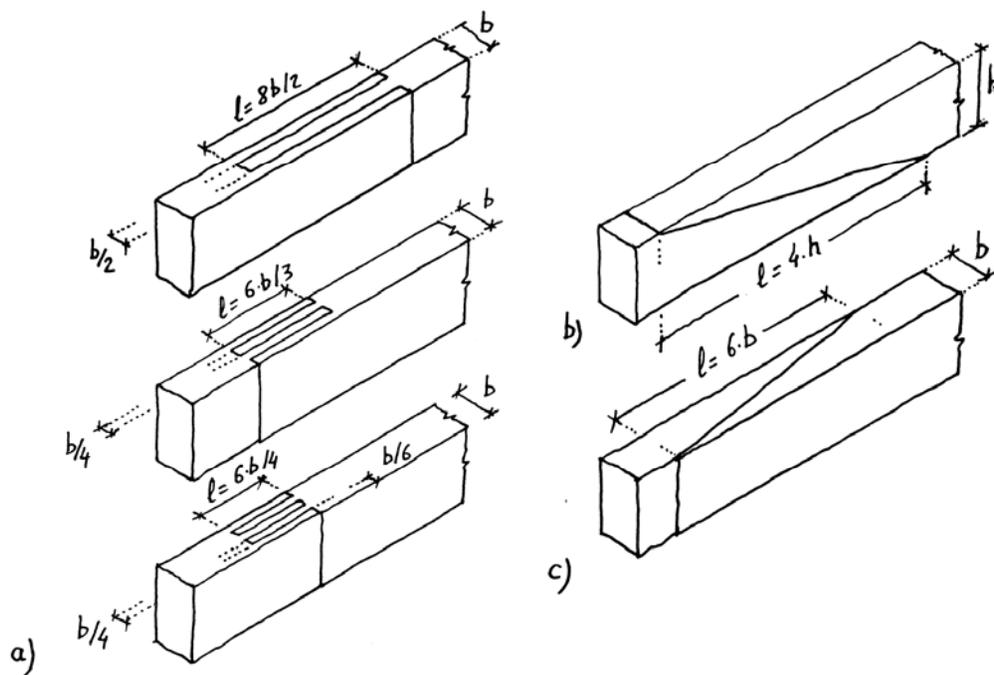


Figura 6.7. Consolidación de viga mediante madera encolada.

La unión por empalme de caja y espiga recta, figura 6.7a, puede realizarse con una o varias espigas. Su eficacia es del orden de 0,50 a 0,60, manteniendo la relación entre la longitud,  $l$ , y el ancho de la viga,  $b$ , mayor o igual a 8 ( $l/b=8$ ). Puede también realizarse con varias espigas, lo que permite reducir la longitud de las mismas.

La unión por empalme oblicuo en la cara de la viga, figura 6.7b, alcanza una eficacia en flexión de 0,85 y de 0,97 en rigidez, cuando la pendiente del plano oblicuo es de 1/4 y se refuerza la zona traccionada con clavijas de madera dura. El efecto de las clavijas es fundamental ya que sin ellas la eficacia en flexión baja a 0,27.

La unión por empalme oblicuo en un plano vertical, figura 6.7c, es la solución más eficaz. Con una pendiente de 1/6, se alcanza una eficacia en resistencia y rigidez a flexión del orden de 1,00.

Por tanto, en la reparación de zonas de apoyo de vigas, podrían utilizarse este tipo de soluciones, siempre que sus requisitos de resistencia a flexión sean reducidos, en el caso de las dos primeras soluciones comentadas.

La utilización de las resinas de resorcina para el encolado de las piezas requiere unas precauciones, como ocurre con todo tipo de encolado, como es el control de la temperatura del local, el contenido de humedad de la madera y la presión de encolado. La temperatura mínima recomendable es de 20 °C. La humedad de la madera no debería superar el 15 o 17 % y en el prensado se recomienda una presión mínima de 0,5 N/mm<sup>2</sup>. No debe descartarse el empleo de adhesivos de resinas epoxi en lugar del uso de resorcinas, por las ventajas de su retracción despreciable.

### 6.3.5 Soluciones con formulaciones epoxi

La tecnología de las resinas epoxi comenzó a utilizarse en la restauración de estructuras de madera hace aproximadamente 35 años y se describe en el anexo J «Tecnología de las resinas epoxi». Su principal ventaja radica en la posibilidad que ofrece para el relleno de cavidades sin presentar problemas de retracción y en la adherencia con casi todos los materiales, lo que permite utilizar refuerzos de materiales compuestos y metales, además de la madera.

La solución más representativa de la aplicación de las resinas epoxi es la sustitución de la parte dañada de la cabeza de la viga por un mortero de formulación epoxi que se conecta a la madera sana a través de barras de materiales compuestos (por ejemplo resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio), figura 6.8. Este procedimiento es objeto de la patente conocida como «Sistema Beta» (Promax, 1982).

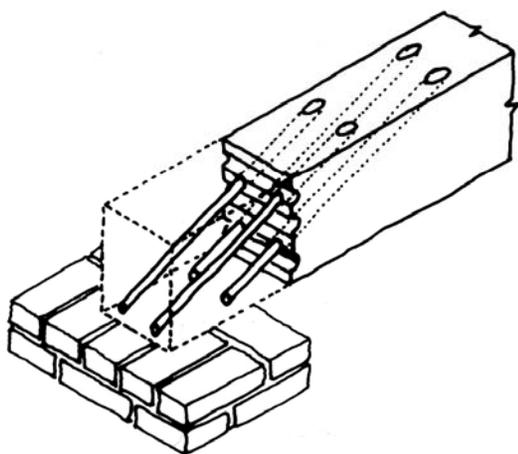


Figura 6.8. Consolidación de la cabeza de una viga mediante la tecnología de las formulaciones epoxi.

barra para facilitar el llenado con la formulación. Generalmente, se utilizan diámetros de 28 mm para barras de 20 mm de diámetro, disponiendo cuatro barras. Estos taladros se inician desde la cara superior de la viga, por facilidad de ejecución, y con un ángulo de 20 a 30°.

- c) Instalación de las barras de refuerzo en los orificios, teniendo la precaución de limpiar su superficie para no perjudicar la adherencia.
- d) Montaje de un encofrado que restituye la parte perdida de la madera. Este encofrado puede ser construido con tablero de partículas si es desechable, aunque a veces se emplea un encofrado de madera que queda visto, o para pintar, forrando la parte de mortero epoxi.
- e) Vertido de un mortero epoxi en el encofrado. Este mortero está constituido por la resina epoxi y el endurecedor mezclado con arena y gravilla de cuarzo, con el fin de conseguir un módulo de elasticidad mayor, una disipación del calor generado en la polimerización de la resina y un abaratamiento del coste de material.
- f) Rellenado de las holguras que quedan entre las barras de conexión y la madera con una formulación epoxi más fluida (normalmente se emplea sin cargas), que sirve para el anclaje de las barras.

Su ejecución consta de las siguientes operaciones, figura 6.9:

a) Apeo de la viga o vigas sobre la que se va actuar y corte de la zona degradada de la cabeza mediante una motosierra llegando a la madera sana. Normalmente se efectúa un corte transversal, pero es recomendable realizar un corte oblicuo o con cierto dentado para mejorar la transmisión de los esfuerzos de corte, figura 6.10.

b) Realización de los taladros en la parte sana de la madera, para el alojamiento de las barras de refuerzo. Éstos, tienen un diámetro ligeramente superior al de la

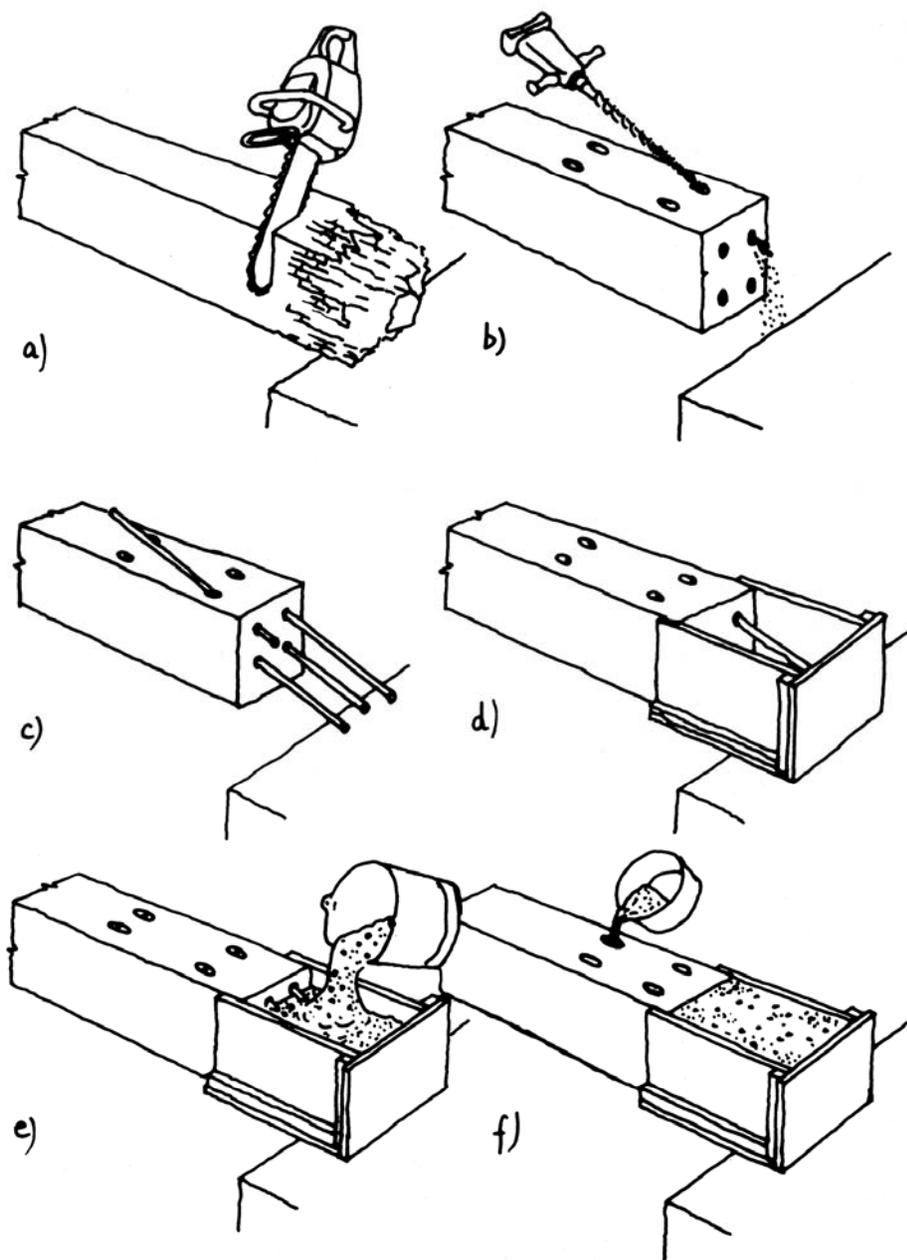


Figura 6.9. Secuencia de operaciones en la consolidación de una cabeza de viga mediante el sistema Beta.

En algunas ocasiones no es posible el acceso desde la cara superior y se recurre a trabajar desde abajo y sobre las caras laterales; los taladros se realizan en planos horizontales y con dirección oblicua respecto al eje de la viga, figura 6.11.

Si la sección no se encuentra muy deteriorada y queda un área suficiente para garantizar el apoyo puede no ser necesario cortar la cabeza y únicamente proceder a eliminar por completo

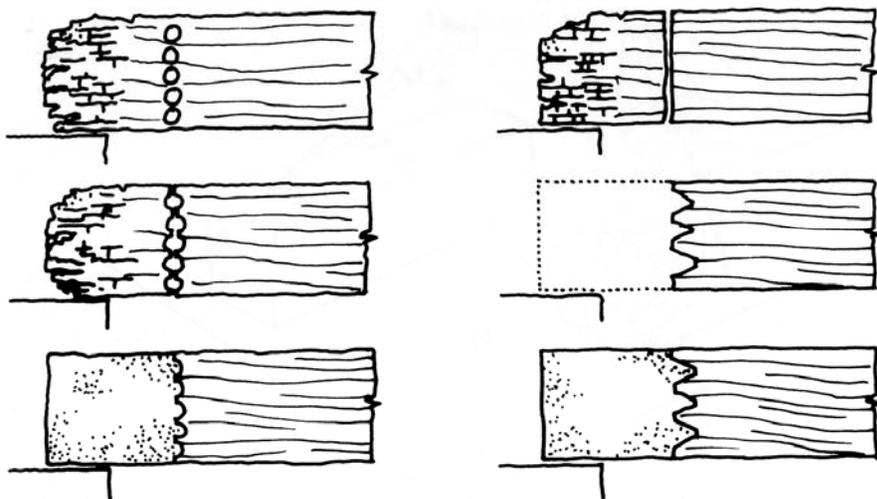


Figura 6.10. Corte «dentado» para mejorar la conexión.

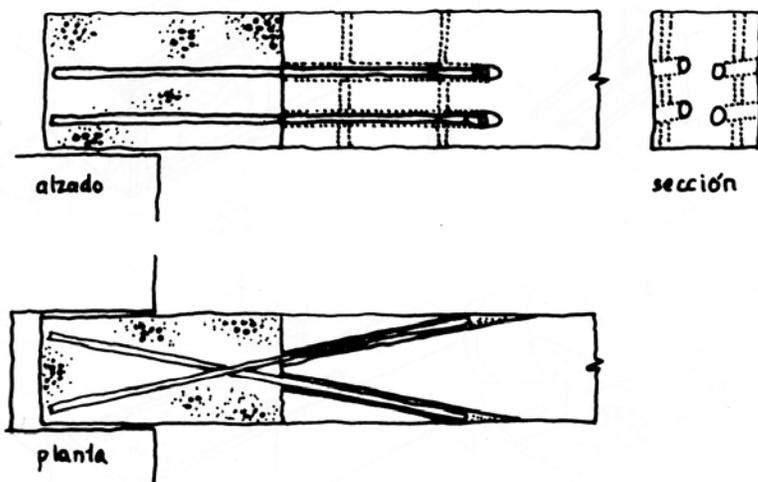


Figura 6.11. Colocación de las barras desde las caras laterales.

con hacha o azuela la parte destruida, hasta llegar a la madera sana. Se reconstruye con mortero epoxi vertido en un encofrado y se conecta a la madera mediante algunas barras de refuerzo, figura 6.12.

Por el contrario, si la zona deteriorada es grande y se puede desmontar la viga, es posible sustituir la madera eliminada por otra pieza de madera nueva o procedente de restos de otras vigas. La conexión entre ambas piezas se puede realizar mediante barras de refuerzo dejando una junta de contacto entre ambas que se rellena con formulación epoxi, figura 6.13. La madera que se aporta deberá tener un contenido de humedad similar al de la madera a reparar.

El mismo trabajo de investigación citado anteriormente (Mettem et al., 1993) sobre refuerzos con madera y medios mecánicos de unión, incluía una solución de empalme entre dos piezas

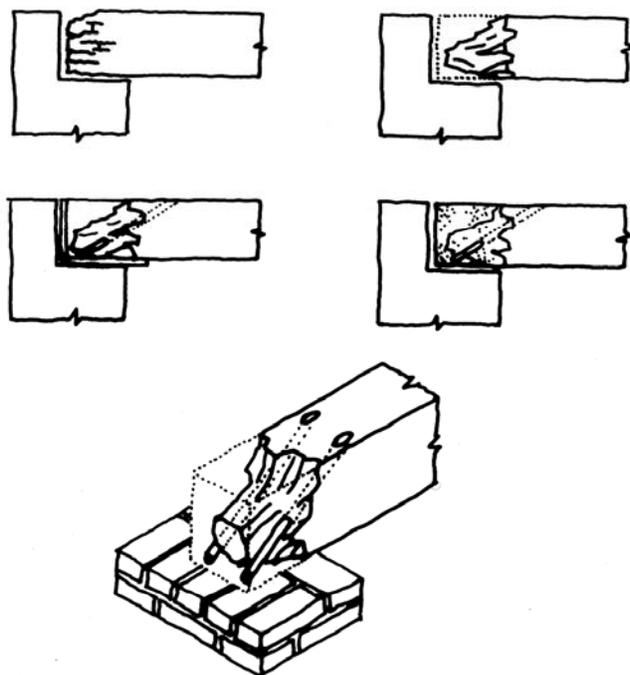


Figura 6.12. Reconstrucción parcial de la cabeza de la viga.

una disminución de la sección en las zonas del extremo. Y la mayor rigidez se debe al efecto de las barras de acero que aumentan la rigidez a la flexión en el tramo reforzado.

Una solución menos frecuente es el empleo de placas de refuerzo para la consolidación de la cabeza, como se indica en la figura 6.15. Las operaciones para la ejecución son las siguientes.

