3. Metodología de diagnóstico de elementos estructurales de madera

El proceso de diagnosis consiste en la puesta en práctica, de manera ordenada y sistemática, de una serie de operaciones que permitan reunir la información necesaria para conocer la situación real en que se encuentra una estructura de madera.

CASO DE ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE UNA TORRE MEDIEVAL EN CÁLIG, CASTELLÓN.
Peritaje de estructura ruinosa

3.1 Objetivos del diagnóstico

- La necesidad de evacuación del edificio
- La justificación de su apuntalamiento
- Si se apuntala el edificio, la viabilidad o no del retorno de los ocupantes
- Posibles reparaciones de desperfectos sin ocasionar interrupciones en su uso normal
- La importancia real de la patología que presenta el edificio.

Por tanto, en función de las respuestas podemos diferenciar tres objetivos:

a. Una inspección rutinaria de mantenimiento de la estructura
b. La evaluación de la capacidad resistente de una estructura
c. La evaluación de una estructura ruinosa

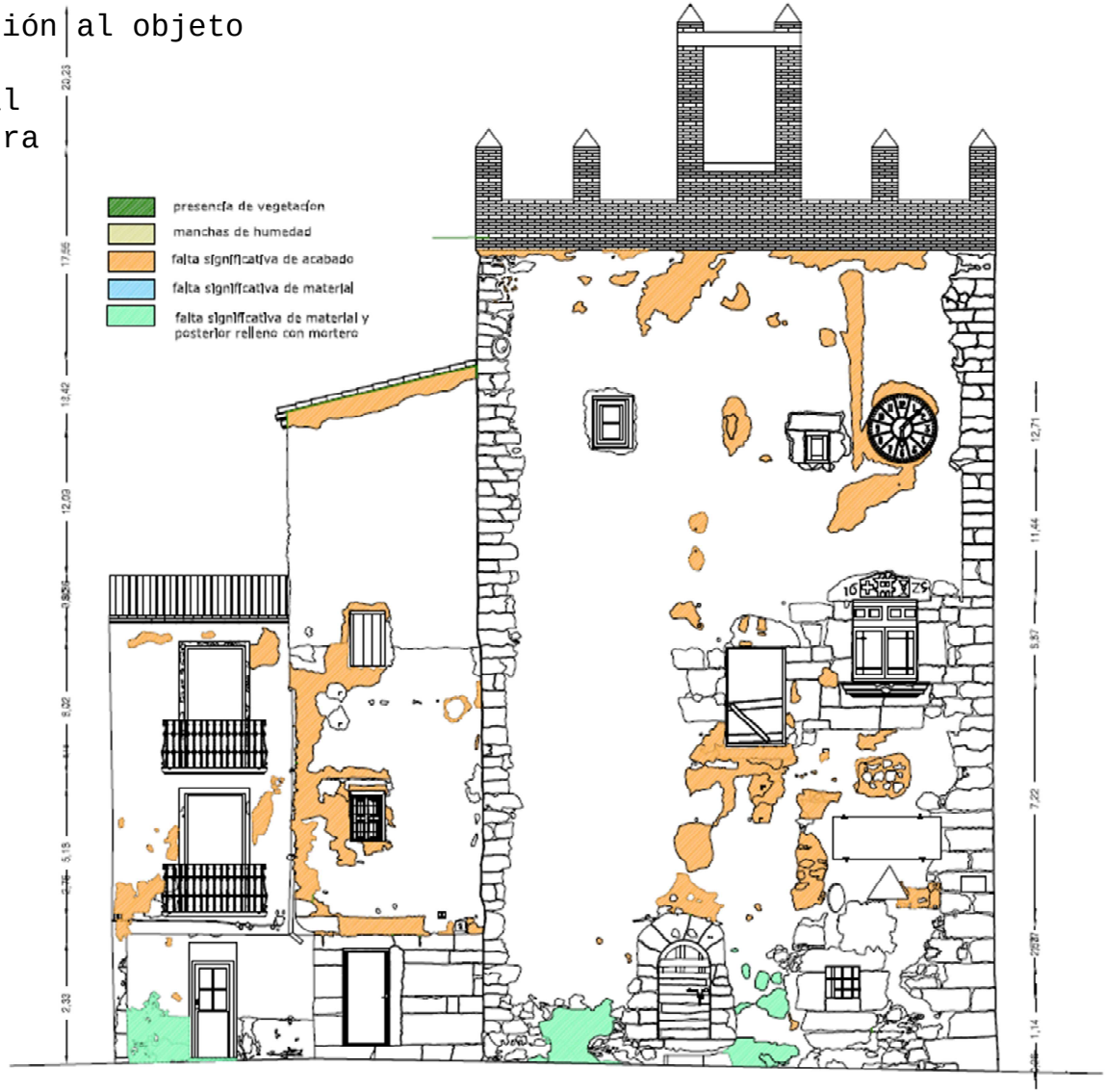
Metodología de diagnóstico de elementos estructurales de madera

	Objetivos	Acciones	Medios	Criterios
Prediagnosis	-Reconocimiento general -Decidir realizar una diagnosis	-Tipo de madera -Tipo de estructura -Determinar si hongos, insectos… -Detectar flechas grietas	-Inspección visual -Croquis	-Visita general
Estudios previos	Recoger la información necesaria para establecer el estado de conservación			
	1. Inspección profunda	2.Toma de muestras y pruebas	3. Comprobación de la seguridad	4.Valoración durabilidad
Diagnóstico	-Dejar constancia del estado	-Recoger info. fases anteriores e informe final	-Prediagnosis -Criterios subjetivos del técnico -Particularidades de la estructura o entorno	

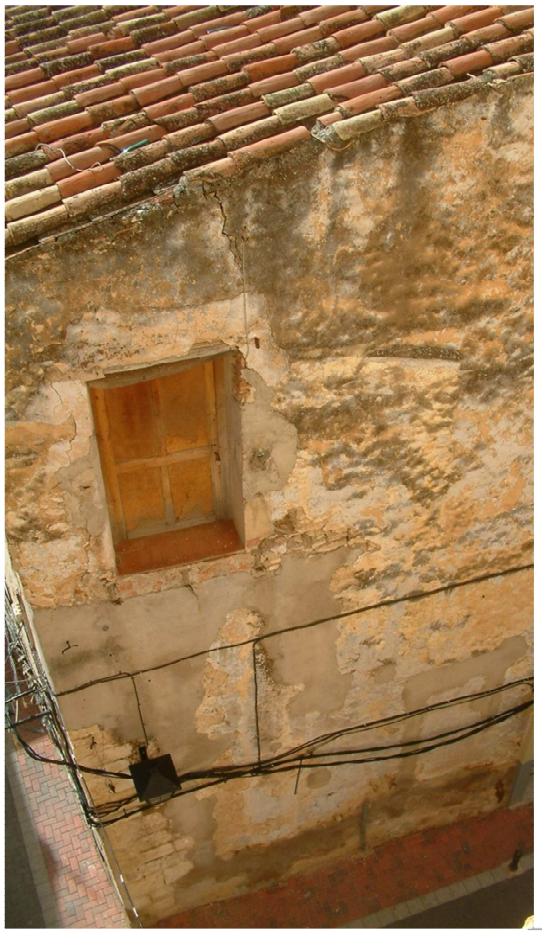
3.1.1. La inspección

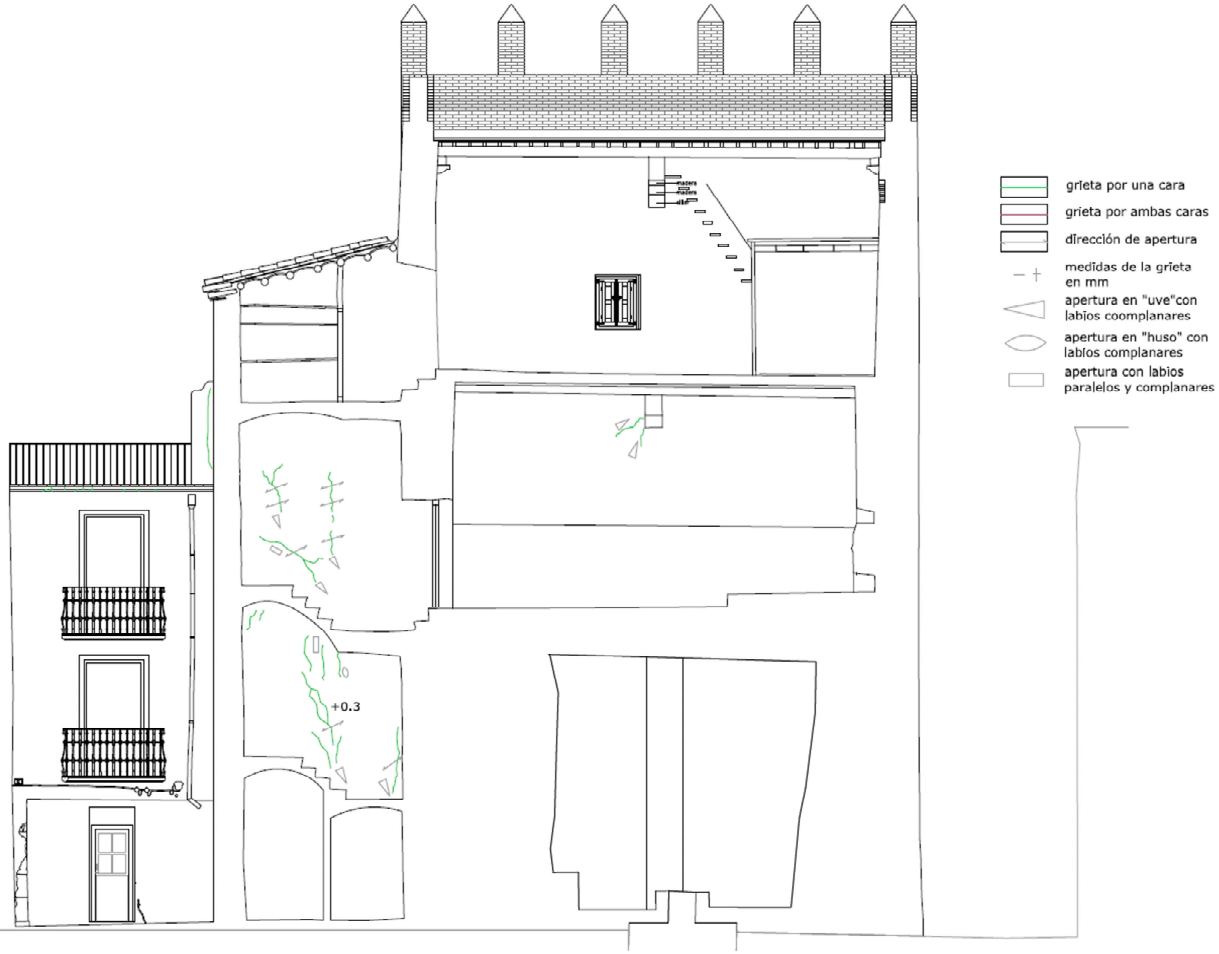
Niveles diferentes de aproximación al objeto de estudio:

- Observación del estado general
- Interpretación de la estructura
- Inspección individual de los elementos



Interpretación de la estructura existente, haciendo un levantamiento de los elementos estructurales y posibles patologías detectables a simple vista.
Dentro de este punto, en cuanto al conocimiento de la estructura, intentaremos averiguar el tipo de madera empleada en la estructura original y las modificaciones o reparaciones que se han hecho.