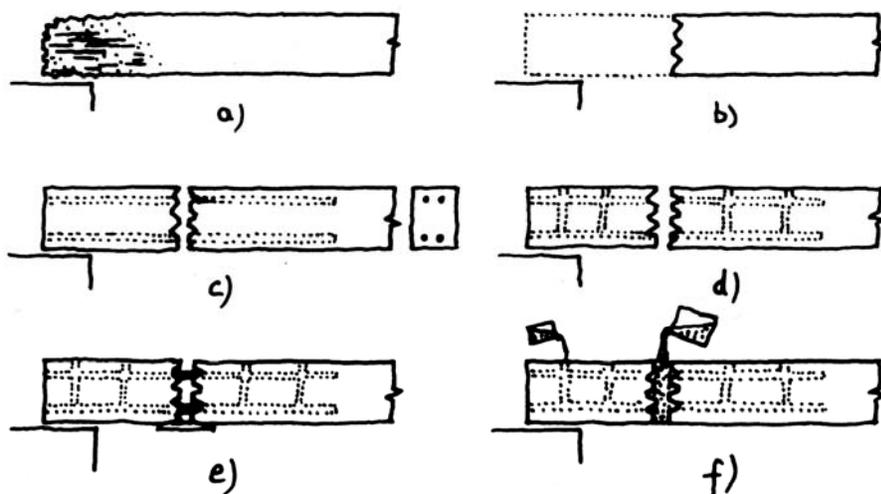


Figura 6.13. Sustitución parcial de la pieza.

mediante barras de acero conectadas con formulación epoxi. La sección de  $150 \times 250 \text{ mm}$  se conecta a otra pieza de madera dejando una junta de  $50 \text{ mm}$  e introduciendo ocho barras de acero de  $25 \text{ mm}$  de diámetro insertadas en una cavidad efectuada en las piezas y con una longitud de anclaje a cada lado de  $600 \text{ mm}$ , figura 6.14. El interior de la cavidad se rellena con una formulación epoxi. En los laterales se disponen inclinadas a  $45^\circ$  dos barras de acero de menor diámetro para dar mayor estabilidad lateral. Esta solución mostraba una eficacia en resistencia a flexión de  $0,60$  y de  $2,38$  en rigidez. La eficacia en flexión es menor que la unidad debido a que existe

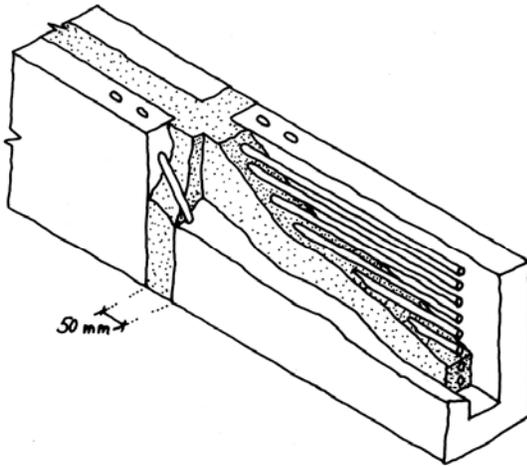


Figura 6.14. Empalme de dos piezas con barras de acero y formulación epoxi (Mettem, 1993).

c) En estas cajas se insertan con holgura al menos dos placas de refuerzo que pueden ser de acero o de materiales compuestos (resina reforzada con fibra de vidrio). La anchura de la caja debe dejar una holgura suficiente para que la formulación se cuele con facilidad (como orden de

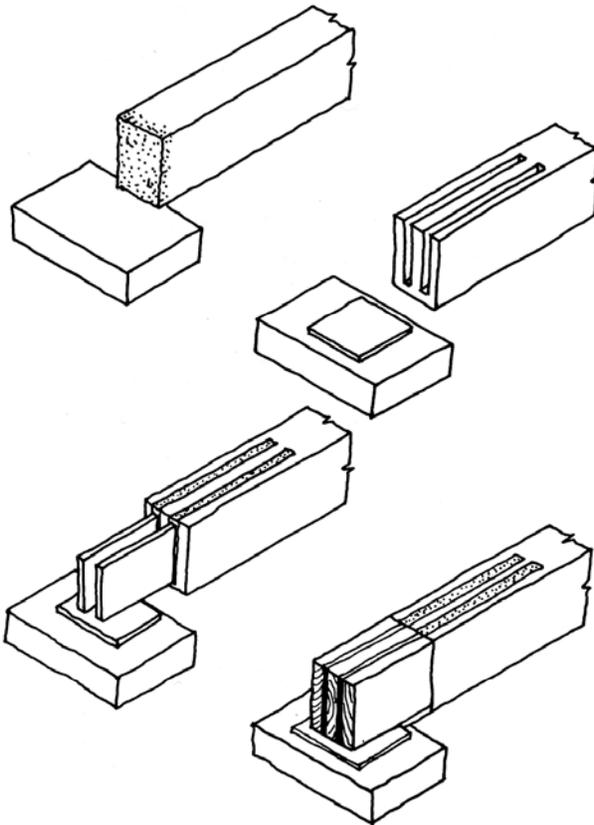


Figura 6.15. Consolidación de la cabeza de una viga mediante placas encoladas a la madera.

a) En primer lugar puede eliminarse la parte degradada llegando a cortar por la madera sana. Si no se desea eliminar esa zona puede consolidarse con algún tipo de impregnación o inyección con formulación epoxi. Esta opción tiene el inconveniente de que al no existir un corte no se puede conocer, con precisión, el estado de la madera en la zona de conexión.

b) A continuación se ejecutan los cajeados para el alojamiento de las placas. Esta operación se realiza con una motosierra acoplada a un sistema de guías para evitar desviaciones y regular la profundidad de la caja.

magnitud será de unos 4 mm a cada lado de la placa). La longitud de anclaje de la placa en la zona sana de madera puede determinarse por cálculo (véase anexo K «Cálculo de los refuerzos encolados»), y suele estar entre 2 y 2,5 veces el canto de la placa.

d) Finalmente, puede ser necesario colocar una placa de apoyo sobre el muro para que la carga concentrada de las placas verticales no provoque un corte o aplastamiento local en el muro. Como solución de acabado y principalmente para la protección contra el fuego se colocarán unas piezas de madera que recubran las placas en los laterales y en el fondo. A este respecto debe tenerse en cuenta que el espesor de madera que recubre el material de refuerzo es decisivo en la estabilidad al fuego de la viga, sobre todo si se trata de elementos metálicos. Aproximadamente, un centímetro de madera de conífera se consume en 15 minutos.

## 6.4 Actuaciones sobre piezas sometidas a flexión

### 6.4.1 Introducción

El problema principal que presentan las piezas que trabajan a flexión, como es el caso de los forjados, como se ha visto anteriormente, se encuentra relacionado con la degradación biótica de los apoyos. Sin embargo, hay ocasiones en las que el problema tiene que ver con la pieza en toda su longitud. Esta situación, generalmente, está relacionada con una sección insuficiente para soportar las cargas con una tensión o una deformación admisible. La aplicación de una normativa de acciones más exigente puede invalidar, o dejar fuera de norma, una estructura.

A veces, el problema se presenta como consecuencia de un ataque biótico en el vano de la pieza, o existen roturas debidas a defectos de la madera de una importancia excesiva en una sección concreta. Las actuaciones que en este apartado se describen están orientadas a un aumento o refuerzo de la capacidad portante del conjunto del forjado y su finalidad es facilitar o sugerir el diseño de una solución concreta al problema que se presente.

### 6.4.2 Soluciones con aporte de madera

En forjados en los que su capacidad resistente no es suficiente, una de las primeras y más sencillas soluciones que no debe dejar de plantearse es la adición de nuevas piezas adosadas o intercaladas a las originales. Su ejecución es fácil, siempre que el apoyo de las viguetas se pueda realizar sobre otra pieza sin necesidad de hacer nuevos cajeados en el muro, figura 6.16. Los problemas que pueden presentarse se encuentran en que las piezas originales tienen, por lo general, una deformación remanente mientras que las nuevas son rectas.

Otra solución de ejecución relativamente sencilla, es la colocación de vigas que dividan la luz del forjado en dos o más vanos, figura 6.17. El resultado conduce a un aumento del canto en algunas zonas del forjado, que a veces pueden ocultarse con el falso techo, si existe. Además, también se presenta el problema de que el apoyo de las viguetas originales sobre la cara superior de la viga parteluz puede requerir el empleo de calzos y cuñas, al no existir una regularidad de dimensiones en las viguetas. Otro posible inconveniente se presenta en el apoyo

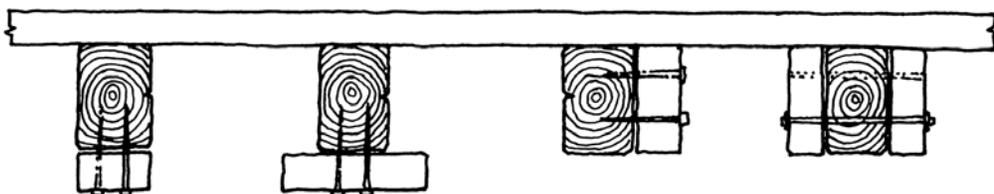


Figura 6.16. Refuerzo de las viguetas de un forjado.

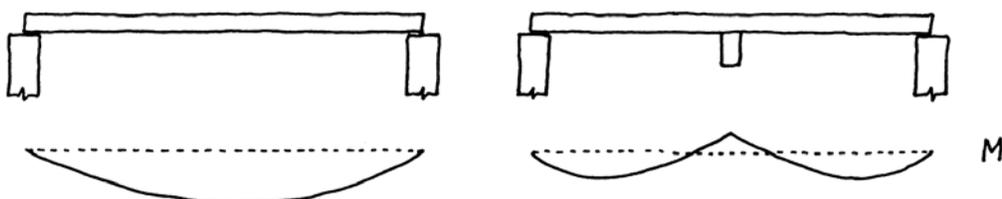


Figura 6.17. Refuerzo del forjado colocando una línea de carga intermedia.

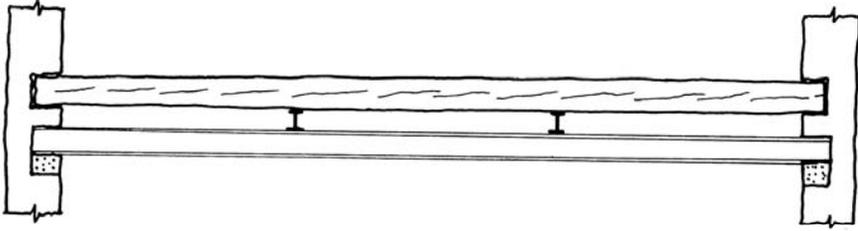


Figura 6.18. Refuerzo de forjado con estructura inferior que parte la luz del mismo.

de las vigas de refuerzo sobre el muro, que causan cargas concentradas que en algunos casos pueden precisar refuerzos del muro.

Cuando el forjado se encuentra en un local con una dimensión transversal a las viguetas muy grande, no es viable disponer una viga parteluz sin apoyos intermedios, teniendo que recurrir a introducir nuevos pilares, lo que no siempre es posible, o a disponer otras vigas como puntos de apoyo de los parteluces, figura 6.18. El cálculo preciso de esta solución deberá tener en cuenta que la deformación de las vigas parteluz y de apoyo produce el descenso de los puntos de apoyo de las viguetas, de tal forma que debe considerarse como un emparillado. Para evitar que el cuelgue de los cantos de las vigas sea muy elevado pueden disponerse unas intercaladas entre las viguetas y de éstas colgar los parteluces.

En el caso de existir dos forjados contiguos biapoyados, puede mejorarse su comportamiento dando continuidad en el apoyo común, mediante piezas de madera que se adosan a las originales y se enlazan para conseguir una rigidización del nudo, figura 6.19. En esta disposición se disminuye la flecha del vano en un elevado porcentaje. Aunque debe tenerse presente que la mejora del comportamiento sólo es válida para las sobrecargas de uso y no para la carga permanente. Para que sea eficaz desde el inicio deberá descargarse por completo la estructura antes de colocar la conexión entre ambos vanos.

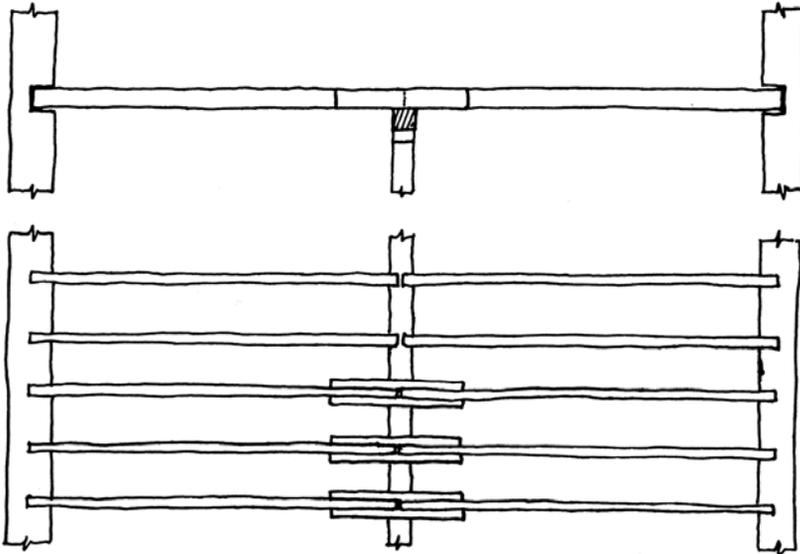


Figura 6.19. Pieza añadida para aportar continuidad a vanos de forjado contiguos biapoyados.

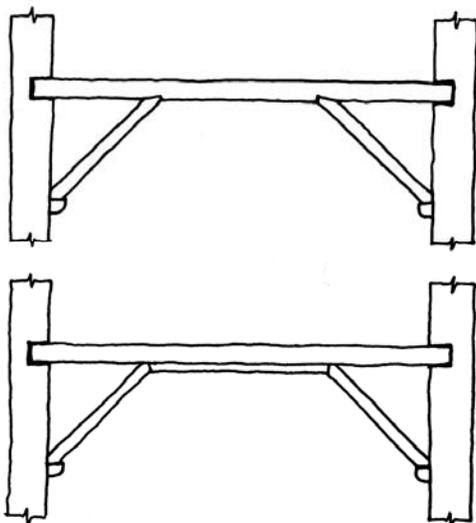


Figura 6.20. Colocación de jabalones para reducir la luz de la viga.

Una solución tradicional para disminuir el vano de una viga consiste en la introducción de jabalones que aportan puntos de apoyo intermedios, figura 6.20. El encuentro de los jabalones con la viga puede hacerse mediante un ensamble o con la ayuda de una pieza que hace de puente equilibrando los empujes de los jabalones. El inconveniente que se deriva de esta solución es que los muros deben resistir un empuje horizontal, de difícil análisis.

### 6.4.3 Aplicación de la tecnología de las resinas epoxi

Es frecuente encontrar el caso de forjados en los que alguna de sus viguetas ha sufrido una rotura en el vano. Generalmente, está relacionada con un defecto local, como un nudo, que tenga un tamaño demasiado grande. La consecuencia de un fallo en una de las viguetas es que cede y

deja de soportar su carga correspondiente y sobrecarga las adyacentes. Para recuperar la continuidad pueden emplearse los sistemas que a continuación se describen.

#### Consolidación con placas de refuerzo internas:

La utilización de placas interiores de refuerzo es una de las soluciones más cómodas para ejecutar y que presenta una gran rigidez en la conexión. Para ello se deberá colocar la viga en la posición original y apearla debidamente. Desde la cara superior se realizan cajeados para introducir al menos dos placas de refuerzo con una longitud de anclaje suficiente para la transmisión del momento flector y cortante que se den en la sección, figura 6.21. El anclaje debe hacerse sobre madera sana.

Después del marcado o realización de una guía donde se van a alojar las placas, se ejecutan las siguientes operaciones para la instalación del refuerzo, figura 6.22:

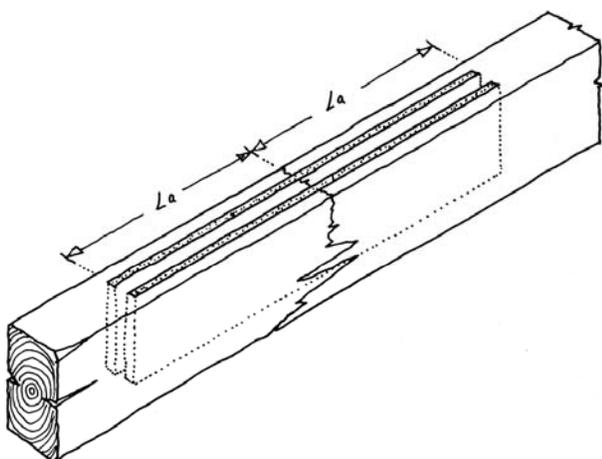


Figura 6.21. Consolidación con placas internas.

a) Realización de los cajeados con una motosierra provista de guías y tope de regulación de profundidad de la escopleadura. La anchura de la caja será suficiente para permitir el vertido de la formulación.

b) Vertido parcial de la formulación epoxi hasta rellenar una tercera parte de la profundidad del cajeadado.

c) Introducción de las placas de refuerzo haciendo que la resina fluya por las holguras.

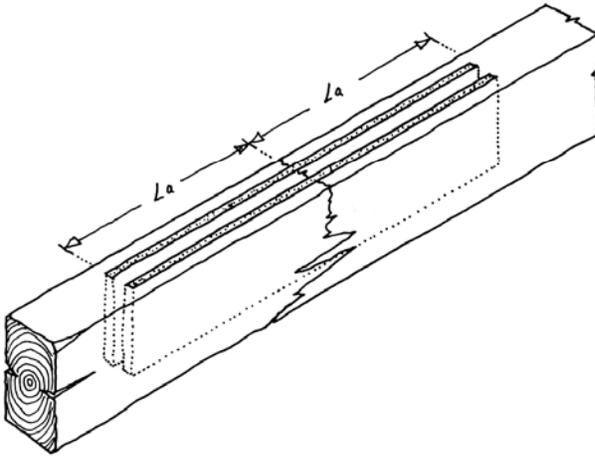


Figura 6.22. Proceso de instalación de las placas de refuerzo internas.

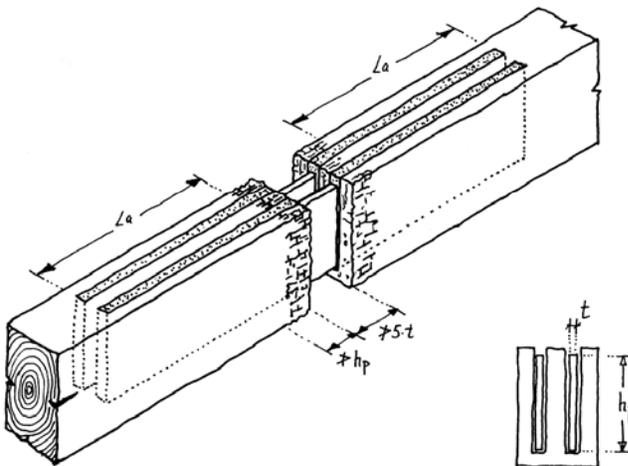


Figura 6.23. Longitud libre máxima de las placas de refuerzo.

presenta es que la actuación queda vista desde el exterior (aunque pueden taparse con listones perdidos), y que el refuerzo queda expuesto a las consecuencias de las variaciones higrotérmicas del ambiente y al incendio.

### Refuerzo con barras inclinadas:

En las secciones de grandes escuadrías es inevitable la aparición de grandes fendas que tienden a dividir la sección original en dos piezas acopladas. Estas fendas se producen como consecuencia del secado de la madera que provoca contracciones mayores en la dirección tangencial que en la radial, de tal forma que las grietas son radiales y suelen afectar al plano medio de la sección, figura 6.25. Estas fendas también aparecen en las caras superior e inferior. Las consecuencias de este fendado están poco estudiadas, pero es de esperar que la rigidez de la viga disminuyan en cierto grado, aunque es difícil de evaluar.

d) Llenado con la formulación epoxi hasta enrasar con la cara superior de la pieza.

Cuando se presente el caso de una reconstrucción en el vano de la pieza donde existen daños por pudrición que dejan una zona de madera perdida, el procedimiento es similar, pero con la precaución de comenzar a contar el anclaje en la madera sana descontando la zona dañada. La longitud de las placas que queda en vacío no debería superar un valor igual a 5 veces el grueso de las placas, figura 6.23. Este procedimiento es válido también para reconstruir piezas de madera empalmando trozos de restos de otras vigas.

### Consolidación con barras de refuerzo:

La instalación de barras de refuerzo, a modo de armadura, en ranuras practicadas en la superficie de la pieza o bien en las caras laterales o en la superior e inferior, permite consolidar un punto intermedio del vano de una viga, y constituye una solución similar a las mencionadas anteriormente, figura 6.24. El inconveniente que

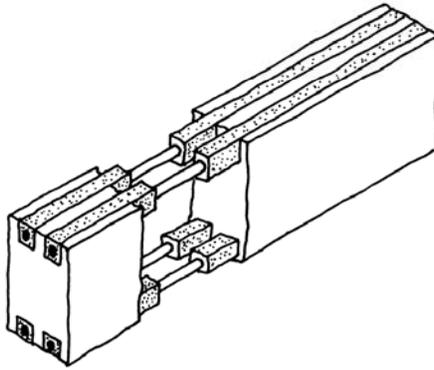
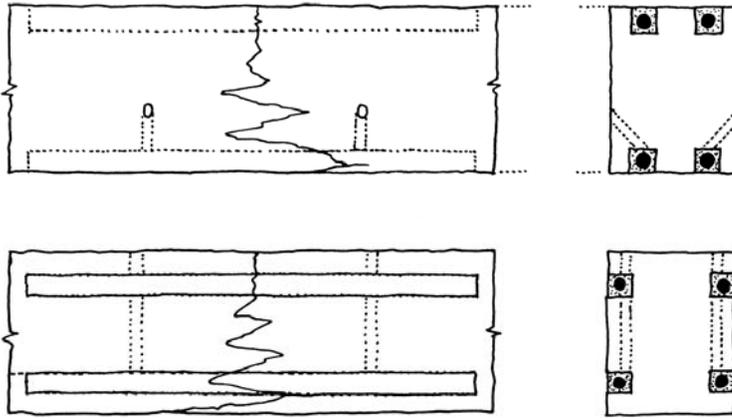


Figura 6.24. Consolidación de una viga mediante barras de refuerzo.

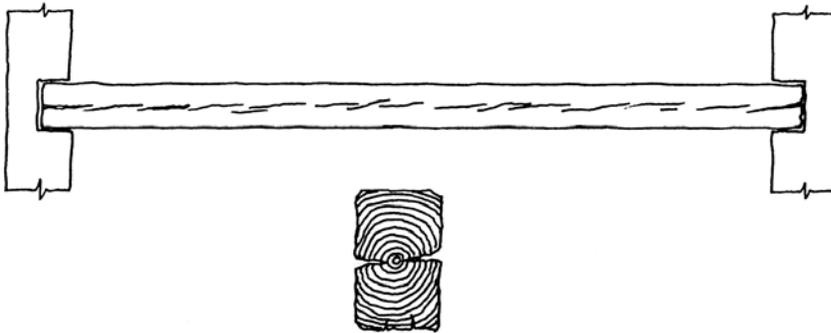


Figura 6.25. Fendas de secado en una viga de madera.

El sistema Beta ha sido aplicado para reforzar estas piezas mediante un cosido de las fendas con barras inclinadas (con ángulos comprendidos entre  $20$  y  $30^\circ$ ), figura 6.26. Para su colocación se realizan los taladros al trespelillo desde la cara superior, se sellan las fendas en las caras de la viga y se vierte o inyecta una formulación epoxi, normalmente sin cargas, una vez colocadas las barras de refuerzo. Esta formulación debe penetrar en las cavidades de las barras y de las fendas. De esta forma se consigue que la pieza vuelva a estar constituida por una sola

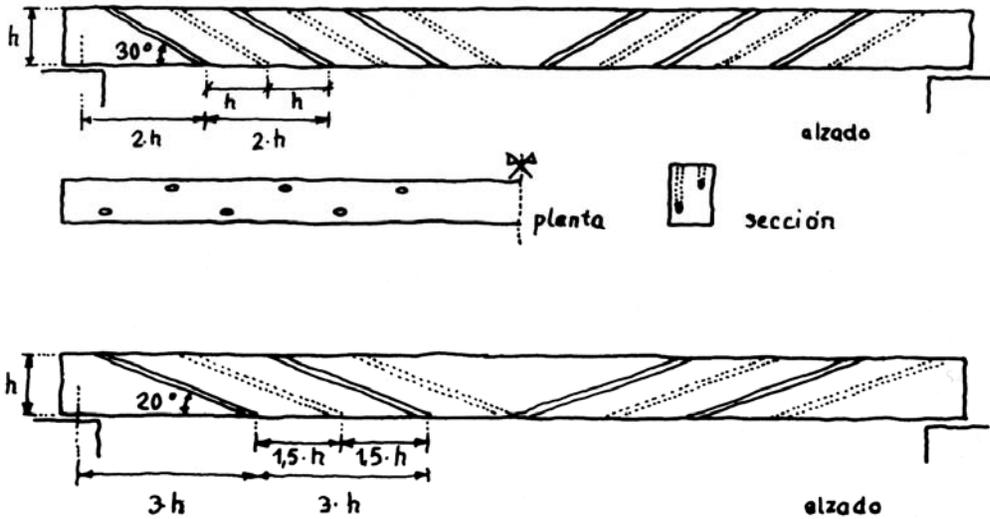


Figura 6.26. Refuerzo de vigas fendadas mediante una armadura interior.

sección solidaria. De algunos ensayos realizados se deduce un efecto significativo en la reducción de la flecha de la viga, gracias al efecto de rigidización. La aplicación es difícil ya que la resina puede escaparse por cualquier fenda u orificio que no haya sido perfectamente sellado. También debe plantearse antes de tomar la decisión, si la disminución de la deformación, con la incertidumbre que conlleva el no poder cuantificar de antemano su efecto, compensa en relación al trabajo a realizar y su coste.

### Refuerzo con celosía interna:

Existe un estudio experimental (Cigni, 1981) en el que se comprueba la eficacia de un refuerzo de vigas de madera mediante la introducción de una armadura interior constituida por barras de resina epoxi reforzadas con fibra de vidrio o de cable de acero, que forman una celosía triangulada que se encola a la madera con resina epoxi inyectada. Se estudiaron tres soluciones: a) Celosía con barras de fibra de vidrio formando armadura de compresión y de tracción; b) Celosía con barras de fibra de vidrio y sólo armadura de tracción; y c) Celosía con armadura de cable de acero en tracción y barras de fibra de vidrio en las diagonales, figura 6.27.

Se ensayaron 4 vigas (3 de abeto y 1 de castaño). Las tres de abeto se desdoblaron con el fin de poder comparar los resultados y ensayar una de las mitades al natural y la otra con el refuerzo. El ensayo realizado era de flexión de la viga biapoyada con carga en el centro del vano y las dimensiones de la sección transversal eran de 140 x 240 mm hasta 190 x 270 mm con luces de 2000 a 2100 mm.

Los resultados de los ensayos mostraron un comportamiento elástico con un aumento de la tensión de rotura aparente de un 32 a un 42 %, y una disminución de la flecha a un 59 o 76% de la original. El número de probetas es muy reducido y no se describe si existe continuidad entre las barras de refuerzo. Por otro lado, en la práctica parece que su ejecución es muy compleja.

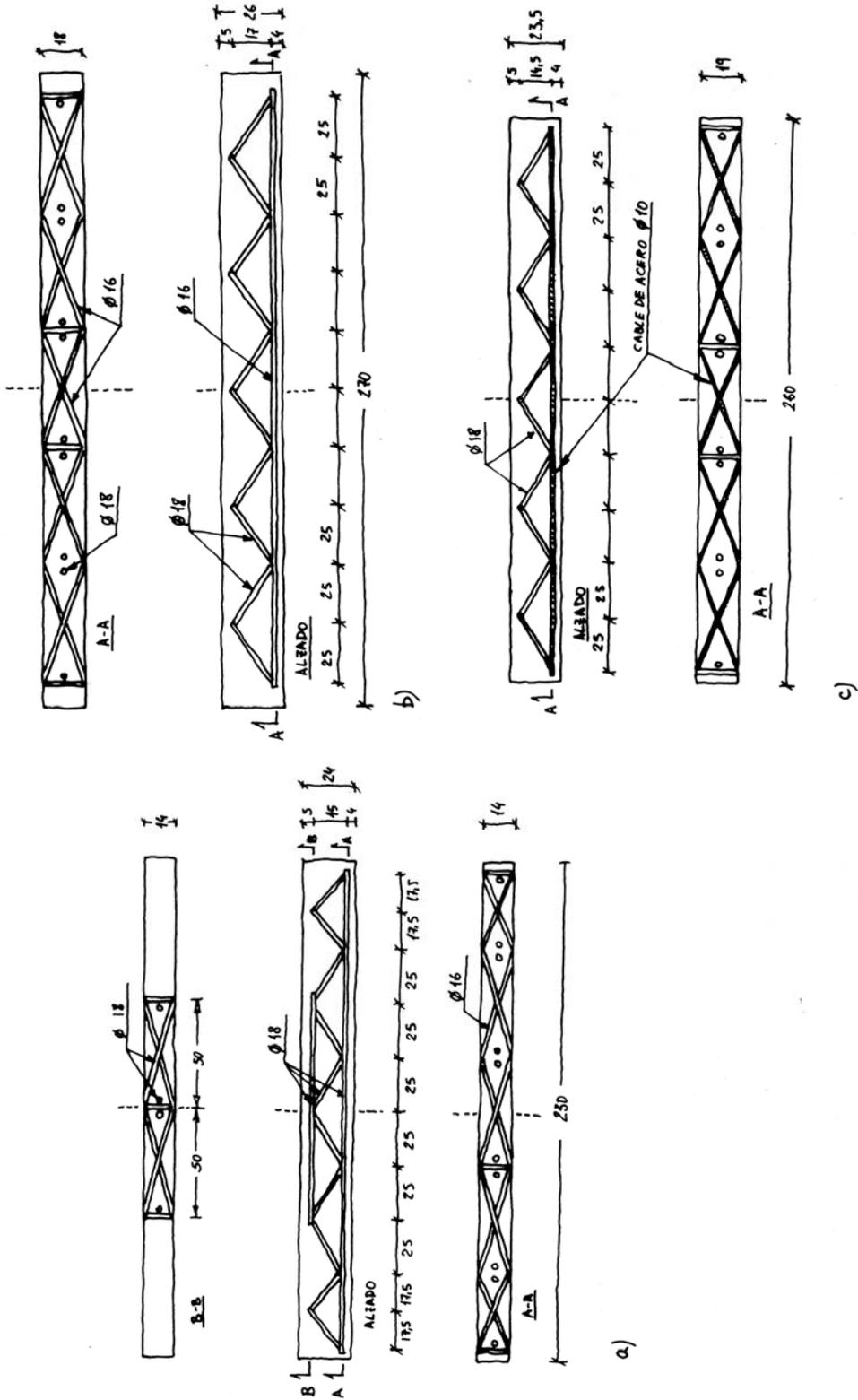


Figura 6.27. Refuerzo de vigas con armaduras internas (Cigni, 1981).

## Reconstrucción de la parte superior de la sección de la viga mediante mortero epoxi:

En algunas ocasiones las piezas de forjado presentan degradaciones originadas por las galerías de los insectos xilófagos que progresan en el borde superior de la viga en toda o parte de la longitud. Este daño es característico de los Cerambícidos que se alimentan de la albura de la madera situada en la zona periférica de la sección. Muchas veces el acceso a la viga se facilita por la existencia de un entablado constituido por albura donde se origina el ataque.

Para recuperar la sección original puede procederse a la eliminación con azuela de la madera destruida hasta llegar a la madera sana. A continuación se insertan unos conectores que pueden ser barras de poliéster reforzado con fibra de vidrio situados en taladros realizados desde la cara superior y con la ayuda de un pequeño encofrado en los laterales se rellena el volumen

original con un mortero epoxi, figura 6.28. Este mortero debe contener un elevado porcentaje de carga, con el fin de aumentar el módulo de elasticidad y reducir el gasto de resina.

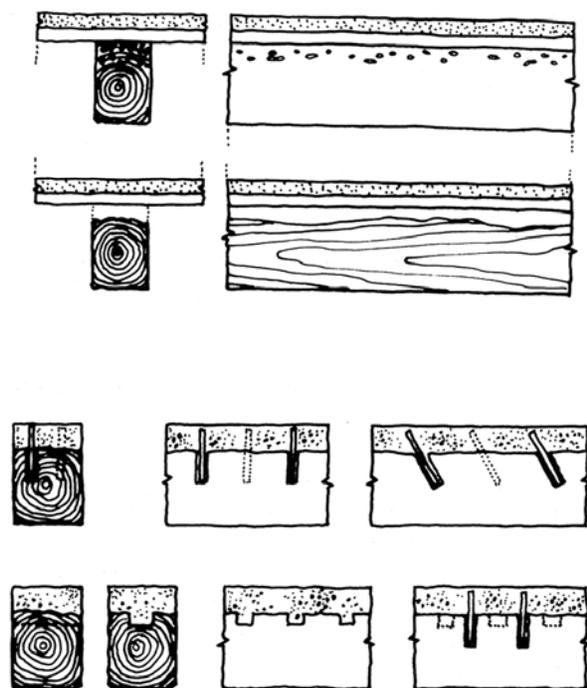


Figura 6.28. Reconstrucción de la parte superior degradada de la sección con un mortero epoxi.

En general, la adherencia entre la resina y la madera es suficiente para la transmisión de los esfuerzos rasantes debidos al esfuerzo cortante, pero normalmente se añaden los elementos de conexión, antes citados, para garantizar la unión y evitar un posible efecto de despegue perpendicular a la superficie de contacto. Otra posibilidad para mejorar la conexión entre los dos materiales consiste en dejar ranuras o cajas en la madera en la dirección transversal para que el mortero penetre a modo de almenas. El inconveniente de esta solución es el elevado gasto de resina en la reparación.

## Aumento de la sección de la viga mediante piezas de madera encoladas:

Cuando la sección de la viga, o de las viguetas de un forjado, es insuficiente para cumplir las condiciones de carga y deformación especificadas, se puede aumentar el canto de la misma con un suplemento de madera unida al borde superior mediante el encolado con una formulación epoxi. Este suplemento puede tener una anchura superior a la de la viga, dando lugar a una sección en T, figura 6.29.

Al igual que en el caso anterior, la conexión entre ambas piezas se realiza a través de la misma formulación, pero es práctica habitual insertar barras a modo de conectores, que se disponen

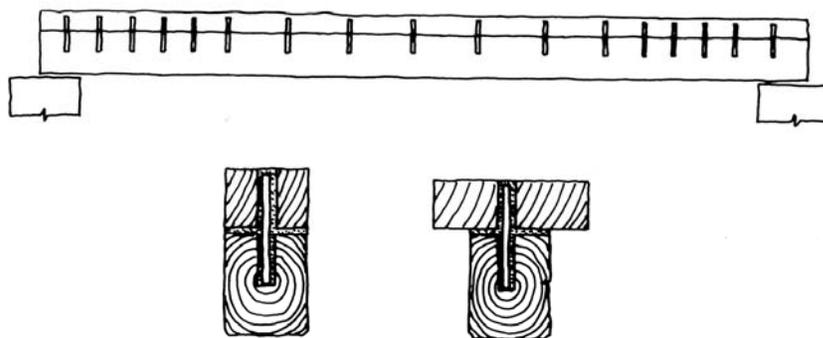


Figura 6.29. Aumento de la sección de la viga con el acoplamiento de una pieza encolada.

más juntos en las zonas cercanas a los apoyos, de mayor cortante. La ventaja de la formulación epoxi frente a otros tipos de adhesivos se encuentra en la aptitud que presenta para rellenar las irregularidades que suele tener la superficie de la viga.

La madera que vaya a utilizarse como suplemento deberá tener un contenido de humedad lo más próximo posible al de la madera a reforzar (la tolerancia puede estar alrededor del  $\pm 2$  o  $3\%$ ). Para ello las piezas de madera nueva, después del secado, deberían almacenarse en los locales del edificio, apiladas sobre rastreles, el tiempo necesario para que adquiera la humedad de equilibrio con el ambiente. Cuando la escuadría de la pieza de refuerzo es muy grande, el secado es más lento y difícil, por lo que puede plantearse un refuerzo con piezas de menor grosor que pueden encolarse durante el montaje formando un laminado.

La puesta en obra de esta solución, comienza con una limpieza y cepillado de la superficie de la cara superior de la viga para garantizar el encolado. Se presenta encima la pieza de refuerzo sobre la viga y se efectúan los taladros donde se alojarán las barras de conexión que también quedan encoladas con una formulación epoxi. Para el pegado del refuerzo puede procederse de dos maneras diferentes según el tipo de formulación que se emplee. Si se utiliza una formulación de tipo mortero fluido, es necesario disponer unas tapas o encofrados laterales para impedir que la formulación se escape por la junta entre las piezas. Para introducir la formulación se practican unos orificios en la pieza de suplemento, de unos  $50\text{ mm}$  de diámetro y cada  $50$  o  $70\text{ cm}$ , por los que se vierte la formulación. Otra posibilidad es utilizar una formulación epoxi de consistencia elevada, parecida a la que tiene el yeso, que puede aplicarse con espátula y no se descuelga ni fluye. En este caso primero deben insertarse y encolarse las barras de conexión transversales y después se dispone una capa de formulación sobre la viga a reforzar sobre la que se acopla el suplemento de refuerzo aplicando una presión para garantizar el contacto.

El inconveniente que presenta esta solución es que normalmente supone una elevación del nivel del solado y además desde abajo la apariencia del forjado cambia, salvo que se disponga o conserve un entablado al nivel de la cara superior de la viga original.

### **Refuerzo con armadura longitudinal de resina reforzada con fibra de carbono:**

Este sistema emplea como material de refuerzo un laminado fabricado con un material compuesto de fibras de carbono con una matriz de resina epoxi, patentado por Sika S.A. con el nombre de Carbodur (Sika, Prontuario, 1.999). Este material tiene un módulo de elasticidad

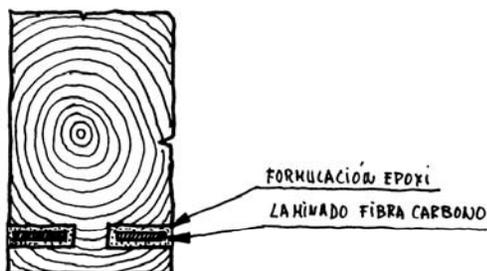


Figura 6.30. Refuerzo de una viga con una armadura de fibra de carbono encolada a la madera.

madera. Primero se aplica una capa de resina epoxi de 1 mm de espesor sobre el soporte que va a reforzarse. El laminado de fibra de carbono se impregna con una capa de resina de 1 a 2 mm de espesor y se coloca sobre la superficie del soporte. Con un rodillo se presiona el laminado hasta que el adhesivo rebose.

Los primeros ensayos que se realizaron en Suiza datan del año 1987 y las primeras aplicaciones en madera son de 1991 en la reparación de un puente antiguo con estructura de madera.

#### 6.4.4 Soluciones de sustitución con hormigón

El empleo del hormigón en la consolidación o reparación de forjados de madera sólo tiene sentido en las soluciones mixtas, en las que colabora de forma solidaria con la madera, o como hormigón aligerado, como se verá en el apartado siguiente.

Una tendencia que se daba anteriormente y que todavía mantiene cierta vigencia era la práctica de reforzar el forjado de madera con una capa gruesa de hormigón armada con un mallazo. La confianza en estas soluciones se basa en que las cargas se reparten transversalmente y en caso de que exista alguna pieza débil o dañada, quedaría relevada por las contiguas. Sin embargo, el peso propio aumenta de manera desproporcionada para la ganancia que se obtiene, además del peligro que existe si no se ha comprobado realmente el estado de las piezas dañadas y de los apoyos.

Además de la práctica antes comentada, era muy frecuente que se empleara el hormigón para construir una estructura que sustituye por completo a la madera en su función estructural, dejándola vista por motivos estéticos. A continuación se comentan alguna de estas soluciones.

#### Losa de hormigón armado sobre el forjado:

La solución más simple de este tipo, consiste en construir una losa de hormigón armado con un espesor de 10 a 15 cm sobre el forjado de madera que se utiliza como encofrado, figura 6.31. Normalmente, esta solución se emplea cuando las viguetas del forjado se encuentran dañadas y presentan grandes flechas, pero interesa conservar la vista inferior.