3.1.1.1 Elementos a inspeccionar

- Apoyo de las vigas y viguetas en las paredes
- Dinteles
- Grietas en las paredes
- Techos
- Madera en contacto con el terreno
- Cubiertas
- Todo elemento de madera elaborado con material de inferior calidad
- Juntas, uniones y superficies rugosas
- Carpinterías exteriores
- Muebles fijos y revestimientos de paramentos interiores de madera
- Espacios poco ventilados, que mantengan la humedad
- Bajantes, canales y conducciones de agua

3.1.1.2 Aspectos a detectar en las comprobaciones

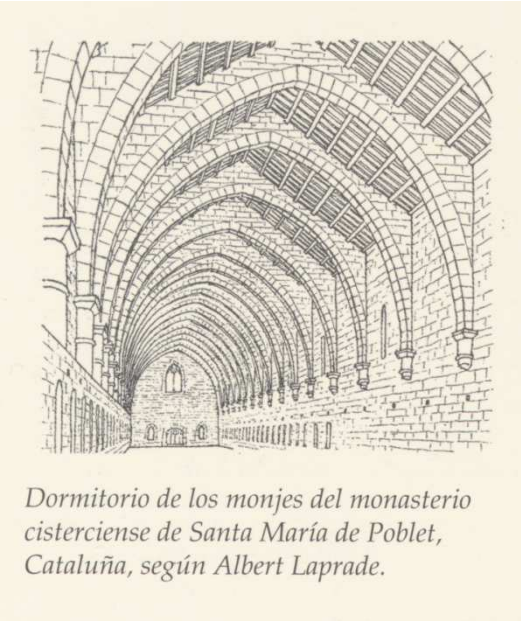
Indicios que nos permiten llegar a conclusiones:
- La composición de los elementos constructivos, las dimensiones, los medios de unión y las hipótesis sobre su funcionamiento
- La presencia de orificios de salida de insectos xilófagos
- La presencia de serrín de madera en los elementos de madera o sobre el suelo, bajo estos elementos
- La corrosión en los clavos de acero introducidos en la madera
- Las manchas más oscuras o más claras
- Las manchas con engrosamiento de la superficie
- El desprendimiento de pintura
- El fuerte olor de humedad
- Las grietas transversales a la dirección de la fibra, signo de pudrición
- Las esporas de reproducción de hongos
- La existencia de caminos verticales, de aspecto arcilloso, que circulan en dirección a las maderas que constituyen los elementos estructurales, en paramentos verticales o, incluso, aéreos
- La composición de las paredes y pilares, mediante los cuales las termitas pueden acceder a la madera
- La alineación de los elementos
- Las evidencias de reparaciones anteriores(prótesis y sustituciones).

CASO DE ESTUDIO DE LA CUBIERTA DE UNA IGLESIA EN LA POBLA DE BENIFASSÀ, CASTELLÓN.
Peritaje de estructura ruinosa

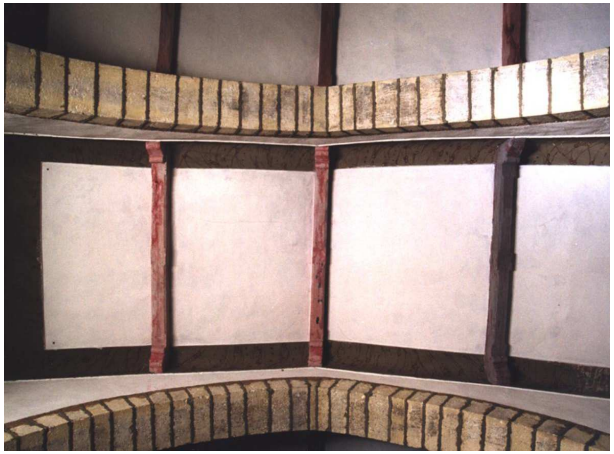
3.1.3. El diagnóstico

En esta fase se debe llegar al dictamen final sobre la estructura que se ha estudiado. El dictamen final será un informe que recoja la información básica:

- Toma de datos del edificio
- Descripción del edificio
- Descripción de la estructura
- Método de trabajo empleado
- Estado actual de la estructura
- Determinación del uso que tendrá la estructura, tras la intervención
- Conclusiones y recomendaciones sobre los tratamientos y el sistema a seguir para la intervención: sustitución, refuerzo y recuperación.



Dormitorio de los monjes del monasterio cisterciense de Santa María de Poblet, Cataluña, según Albert Laprade.



3.1.1.3 Por qué mirar

a. Inspección de mantenimiento

- Elementos rotos
- Cambios dimensionales de los elementos
- Presencia de indicios de ataques (hongos/insectos)

b. Peritaje de una estructura

- Datos referentes a la estructura original.
- Datos provenientes de la inspección detenida de los elementos estructurales.
- Vigas principales que se apoyan en paredes de fachada estructural
- Vigas principales que se apoyan en paredes de patios interiores
- Elementos de cubierta donde haya cambios de pendiente

c. Peritaje de una estructura ruinosa

- Alteraciones de la estructura
- Elementos estructurales rotos

3.1.2. Prospecciones en la madera en servicio. Técnicas y equipo necesario

Por medio de las prospecciones queremos detectar:
- La consistencia de la madera, la observación de cómo se rompen las fibras superficialmente
- Los indicios de presencia de insectos y hongos
- El contenido de humedad
- La dureza superficial de la madera, como indicador de la resistencia residual del material
- La profundidad y extensión del ataque.

4. Técnicas y equipos de exploración

Existen otros métodos no destructivos, apoyados en tecnologías más sofisticadas que emplean equipos especiales, como los sistemas basados en la transmisión de ultrasonidos, ensayos mecánicos no destructivos, análisis de vibraciones y resistógrafos que se orientan hacia la evaluación de la densidad y propiedades mecánicas.

4.1. Equipos tradicionales de exploración

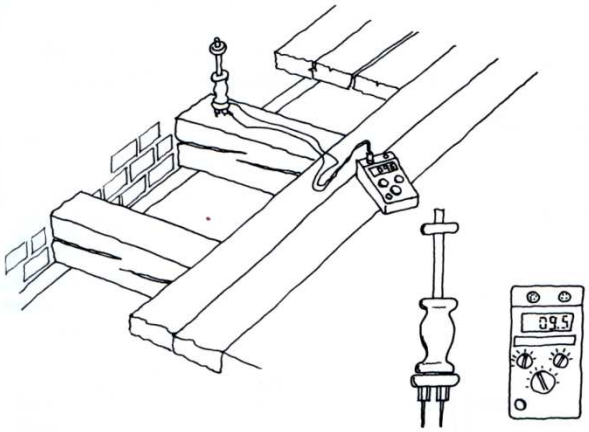
- Cuaderno de notas y lápiz
- Linterna o foco de luz portátiles
- Xilohigrómetro o medidores de humedad
- Lupa
- Espejos
- Martillo corriente o de pasta
- Punzón, destornillador y formón
- Taladro
- Pinceles y brochas
- Cámara fotográfica
- Ropa y guantes
- Endoscopio
- Otras herramientas
- Medios auxiliares

4.2 Técnicas especiales de exploración

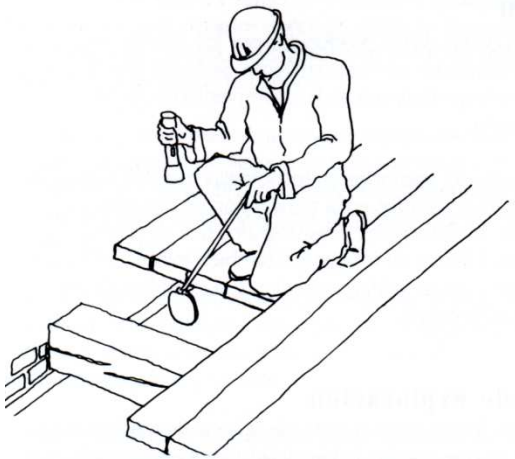
Estas técnicas se utilizan para la estimación de las propiedades mecánicas mediante la medición de la velocidad de propagación de los ultrasonidos o de ondas causadas por impactos que hacen vibrar la pieza (**ultrasonidos y vibraciones**).

La **dendrocronología** y el método del **carbono 14** sirven para la datación de la edad de la madera y finalmente la técnica de detección acústica para determinar la presencia y actividad de insectos xilófagos.

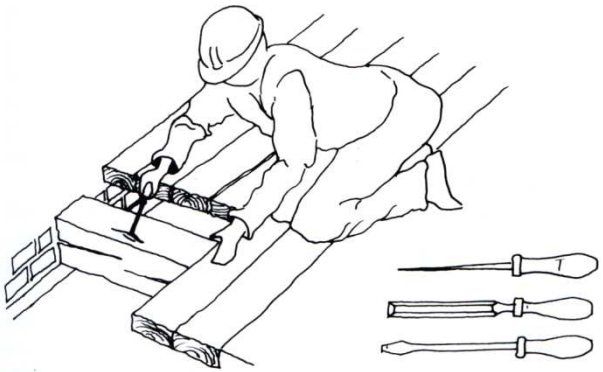
La utilización de estas técnicas no evita la inspección visual ni la utilización de herramientas tradicionales.



Medición del contenido de humedad con xilohigrómetro.



Espejos para la inspección de zonas de difícil acceso.



Punzón, formón y destornillador para detectar la profundidad del ataque y descubrir las galerías.

4.2.1 Ultrasonidos:

a) Método de ecos: Este sistema sólo precisa un palpador que sirve como emisor y receptor. En el caso de encontrar en su camino una fisura se producirá un eco que se representa gráficamente en un osciloscopio.

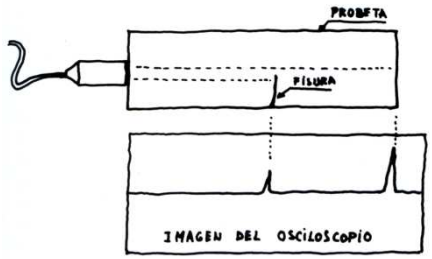
b) Método de transmisión:

Este método es adecuado en la verificación de materiales heterogéneos como la madera y el hormigón. Utiliza dos palpadores, un emisor y un receptor. Para su correcto empleo, la frecuencia debe ser mucho más baja que en el método de ecos, para conseguir un alcance mayor de los impulsos y poder sortear las irregularidades del material.

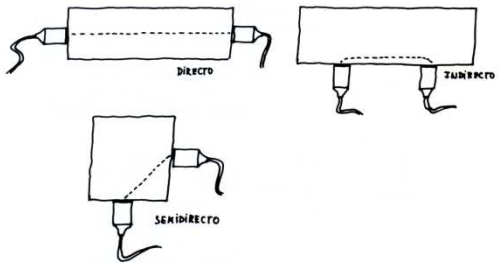
Las propiedades acústicas de la madera varían ligeramente cuando el material ha estado sometido a cargas estáticas durante un tiempo prolongado y terminan por estabilizarse al cabo de un tiempo.

Sylvatest es un aparato portátil para medición de tiempos de transmisión de ultrasonidos con palpadores cónicos y sonda de temperatura e higrómetro para detectar el contenido de humedad específicamente desarrollado para madera.

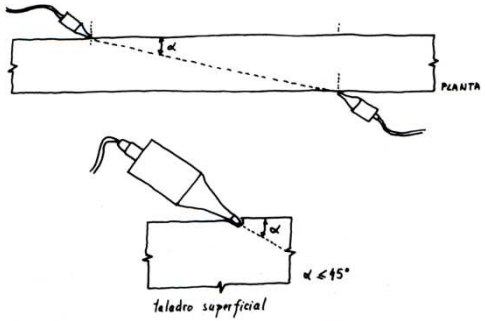
PUNDIT (Portable Ultrasonic Non destructive Digital Indicating Tester) aparato portátil con generador de impulsos con una frecuencia de 54 *kHz* que mide el tiempo con precisión de décimas de micro segundo.



Método de ecos en ultrasonidos.



Procedimientos de medición con ultrasonidos: directo entre las testas de la pieza, indirecto sobre una cara de la pieza y semidirecto sobre caras distintas.



Medición oblicua colocando los palpadores en las caras de la pieza.

Las preguntas que se podrán responder después de este proceso de diagnóstico serán:

- Se debe evacuar el edificio?
- Se debe entibar el edificio y se adoptarán otras medidas de emergencia?
- Se puede reparar la estructura sin necesidad de interrumpir el uso habitual?
- Es realmente importante el deterioro que presenta la estructura?