Para la ejecución se colocará un apeo adecuado mediante una o varias sopandas que acorten el vano del forjado. Debido a la diferente flecha que puede presentar cada vigueta, se hace necesario acuñarlas para lograr una superficie superior nivelada. Después de desmontar el pavimento y el mortero de agarre se recomienda aplicar un tratamiento químico sobre la madera con el fin de detener posibles ataques xilófagos. En la cara superior de las viguetas se

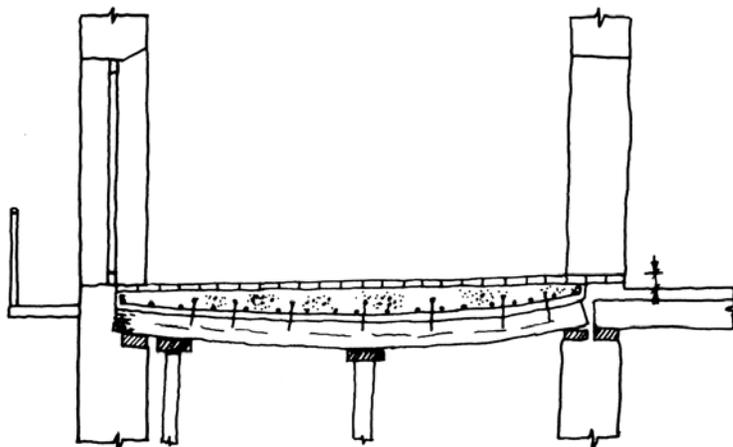


Figura 6.31. Sustitución de la misión estructural de un forjado mediante una losa de hormigón armado.

introducen tirafondos dispuestos a intervalos regulares y dejando que sobresalgan 4 a 6 cm para que queden anclados al hormigón. Su finalidad es colgar la estructura de madera de la losa de hormigón, pero no se pretende una conexión a esfuerzos rasantes.

Uno de los problemas que presenta esta solución es que el canto de la misma es muy irregular, alcanzando un máximo en el centro del vano donde la flecha es mayor, a no ser que se consiga un plano horizontal de la cara superior con el apeo. La losa se arma a flexión para resistir por sí misma toda la carga. Otro de los puntos delicados se encuentra en el apoyo de la losa sobre los muros. No es admisible confiar el apoyo a las piezas de madera, sobre todo si no se hace una comprobación detallada del estado de los apoyos. Si se proyecta un apoyo continuo es preciso cajear de manera continua todo el muro con la debilitación del mismo. Otra opción es practicar mechinales separados a poca distancia en los que se permite el apoyo de la losa con una armadura y forma específicamente diseñada.

Para reducir el peso se puede recurrir a hormigones aligerados o la colocación de ladrillos huecos en zonas de canto excesivo. Finalmente, existe un inconveniente añadido y es que es necesario un recrecido del nivel de solado en los locales donde se plantee esta solución, obligando a crear peldaños y corregir las carpinterías de los huecos de puertas y de balcones.

### **Losa de hormigón armado sobre nervios principales:**

Una solución similar a la anterior que procura evitar la necesidad de rozar el muro de manera continua es disponer la losa apoyada en vigas o nervaduras que dispuestas a intervalos regulares terminan descansando sobre los muros de manera puntual, figura 6.32. La zona de apoyo en el muro debe ser reforzada ya que las cargas son concentradas y de un valor muy superior al original. Generalmente en las zonas de apoyo se introducen en el muro o se adosan a él pilares nuevos que descansan en una cimentación independiente. Una solución de este tipo ha sido utilizada en el Palacio de Santa Cruz en Valladolid; dos de las viguetas del forjado se sustituían por piezas de hormigón con la misma forma exterior y actuaban como nervios de apoyo de la losa, figura 6.32

Una solución extrema de utilización del hormigón armado, que fue utilizada en parte de los

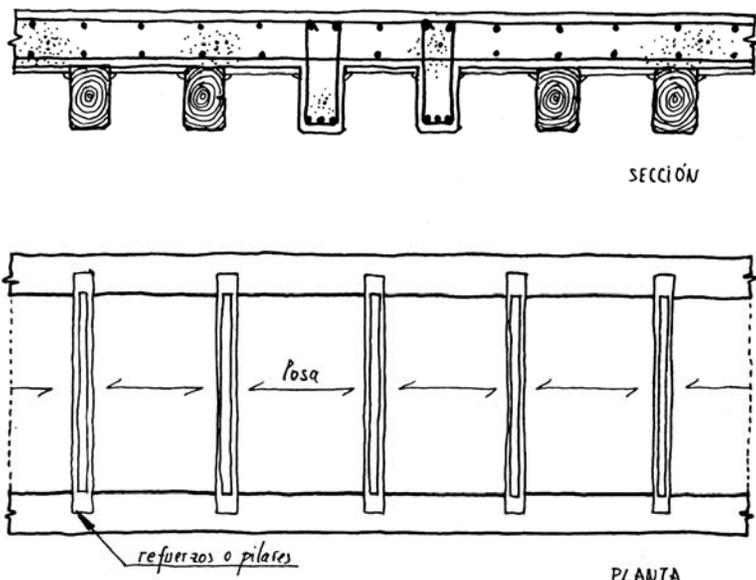


Figura 6.32. Losa de hormigón armado sobre apoyos reforzados.

forjados del exconvento de San Pedro Mártir en Toledo, consiste en la sustitución completa de las piezas de madera por una estructura de hormigón construida con un encofrado que reproduce la forma externa de las viguetas pintando la superficie con un color oscuro para que no destaque demasiado con respecto a la madera, figura 6.33. Evidentemente, esta solución no conserva la madera ni sus características constructivas.

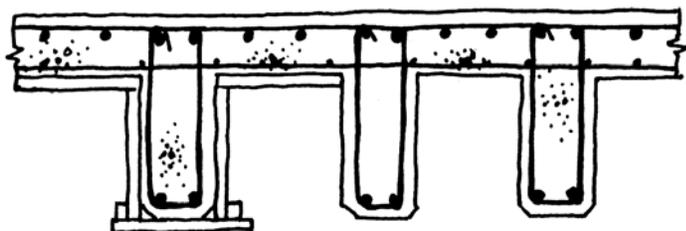


Figura 6.33. Forjado de hormigón armado moldeado.

### 6.4.5 Soluciones mixtas de madera y hormigón

#### Introducción:

La utilización del hormigón para reforzar un forjado de madera mediante la formación de un sistema mixto es una solución con grandes posibilidades reales. Para ello se dispone una capa de hormigón, armado con un mallazo, sobre las viguetas del forjado debidamente conectada, figura 6.34. El hormigón trabaja como cabeza comprimida y la madera predominantemente a tracción. El peso de la solución resultante no es muy elevado ya que el grueso de la capa de hormigón es reducido (5 a 8 cm). Es importante tener presente que el funcionamiento correcto de este sistema mixto sólo es posible si las conexiones entre ambos materiales se han proyectado adecuadamente.

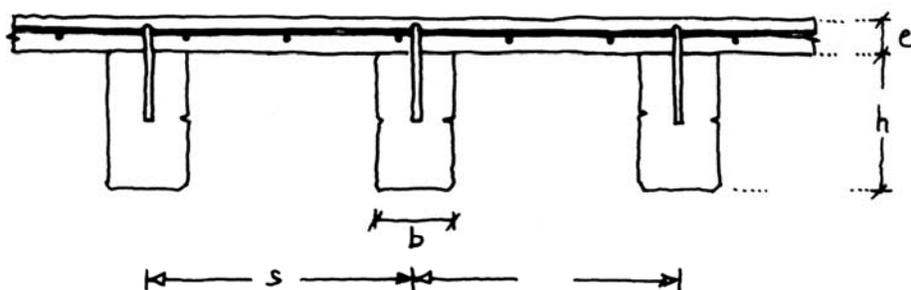


Figura 6.34. Solución mixta de madera y hormigón.

Este sistema constructivo se utiliza en Europa, no sólo como solución para incrementar la capacidad de carga de forjados ya existentes, sino también en obra nueva. La capacidad de carga puede llegar, con facilidad, a duplicar la capacidad del forjado sin la capa de hormigón. La rigidez a flexión, en teoría, se puede triplicar o cuadruplicar, y la rigidez como diafragma es prácticamente infinita. El aislamiento acústico mejora al aumentar la masa así como el problema de las vibraciones.

### Tipos de conexiones:

Las conexiones pueden clasificarse por su rigidez y de manera aproximada en los tipos siguientes (Ceccotti, 1995):

#### a) Con clavijas:

Este tipo está constituido por los elementos de fijación más simples como pueden ser los clavos, tirafondos y las barras de acero dobladas. Pueden colocarse en dirección perpendicular al plano de contacto entre el hormigón y la madera trabajando a cortadura, figura 6.35a. En este modo de trabajo, y para tornillos, clavijas y clavos de adherencia mejorada, la norma UNE ENV 1995-2, permite considerar un incremento del 20 % de la capacidad de carga que se obtendría para unir dos piezas de madera y un incremento del 100 % en la rigidez de la unión. Si existe una capa intermedia no estructural, constituida por ejemplo por un encofrado o un tablero preexistente sobre la viga, figura 6.35b, el conector trabaja a flexión, además de a

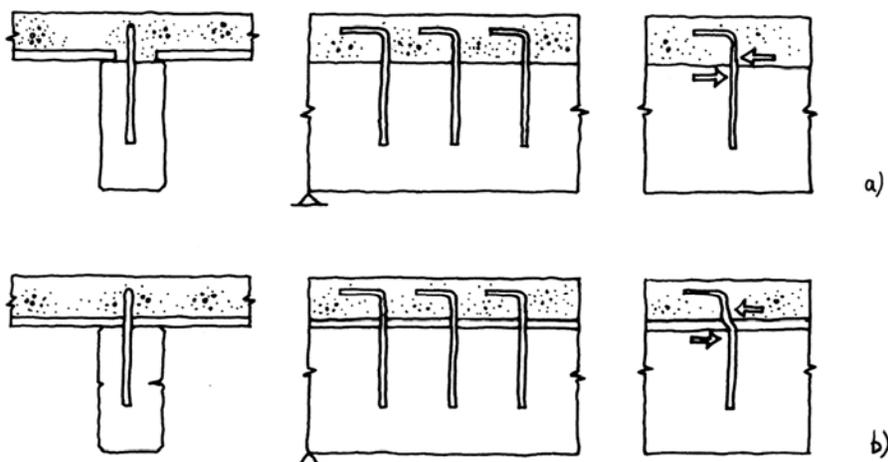


Figura 6.35. Conectores de tipo clavija: a) de cortante, b) de cortante y flexión.

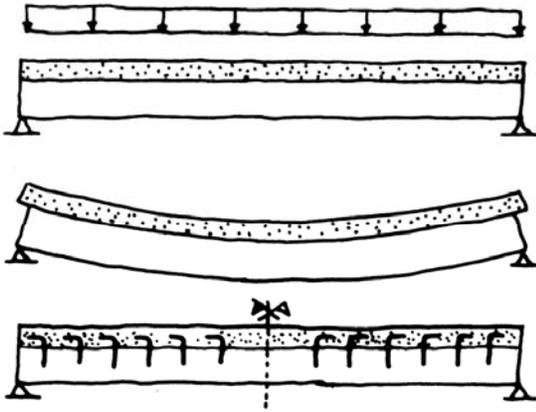


Figura 6.36. Barras dobladas hacia los apoyos y efecto de solidaridad.

cortante, con un comportamiento más flexible. La resistencia y la rigidez de la unión deberá determinarse mediante ensayos o un análisis especial.

Las barras de acero se disponen doblando su extremo superior mirando hacia los apoyos, figura 6.36. La unión con la madera se realiza mediante el encolado con una resina epoxi, aunque también hay experiencias que se basan en rellenar la holgura del agujero con un mortero o lechada de cemento de baja retracción.

Los elementos de fijación pueden colocarse oblicuamente y en este caso quedan sometidos a esfuerzos axiales, figura 6.37a. Si se emplean clavijas en una sola dirección el esfuerzo rasante se transmite mediante un esfuerzo de tracción en el mismo, y una compresión en una biela en el hormigón con una inclinación respecto a la vertical no superior a los  $20^\circ$  (UNE ENV 1995-2). Evidentemente, si el sentido de la fuerza rasante puede cambiar, este sistema no es válido.

En el caso de colocar dos clavijas con inclinaciones opuestas, figura 6.37b, el rasante se descompone en dos fuerzas axiales, una de compresión y otra de tracción. En el mercado existen tirafondos específicos para esta función de conexión entre madera y hormigón. En la figura 6.37c se describe un tirafondos que tiene una parte roscada terminada en una arandela de tope de profundidad que deja embebida en el hormigón un tramo de fuste liso.

#### b) Con conectores de superficie:

Una solución con una rigidez algo mayor que la anterior consiste en la utilización de los conectores que se emplean en las uniones en madera, como los conectores de anillo o dentados, o incluso la inserción de tubos metálicos como si fueran conectores, figura 6.38. La mayor capacidad de carga de estos conectores permite distanciarlos más y conseguir una rigidez mayor.

Uno de los más recientes sistemas de conexión que se han desarrollado es el Sistema H.S.B. (Habitat System Beton) que emplea conectores derivados de los conectores de anillo, con un elemento saliente de sección circular que queda embebido en el hormigón, figura 6.39 (Arriaga, 2000 y Bottinelli, 2000). Se fabrican en aluminio por inyección. Para fijarlos a la madera y resistir pequeños esfuerzos de arranque se introducen unos tirafondos en un orificio que tiene el conector. La separación entre conectores varía entre 30 a 50 cm. Los resultados de ensayo

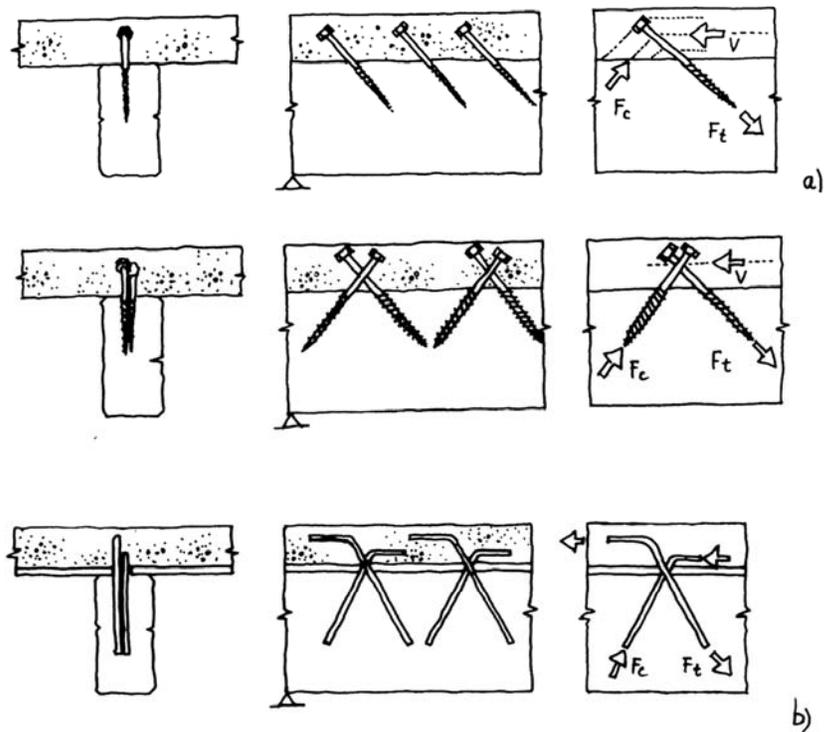


Figura 6.37. Conectores de tipo clavija que trabajan axialmente.

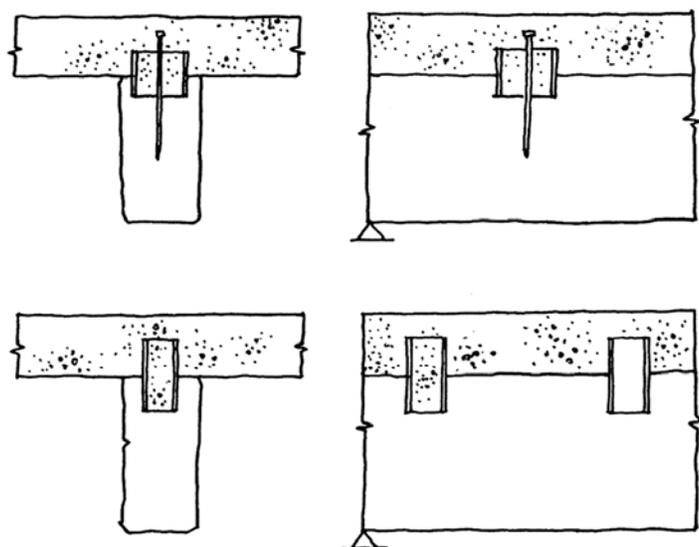


Figura 6.38. Conectores de superficie de tipo anillo.

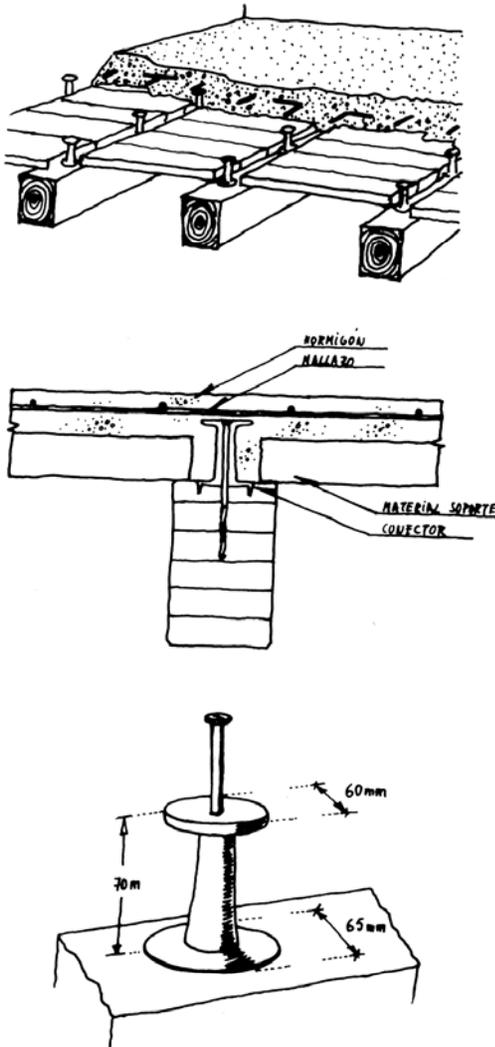


Figura 6.39. Sistema H.S.B. para la conexión entre madera y hormigón.

la madera a través de cajas o ranuras, con el fin de conseguir la transmisión del rasante mediante una presión directa entre las superficies del hormigón y la madera. La capacidad de carga debe ser comprobada en el hormigón y en la madera. Existen versiones con cajas en forma de cilindros o con cajeados rectangulares, figura 6.41. Para evitar un posible efecto de levantamiento de la capa de hormigón respecto al plano de la madera, se disponen barras que cosen la unión. También se citan sistemas en los que las cajas tienen forma trapecial y la conexión se realiza mediante barras que se han colocado previamente encoladas en la madera y después del fraguado del hormigón se tensan para aumentar las fuerzas de rozamiento, figura 6.42.

#### d) Con uniones encoladas:

En este caso la rigidez de la unión es máxima y puede admitirse un comportamiento perfectamente solidario del hormigón y la madera. Las disposiciones constructivas que se utilizan suelen consistir en celosías metálicas o placas de acero que se insertan en ranuras longitudinales en la

demonstraron un comportamiento de gran fiabilidad; en un forjado de viguetas de 5 m de luz reforzado con este sistema la carga de rotura resultaba del orden de 2,7 veces mayor que la correspondiente a las piezas de madera.