Habrán determinado las causas de desajuste en el sistema estructural, que normalmente son las siguientes:

- Ha sido por sobrecargas, ya sea por viento o nieve, o debido a reparaciones efectuadas que incrementan el peso muerto
- Ha sido producido por modificación del estado de cargas y de los puntos y de la manera como se aplican
- Ha sido por fallo de los encajes y elementos de unión
- Ha sido por fractura de algunos elementos
- Ha sido por alteración del material.

4.2.3 Medición de la densidad superficial:
4.2.4 Fractómetro:
4.2.5 Datación de la madera:
4.2.6 Detección acústica de insectos xilófagos:
Esta técnica tiene como objetivo la detección de la presencia de insectos xilófagos dentro de la madera en fases iniciales en las que todavía no existen signos externos visibles.
El estudio denominado INADEC (Insect Acoustic Detection) consiste en la colocación de captadores acústicos que funcionan en el dominio audible *(100 Hz-25 kHz)* que transmiten la señala un módulo de recepción, amplificación y filtrado que limitan la banda a frecuencias comprendidas entre 1 *kHz* y 20 *kHz.*
Puede detectar la actividad hasta distancias de 2 metros dentro de una misma pieza.

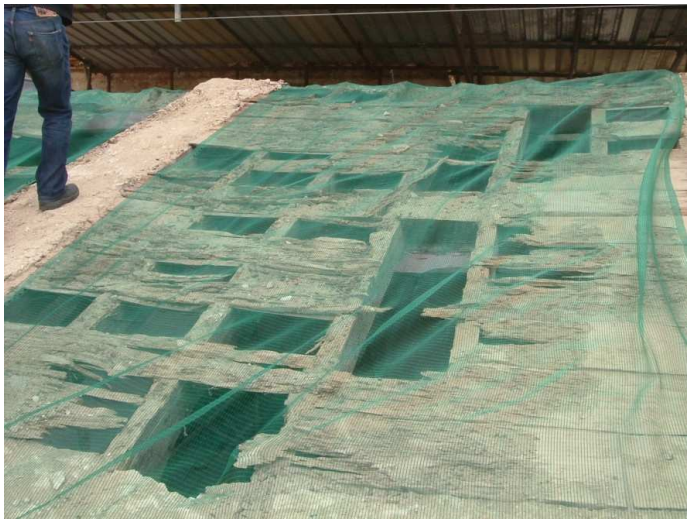
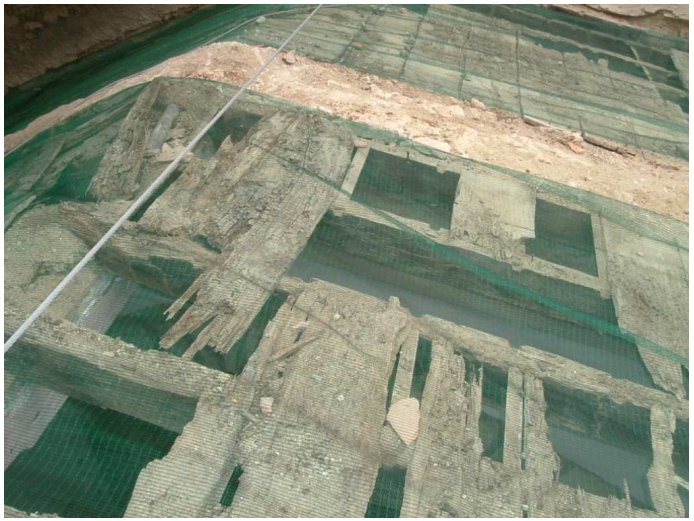
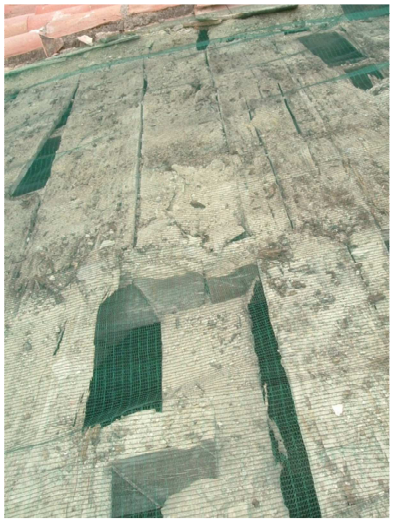
5. Criterios de intervención

5.1 Introducción

La restauración de las estructuras portantes de madera antiguas es sobre todo una operación de carácter cultural por la decisión de conservar la integridad física de la estructura.

Los criterios a seguir en la restauración son:
- La eficiencia y la seguridad ante todo
- El respeto de la concepción estructural de la autenticidad de los materiales
- La autenticidad del sistema de reforzamiento.

Las intervenciones deben prevenir, proteger y salvaguardar, consolidar, reforzar, adaptar, defender a nivel físico-químico y biológico, documentar, controlar y permitir el mantenimiento ordinario.

5.2 Tecnologías

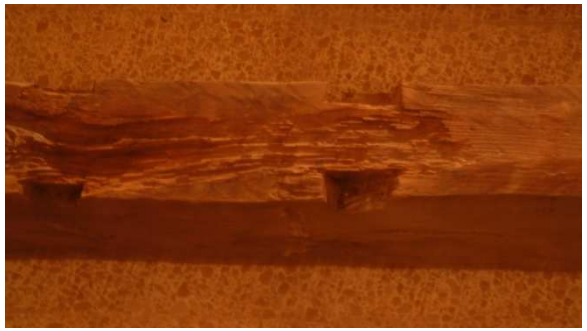
5.2.1 Nivel del sistema estructural

Cuando un sistema no está totalmente asegurado en conexión con las estructuras complementarias, es necesario:

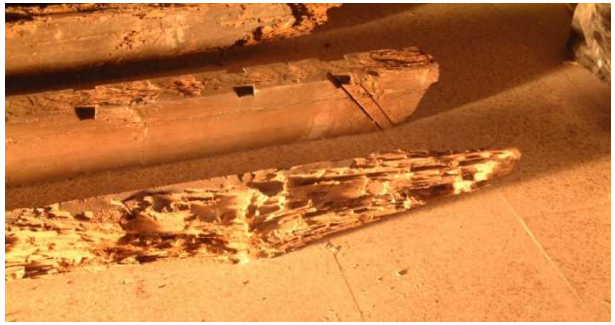
- Restablecer la geometría y la integridad de los elementos y de las unidades estructurales
- Mejorar las conexiones entre las cerchas y los elementos complementarios

5.2.2 Nivel de les unidades estructurales

El criterio principal consiste en asegurar el correcto funcionamiento de cada una. Un caso muy concreto es el de las estructuras horizontales (techos de cubierta): por consolidarlas, reforzarlas o repararlas, se deben recuperar las resistencias de los elementos (vigas principales y vigas secundarias) y añadir unos dispositivos que, para que sean eficaces, deben aumentar la resistencia a la compresión y la de tracción.



- **FICHAS DE ANÁLISIS PATOLÓGICO DEL ALFARJE**
- ELEMENTO: Vigueta 1.3.6. ESCUADRÍA: 248 x 16,3 x 10,0 cm
- ESTADO: Muy bueno.
- ATAQUE: Se observa ataque muy puntual tanto de termita como de carcoma.
- CABEZA:
  Tamaño:
- Norte: Se encuentra en perfecto estado 10 cm
- Sur: Se encuentra en perfecto estado 10,2 cm
- LOMO:
- Este: Muy buen estado de conservación.
- Oeste: Muy buen estado de conservación.
- Superior: Pérdida muy puntual y superficial, la penetración del ataque no excede el centímetro de profundidad en la zona sur.
- Inferior: Muy buen estado de conservación.
- PRODUCCIÓN: Con hachuela. Presenta un oscurecimiento natural producido por agentes externos a la misma, (exposición a la intemperie, asoleamiento, cambios térmicos naturales o artificiales, humidificación...).
- MUESCAS:
- Tabica: Conservación íntegra en ambas partes.
- Saetino: Muescas íntegramente conservadas.
- OBSERVACIONES: presenta, en cuanto al ataque de termitas, galerías de sección circular no menores de 2 mm en todas las direcciones en el sentido de las fibras, ataque con una profundidad menor de un centímetro.
- CONSERVACIÓN: Sí se conserva, probablemente sin ningún tipo de añadido.
- TRATAMIENTO: Debido a su buen estado, únicamente se le aplicará el tratamiento antixilófagos por inmersión.



- **FICHAS DE ANÁLISIS PATOLÓGICO DEL ALFARJE**
- ELEMENTO: Vigueta 1.2.7. ESCUADRÍA: 210 x 11,0 x 8,0 cm
- ESTADO: Ataque continuo y profundo en toda su longitud. Pérdida de la sección en un 75%.
- ATAQUE: Se observa ataque feroz de termita en la zona de contacto con el muro.
- CABEZA:
  Tamaño:
- Norte: Comida en un 95% de la sección. 8,0 cm
- Sur: Se conserva la práctica totalidad, cerca de un 80%. 8,0 cm
- LOMO:
- Este: Zona de ataque y contacto con el muro. Pésimo estado.
- Oeste: Afectado parcialmente en un 15%.
- Superior: Pérdida total en toda su extensión, pérdida conjunta con el lomo este.
- Inferior: Se encuentra afectado en un 85%.
- PRODUCCIÓN: Dado el estado de deterioro, es complejo acertar su producción, pero por similitud con el resto del tramo, se puede pensar que fue sustituida junto con las pertenecientes al resto del tramo, por lo que recibió el mismo mecanizado que las demás.
- MUESCAS:
- Tabica: Pérdida total de las muescas.
- Saetino: No existen, al igual que les sucede a sus compañeras de tramo.
- OBSERVACIONES: Presenta, en cuanto al ataque de termitas, galerías de sección circular no menores de 2 mm en todas las direcciones en el sentido de las fibras, ataque con una profundidad media de entre 7 y 8 centímetros. Debido a este feroz ataque se intuye la imposibilidad de reutilización.
- CONSERVACIÓN: No se conserva.
- TRATAMIENTO: Se reproducirá íntegramente con madera de pino de mobila de derribo, se realizarán cortes pertinentes para los saetinos y las tabicas, recibirá un entonado con nogalina y el tratamiento antixilófagos por inmersión.

5.2.3 Nivel de los elementos estructurales

Las vigas degradadas por la flexión se refuerzan, 1. con láminas introducidas en el interior, 2. con triangulaciones de reforzamiento, 3. con elementos resistentes a la tracción a las zonas tensionadas, 4. con la mejora del nivel de soporte, 5. añadiendo madera a la sección, etc.

Tipos de consolidación:

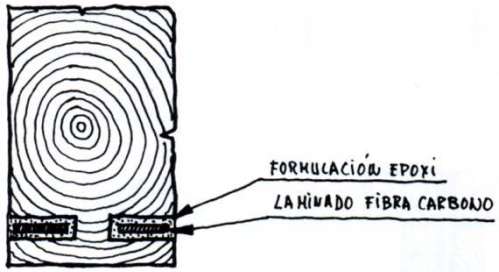
- Consolidación efectuada con la inserción de láminas resistentes fijadas con cola adhesiva epoxídica y pasadores transversales.
- El postesado con triangulaciones se utiliza en las vigas que están excesivamente deformadas y cuando, además de reducir la tracción y la compresión internas, se pretende limitar drásticamente la deformación.

*Si se reduce el momento de flexión en las zonas centrales, se pueden obtener unos efectos muy positivos.

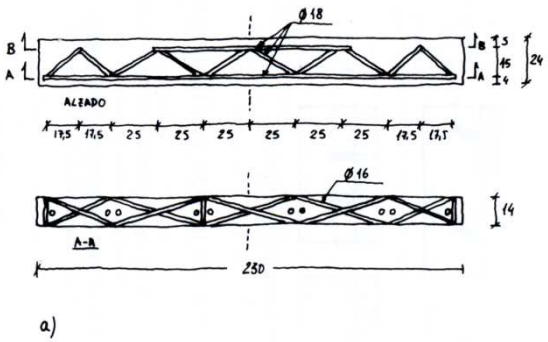
*Otra manera de reducir los valores de los momentos de flexión consiste en reducir la longitud del funcionamiento efectivo de la viga acortando su luz.