Otro dispositivo de conexión cuyo comportamiento para la transmisión de los esfuerzos rasantes consiste en una mezcla del modo de funcionamiento de los conectores de tipo clavija y de superficie, es el sistema propuesto por la firma italiana Tecnaria. Se trata de un conector que consta de una base de forma cuadrada con un lado de 50 mm y un grueso de 4 mm, sobre la que sobresale un vástago de diámetro igual a 12 mm, figura 6.40. La altura del vástago varía desde 40 a 200 mm y es función del espesor de la capa de hormigón. La conexión de este elemento metálico con la madera se realiza con un efecto de superficie mediante el doblado de las esquinas de la placa base, convertido en cierto grado en un conector dentado; además, se introducen dos tirafondos de 8 mm de diámetro y longitud de 100 mm que trabajan con el mecanismo de los elementos de fijación de tipo clavija. El tramo de la caña del tirafondo que se encuentra pegado a la cabeza tiene forma cónica, con el fin de conseguir que quede ajustado al orificio de entrada de la placa base; de este modo se adquiere una mayor rigidez de conexión.

#### c) Con cajeados en la madera:

En estas soluciones, el hormigón penetra en

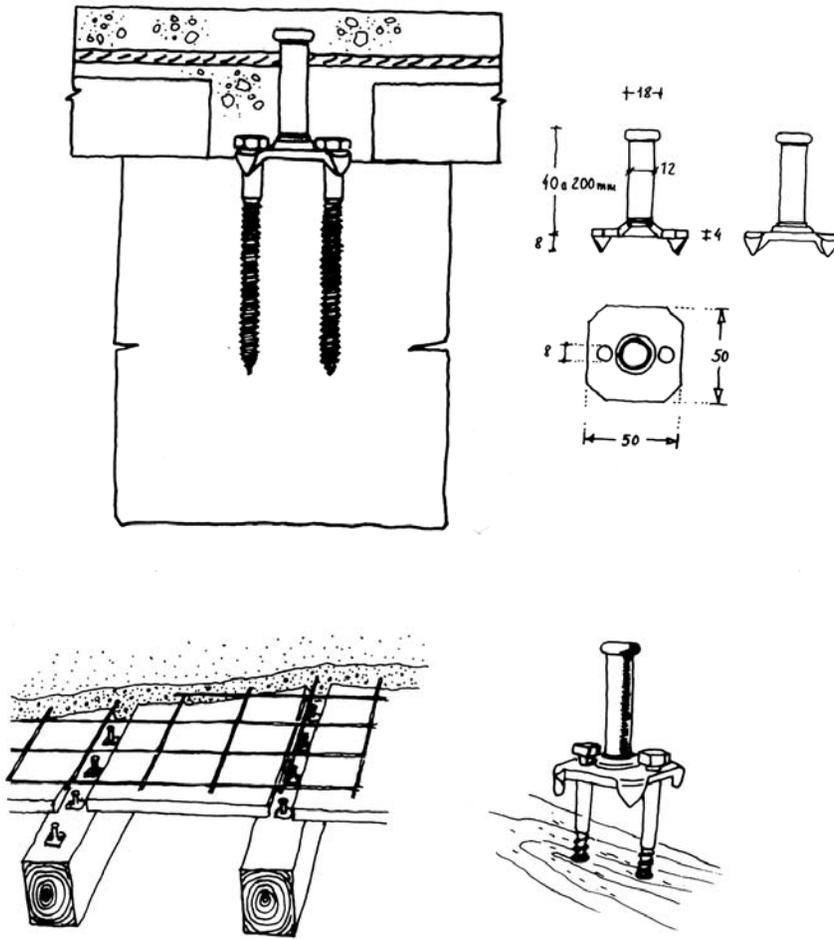


Figura 6.40. Sistema Tecnar para la conexión entre madera y hormigón.

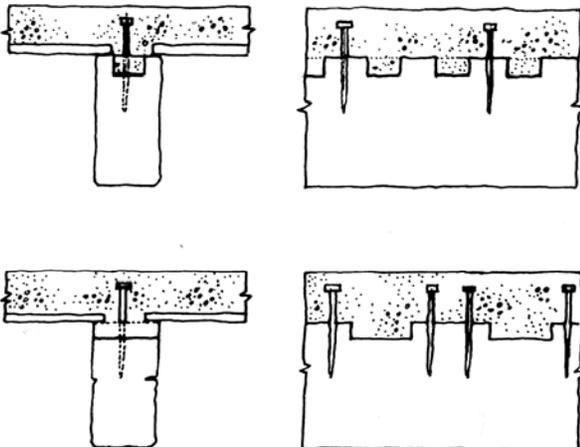


Figura 6.41. Conexión mediante cajas realizadas en la cara superior de la viga.

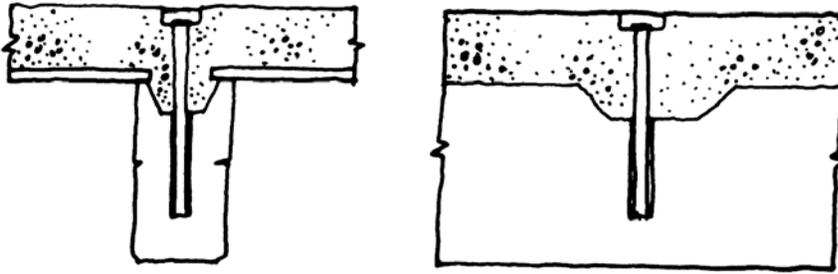


Figura 6.42. Conexión mediante cajas de forma trapecial y barras encoladas y tensadas.

viga y se unen mediante un mortero epoxi, figura 6.43.

De manera aproximada, puede decirse que la rigidez eficaz a flexión de las soluciones anteriores varía desde un 50 % para las soluciones de tipo clavija, hasta un 100 % para las soluciones encoladas.

#### f) Otros tipos de conexiones:

Existe un sistema patentado (LPR, Peter Cox) que utiliza como conector un perfil metálico con sección en V invertida, alveolado y perforado para introducir los tirafondos de conexión con la madera, figura 6.44. La colocación de este conector es rápida y fácil en el caso de vigas que tengan una superficie medianamente nivelada. La solución típica recrece el canto de la viga en unos 10 cm, dejando un hueco sobre el entablado que se rellena con un material de aislamiento térmico.

Algunos procedimientos que parecen un sistema de refuerzo de la madera, se pueden conside-

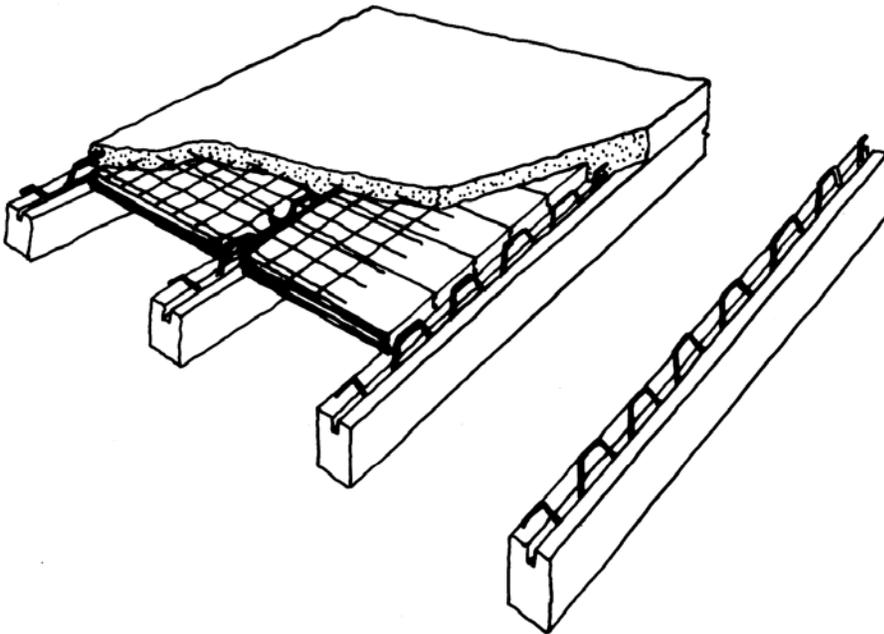


Figura 6.43. Celosía de acero encolada a la madera con mortero epoxi (Sistema Llear).

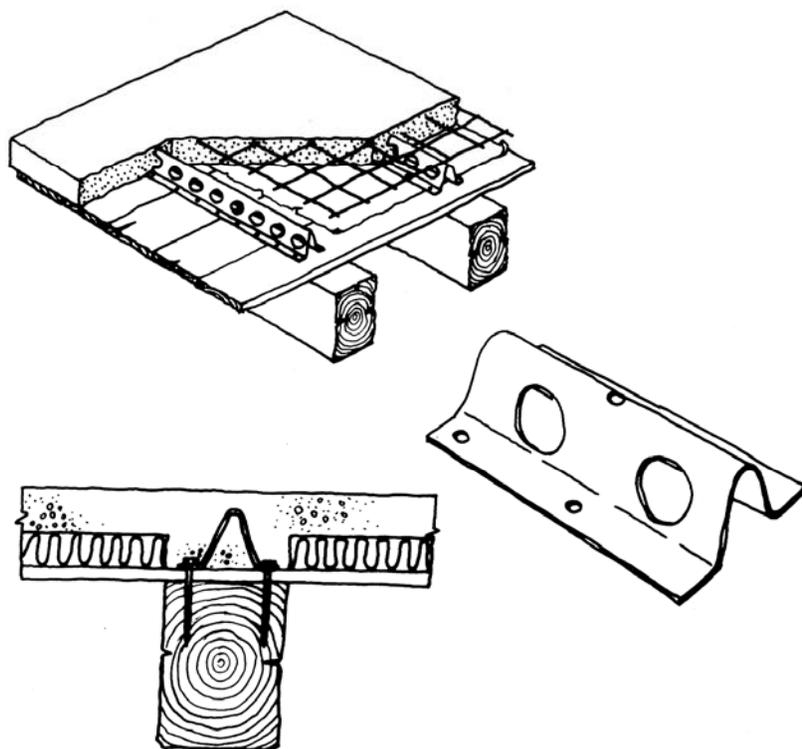


Figura 6.44. Conector constituido por un perfil metálico en forma de V invertida (Sistema LPR).

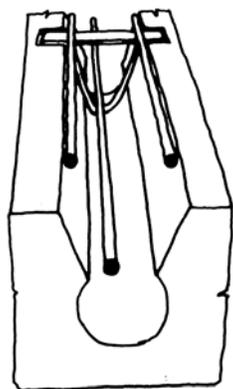


Figura 6.45. Sistema de hormigón armado y ahuecado de las vigas.

rar como una estructura de hormigón armado con un recubrimiento de madera que simula un forjado de viguetas. Este podría ser el caso del sistema mostrado en la figura 6.45, donde la pieza de madera se ahueca parcialmente para alojar una armadura de acero en forma de celosía. El hormigón se cuela en este hueco y forma encima una capa de compresión (Lambillon, 1994).

La mayoría de la bibliografía sobre el tema de la conexión de la madera con hormigón, principalmente dirigida a la restauración, procede de Italia (Tamponi, 1989). Algunas de sus propuestas no solo refuerzan la pieza con una cabeza de hormigón, sino que debido al tamaño de la cabeza comprimida se hace necesario el refuerzo de la pieza de madera. Para ello insertan placas metálicas conectadas con formulación epoxi fluida, figura 6.46.

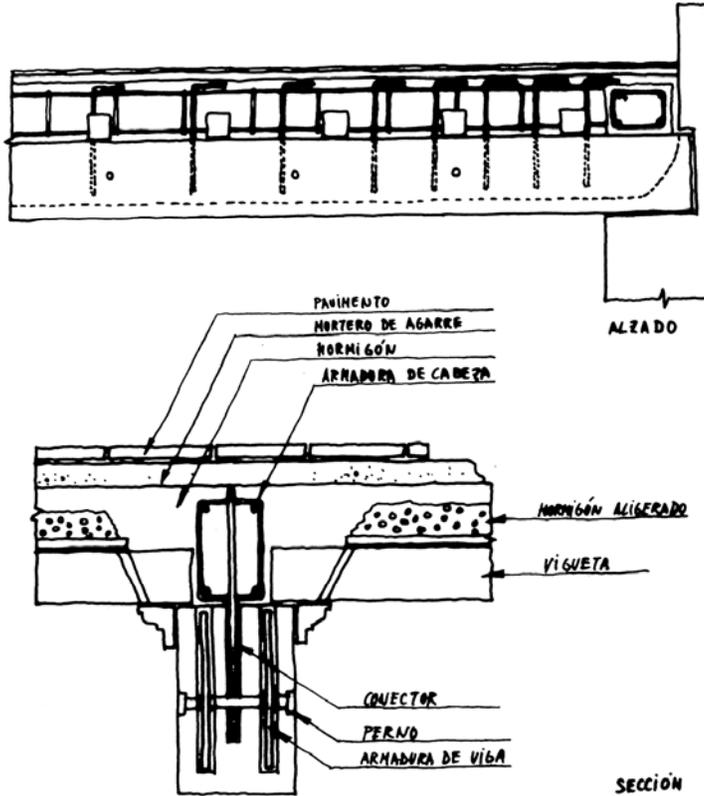


Figura 6.46. Refuerzo de una viga de madera con una cabeza de hormigón comprimida y una armadura de placas de acero en la zona traccionada.

### Cálculo de estas soluciones:

Si la unión entre madera y hormigón fuera perfectamente rígida, como ocurre prácticamente con las soluciones encoladas, el cálculo no plantea dificultad. En primer lugar la sección deberá homogeneizarse tomando el módulo de elasticidad de uno de los dos materiales (madera u hormigón), figura 6.47. Si se denomina  $K$  a la relación entre el módulo de elasticidad del hormigón y el de la madera, la anchura homogeneizada de la capa de hormigón es equivalente a  $K$  veces la anchura real. Como el valor de  $K$  es del orden de 2, la eficacia de la sección se ve aumentada en una proporción muy elevada. El baricentro de la sección mixta queda en una posición más elevada, de forma que el hormigón queda comprimido y la madera prácticamente solo traccionada.

Sin embargo, en el caso de soluciones de conexión flexibles el cálculo es algo más complejo ya que la deformación de la sección no es plana al producirse un deslizamiento entre ambos materiales. El comportamiento de la sección mixta con una conexión rígida tiene una deformación plana de la sección, figura 6.48a, y la eficacia es máxima. Si no existiera ningún tipo de conexión, ni siquiera rozamiento, cada material trabajaría de manera independiente, repartiendo-se la carga total de manera proporcional a sus rigideces. La sección se deformaría como dos planos, alcanzando tensiones muy superiores a la solución rígida, figura 6.48c. La situación intermedia, descrita en la figura 6.48b, correspondiente a las conexiones flexibles, da lugar a una

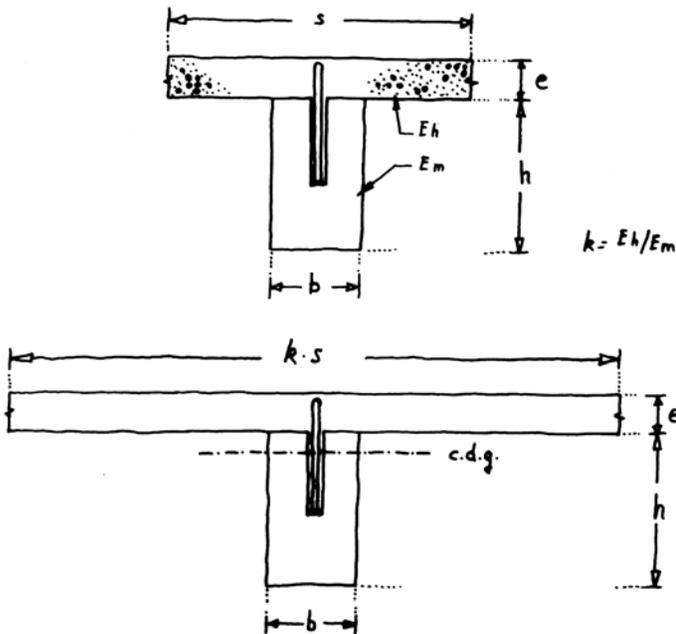


Figura 6.47. Sección mixta de madera y hormigón. Homogeneización de la sección.

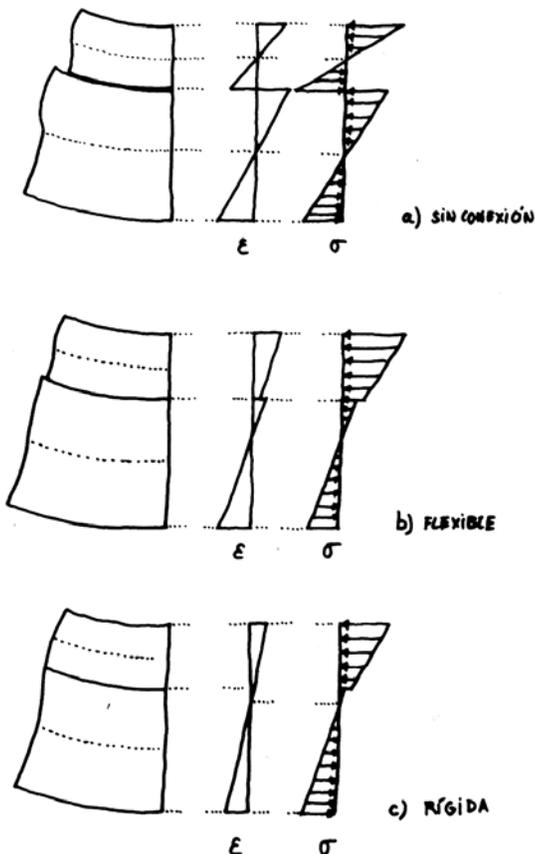


Figura 6.48. Flexibilidad de la conexión.

deformación de la sección también en dos planos, pero más parecidos que en el caso anterior. El comportamiento será más cercano a una unión rígida o libre en función del módulo de deslizamiento de los elementos de conexión. Para la determinación del módulo de deslizamiento, en general, se recurre a ensayos de acuerdo con la norma UNE EN 26891.

El cálculo de estos sistemas mixtos queda recogido en la norma UNE ENV 1995-1-1 (Eurocódigo 5, parte 1-1, anexo B: Vigas compuestas con uniones mecánicas). Además pueden consultarse otras referencias bibliográficas (Cecchi, 1989, Kreuzinger, 1995, Monfort et al., 1996 y Ceccotti, 1995). En el anexo L «Cálculo de sistemas mixtos de madera y hormigón», se recoge el planteamiento de cálculo basado en las referencias anteriores.

### Recomendaciones constructivas:

En primer lugar se procede al apeo del forjado para que la carga del hormigón fresco no provoque tensiones de flexión en la madera, que disminuirían la capacidad final del conjunto. Debe tenerse en cuenta que una capa de hormigón de 5 cm supone un peso de  $100 \text{ kp/m}^2$ . En caso de no proceder así, las piezas de madera deberán resistir la carga muerta del peso propio del hormigón que además provocarán una deformación inicial. La capacidad de carga final será más reducida que si se apea. Las únicas ventajas serían la no utilización del apeo y las menores necesidades de conexión entre madera y hormigón.

La humedad de la madera debe estar cercana a la humedad de equilibrio higroscópico del ambiente, con el fin de evitar posteriores movimientos por desecación. Los herrajes de conexión deberán estar protegidos contra la corrosión. Generalmente, se suele colocar un plástico entre la madera y el hormigón para evitar que éste pueda escaparse entre las juntas y manchar la madera por debajo.

Finalmente, algunas maderas como el alerce contienen extractos de azúcares que pueden impedir o retrasar el fraguado del hormigón si se dejan en contacto sin la separación antes comentada.

#### 6.4.6 Soluciones mixtas de madera y tablero

De manera análoga al refuerzo de un forjado con una capa de hormigón puede plantearse el empleo como material de refuerzo una o dos capas de tableros derivados de la madera. Este procedimiento ha sido utilizado en la construcción con madera a través de los paneles de caras en tensión (viguetas de madera con dos paramentos de tablero) y en paneles con tableros en la cara superior, figura 6.49, al menos en obra nueva. Sin embargo, no es muy empleado en el refuerzo de estructuras existentes, tal vez por las dificultades que entraña para conseguir una planitud adecuada para lograr una correcta conexión entre las viguetas y el tablero.

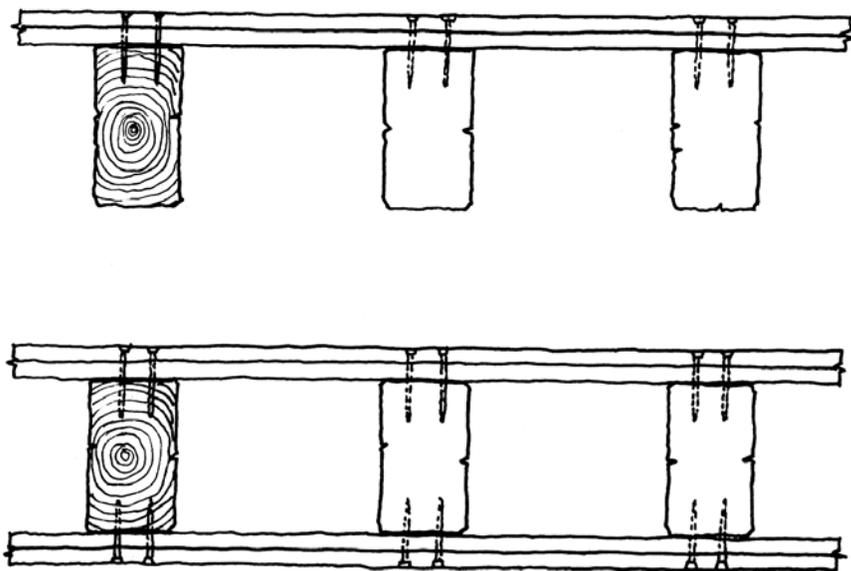


Figura 6.49. Refuerzo de un forjado con tableros en una o dos caras.

Además, los tableros derivados de la madera tienen un módulo de elasticidad por lo general inferior al de la madera maciza; el tablero de partículas tiene un módulo de elasticidad variable entre  $1.800$  y  $4.600$   $N/mm^2$ , dependiendo del espesor y el tipo, el tablero de fibras de densidad media entre  $2.700$  y  $3.700$   $N/mm^2$ , el tablero de virutas orientadas (OSB)  $4.930$  y  $6.780$   $N/mm^2$  (en dirección paralela a la fibra) y el tablero contrachapado entre  $5.000$  y  $8.000$   $N/mm^2$  (en dirección paralela a la fibra). La madera maciza de coníferas tiene módulos de elasticidad del orden de  $9.000$  a  $12.000$   $N/mm^2$ .

Por tanto, la mejora de rigidez en el conjunto es menor que la que se obtiene con una capa de hormigón, aparte de la dificultad del encuentro cuando las vigas se encuentran deformadas y con superficies irregulares. No obstante, tienen la ventaja de conseguir soluciones con poco incremento de peso.

#### 6.4.7 Soluciones con acero

El acero ha sido utilizado para la reparación o refuerzo de piezas en flexión con soluciones de diferente eficacia. Las de menor eficacia son las que pretenden una reparación puntual de un fallo de las piezas. La solución resulta poco estética al quedar visto el acero y con el inconveniente de limitar su estabilidad al fuego.

##### Refuerzo mediante perfiles metálicos:

La utilización de perfiles y pletinas para la reparación de roturas de vigas es uno de los recursos más inmediatos que aparecen en la consolidación puntual de obras antiguas. Suelen consistir en la recuperación de la continuidad de la viga mediante perfiles o pletinas adosadas que se unen a la madera mediante elementos de fijación mecánicos (tirafondos y pernos), figura 6.50. El inconveniente que presentan es que la entrada en carga del refuerzo exige cierta deformación de la unión, lo que conduce a una eficacia muy pobre del mismo; la sección gira y apenas admite carga.

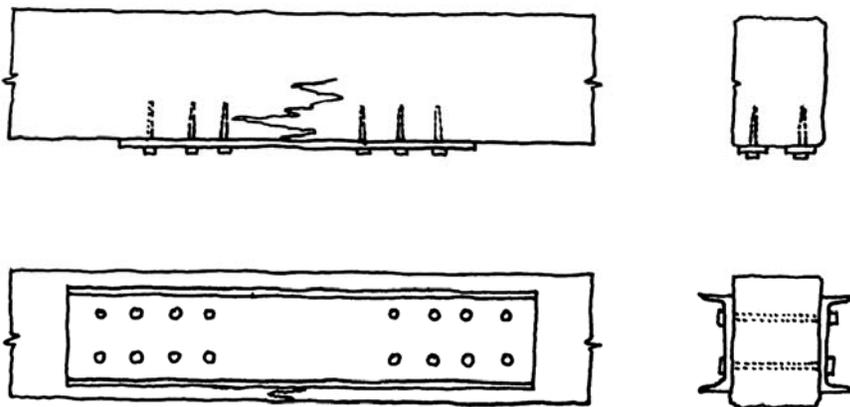


Figura 6.50. Reparación puntual de una rotura mediante pletinas. Presenta poca eficacia.

**Refuerzo con atirantado metálico y enanos comprimidos:**

La disposición de tirantes de acero en la parte inferior de la viga permite aumentar la inercia de la pieza, quedando el tirante traccionado y la viga comprimida, figura 6.51 (Gramegna et al., 1996). El tirante se apoya y se distancia de la viga a través de enanos metálicos que quedan comprimidos. Presenta el inconveniente de las dificultades de anclaje del tirante en los extremos de la pieza, que en algún caso exigen desmontar la viga.

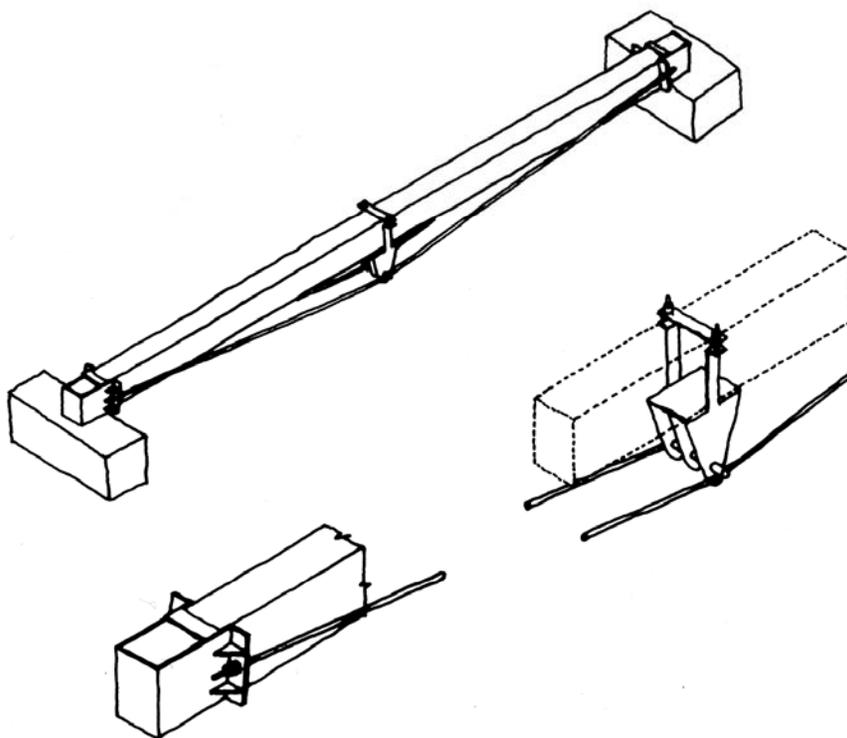


Figura 6.51. Refuerzo de una viga mediante la disposición de un tirante inferior.

### Sustitución estructural de la madera con perfiles metálicos:

Recientemente algunas empresas comercializan bajo patente sistemas de refuerzo de forjados de madera utilizando perfiles de acero colocados por debajo de cada una de las viguetas degradadas. Uno de ellos consiste en la disposición de un perfil de tipo IPE que lleva otro perfil en U soldado al ala superior, figura 6.52a. El hueco del perfil en U se rellena parcialmente con mortero de cemento de alta resistencia. El apoyo en los muros extremos se realiza mediante una base metálica con anclajes mecánicos o químicos según las características del muro. Este herraje de apoyo permite un tensado o apriete para alcanzar la entrada en carga del refuerzo; el mortero rebosará del perfil.

Otras opciones emplean perfiles en U o en V que abrazan por completo a la vigueta y tienen por tanto menor cuelgue, figura 6.52b y c. Los perfiles de refuerzo están fabricados con acero inoxidable para aumentar su durabilidad. El hormigón de relleno puede ser colaborante con el fin de reducir el canto. Los dispositivos de apoyo permiten, también, una precarga y se suelen emplear perfiles deslizantes para alcanzar la longitud exacta de la vigueta, evitando tener que fabricarlos a medida. Estos sistemas derivan de la técnica de refuerzo desarrollada para los forjados de hormigón afectados por la aluminosis.

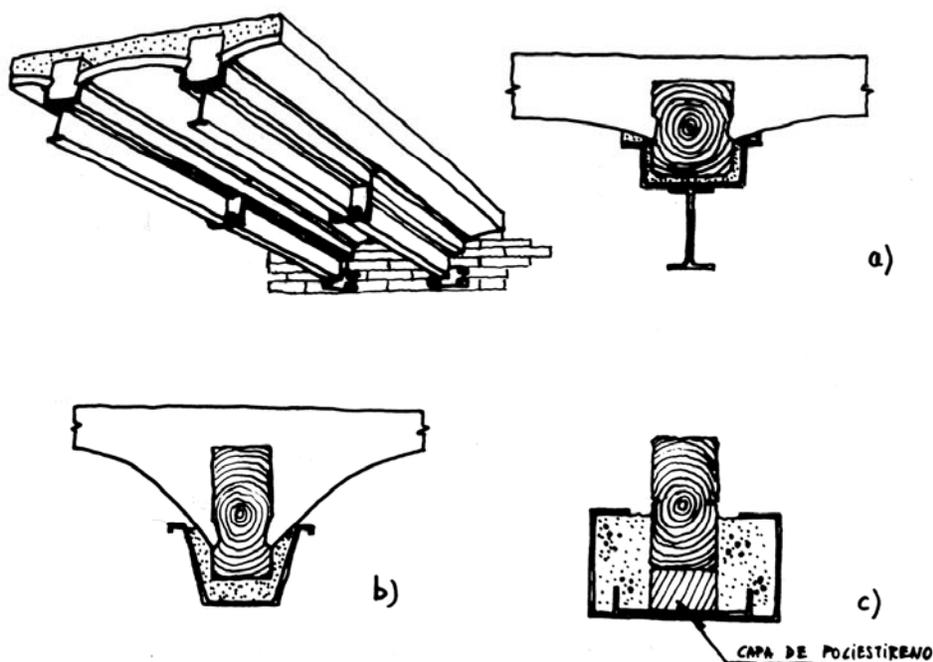


Figura 6.52. Perfiles metálicos para asumir la función estructural de la vigueta de madera: a) Sistema Herms, b) Sistema Nou Bau y c) Sistema Bettor.

## 6.5 Actuaciones en pies derechos

### Recalces con perfiles metálicos en pies derechos de muros entramados:

En pies derechos de muros entramados con humedades en la planta baja que hayan sufrido un fuerte deterioro por pudrición, es frecuente la sustitución parcial o total de la parte degradada por perfiles metálicos, generalmente con secciones formadas por dos U en cajón, figura 6.53a.. En general, resulta más económico la sustitución completa del derecho. Para que el soporte entre en carga es necesario un acuñado o retacado con mortero. Este retacado en algunas ocasiones se realiza con mortero mezclado con tejidos para facilitar la operación.

### Recalces con hormigón en pies derechos de muros entramados:

Una solución del mismo tipo que la anterior consiste en rellenar el hueco que ha dejado la pieza de madera con hormigón o con fábrica de ladrillo, figura 6.53b. La entrada en carga de la estructura exigiría un contacto entre madera y hormigón adecuado y un acuñado. Normalmente, la estructura de madera ya ha quedado descargada en la planta baja y ha transferido al muro de relleno la carga de las plantas superiores.

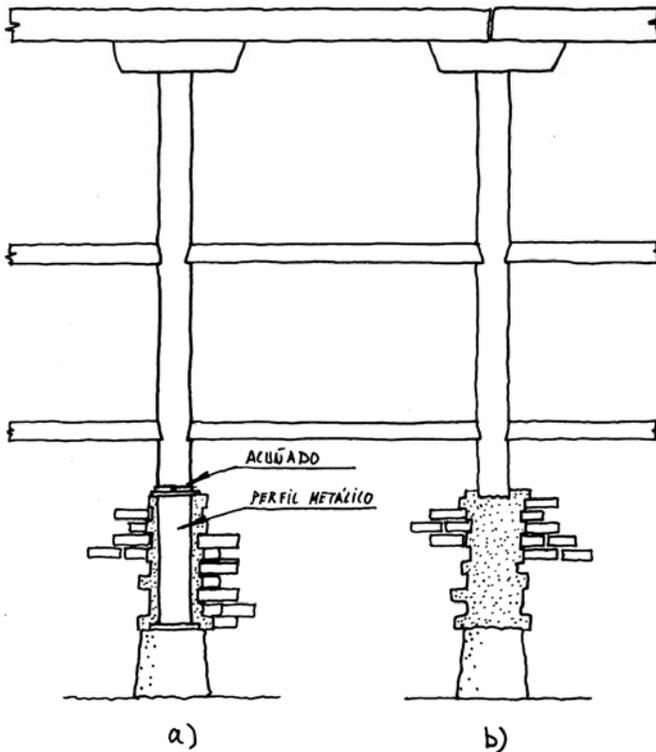


Figura 6.53. Recalce de un pie derecho con: a) perfiles metálicos, b) hormigón.

## Soluciones de prótesis con formulaciones epoxi en pies derechos aislados con recuperación parcial o total:

Si la degradación de la sección no es grande y sólo afecta a la zona de la albura, dejando el núcleo del duramen todavía sano, la solución puede consistir en una consolidación parcial. Se elimina la zona degradada hasta llegar a la madera sana y se introducen barras de conexión entre madera y mortero epoxi. Estas barras tienen como misión mejorar el agarre del mortero y podrían sustituirse por elementos más sencillos como tirafondos. Si se trata de barras de materiales compuestos o metálicos introducidos en perforaciones de diámetro holgado, la dirección de los taladros será oblicua para facilitar el llenado de la holgura con formulación epoxi. Finalmente, se coloca un encofrado para reproducir la zona perdida donde se vierte el mortero epoxi, figura 6.54. Prácticamente se trata de una consolidación con poca misión estructural.

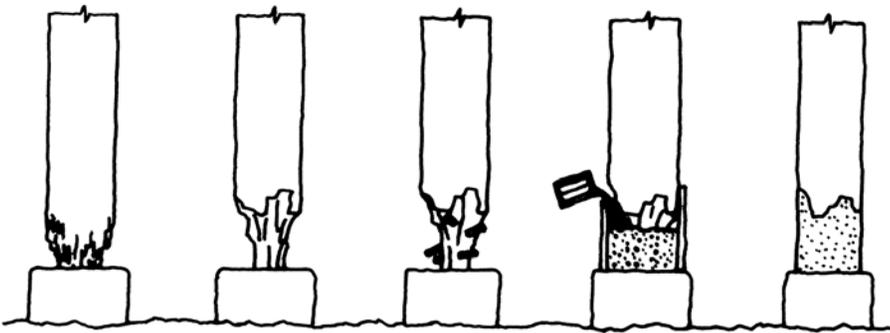


Figura 6.54. Consolidación del extremo inferior de un pie derecho con mortero epoxi.

Cuando la degradación es tal que es necesario la eliminación de un tramo del pie derecho se procederá al corte llegando hasta una zona de madera sana. La mejor solución es la que queda oculta, no solo por razones estéticas sino también porque queda protegido de las variaciones higrotérmicas de la superficie de la madera. La colocación de las barras de refuerzo en el interior podrá hacerse cuando las condiciones de trabajo lo permitan o pueda desmontarse el pilar, figura 6.55. Si no es posible colocarlo en el interior habría que disponer el refuerzo en el perímetro, lo que no es recomendable principalmente en situaciones al exterior o con riesgo de incendio. Una solución intermedia consiste en colocar las barras inclinadas para disminuir su exposición.

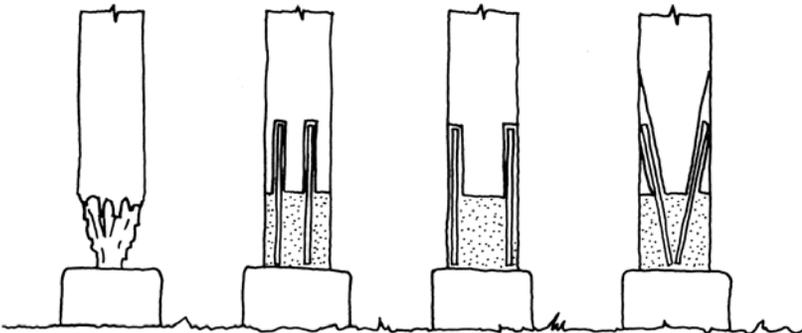


Figura 6.55. Sustitución del extremo dañado de un pie derecho con mortero epoxi.

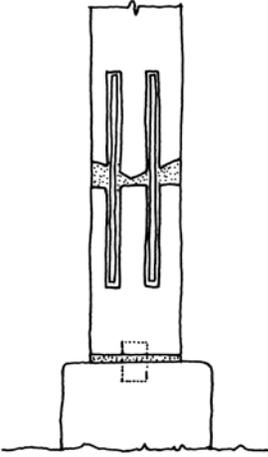


Figura 6.56. Consolidación del extremo dañado de un pie derecho con un tramo nuevo de madera conectado a la pieza original con barras encoladas.

La zona perdida se reconstruye con mortero epoxi. Si el volumen es grande será más adecuado y económico empalmar un trozo de madera nueva dejando la formulación epoxi para resolver la junta entre ambas piezas, figura 6.56.

## 6.6 Actuaciones en armaduras de cubierta

En las formas estructurales de cubierta se encuentra un amplio campo de aplicaciones de los sistemas que emplean formulaciones epoxi y también de las opciones de refuerzo con acero.

### Apoyos de pares:

Se trata de un problema similar al apoyo de una viga con la ventaja de que es más fácil la ejecución al no existir plantas superiores. La consolidación con refuerzos encolados puede realizarse practicando taladros oblicuos desde la cara superior del par, figura 6.57.