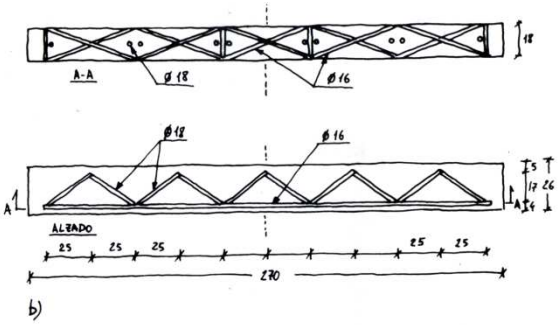
5.2.4 Nivel de las conexiones y de las uniones

En términos generales, deben conservarse, a menos que se decida adoptar otra solución conscientemente, la configuración original y la ductilidad.



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

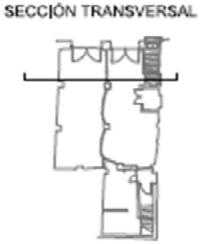


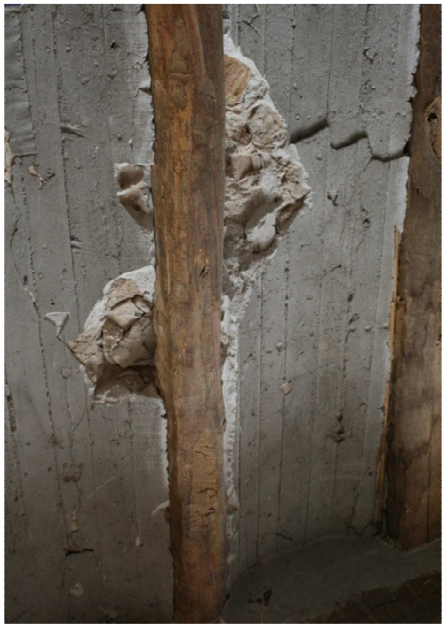


6. Procesos de intervención frente a problemas de comportamiento estructural

6.2 Sistemas de intervención

- Adoptar medidas preventivas y de protección, siempre que sea posible, como alternativa a otros sistemas más traumáticos
- Considerar el edificio en su conjunto y valorar la posible incidencia de los incrementos de carga de las diferentes soluciones al resto de componentes estructurales
- Aplicar un proceso respetuoso con los valores del propio elemento estructural y con el resto de componentes del edificio
- Considerar la compatibilidad entre materiales de características diferentes
- Valorar las perspectivas de durabilidad del sistema estructural resultante de la intervención
- Considerar los aspectos de mantenibilidad y mantenimiento periódico de las soluciones adoptadas.





CASO DE ESTUDIO DE LOS FORJADOS DE UNA POSADA EN EL RINCÓN DE ADEMÚZ.
Nuevo uso para una estructura existente

6.2.1 Prevención i protección-
- Eliminación de humedades
- Protección constructiva
- Reducción de cargas
- Tratamiento protector químico
- Limitaciones y recomendaciones de uso

6.2.2 Reparación i consolidación
Si la pérdida de capacidad mecánica ha sido más o menos importante y la recuperación resulta o no imprescindible, habrá que decidirse por alguna de las siguientes posibilidades. Ahora bien, previamente tendremos que haber eliminado el ataque causante de la degradación.
- Tratamiento curativo químico
- Consolidación de zonas dañadas
- Ligado de grietas
a. Abrazaderas.
b. Pasadores enroscados.
c. Cosido con barras.
- Substitución de material degradado
a. Con madera
b. Con resinas
- Modificación del sistema de apoyo
a. Canecillos o cuello falso.
b. Tornapunta.
c. Viga de zunchado.
d. Pasamano empotrado.

6.2.3 Refuerzo

Hay estructuras en las que el escuadrado original de los elementos resistentes resulta insuficiente para dar respuesta a las exigencias de servicio actuales o previstas. Para afrontar el problema, hay que actuar con un incremento de la capacidad mecánica mediante la aplicación de sistemas de reforzamiento. A menudo esta necesidad viene dada por un cambio de uso del edificio o por una adaptación a la normativa vigente.

6.2.3.1 Rigidización del techo
6.2.3.2 Incremento de la inercia de las piezas
6.2.3.3 Mejora del empotramiento
6.2.3.4 Incremento de la capacidad a flexión
6.2.3.5 Reducción de las solicitaciones

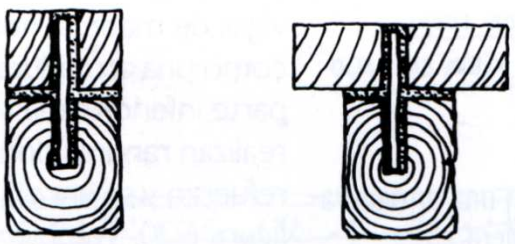
6.2.4 Sustitución

6.2.4.1. Sustitución física

La sustitución física de los elementos estructurales no es una práctica habitual en edificios existentes y sólo se aplica en elementos puntuales o en grandes intervenciones de renovación total del edificio.

6.2.4.2 Sustitución funcional

La sustitución funcional resulta muy eficaz y económica. Poner una nueva viga debajo, al lado o sobre la viga dañada, o situar un nuevo techo, debajo o encima de lo que se encuentra en mal estado, recoge toda la concepción de esta manera de intervenir.



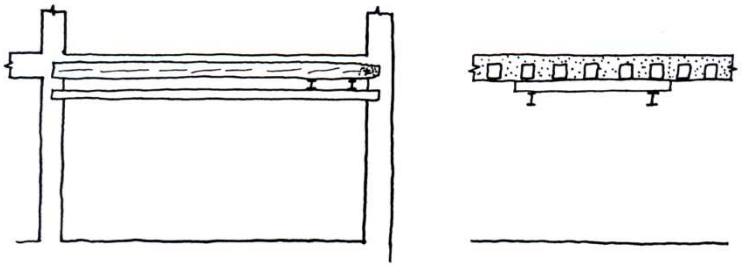
7. Técnicas de carácter estructural

7.1 Descripción general de las técnicas

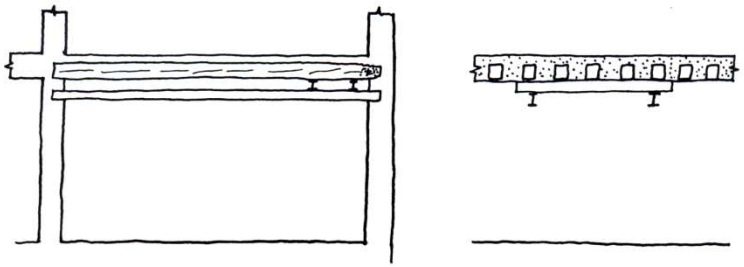
En los apartados siguientes se describen algunas soluciones para la consolidación o el refuerzo de las piezas estructurales utilizando diferentes técnicas según los materiales que emplean.

Estas actuaciones pueden clasificarse en los siguientes grupos:

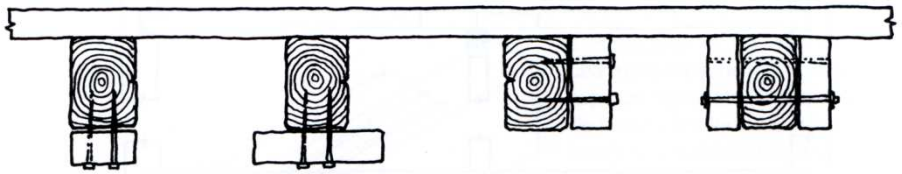
- Utilización de apeo
- Utilización de perfiles metálicos
- Soluciones con hormigón
- Soluciones con madera
- Soluciones con resinas epoxi



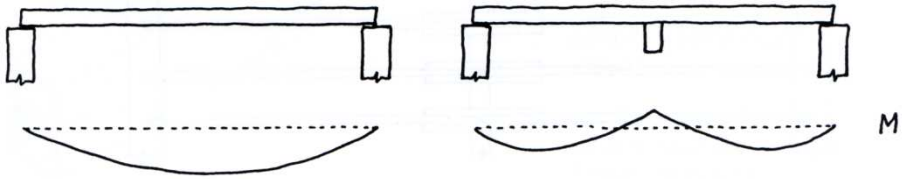
Vigas metálicas para soporte del forjado de madera en un tramo.



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



Refuerzo de las viguetas de un forjado.

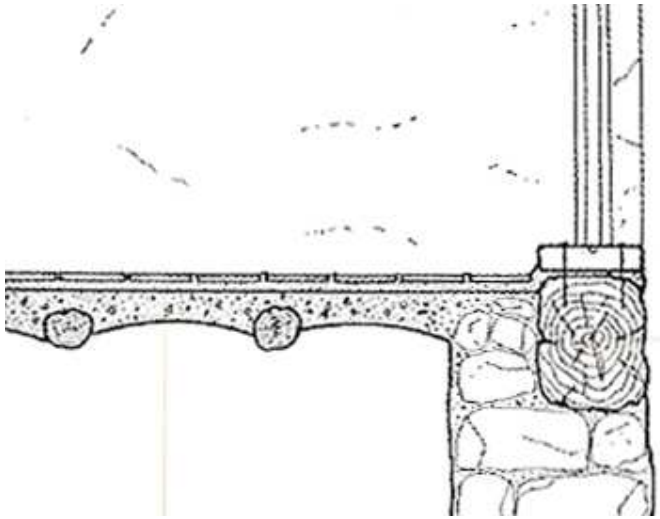


Refuerzo del forjado colocando una línea de carga intermedia.

7.2 Actuaciones sobre los apoyos de las vigas

7.2.1 Apeo sobre una línea adosada al muro

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. A veces, apoya sobre pies derechos adosados, también, al muro. Sus inconvenientes principales radican en que la carga que transmiten al muro queda descentrada respecto a su eje.



7.2.2 Refuerzo del apoyo mediante perfiles metálicos

Una de las posibilidades se orienta a la disposición de una estructura de apeo a modo de emparrillado.

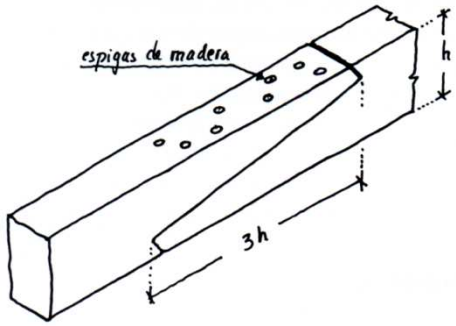
Una versión de mayor consistencia es el adosado de perfiles metálicos, generalmente perfiles de tipo UPN, a la madera sana en una longitud del orden de los 50 a 80 cm y se conectan mediante pernos a la madera.

7.2.3 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.

Las soluciones analizadas en dicho estudio consisten básicamente en empalmes de las piezas mediante un corte oblicuo. Existen variantes, las más empleadas habitualmente, en que se añaden varios pernos perpendiculares al plano inclinado.

En resumen, estas soluciones presentan eficacias muy bajas y sólo podrían ser empleadas en zonas de la viga donde la flexión sea muy reducida, como es el caso de las zonas de apoyo.

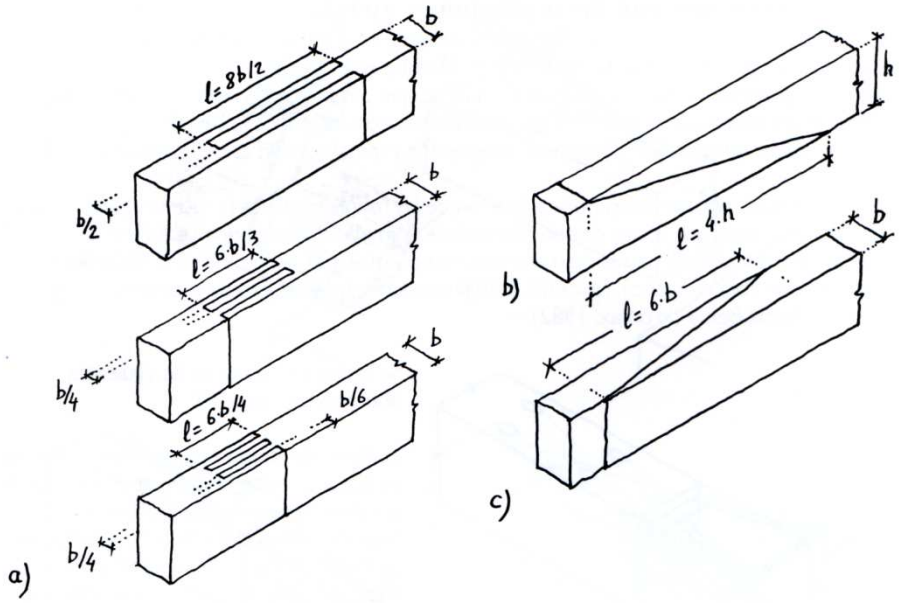


Tipo de uniones de piezas por empalmes encolados

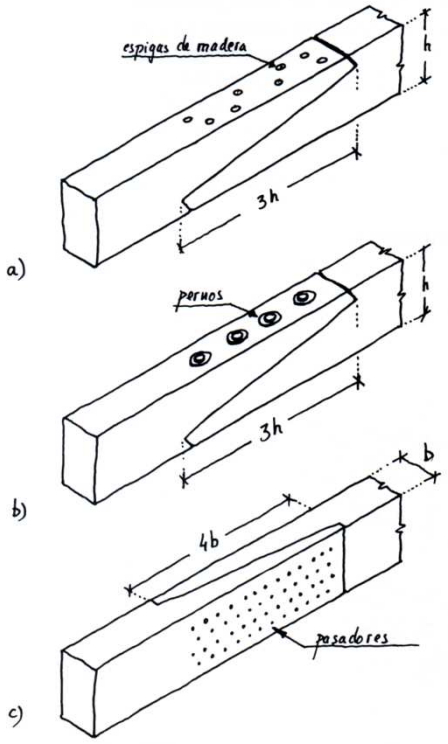
- Unión mediante otra pieza unida por un empalme encolado con resinas de resorcina.

- Unión por empalme de caja y espiga recta, puede realizarse con una o varias espigas. Su eficacia es del orden de 0.50 a 0.60 % en rigidez, manteniendo la relación entre la longitud, 1, y el ancho de la viga, *b,* mayor o igual a 8 *(l/b=8).*

- La unión por empalme oblicuo en la cara de la viga, alcanza una eficacia en flexión de 0,85 y de 0,97 % en rigidez, cuando la pendiente del plano oblicuo es de ¼ 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 %.



Consolidación de viga mediante madera encolada.



Consolidación de vigas con madera

La utilización de las resinas o colas 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 ºC. 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^2. No debe descartarse el empleo de adhesivos de resinas epoxi en lugar del uso de resorcinas, por las ventajas de su retracción despreciable.

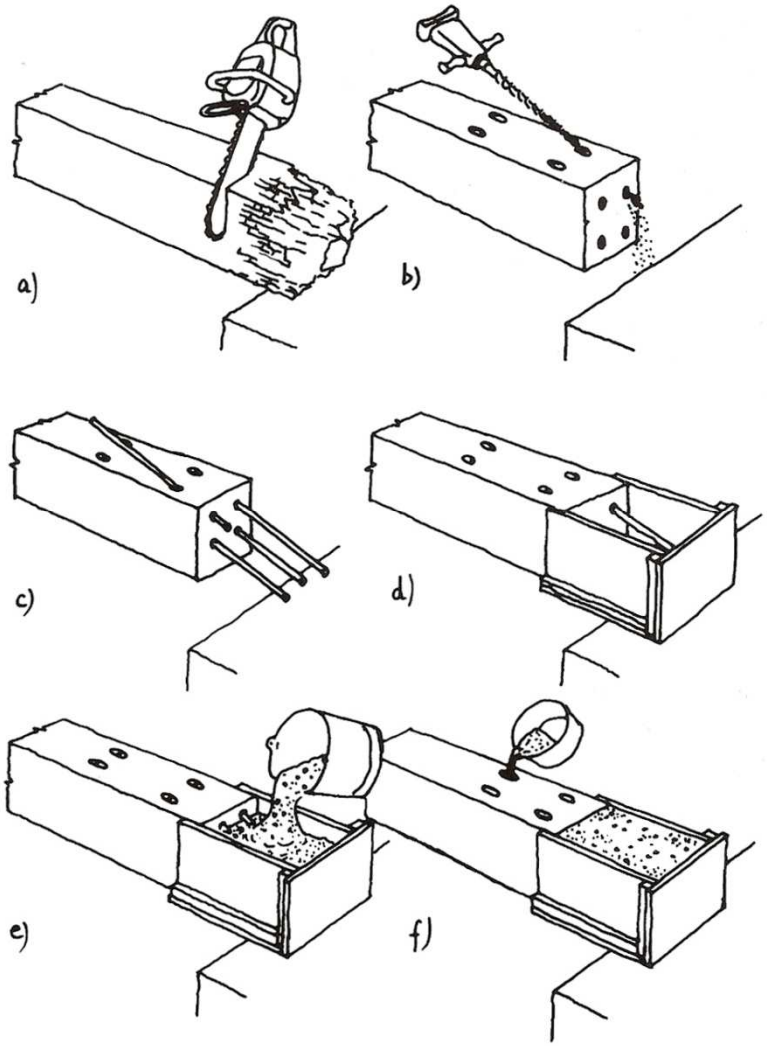
7.2.4 Soluciones con formulaciones epoxi

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).

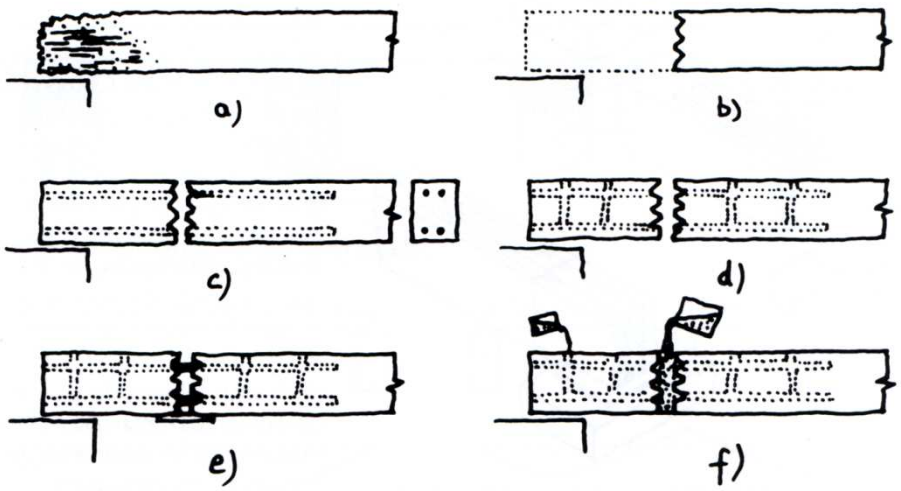
Este procedimiento es objeto de la patente conocida como «Sistema Beta».

Su ejecución consta de las siguientes operaciones:

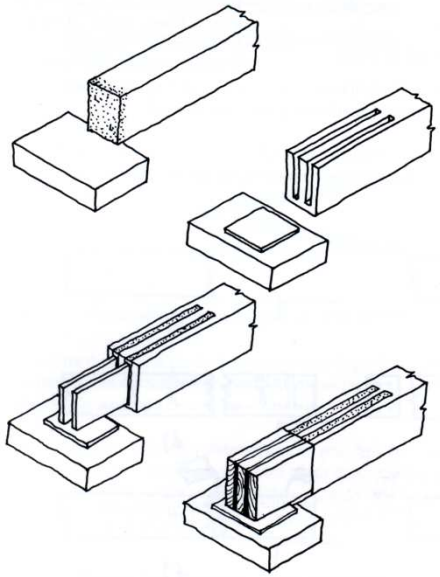
a) Apeo de la viga o vigas sobre la que se va actuar
b) Realización de los taladros en la parte sana de la madera
c) Instalación de las barras de refuerzo en los orificios
d) Montaje de un encofrado que restituye la parte pérdida de la madera.
e) Vertido de un mortero epoxi en el encofrado
f) Rellenado de las holguras entre las barras de conexión y la madera con una formulación epoxi más fluida



Otra solución frecuente, si la zona deteriorada es grande y se puede desmontar la viga, consiste en 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. La madera que se aporta deberá tener un contenido de humedad similar al de la madera a reparar.

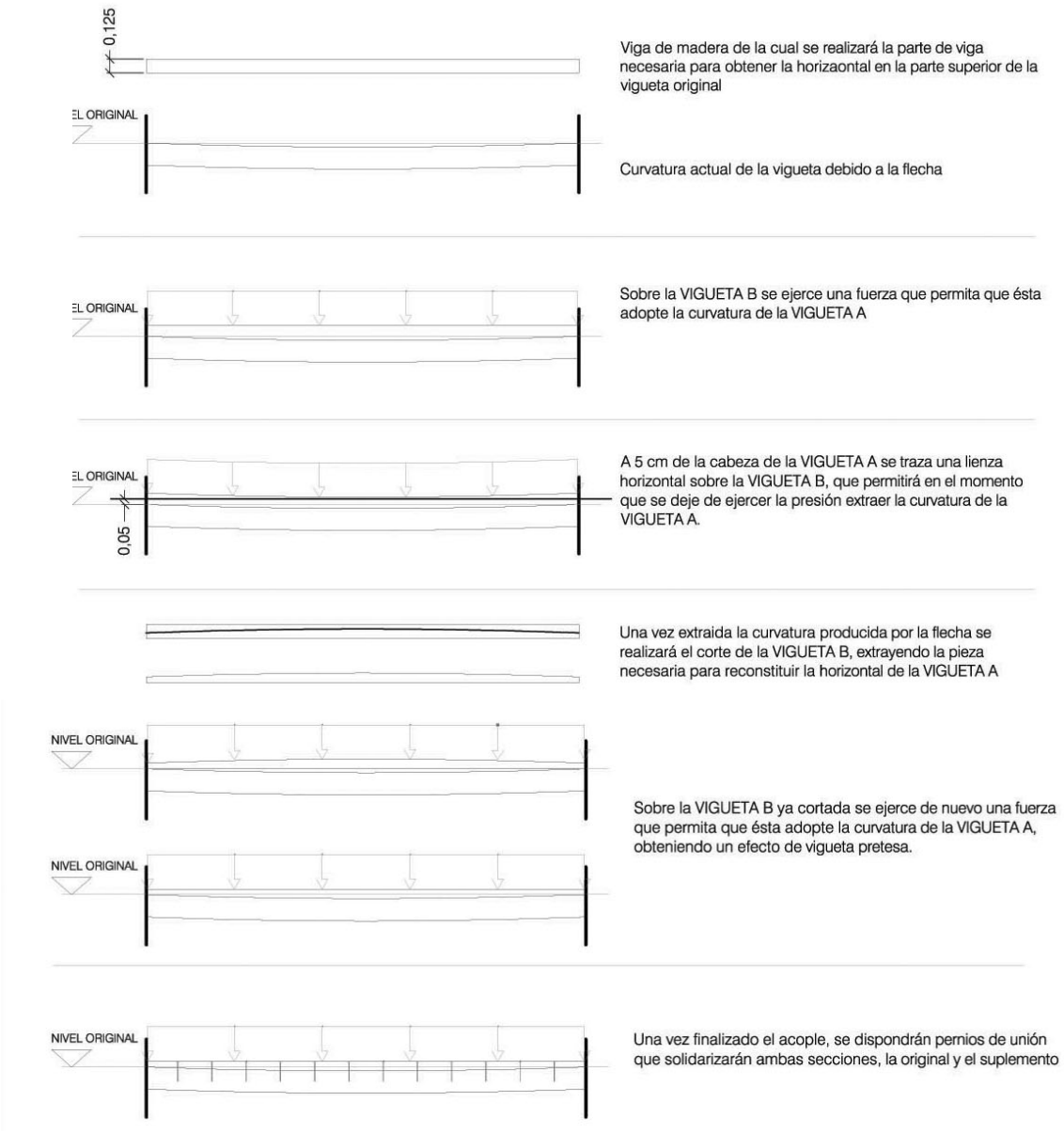


Sustitución parcial de la pieza.


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

Una solución menos frecuente es el empleo de placas de refuerzo para la consolidación de la cabeza.

a) Eliminar la parte degradada llegando a cortar por la madera sana
b) Se ejecutan los cajeados para el alojamiento de las placas
c) Se insertan con holgura al menos dos placas de refuerzo
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.



7.3 Actuaciones sobre piezas sometidas a flexión

Sustitución funcional

Esta situación está relacionada con una sección insuficiente para soportar las cargas con una tensión o una deformación admisible.

La aplicación de una normativa o acciones más exigentes o simplemente un nuevo uso puede invalidar una estructura determinada.

Las actuaciones que en este apartado se describen están orientadas a un aumento o refuerzo de la capacidad portante del conjunto del forjado.

7.3.2 Soluciones con aporte de madera

En forjados en los que la capacidad resistente no es suficiente, una de las primeras y más sencillas soluciones 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.

7.3.3 Aplicación de la tecnología de las resinas epoxi

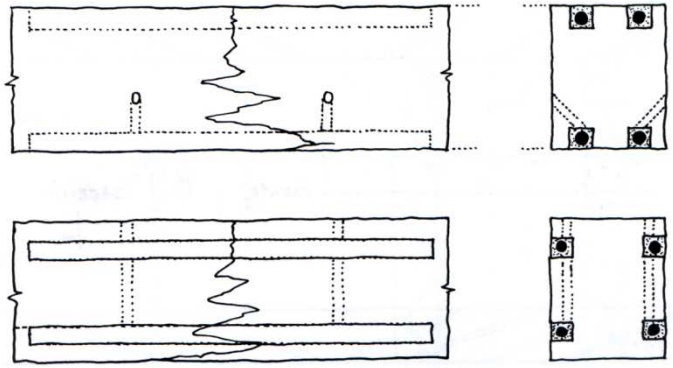
Es frecuente encontrar el caso de forjados en los que alguna de sus viguetas ha sufrido una rotura en el vano.
Generalmente, está relacionada con un defecto local, como un nudo, que tenga un tamaño demasiado grande.
Para recuperar la continuidad pueden emplearse los sistemas que a continuación se describen.

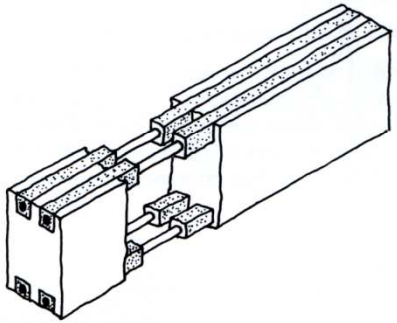
Consolidación con placas de refuerzo internas:

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.
* 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 esfuerzo cortante que se den en la sección.

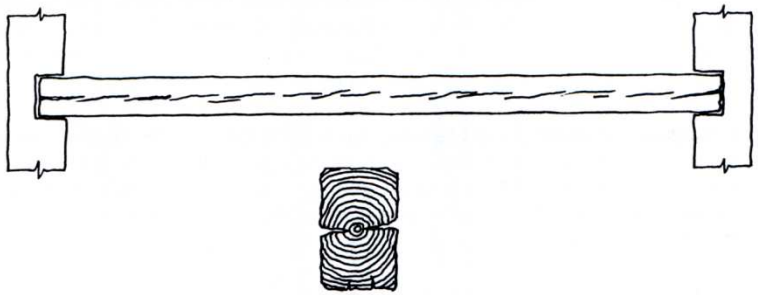
Consolidación con barras de refuerzo:

Permite consolidar un punto intermedio del vano de una viga, y constituye una solución similar a la mencionada anteriormente.



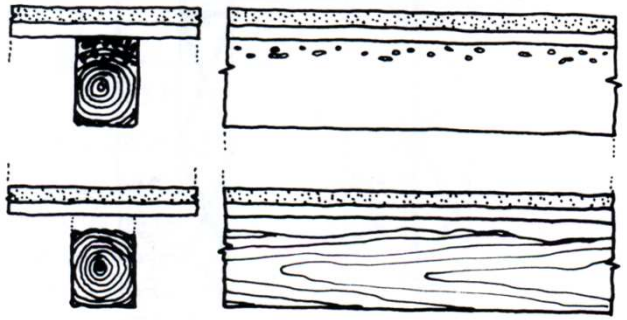


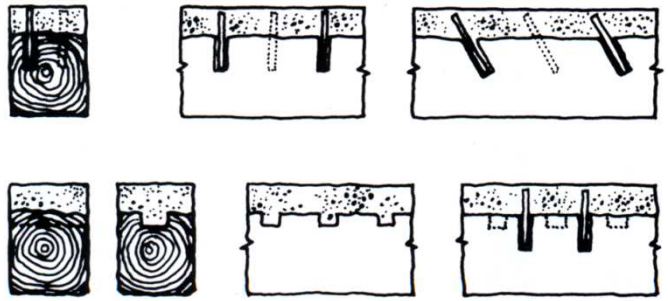
Consolidación de una viga mediante barras de refuerzo.



Fendas de secado en una viga de madera.

Reconstrucción de la parte superior de la sección de la viga mediante mortero epoxi:
Para recuperar la sección original se deben insertar unos conectores que pueden ser barras de poliéster reforzado con fibra de vidrio situados en taladros realizados desde la cara superior. Con la ayuda de un pequeño encofrado en los laterales se rellena el volumen original con un mortero epoxi.





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.

Refuerzo con armadura longitudinal de resina reforzada con fibra de carbono:
Laminado fabricado con un material compuesto de fibras de carbono con una matriz de resina epoxi.

Aumento de la sección de la viga mediante piezas de madera encoladas / prótesis en cabeza. (Aporte de madera nueva).

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.

7.3.4 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.

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.

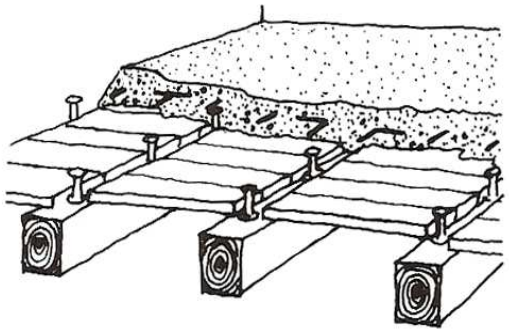
El peso propio aumenta de manera desproporcionada para la ganancia que se obtiene, además del peligro que existe si no se ha comprobado realmente el estado de las piezas dañadas y de los apoyos.

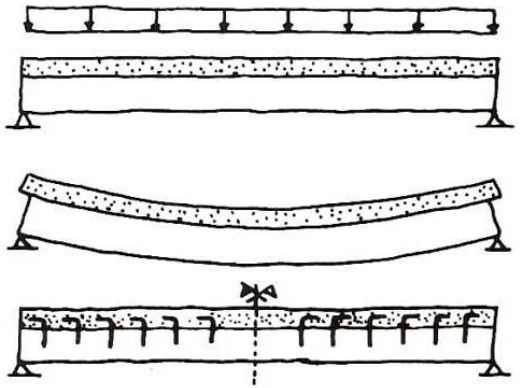
- Losa de hormigón armado sobre el forjado
- Losa de hormigón armado sobre nervios principales

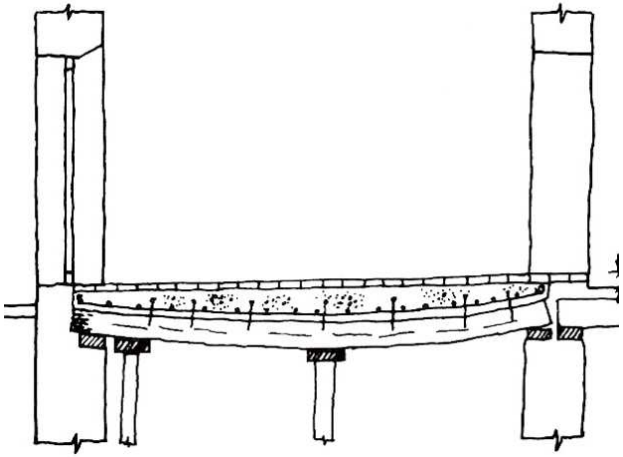
7.3.4.1. Tipos de conexiones:

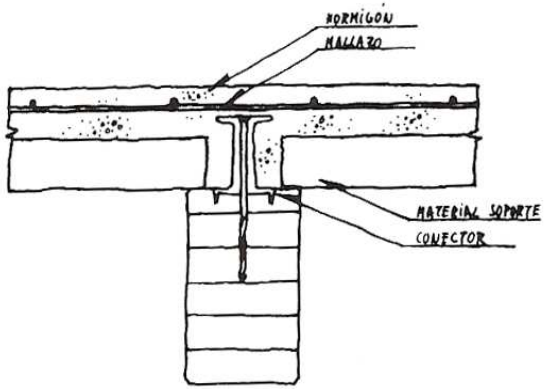
Las conexiones pueden clasificarse por su rigidez y de manera aproximada en los tipos siguientes:

a) Con clavijas
b) Con conectores de superficie
c) Con cajeados en la madera
d) Con uniones encoladas
f) Perfilería y celosías







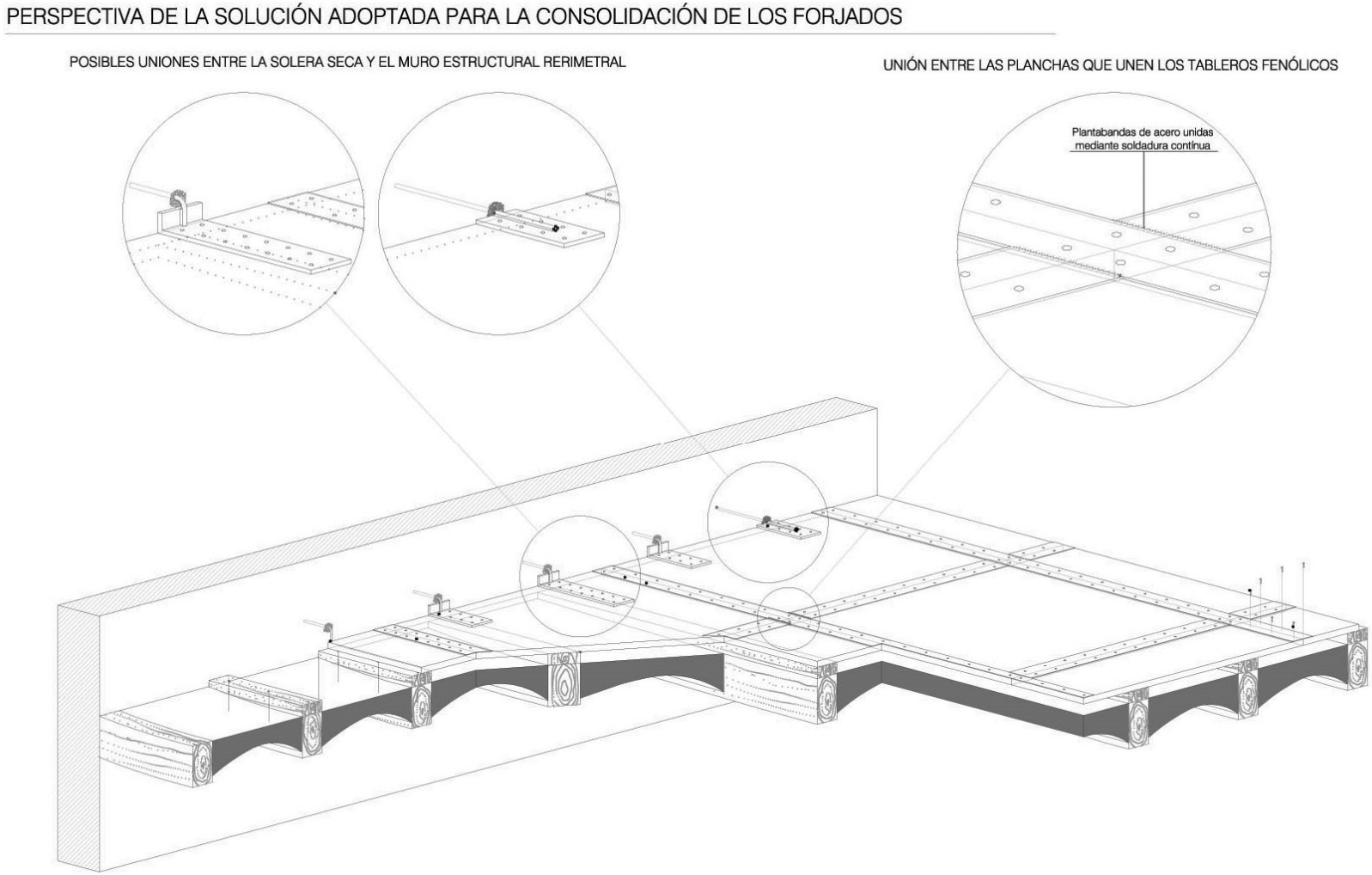


7.3.5 Recomendaciones constructivas

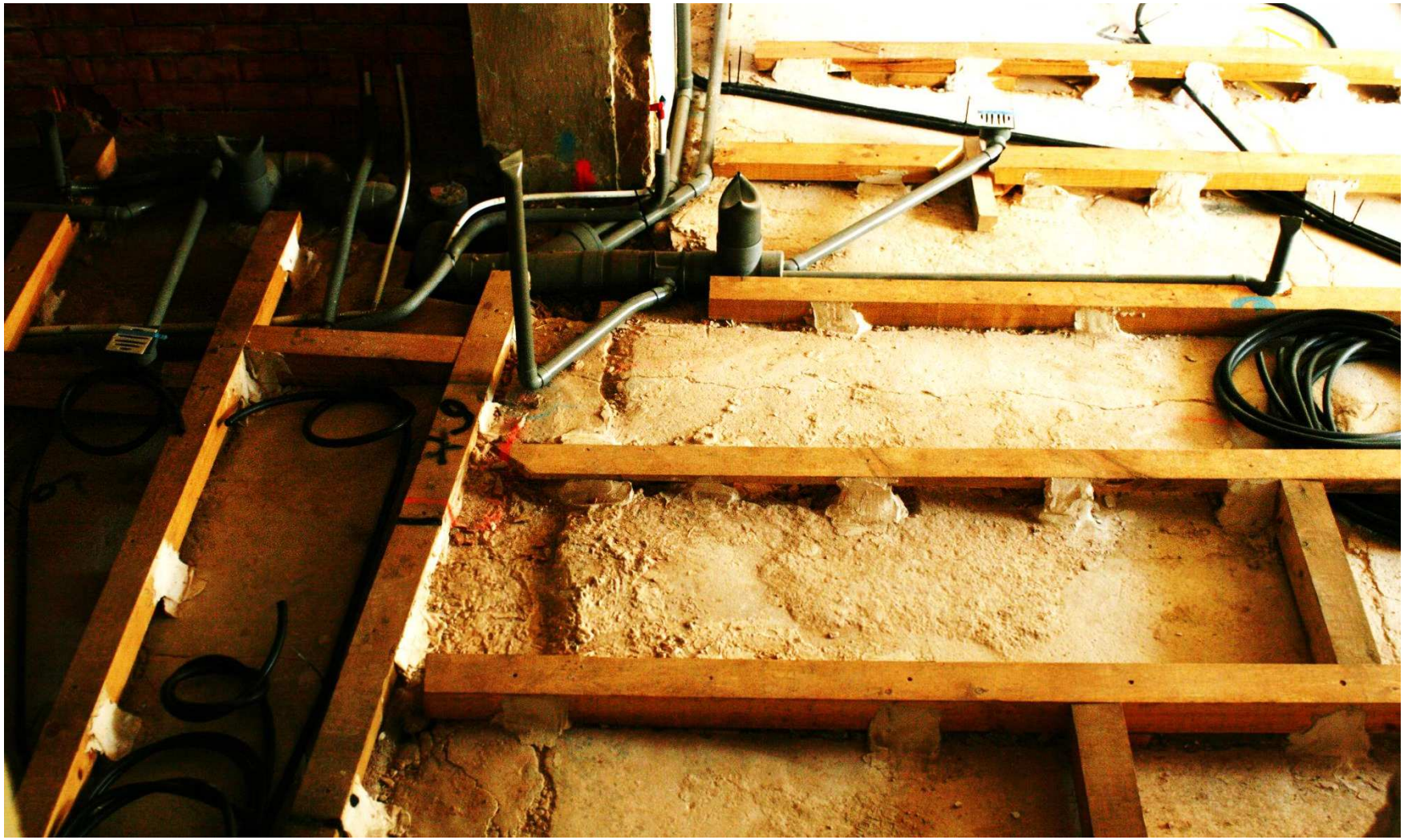
Durante la ejecución de la losa se suele colocar un plástico entre la madera y el hormigón para evitar que éste pueda escaparse entre las juntas y manchar la madera por debajo. Finalmente, algunas maderas como el alerce contienen extractos de azúcares que pueden impedir o retrasar el fraguado del hormigón si se dejan en contacto sin la separación antes comentada.

7.3.6 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.



Sin embargo, es algo laborioso conseguir una planeidad adecuada para lograr una correcta conexión entre las viguetas y el tablero.



SPAX
100
6x120
SKH
4 003530 005374

7.3.7 Soluciones con acero

Refuerzo mediante perfiles metálicos:

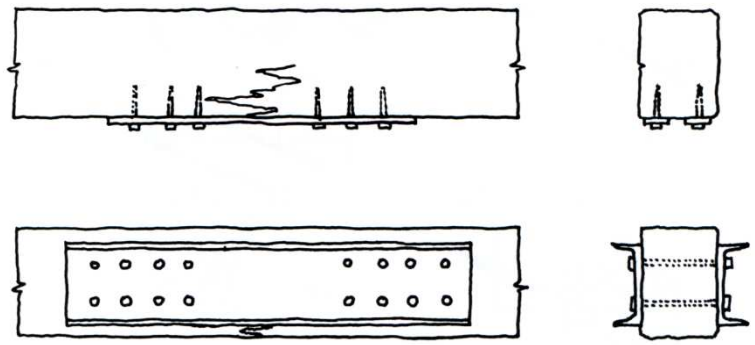
La utilización de perfiles y pletinas para la reparación de roturas de vigas es uno de los recursos más inmediatos que aparecen en la consolidación puntual de obras antiguas. Suelen consistir en la recuperación de la continuidad de la viga mediante perfiles o pletinas adosadas que se unen a la madera mediante elementos de fijación mecánicos (tirafondos y pernos).

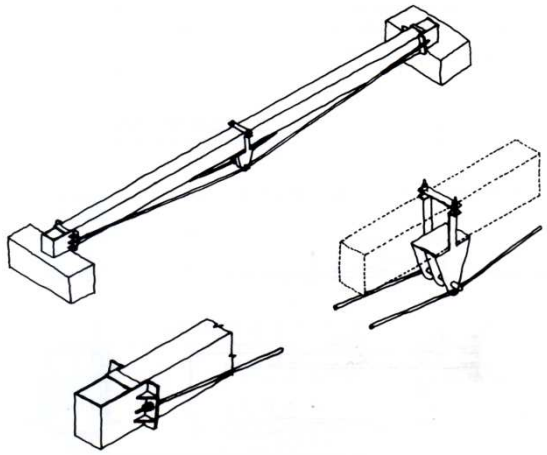
Refuerzo con atirantado metálico y enanos comprimidos:

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.

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. Los apoyos en muros extremos se realiza mediante una base metálica con anclajes mecánicos o químicos según las características del muro.





8. Sistemas preventivos y curativos frente a problemas bióticos y abióticos
8.2 Tipos de riesgo

Se llama tipo de riesgo a las condiciones de puesta en servicio de una madera que determinarán la posibilidad de que sea atacada o no por uno o más agentes destructores bióticos.

Protegidos

Tipo de riesgo 1: no expuesto a la humidificación en servicio.
Tipo de riesgo 2: exposición ocasional a una humedad ambiental elevada.

Desprotegidos

Tipo de riesgo 3: no está en contacto directo con una fuente de humedad.
Tipo de riesgo 4: está en contacto con una fuente de humedad y una humidificación permanente.
Tipo de riesgo 5: está en contacto permanente con el agua salada.

CASO DE ESTUDIO DE LA CUBIERTA DE UNA IGLESIA EN LA POBLA DE BENIFASSÀ, CASTELLÓN.
Peritaje de estructura ruinosa

1.- CEPILLADO Y LIMPIEZA
Cepillo de cerdas blandas

2.- RECUPERACIONES VOLUMÉTRICAS
COLA DE RESORCINA + SERRÍN - Casco Products

3.- INJERTOS DE CABEZAS

1.- TRATAMIENTO PREVENTIVO POR INMERSIÓN
20 min. Saetinos, tabla y tabicas
35 a 40 min Viguetas
1h Vigas y mensulas

2.- TRATAMIENTO CURATIVO
Inyección a presión.

8.3 Productos protectores

Protectores hidrosolubles: sales minerales que utilizan el agua como vehículo
Protectores hidrodispersables: no hidrosolubles los que se añade un emulgente
Protectores con disolvente orgánico:

8.4 Tratamientos protectores

8.4.1 Tratamientos preventivos

Tratamiento de madera antes de ser puesta en obra

Superficial	-Inmersión breve
	-Pulverización o riego
	-Pincelado
En profundidad	-Inmersión prolongada
	-Difusión o desplazamiento de sabia
	-Doble vacío
	-Impregnación a presión (autoclave)

Tratamiento de madera puesta en obra

Superficial	-Pulverización o riego
	-Pincelado
En profundidad	-Inyección a presión

El grado de protección que se debe conferir a una madera para alargar al máximo su vida útil. Este grado de protección está determinado por la penetración que el producto protector alcanza en el interior de la madera

8.4.2 Tratamientos curativos

Los tratamientos curativos, en el campo de la construcción, sólo se aplican a madera puesta en obra.

Tratamiento:

Superficial: -Pulverización o riego
-Pincelado

En profundidad: -Inyección a presión

8.4.2.1 Tratamientos contra agentes bióticos

Tratamientos contra hongos

8.4.2.2 Tratamiento contra insectos

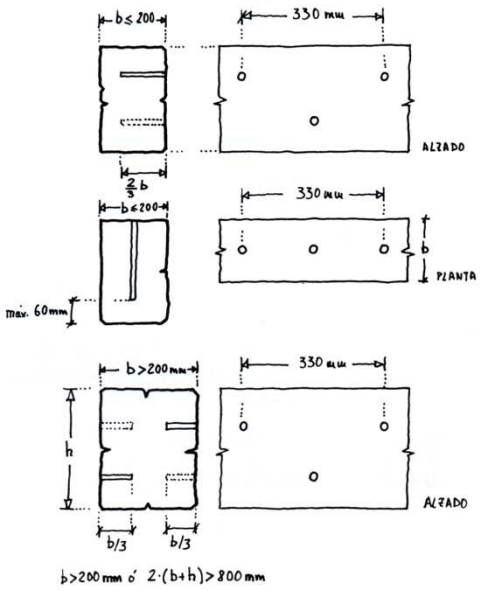
Tratamiento contra insectos de ciclo larvario

La distribución de los ataques de los insectos de ciclo larvario no es uniforme en toda la estructura del edificio, por lo que el tratamiento deberá ser más o menos intenso según el estado de las diferentes piezas de madera y la de los alrededores.

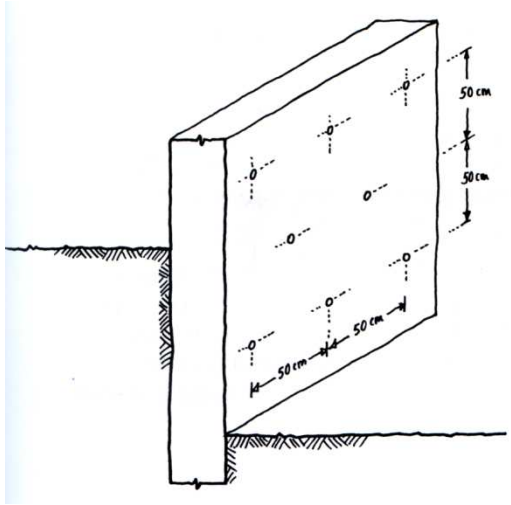
Tratamiento contra insectos sociales

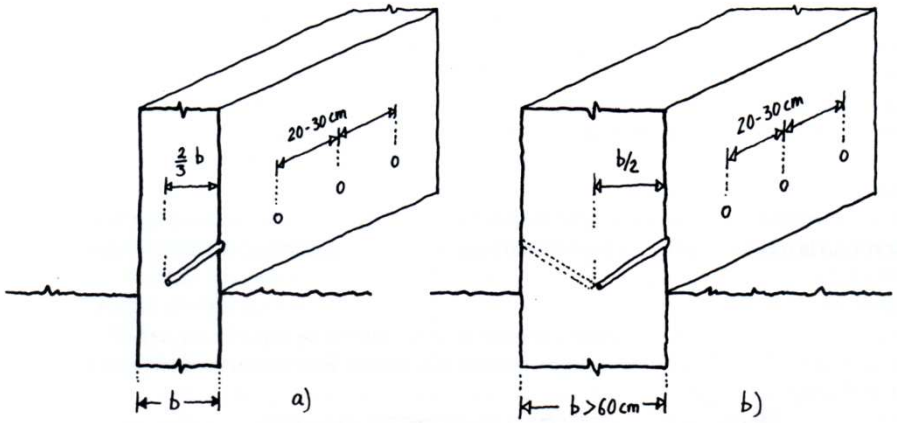
Los tratamientos curativos contra las termitas subterráneas del género reticulitermes son particularmente delicados, como consecuencia de la forma de vida de estos insectos y del carácter extremadamente difuso de sus colonias.

a) Tratamiento de las maderas (inyección)

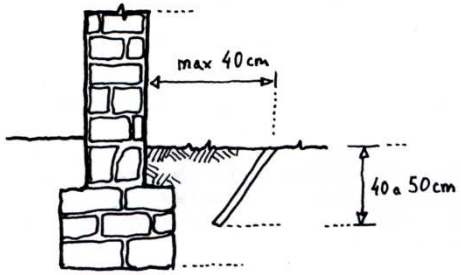


b) Tratamiento de los cimientos
c) Tratamiento de la base de las paredes
d) Tratamiento de otras partes de las paredes

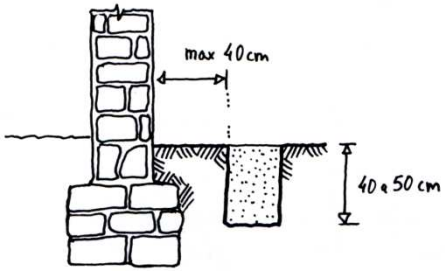




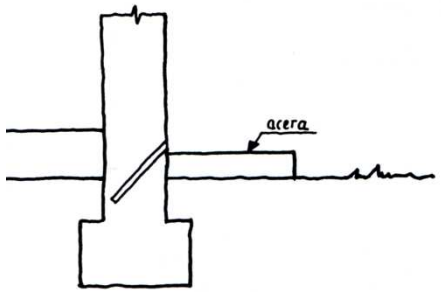
Tratamiento de los muros por inyección: a) Muros con espesor inferior a 60 cm y b) Muros con espesor superior a 60 cm en los que no puede alcanzarse una profundidad de 2/3 del espesor.



Tratamiento del suelo mediante barreras por inyecciones.



Tratamiento del suelo mediante barreras por zanja.



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

8.4.3 Sellados

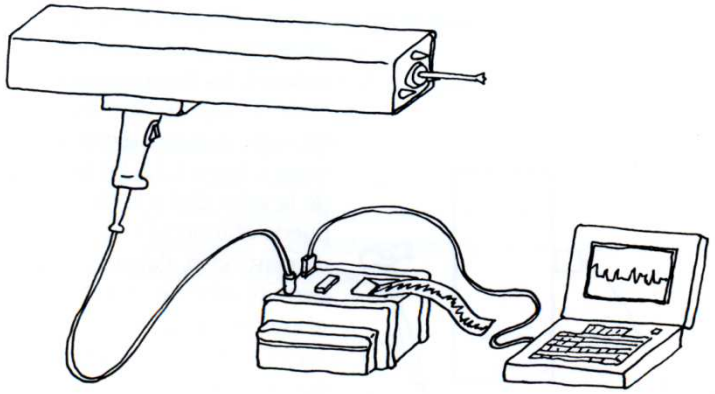
8.4.3.1 Tratamiento contra la fotodegradación

Este tipo de degradación es debido a la acción de los rayos ultravioletas, por lo tanto, tiene lugar fundamentalmente a las carpinterías exteriores ya toda la madera expuesta a la intemperie.

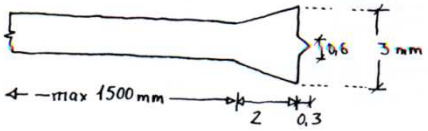
Como se trata de un fenómeno superficial, la protección a aplicar también es superficial y los productos que se utilicen deben estar dotados de pigmentos o filtros que protejan la madera contra la acción de las radiaciones solares.

CASO DE ESTUDIO DE LA CARPINTERÍA DEL AYUNTAMIENTO Y LAS TORRES DE QUART DE VALENCIA.
Restauración de madera expuesta

PRUEBAS In-situ para madera



4.2.2 Resistógrafo:
El resistógrafo consiste en un taladro mecánico que realiza una perforación de 3 mm de diámetro en la dirección radial a la sección de la pieza y que evalúa la resistencia que ofrece a la perforación. El aparato es portátil y tiene una broca con un diámetro de *1,5* mm en el fuste y 3 mm en la punta, que avanza a una velocidad constante. La resistencia a la penetración se mide mediante el consumo de potencia.

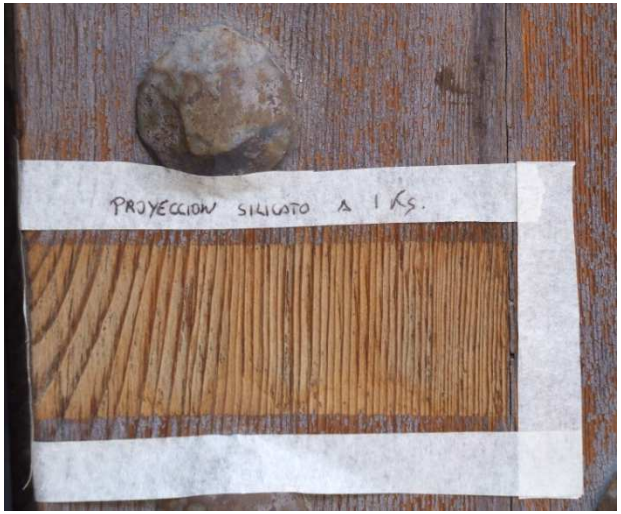


Carpinterías. Proceso de recuperación de las carpinterías de madera.
Aplicación de un gel decapante.

Rascado manual de la película degradada.

PRUEBAS de LIMPIEZA MANUAL de la MADERA

PRUEBAS de LIMPIEZA QUÍMICA de la MADERA



PRUEBAS de LIMPIEZA MECÁNICA de la MADERA

Carpinterías con herrajes
Fot. A. Hoja de ventana balconera preintervenida.
Fot. B. Hoja de ventana balconera en proceso de recuperación, pulido mecánico.

8.4.3.2 Tratamiento estabilizador de la madera

Aunque para la madera de construcción es imposible impedir la absorción de agua, sí se puede aumentar su desorción mediante la aplicación de un producto adecuado. Esto reducirá notablemente la amplitud de los intervalos del grado de humedad de equilibrio de la madera.

Los productos utilizados son ricos en resinas disueltas en un disolvente orgánico de gran poder de penetración y se aplicarán en profundidad.

9. Pruebas de carga: vigas, forjados y elementos en flexión

9.2 Proyecto de prueba de carga

Antes de efectuar el ensayo de prueba de carga se redactara un proyecto previo en el que debe quedar definido:

a. Inspecciones que deben efectuarse sobre la estructura (ensayos de información)
b. Finalidad y alcance de la prueba
c. Definición precisa de la zona de ensayo
d. Carga de proyecto, carga de ensayo límite y criterios que deben seguirse para fijar la máxima carga a alcanzar durante el ensayo
e. Magnitudes que han de medirse junto con el número y la situación de los puntos de medida
f. Instrumentación, especificando los tipos de aparatos y la resolución mínima exigible
g. Forma de aplicación de la carga y medidas de seguridad a adoptar

9.3. Pruebas hasta servicio

Los ensayos de pruebas de carga de servicio se realizan generalmente como comprobación adicional dentro del programa de control de calidad de los materiales y de ejecución de la obra sin que exista problema alguno que los motive, tienen por objeto comprobar el comportamiento de un elemento estructural, generalmente una losa o forjado, bajo solicitaciones próximas a las de servicio, previstas en proyecto.

9.3.1. Zona a ensayar

En forjados de edificación suelen cargarse dos vanos continuos a fin de materializar las solicitaciones de flexión más desfavorables en apoyo y vano. No es recomendable cargar menos de cinco viguetas, especialmente si tenemos en cuenta la función de distribución de cargas de la capa de compresión y el mallazo de reparto. Es frecuente ensayar los vanos de máxima luz o la retícula extrema y su adyacente.

9.3.2. Carga de ensayo

La carga de ensayo corresponde a la fracción no dispuesta de la carga característica de servicio. Incluye, por tanto la sobrecarga de uso y, generalmente la tabiquería y el solado.

9.3.3. Materialización de la carga

Lo más usual es colocar cargas uniformemente repartidas sobre los forjados, siendo los elementos más frecuentemente dispuestos depósitos de agua, sacos de cemento, arena y acopios de material diverso.
De todos los sistemas citados, el de las balsas de agua es el mas eficaz y económico para cargas de ensayo inferiores a 500 Kp/m2. La arena, áridos y materiales a granel se emplean para sobrecargas importantes.

9.3.4. Programa de carga

Por criterios técnicos y de seguridad, se aplica un cierto número escalones de carga (cuatro normalmente) hasta la estabilización de las lecturas. Las solicitaciones máximas deben mantenerse durante un plazo que garantice una estabilización razonable del proceso de fisuración y deformación (normalmente entre 8h y 24h).

9.3.5. Instrumentación

La instrumentación prevista en el plan de la prueba de carga suele destinarse a la medida de deformaciones verticales, anchura de fisuras (si es que existen) y las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa.

9.4. Pruebas hasta solicitaciones superiores a las de servicio

Esta tipología se emplea en aquellos casos en los que se pretende evaluar la seguridad de la estructura, o capacidad portante del forjado, por lo que es necesario superar el nivel de solicitación de servicio y alcanzar, prácticamente, el de cálculo. Normalmente viene derivada de la sospecha de que existe una capacidad de respuesta insuficiente frente a las acciones previstas, bien sea por cambios de uso o por deterioro de la estructura, desarrollados a lo largo de su vida.

CASO DE ESTUDIO DE LA CUBIERTA DE UNA IGLESIA EN LA POBLA DE BENIFASSÀ, CASTELLÓN.
Restauración de madera policromada

PROCESOS DE INTERVENCIÓN

1. Consolidación del soporte y desinsectación

   Resinas, antiparásitos

2. Sentado de la policromía

   Cera, papel japonés, calor

3. Eliminación del papel

   Papel y resinas sobrantes

4. Limpieza de la policromía

   Recuperación cromática

5. Consolidación

   Resinas termoplásticas