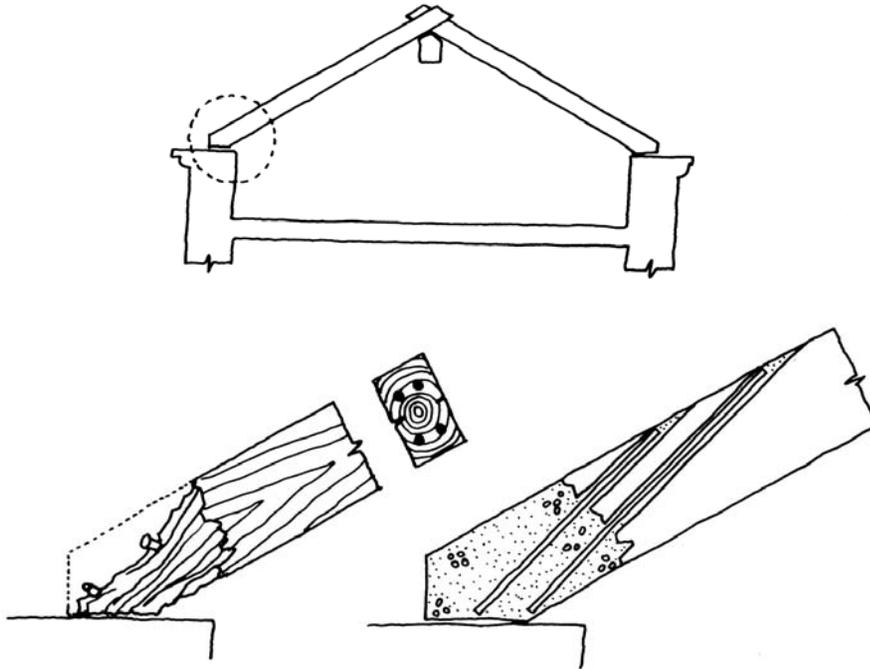


Figura 6.57. Consolidación del apoyo de un par mediante una prótesis de mortero epoxi conectado a la madera sana.

### Encuentros de par y tirante:

La solución de consolidación mediante la técnica de la formulación epoxi es de planteamiento similar al caso de las cabezas de vigas de forjado en su entrada en los muros ya que son problemas similares.

Una solución posible es la reconstrucción con mortero epoxi de las zonas degradadas del par y del tirante que se conectan a la madera sana con barras ancladas una longitud suficiente, figura 6.58a. A veces la degradación se limita a la zona del ensamble a causa de una retención de agua de filtración de la cubierta; en este caso se puede reforzar la unión con barras encoladas y con la sustitución de la zona eliminada con mortero epoxi, figura 6.58b.

La utilización de placas como elemento de refuerzo es menos frecuente, pero hay alguna experiencia como la que se describe en la figura 6.59 (Anon, 1982). Se trataba de unas cerchas de gran luz y antigüedad que presentaban problemas de degradación en los encuentros del par

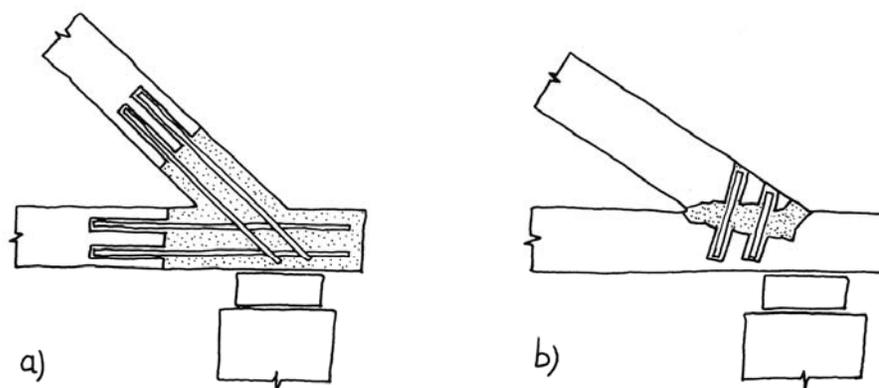


Figura 6.58. Consolidación del encuentro entre par y tirante: a) sustitución por mortero epoxi, b) consolidación del ensamble degradado.

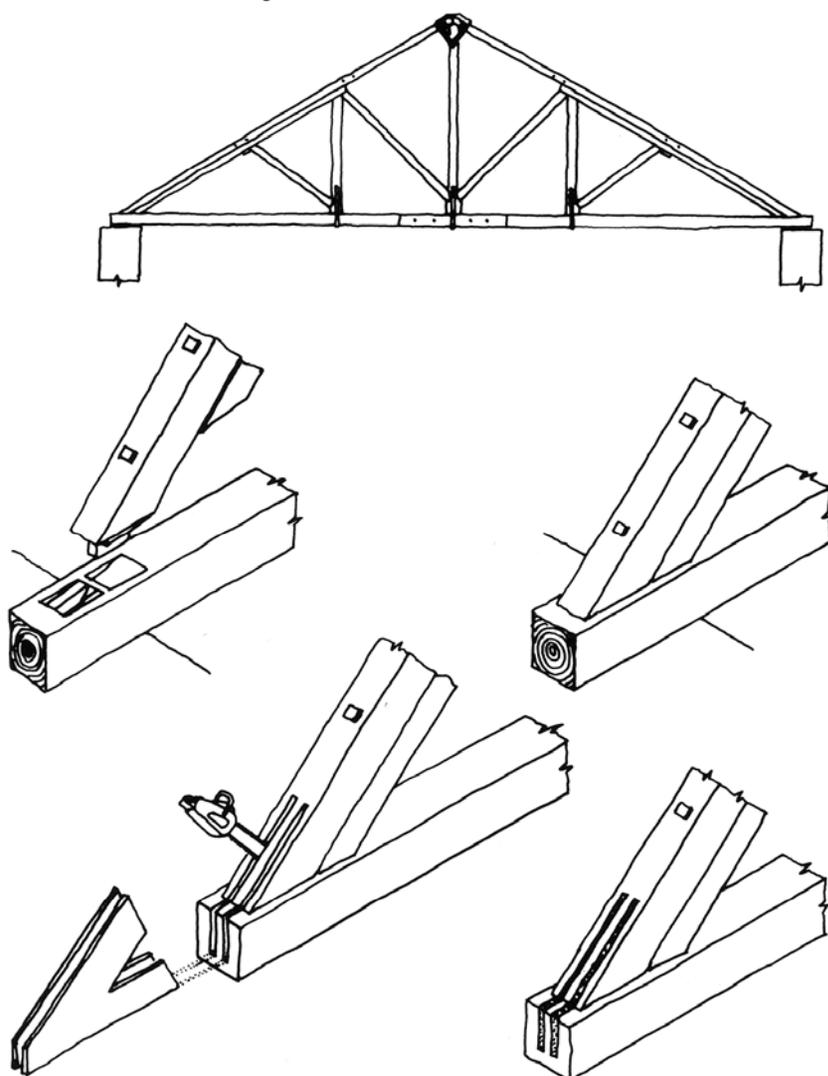


Figura 6.59. Consolidación del encuentro entre par y tirante de una cercha mediante la inserción de placas de acero.

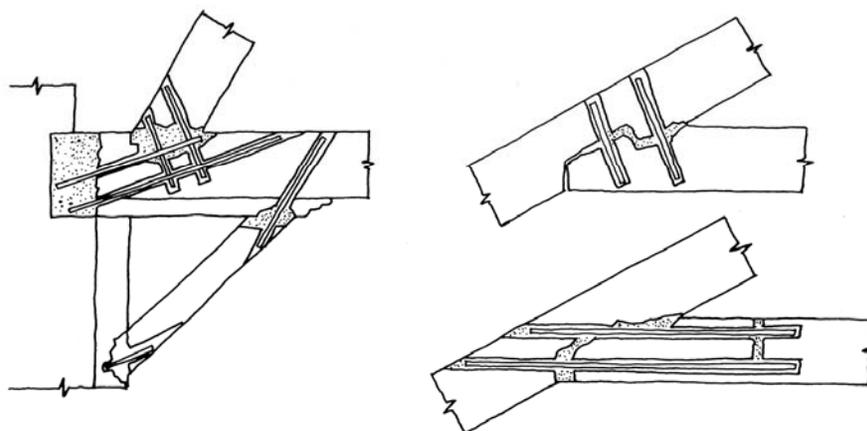


Figura 6.60. Consolidación de nudos de armaduras de cubierta.

doble con el tirante. Después del apeo de la cercha se procedió a insertar dos placas de acero inoxidable con la forma del encuentro dentro de unas escopleaduras previas. La conexión entre el acero y la madera se efectuaba mediante una formulación epoxi.

### Consolidación de nudos de armaduras:

Una de las aplicaciones características del refuerzo mediante barras encoladas en estructuras de cubierta es la consolidación de los nudos de las armaduras. Las soluciones que se muestran en la figura 6.60 consisten en el cosido de las piezas con barras de refuerzo y la reconstrucción de la madera perdida con mortero epoxi.

Otro de los campos de actuación de la tecnología de las resinas epoxi consiste en la inyección a presión de resinas de baja viscosidad para restaurar estructuras deterioradas de madera. Como ejemplo de esta aplicación se pueden citar las reparaciones de estructuras de madera de la cubierta de almacenes militares en los Estados Unidos de América (Avent, 1976). Estas armaduras consistían en vigas de tipo Pratt y en cerchas de tipo Fink, figura 6.61. Los daños más frecuentes en este tipo de estructura suelen derivarse de los propios medios de unión, los pernos, que con el tiempo, si están sobrecargados, terminan provocando grietas en las proximidades de la unión. En algunos casos estas grietas se extienden a lo largo de las piezas. El proceso de reparación consistía en las operaciones siguientes:

*Operaciones previas sobre la armadura:* Cuando los daños que presenta la estructura son importantes, llegando a producir grandes deformaciones, puede ser necesario devolver a la posición original la armadura mediante gatos o apeos adecuados. En estos casos, es recomendable que el apeo no sobrepase los límites tolerables; de lo contrario se podrían invertir los esfuerzos y producir daños en los materiales anexos como el sistema de cubierta.



Figura 6.61. Viga de celosía de tipo Pratt y cercha de tipo Fink.

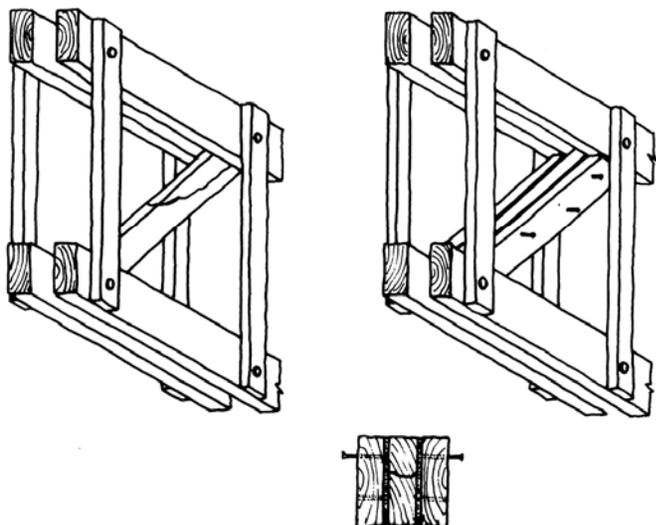


Figura 6.62. Reparación de una diagonal partida.

En la reparación de algunos elementos puede ser necesario añadir piezas de refuerzo que abracen a la deteriorada. Un caso típico es la pieza partida de la figura 6.62. La técnica de reparación con epoxi es más eficaz en la unión de piezas cuando la junta donde se sitúa la formulación trabaja por adherencia tangencial. En los elementos rotos se clavan las secciones de refuerzo a ambos lados del elemento partido, para después proceder a la inyección de la formulación en las juntas.

En la mayoría de los casos el fallo se producirá en zonas próximas a los medios de unión, que en el caso de pernos se trata de lugares donde se solapan ya varias piezas. Por tanto, generalmente no se precisa adosar más piezas de refuerzo.

*Sellado de juntas y fendas o grietas:* El área que va a ser reparada debe quedar sellada por completo excepto en las boquillas de inyección. De esta forma las grietas, los bordes de las secciones adosadas y las áreas próximas a los pernos y boquillas de inyección quedan selladas con una formulación epoxi de alta viscosidad, con características de una pasta consistente.

Después de este sellado es recomendable aplicar una delgada capa de pintura epoxi a la superficie entera que va a ser reparada. Esta operación sirve para taponar las pequeñas fisuras y agujeros que no se aprecian a simple vista. Si la reparación no precisa adosar piezas al

elemento, por limitarse la reparación al nudo, lógicamente se reducen las operaciones a dicha zona, figura 6.63.

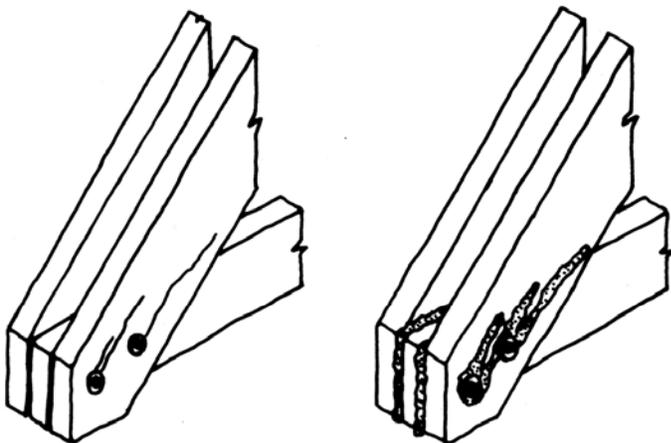


Figura 6.63. Reparación de un nudo mediante la inyección de formulación epoxi.

*Inyección de la formulación:* El paso final consiste en la inyección de una formulación epoxi de baja viscosidad en la zona sellada a través de las boquillas de inyección. La formulación se introduce por una de las boquillas y el resto sirve para evacuar el aire desplazado, que se taponan cuando la resina comienza a fluir por éstas.

Cuando todas las boquillas han sido taponadas se mantiene la presión de inyección durante unos 10 segundos. Se recomienda que el valor de la presión no sobrepase los  $2,7 \text{ kp/cm}^2$ , puesto que una presión demasiado elevada podría romper el sellado.

Como conclusión principal de estos trabajos se puede comentar que en el caso de armaduras que no presenten daños por pudriciones, la consolidación de los nudos defectuosos permite alcanzar un nivel de resistencia aproximadamente igual al original. Sin embargo, en el caso de estructuras con piezas que presentan grandes pudriciones, el método resulta menos eficaz. Esto se debe a la dificultad para detectar todas las zonas con ataques. Por otro lado, las zonas con pudrición si no se eliminan no permiten una conexión eficaz. Por tanto, sería conveniente proceder a la consolidación de todos los nudos, aunque la degradación no parezca importante o no sea visible.

El mecanismo a través del cual la formulación refuerza los nudos debilitados no consiste exclusivamente en la reparación de las grietas, sino que al penetrar entre las superficies de contacto entre las piezas, éstas quedan encoladas. De esta manera, la unión se transforma en una unión rígida con tensiones distribuidas en la superficie de contacto. En origen la solución de unión con pernos era un enlace articulado sin capacidad de transmitir momentos flectores. Este cambio conduce a un aumento de las tensiones en las zonas próximas al nudo reparado, que algunos autores estiman en un 15 o 20%. Deberá analizarse la influencia de esta rigidización en la validez de la estructura.

### Refuerzo del empalme de los tirantes:

Normalmente los tirantes de las cerchas con longitudes superiores a los 8 o 10 metros se fabrican mediante el empalme de dos piezas con uniones como el Rayo de Júpiter, figura 6.64a, o similares. La capacidad de transmisión de estos empalmes es reducida y es frecuente encontrar fallos por cortadura en los dentados de transmisión o con elementos metálicos de refuerzo. Una solución de ejecución sencilla y que no queda vista es la introducción de barras de conexión embebidas en formulación epoxi, figura 6.64b. El modo de trabajo es el de un elemento de fijación de tipo mecánico trabajando a simple cortadura, en el que puede aplicarse un incremento de resistencia de un 20 % por estar encolado (UNE ENV 1995-2).

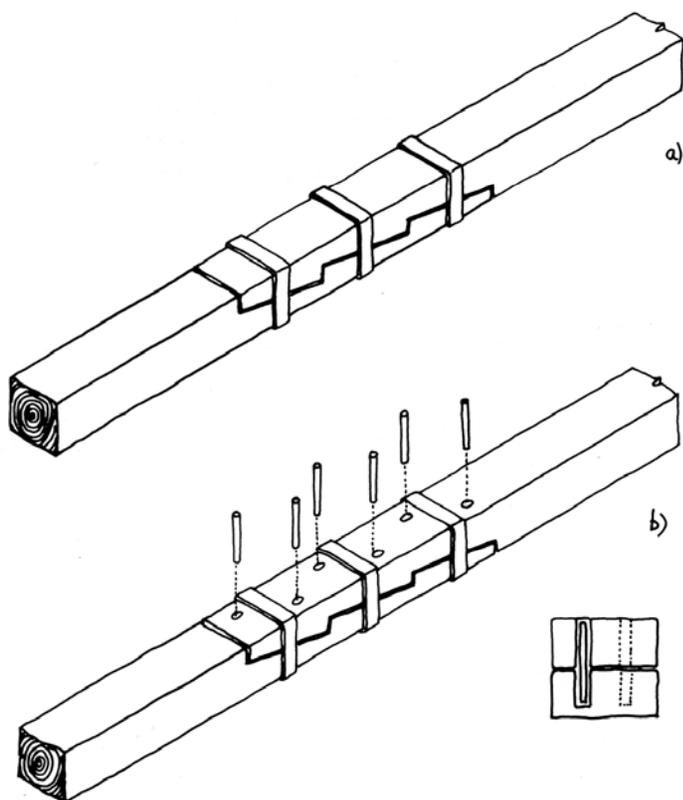


Figura 6.64. Refuerzo de un empalme en rayo de Júpiter de un tirante, mediante barras encoladas.

En la figura 6.65 se representa la reparación que se realizó en un tirante con un empalme confiado exclusivamente a los pernos y que había sufrido deterioros debidos a sobretensiones en los elementos de fijación (Anon, 1982). Se insertaron barras de acero inoxidable en orificios inclinados y se anclaban a la madera mediante una formulación epoxi.

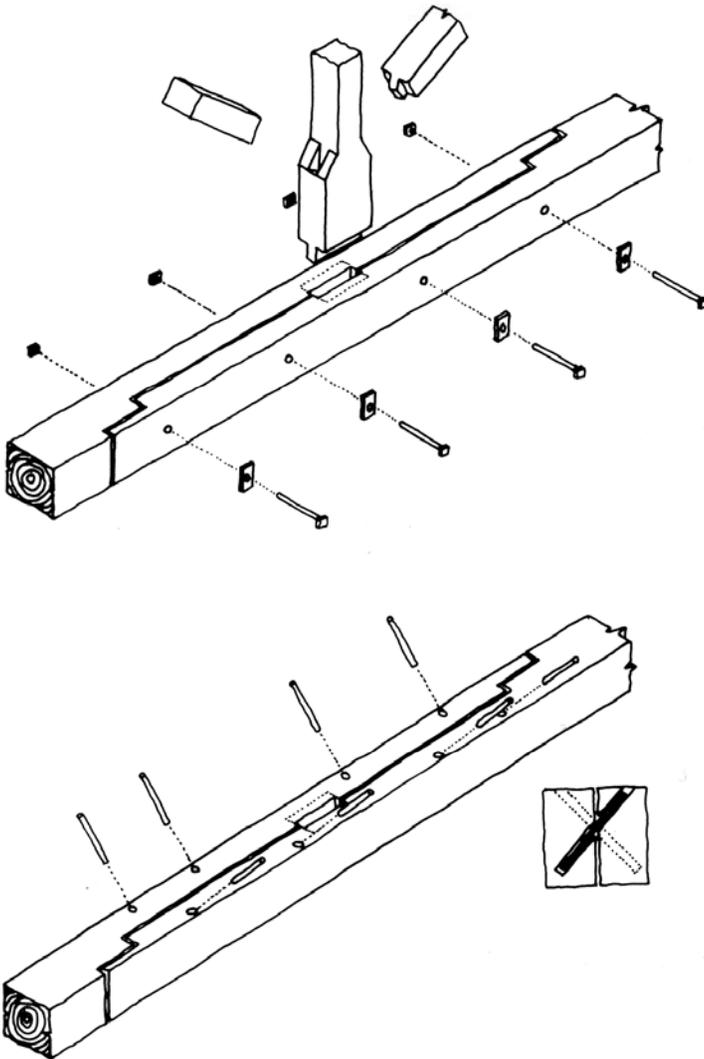


Figura 6.65. Refuerzo de un empalme de un tirante mediante barras encoladas.

## Refuerzo del vano de armaduras de cubierta:

En situaciones en las que las escuadrías de los pares son insuficientes el refuerzo puede consistir en el adosado de una pieza de madera a cada lado de la original. La conexión se puede realizar mediante pernos colocados al trespelillo. Esta unión será más eficaz si se encolan las piezas por las caras con una formulación epoxi. En la figura 6.66 se representa un caso de refuerzo de una cercha en la que los pares tienen escuadría insuficiente y además, existen problemas en el tirante ya que el empalme del tirante resulta insuficiente. Como solución se adosan piezas de madera nueva a los pares, y se añade un tirante metálico que se ancla en sus extremos a los pares a través de una pieza de acero. De esta manera se facilita la entrada en carga de las nuevas piezas de los pares.

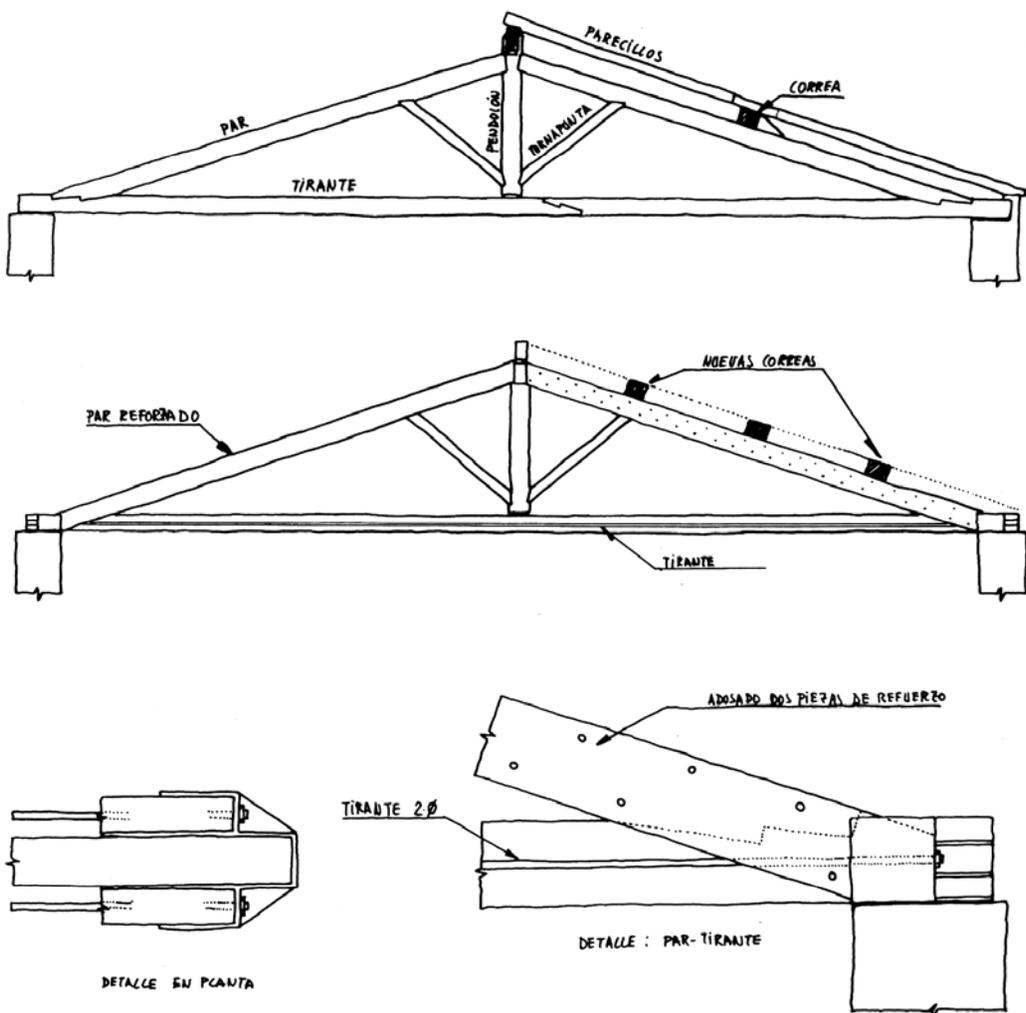


Figura 6.66. Refuerzo de una cercha mediante una estructura sobrepuesta.

En algunas ocasiones se han empleado tirantes metálicos para el refuerzo de los pares de la cercha como el ejemplo que se describe en la figura 6.67 (Tampone et al., 1989). Una cercha de la cubierta del teatro de Sarteano en Italia presentaba en uno de los pares niveles de tensión del orden de tres veces superior a los admisibles. El refuerzo se realizó mediante un tirante de acero distanciados de la pieza de madera a través de dos enanos metálicos. Después de un postensado las tensiones de flexión en el par de madera se reducen al aumentarse los axiles de compresión.

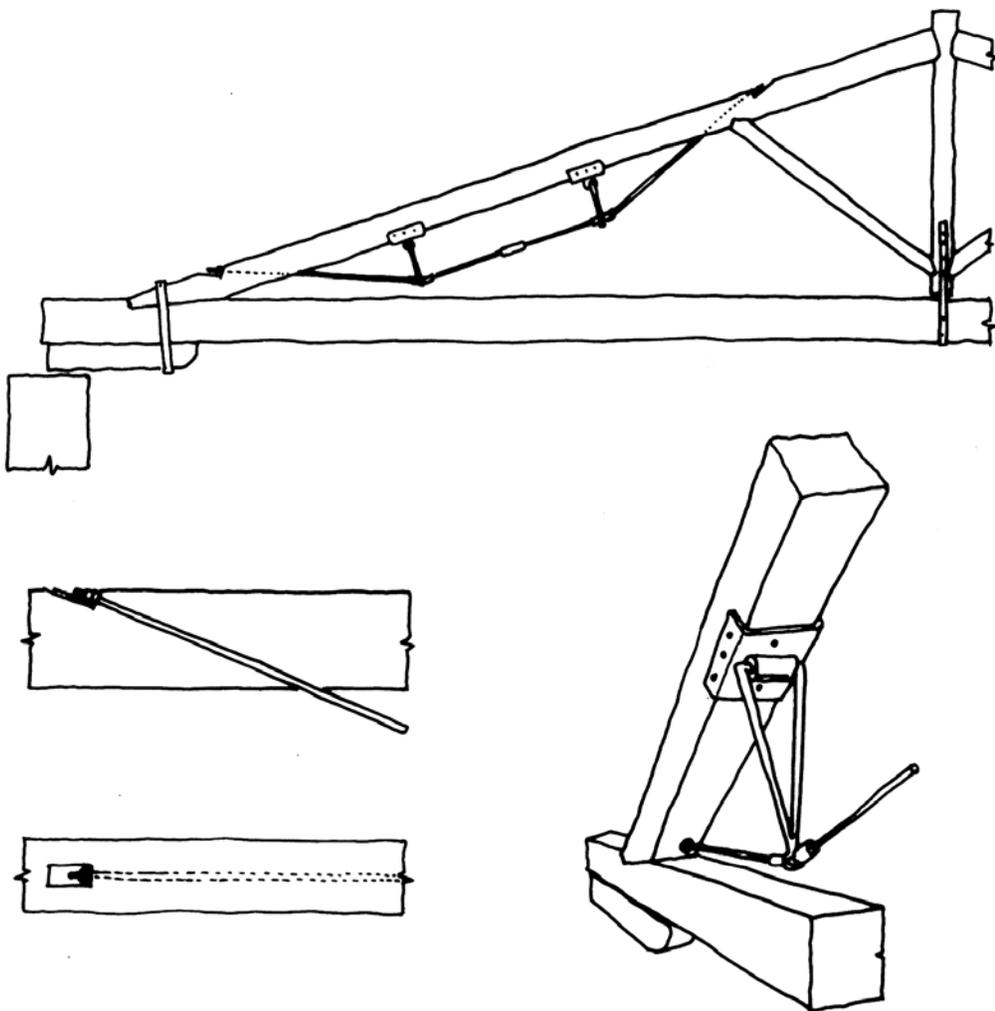


Figura 6.67. Refuerzo de un par mediante atirantado inferior.

Existen estudios y experiencias sobre el refuerzo de cerchas de madera con el añadido de un sistema de tirantes de acero adosados por las caras de la estructura (Marradi et al., 1989 y Messina, 1989). En éstos se analizan dos tipos estructurales, correspondientes a casos reales, en los que se disponen dos tipos de refuerzo on cables, simple atirantado inferior o celosía en W, figura 6.68. Estos tirantes se tensan para introducir fuerzas que mejoren el estado de tensiones en la madera y reduzcan las deformaciones. Con estos procedimientos se reducen las deformaciones de la estructura de manera considerable.

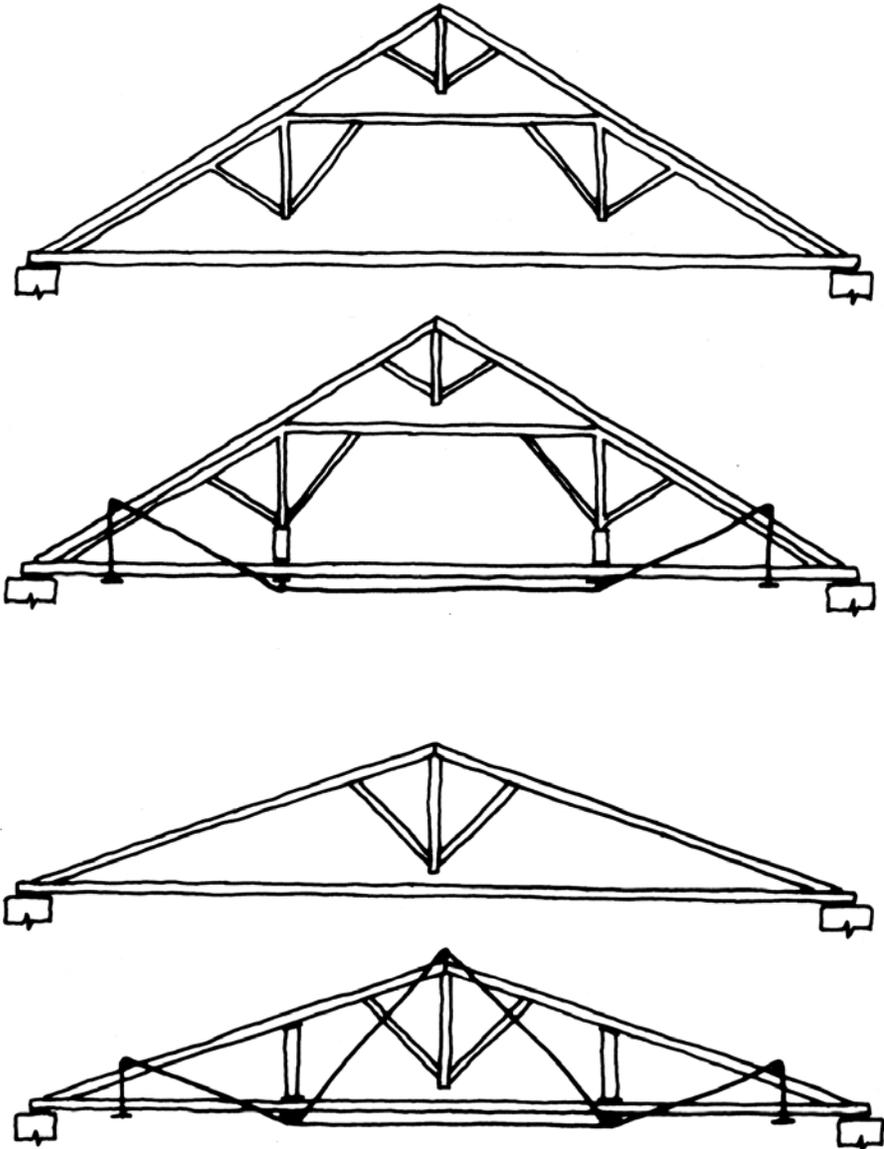


Figura 6.68. Refuerzo de armaduras de cubierta mediante el añadido de nuevas barras de acero.

## Anexos relacionados con este capítulo:

Anexo J: Tecnología de las resinas epoxi.

Anexo K: Cálculo de los refuerzos encolados.

Anexo L: Cálculo de sistemas mixtos de madera y hormigón.

## Referencias bibliográficas:

**Anon, (1982).** The age of resin. The Architects Journal, feb. Pags 56-58.

**Arriaga, F. (2000).** Estructura mixta de madera y hormigón (Sistema HBS). AITIM nº 206. Madrid, jul.-ag. Pags. 83-84.

**Avent, R., Emkin y Howard&Chapman. (1976).** Epoxi repaired bolted timber connections. Journal of the Structural Division, april. ST4. Pags. 821-838.

**Bottinelli, G. (2000).** Habitat System Beton: ragioni, certificazione, risultati sperimentali. Adrastea, número 16 - 2000.

**Cecchi, A. (1989).** Rinforzo di solai in legno mediante soletta collaborante in calcestruzzo armato con collegamenti di tipo elastico. Il restauro del legno, volume secondo. Nardini Editore. Florencia. Pags. 207-213.

**Ceccotti, A. (1995).** Timber-concrete composite structures. Timber Engineering. STEP 2, E13. Editado por Centrum Hout, Holanda.

**Cigni, G. y otros. (1981).** Nuove tecniche di consolidamento di travi in legno. Edizione Kappa. Roma.

**Gramegna, F. y Marampon, F. (1996).** Dal rilievo del degrado per incendio alle scelte di consolidamento. Adrastea 7/96. Pags. 40-47.

**Kreuzinger, H. (1995).** Mechanically jointed beams and columns. Timber Engineering. STEP 1, B11. Editado por Centrum Hout, Holanda.

**Landa Esparza, M. (1997).** Comportamiento de las uniones encoladas para la reparación de elementos estructurales de madera que trabajan a flexión. Tesis doctoral dirigida por Enrique Nuere Matauco y Rufino Hernández Minguillón. Fue defendida en abril de 1997 en el Departamento de Edificación de la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad de Navarra.

**Landa Esparza, M. (1999).** Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera - Unión encolada I. Metodología de puesta en obra. Revista de Edificación nº 28, Pamplona, 1.999. Pags. 32-38.

**Landa Esparza, M. (1999).** Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos

flexionados. Aporte de madera - Unión encolada II. Metodología de puesta en obra. Revista de Edificación nº 29, Pamplona mayo de 1.999. Pags. 30-36.

**Landa Esparza, M. (2000).** Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera - Unión encolada. AITIM, nº 204. Madrid, mar.-abr. de 2.000. Pags. 34-38.

**Lambillon, J. (1995).** Le plancher «Bois-Béton V» de Claude Blouet. L'Industriel sur Bois, janvier 1.995. Pags. 34-35.

**Marradi, P., Messina, C. y Paolini, L. (1989).** Recupero di struttura in legno mediante armature parzialmente presollecitate. Il restauro del legno, Vol. I. Nardini Editore, Firenze Italia. Págs. 241-247.

**Méndez Baliela, M. (1993-1994).** Rehabilitación de estructuras antiguas de madera en edificios. Trabajo tutorado por el profesor Giambattista de Tommasi del Politécnico de Bari (Italia) para el Master Europeo de Ingeniería de la Construcción 1993-1994, Universidad de Cantabria. 90 págs.

**Messina, C., Paolini, L. y Sestini, V. (1989).** Il recupero statico delle strutture in legno nel Teatro Niccolini di San Casciano di Pesa. Il restauro del legno, Vol. I. Nardini Editore, Firenze Italia. Págs. 201-208.

**Mettem, C.J., Page, A.V. y Robinson, G.C. (1993).** Repair of structural timbers. Part 1 Test on experimental beam repairs. TRADA, Reino Unido.

**Mettem, C.J., Page, A.V. y Robinson, G.C. (1993).** Repair of structural timbers. Part 2 Fire resistant repairs. TRADA, Reino Unido.

**Monfort, J. y Pardo, J.L. (1996).** Reparaciones de forjados mediante hormigón. Seminario de «La conservación de la madera en los edificios antiguos». Patología de elementos lineales de madera, inspección y diagnóstico. Universidad Politécnica de Valencia. E.U. de Arquitectura Técnica. Valencia 22 de marzo de 1.996.

**Monfort, J. y Pardo, J.L. (1998).** Reparaciones de forjados mediante hormigón. Seminario «La conservación de la madera en los edificios antiguos». Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Págs. 139-168.

**Navarrete, A. (1998).** Deterioro del material y su protección. Seminario «La conservación de la madera en los edificios antiguos». Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Págs. 23-56.

**Sika. Prontuario. (1999).** Especialidades químicas para la construcción.

**Sistema Beta. (1982).** Manual técnico del sistema Beta de la empresa PROMAX, Protección de Maderas, S.A.

**Sistema LPR.** Documentación técnica de la empresa Peter Cox Interventi Speciali S.r.l.

**Sistema Sika Carbodur (1999).** Documentación técnica de la empresa Sika S.A.

**Stumes, P. (1979).** «The W.E.R. system manual. Structural rehabilitation of deteriorated timber. Association for Preservation Technology. Ottawa, Canada.

**Tampone, G. (1989).** Restauro strutturale con lamine metalliche dei solai lignei della sede del Genio Civile di Firenze. Il restauro del legno, volume primo. Nardini Editore, Florencia. Pags. 263-281.

**Tampone, G., Franci, F. y Campa, L. (1989).** Rinforzo di puntoni e consolidamento di una capriata del teatro di Sateano mediante centine metalliche. Il restauro del legno, Vol. I. Nardini Editore, Firenze Italia. Págs. 299-305.

**Tampone, G. (1989).** Problematiche operative nel cantiere di consolidamento di un solaio ligneo nella sede del genio civile di Firenze. Legno e restauro. Editrice Dialogo, Florencia. Pags. 207-208.

**Tampone, G. (1998).** Tipologías estructurales y su respectiva degradación. Seminario «La conservación de la madera en los edificios antiguos». Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Págs. 59-81.

## **Normativa:**

**UNE ENV 1995-1-1.** Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. Anexo B: Vigas compuestas con uniones mecánicas.

**UNE ENV 1995-2.** Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 2.: Puentes. Capítulo 8 Conexiones.

**UNE EN 26891.** Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento.