

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE MADERA EN LA REHABILITACION DEL INSTITUTO JACINTO VERDAGUER (Barcelona)

Francisco Arriaga Martitegui
Dr. Arquitecto, de AITIM

Extracto

Se analiza la estructura de madera compuesta por forjados y formas sencillas de cubierta de un edificio construido en el siglo XVIII, situado en el Parque de la Ciudadela en Barcelona.

La madera se encontraba afectada por un ataque de termitas y se procedió a su saneamiento y consolidación. Se resumen los datos obtenidos en el peritaje de la estructura y sirven de base para un análisis de la comprobación de dimensionado de las escuadrías, que revela un diseño ajustado.

Introducción

El edificio del Instituto Jacinto Verdaguer está situado en el barrio de la Ribera de Barcelona, dentro del Parque de la Ciudadela. Fue mandado construir por Felipe V a principios del Siglo XVIII. Es obra de Próspero Veerbon y constituyó la residencia del primer gobernador militar, después de la toma de Barcelona. En la actualidad alberga al Instituto de Enseñanza Media que le da nombre.

El deterioro de la estructura de madera por efecto del ataque de termitas condujo a que la Generalitat de Catalunya decidiera encargar los trabajos necesarios para su restauración. Dichos trabajos comenzaron por una primera fase, cuyo fin era consolidar la estructura y detener el proceso de deterioro. Las obras se realizaron entre 1982 y 1983. D. Marcos Carbonell Passolas fue el arquitecto autor del proyecto y director de la obra.

En el planteamiento del proyecto se decidía la conservación de la estructura de madera, contando con el adecuado tratamiento químico antixilófago y con la consolidación y reparación de las piezas dañadas con técnicas basadas en la utilización de la tecnología de las resinas epoxi. En concreto con la aplicación del sistema Beta.

Los trabajos realizados en relación a la estructura de madera fueron los siguientes:

1. Recogida de información y análisis de la estructura de madera detallada de todos los locales. Dentro de ella se incluyen los datos de secciones empleadas, luces y separaciones entre piezas; calidad resistente de la madera y grado de deterioro por efecto de los ataques

xilófagos, pesos muertos y capacidad resistente de las estructuras.

Este capítulo constituye la base principal de este artículo.

2. Tratamiento químico antixilófago del edificio: dentro de este tratamiento se incluían las siguientes fases:

- Barreras químicas en el suelo, para aislar los muros del terreno, mediante taladros realizados en el suelo, a ambos lados del muro vertiendo productos insecticidas.

- Tratamiento químico de la zona de arranque de los muros. Con esta operación se aumenta la eficacia del tratamiento del suelo.

- Tratamiento químico de toda la madera del edificio. Se incluye además de la madera en estructuras, la de carpintería interior y exterior. Se realizó por el sistema de inyección del producto en taladros y pulverizaciones superficiales.

3. Consolidación de la estructura de madera mediante la utilización de la tecnología de las resinas epoxi. Se empleó el sistema Beta, que consiste en sustituciones parciales con mortero

epoxi y refuerzos con materiales compuestos.

Se restauraron más de 230 cabezas de vigas o pares de cubierta y se consolidaron unas 110 vigas de forjado con objeto de aumentar su rigidez y paliar la disminución de su calidad resistente por efecto de las fendas del secado.

1. Descripción del edificio

Se trata de una edificación de planta rectangular con un gran patio central. Se accede por la fachada principal a un cuerpo con doble crujía donde desemboca la escalera noble que comunica la planta baja con la primera. (Fig. 1, 2 y 3). La altura del edificio varía desde una a tres plantas.

La estructura vertical está formada por muros de mampostería, tomados con argamasa de cal. Los forjados son de vigería de madera, con la excepción de los vuelos en balcones realizados en piedra y un sector de techo de planta baja, en azotea, sustituidos por perfiles metálicos, posiblemente por tratarse de zonas muy degradadas.



En la estructura de cubierta aparecen formas de madera a dos aguas de construcción sencilla. (Par y nudillo y par e hilera) en una de las alas del edificio. En el ala simétrica la estructura fue sustituida, unos años antes de esta fase, por una estructura metálica que seguía el mismo trazado que la original. En esta zona la madera estaba muy deteriorada y no fue posible su consolidación. (Figura 3).

La superficie total construida es aproximadamente de 3.408 m², sin contar balcones, volados ni terrazas de cubierta plana.

La estructura metálica, que supone una sustitución de la estructura de madera por su extremo deterioro, coincide con zonas de alto riesgo para la madera. De tal forma que en planta baja la zona sustituida corresponde al forjado de una cubierta plana, donde el riesgo de deterioro es elevado ante un fallo de impermeabilización. Lo mismo ocurre en la cubierta, donde las fuentes de humedad favorecen la pudrición y el desarrollo de las termitas.

Del examen de la organización constructiva de los forjados se puede destacar como existe una intención de protección de la madera por diseño ante la posibilidad de pudrición. Las vigas de forjado se disponen, siempre que es posible, en la dirección paralela a los muros de fachada, de tal forma que los extremos de las piezas apoyen sobre muros perpendiculares a fachada. Estos muros no tienen el posible aporte de humedad del exterior como en fachadas y esta condición más seca favorece la durabilidad de la estructura. Se llega en algún caso a cubrir un local disponiendo las vigas en la dirección de mayor luz, evitando el apoyo en muros de fachada. (Figura 1).

Solamente en los locales de mayor longitud, donde no es posible disponer muros intermedios, el apoyo se hace sobre muro exterior. Y es en estas zonas donde mayores daños se encontraron.

La disposición de vigas paralelas a fachada deja en los bordes piezas que discurren prácticamente adosadas al muro que se denominan

vigas parederas. En estas piezas se encontraban, por lo general, daños muy graves por la acción de las termitas.

2. Tipologías de forjados y cubiertas

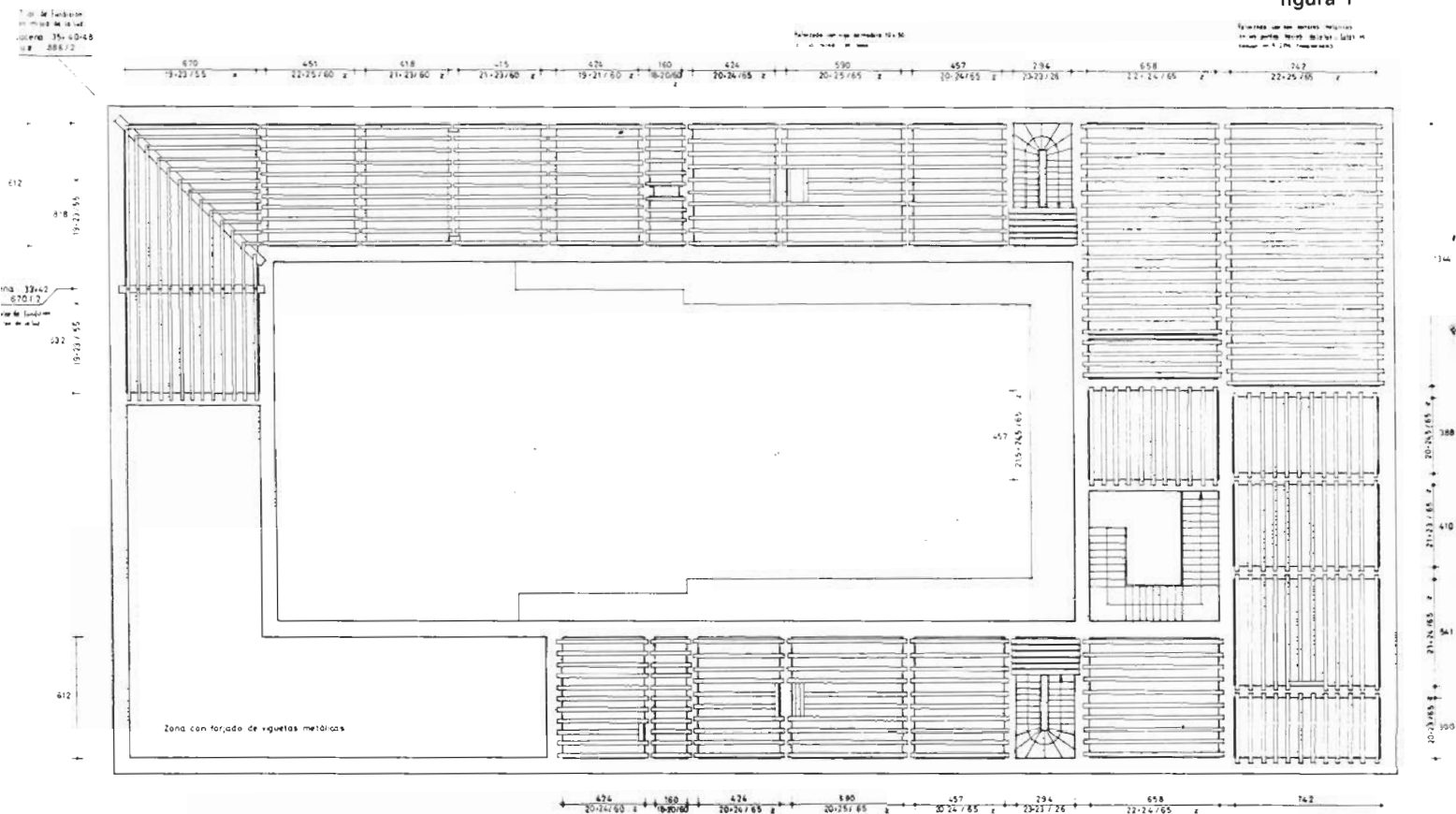
Dentro de los forjados de viguería de madera, se distinguen tres tipos:

— Tipo «X» (según la clave de identificación de los planos). (figura 4). Está formado por vigas de madera de pino escuadradas y talladas con azuela, con la superficie en madera natural, sin tratamiento superficial. Sobre ellas apoyan perpendicularmente unas piezas más pequeñas de madera (11 x 5 cm) apoyadas de tabla y a una separación entre ejes de 30 cm. Directamente sobre estas secciones se apoyan unos ladrillos cerámicos macizos, que forman el plano de asentamiento del solado con una capa de argamasa de cal.

Es la tipología más extendida en el edificio.

— Tipo «Z» (según la identificación en los planos). (Figura 4). En este caso las vigas presen-

figura 1



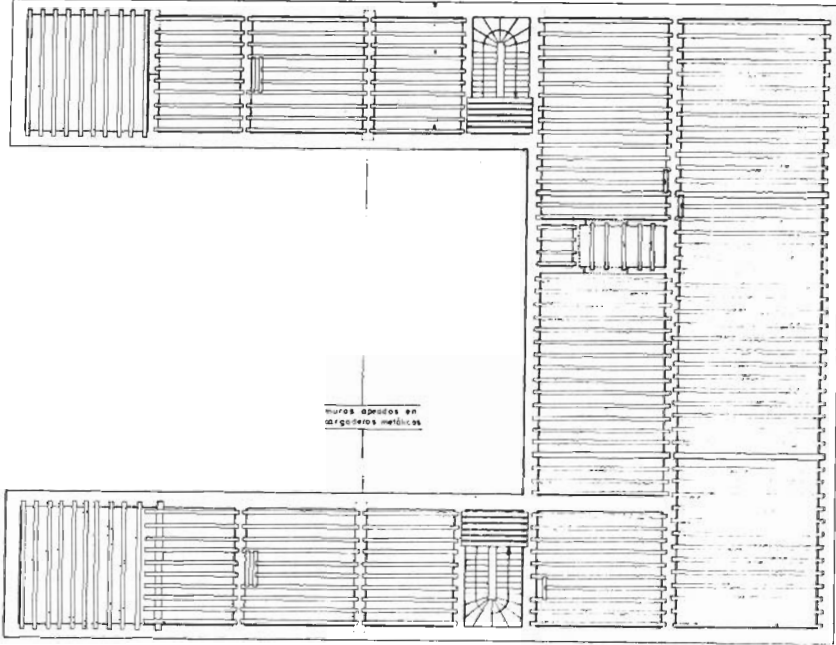


figura 2

tan una escuadría más acabada de superficies planas y pintadas. Sobre ellas se apoya una tablazón de madera de un espesor de 25 mm y encima de ella se encuentra la capa de mortero y argamasa de cal que recibe el solado.

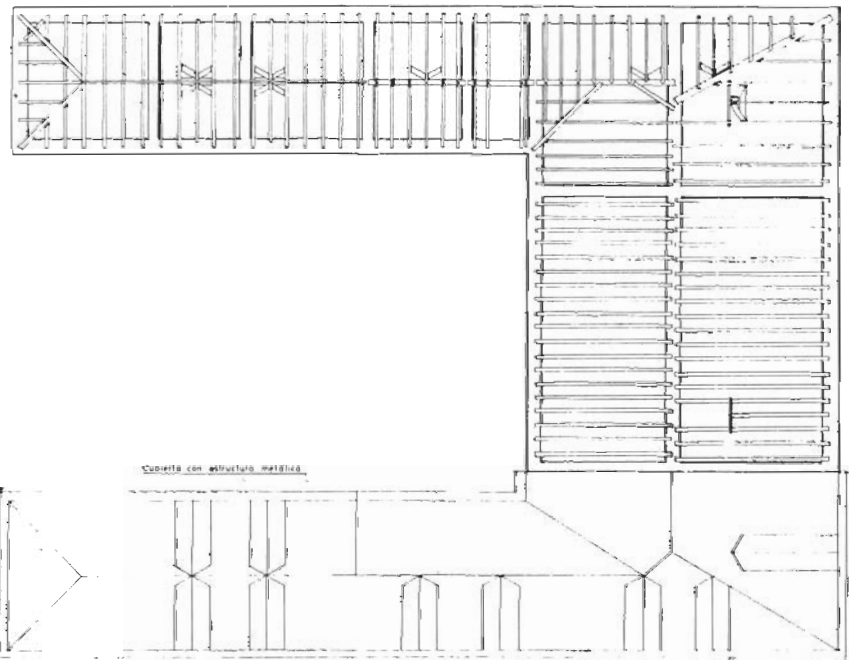
Este tipo de forjado se encuentra únicamente en techo de planta baja y ocupa la casi totalidad de las dependencias.

— Por último, en el extremo de un ala de edificio y como techo de planta primera, se dispone una estructura de forjado con apariencia externa de artesanado. Este está simulado con escayolas y moldes ligeros que cuelgan de la vigería.

El sistema constructivo de la cubierta a dos aguas que se dispone sobre las dos alas del edificio, adopta la solución indicada en la figura 5.

Los muros de fachada tienen su coronación a una cierta distancia del nivel superior del último forjado, con el fin de conseguir una adecuada habitabilidad del espacio bajo cubierta. Sobre el extremo de los muros apoyan unas formas de par y nudillo, o la solución de par e hilera, que se representan en la figura 6.

figura 3

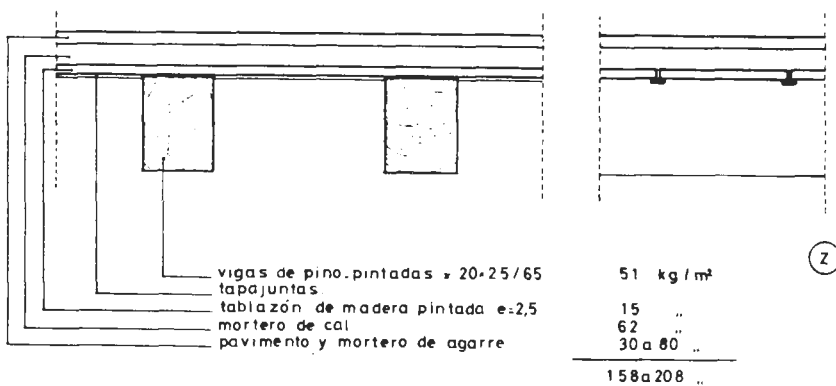
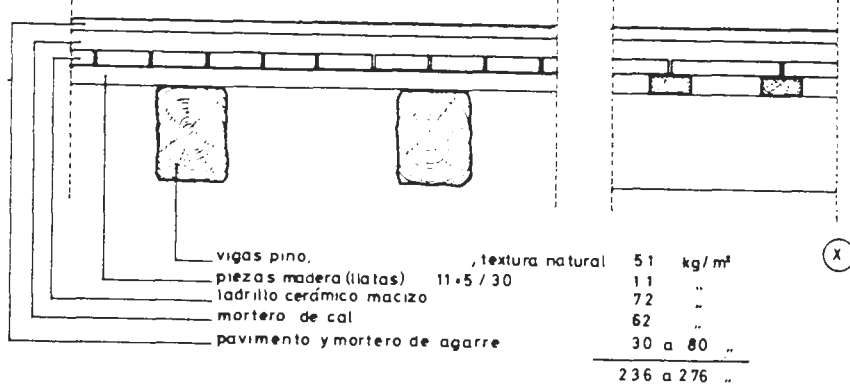


3. Deterioro de la estructura

La causa principal de los daños que presentaba la estructura de madera era un importante ataque de termitas. Aparentemente se daba una cierta aleatoriedad en las piezas atacadas; de tal forma, que era posible encontrar una viga completamente destruida en su interior y en toda su longitud, al lado de otra que apenas tenía daños en los extremos.

No obstante, como norma general, las zonas más deterioradas de las piezas eran las cabezas de apoyo en el muro. Es en este lugar donde las termitas acceden a la madera desde los muros. Generalmente la parte más atacada de la sección es la correspondiente a la albura, dejando en mejor estado la zona central, correspondiente al duramen. Aunque también en este aspecto se encontraron excepciones, dándose el caso contrario en una pieza de gran escuadría.

Se pueden, por tanto, señalar como lugares de mayor riesgo de ataque por las termitas los siguientes:



SECCIONES TIPOS DE FORJADOS ESC. 1/10. Dimensiones b/d/s en cm

— Encuentro de las vigas o pares de cubierta con los muros. Estos casos son agravados si existen pudriciones y si se trata de zonas húmedas, como es el caso de muros de fachada, coronación de muros o cubierta plana con fallos de impermeabilización.

— Vigas que se encuentran adosadas a los muros, o que soportan locales húmedos como los cuartos de baño, o están cerca de conducciones de agua o bajantes defectuosas.

— En general la estructura que soporta la cubierta tiene un riesgo elevado. Y mayor si es una azotea.

Otra de las causas del deterioro de la madera era la pudrición parda que se detectaba en los apoyos de vigas. Muchas veces los ataques por hongos de pudrición venían asociados con las termitas.

Las partes más afectadas de la estructura por la pudrición eran las cabezas de vigas que apoyaban en muros de fachada, donde el azote de agua de lluvia permite un aporte de humedad a la madera a través del muro. En estos lugares prácticamente la totalidad de las vigas estaban en mayor o menor grado afectadas.

Por último se pueden citar otros signos de degradación por efecto de los anóbidos (carcoma pequeña) en algunas piezas y generalmente acompañando a otros agentes xilófagos (termitas y pudrición). En algunas piezas de forjados de viguería se detectaron daños por cerambícidos (carcoma grande) que afectaban en una zona de la sección y a lo largo de su longitud.

Durante las labores de inspección del estado de la madera y de los trabajos de saneamiento y consolidación, era poco frecuente la observación directa de los termitas y aparecían

vacías las zonas afectadas. Esto podría deberse a las vibraciones que se generan en estas operaciones, provocando la huida de los insectos, o a que se tratara de lugares ya sin actividad.

En el conjunto de la estructura se contaban 489 vigas de forjados y unos 80 pares en la cubierta, lo que ofrece respectivamente 978 apoyos de vigas y 80 pares, que suman 1.058 encuentros con el muro. En total se consolidaron unas 230 cabezas de piezas, lo que representa un 22 % de los apoyos.

4. Refuerzos y reparaciones ya existentes

Las modificaciones que ha sufrido la estructura a lo largo de su vida se derivan, principalmente, de la degradación de la madera por ataques xilófagos; aunque en algunos casos estos se hayan visto favorecidos por fallos de mantenimiento o instalaciones defectuosas.

Existen, además, otras causas de origen diferente, que conducen a refuerzos y modificaciones en la estructura. Dentro de éstas se encuentran:

— El cambio de uso llegando a situaciones de mayor sobrecarga. Hay que recordar que su función actual es de centro docente y, por tanto, de gran afluencia de personas.

— La superposición de solados nuevos y de mayor peso. Es frecuente que al renovar el solado no se eliminan los existentes, lo que conduce a un aumento del peso propio y, por tanto, de las deformaciones.

— Obras nuevas para la apertura de huecos de paso en muros o sustitución de estos por cargaderos metálicos. Eliminación de paso de conductos de chimeneas.

Se puede hacer una clasificación de las transformaciones o reparaciones que ha sufrido la estructura, atendiendo el grado de intervención.

a) Sustitución completa de la estructura: a esta opción se llega con un elevado grado de deterioro de la madera. Así, se encontraban ya sustituidos los forjados de azotea por una solución metálica, en gran parte del ala que tiene una sola planta. Igualmente, se sustituyó más recientemente un ala de la cubierta inclinada por estructura metálica.

figura 4

b) Estructuras añadidas de refuerzo: este caso se daba en un forjado de techo de planta baja, en el local situado inmediatamente a la derecha de la entrada principal. Tiene una luz libre de 7,42 metros, la mayor del edificio, y está soportando los locales destinados a biblioteca y salón de actos de la planta superior.

Probablemente este uso de mayores sobrecargas condujo a grandes deformaciones por flexión de las vigas y se optó por su refuerzo. Este consiste en acortar la luz libre del forjado mediante dos carreras metálicas, que se disponen en la parte inferior de las vigas y en sentido perpendicular. La luz queda dividida en tres tramos iguales. Estas carreras se apoyan sobre otros perfiles metálicos, dispuestos perpendicularmente a éstas y que están empotrados en los muros de carga.

c) Reparaciones puntuales: generalmente se trata de degradaciones en los apoyos de vigas y se utilizan medios elementales.

* Pletinas o perfiles metálicos atornillados a la madera que sirven para lograr un apoyo en el muro, cuando la cabeza de la viga está destruida por los agentes xilófagos.

* Carrera de madera apoyada ménsulas: Solución con similar intención a la anterior, que recupera el apoyo de varias vigas del forjado.

5. Recopilación de la información sobre las piezas de la estructura

Método de actuación

Se tomaron datos de secciones, separaciones y luces, así como una estimación de la carga deducida de los elementos constructivos que llegan a formar el solado.

Además de las características geométricas, se hacía un sondeo de los daños sobre los puntos de mayor riesgo: empotramientos, zonas próximas a bajantes y forjados de azoteas. Estas labores se vieron facilitadas por tratarse de vigas que eran vistas por la cara inferior del forjado y no encontrarse embebidas en obra.

Dispersión de las escuadrías

En la práctica, las piezas que constituyen en mismo forjado presentan variaciones en sus es-

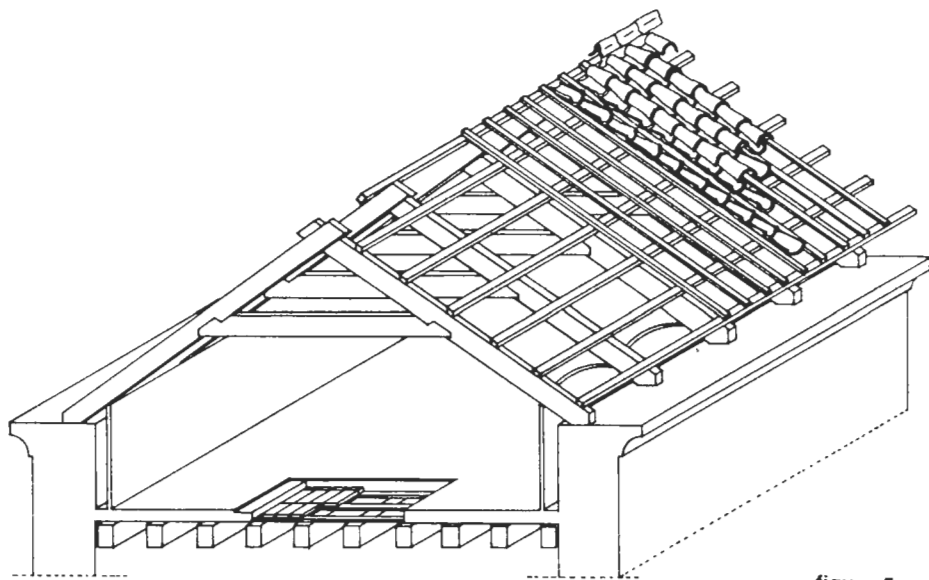
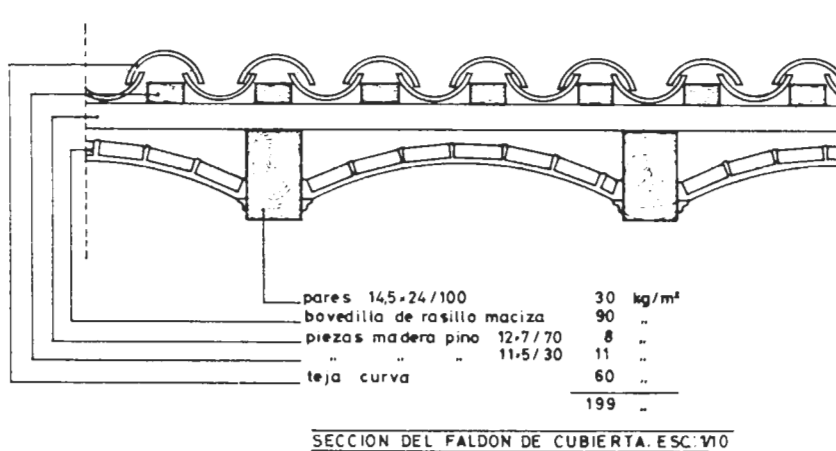


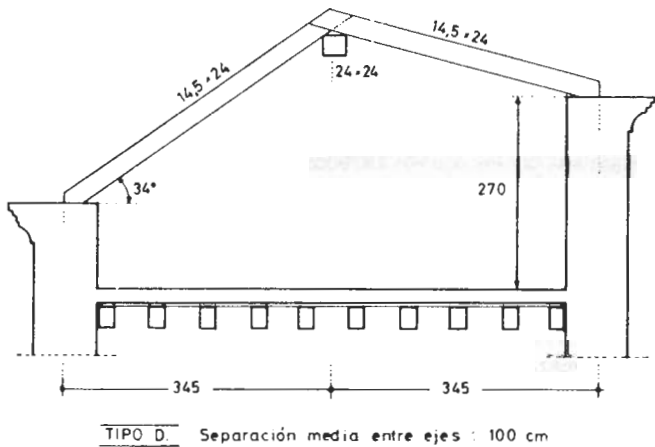
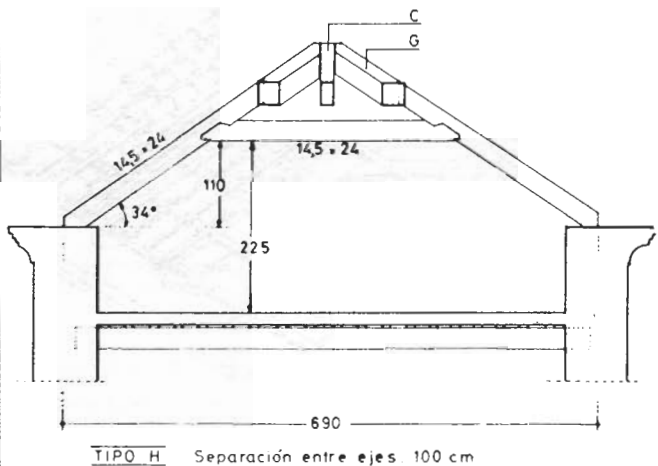
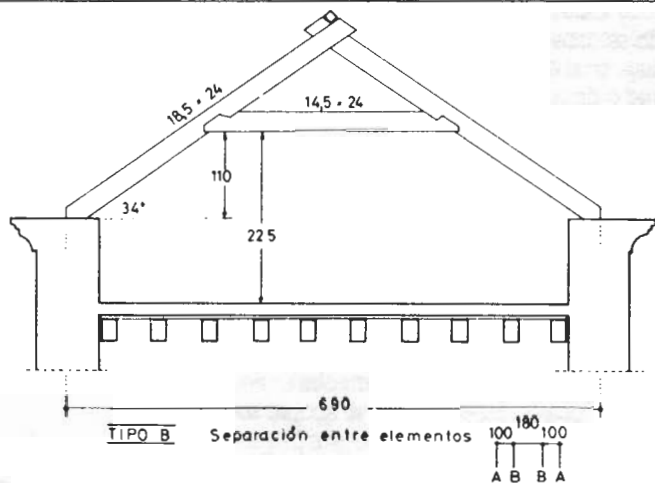
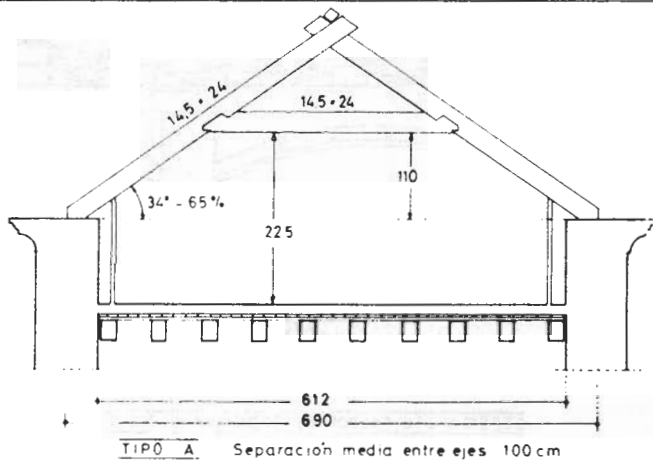
figura 5

escuadrías, que en algún caso pueden ser notables.

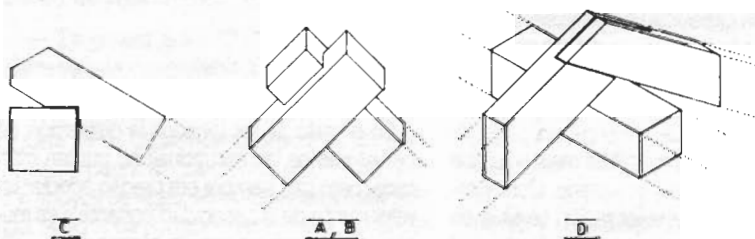
En la figura 7 se representa gráficamente la variación de la capacidad portante de las vigas de uno de los forjados. Si se admite como valor de la resistencia a flexión 100 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 100.000 kg/cm² con una flecha admisible de 1/300 para la carga total, se obtienen una capacidad resistente que varía para cada viga en alto grado. Con el criterio de resistencia, el valor medio se sitúa en 605 kg/m² (variando desde 383 hasta 847

kg/m²) y con el criterio de la deformación el valor medio es de 355 kg/m² (desde 185 hasta 540 kg/m²), en ambos casos para la carga total.

En el resto de los forjados la dispersión de los valores de las escuadrías no era tan marcada, pero casi siempre era preciso adoptar un valor medio de la capacidad portante y en muchos casos con un criterio conservador.



Detalles de uniones



ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CUBIERTA INCLINADA ESC 1/50 Cotas en cm

ELEMENTO TIPO	SECCION b-d	Separación entre ejes	media ejes
C	14,5 x 24	100	
E	18 x 26	110	
F	30 x 30	—	
G	23 x 23	—	

La calidad estructural de las piezas

Para la estimación de la capacidad resistente de la estructura, se necesita conocer dos factores: la especie de madera y su calidad resistente.

Para la identificación de la especie es preciso un análisis microscópico, que no fue realizado y solamente se determinó su pertenencia a las coníferas. No se juzgó indispensable una identificación más precisa, ya que la determinación de su calidad estructural se estima de manera aproximada y sin embargo, tiene mayor repercusión en la resistencia de la pieza que la diferencia que puede existir entre dos especies de coníferas habituales en la construcción. Además, como se verá después, el factor más limitativo en el cálculo de los forjados a partir de luces superiores a los 3 metros aproximadamente, siempre es la deformación admisible. Esta dependerá del módulo de elasticidad de la especie y puede admitirse un valor medio de 100.000 kg/cm² en las coníferas empleadas en estructuras.

Para la determinación del grado resistente de las piezas, el proceso a seguir consiste en inspección visual de éstas, para concretar la cuantía de los defectos que contienen.

Lógicamente, en la práctica sería muy costoso realizar una clasificación detallada de todas las piezas; por tal razón se recurre a una estimación media realizando un muestreo de las piezas. Los factores que principalmente deben reconocerse son:

— *Nudos*: se estima su cuantía principalmente en el tercio central de la viga. En general los nudos existentes eran pequeños, no sobrepasando 1/4 del canto o 1/5 de la cara de la pieza.

— *Fendas*: las fendas de secado en algunas piezas son muy importantes, llegando a valores de profundidades de 1/4 o más, del ancho de la pieza. No obstante, este defecto sería paliado mediante la consolidación con barras embebidas en resinas epoxi.

— *Crecimiento*: es una especie de crecimiento lento, con un valor medio de 6 millos/centímetro.

La interpretación de estos datos debe hacerse en relación a una norma de clasificación de la madera para uso estructural. En relación al crecimiento, cualquier norma de clasificación daría el grado superior. Las fendas de 1/4 dan una calidad de II/70, según UNE 56.525. Y para los nudos antes citados, se obtiene una clase III/60 en la misma norma UNE. Considerando esta valoración y la resultante de aplicar normativas más recientes, se puede estimar en un 0,60 a 0,65 la relación de resistencia para la flexión sobre la tensión básica. Por tanto, orientativamente se llegaría a una tensión admisible a la flexión de 100 kg/cm².

La posibilidad de realizar ensayos a rotura de algunas piezas, se descartaba en un principio debido a que la información que se obtiene de un número reducido de muestras no supone una representatividad suficiente, además de la destrucción de piezas difíciles de reponer. Sin



embargo, se realizaron algunos ensayos sobre piezas con las cabezas consolidadas al final de la obra, dando valores de rotura en flexión de unos 340 kg/cm².

6. Análisis de la capacidad portante de los forjados

En este apartado se realiza una aproximación a la relación que existe entre la luz de los forjados y la capacidad resistente de sus piezas. De esta forma se puede comprobar el criterio de dimensionado de las escuadrías en el origen de la construcción.

Para ello se ha utilizado el siguiente proceso:

En primer lugar sólo se consideran aquellos forjados con luces superiores o iguales a los tres metros. Esto es debido a que las capacidades portantes de los forjados de menor luz, dan valores extremadamente altos y siempre con la resistencia, como factor limitativo, en lugar de la deformación. En todo caso, no son en modo alguno representativos, puesto que no alcanzan el 3 % de la superficie útil de los forjados.

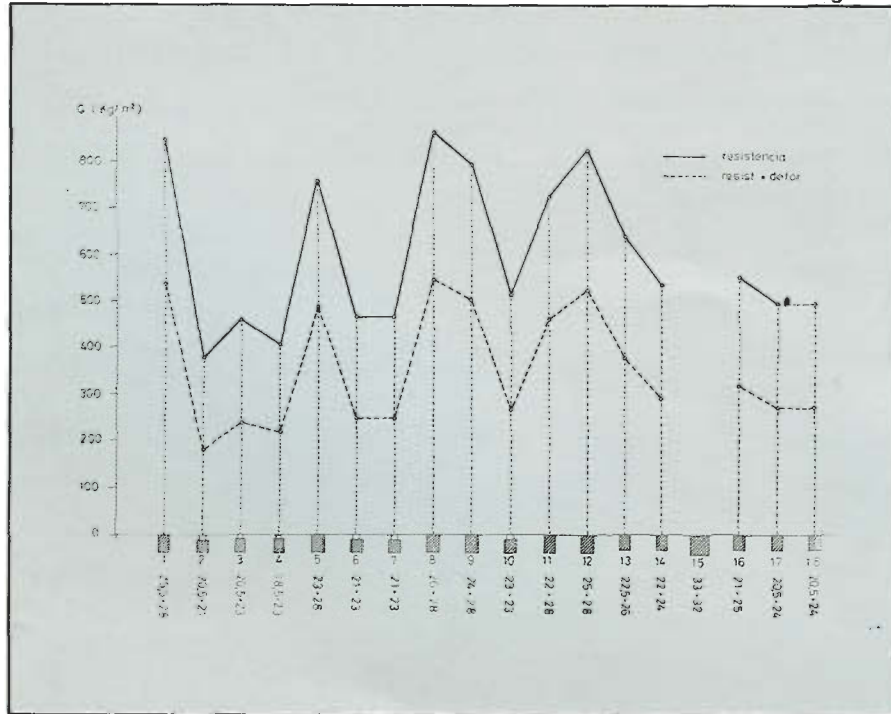
En la tabla n.º 1, se resumen las características de los forjados, ordenados de menor a mayor luz. Se calculan las capacidades portantes (kg/m² de carga total) según dos criterios:

— Q_{ri}: con el criterio de la resistencia. En flexión 100 kg/cm² y a cortadura 11 kg/cm² como tensiones admisibles.

— Q_{di}: con el criterio de resistencia y deformación admisibles. Calculando la deformación instantánea de la carga total con un módulo de elasticidad a flexión de 100.000 kg/cm², un módulo de deformación transversal de 8.000 kg/cm² y una flecha admisible de 1/300.

Como puede comprobarse en la tabla existen forjados distintos que con la misma luz presentan diferencias en las escuadrías y separaciones de las vigas. Lógicamente estas diferencias dan lugar a distintas capacidades portantes. Para eludir este inconveniente, se han obtenido las medias de las capacidades portantes (Q_{rm} para la resistencia y Q_{dm} para la deformación) ponderadas en función de la superficie útil. Así, soportada por cada uno.

figura 7



En la figura 8 se representa gráficamente esta relación, entre las luces de forjado y la capacidad portante. En ella se aprecia que existe un marcado sobredimensionado para luces inferiores a los 4,50 metros. Prácticamente la pendiente de las líneas que representan la relación, es muy pronunciada hasta llegar a los 6 metros, donde se frena esta caída de capacidad portante. Esto indica un cierto criterio de dimensionado que sólo es aparente en grandes luces.

Consideraciones sobre el dimensionado de las vigas de forjado

— El criterio de limitación por resistencia admisible ofrece unos resultados aceptables, incluso para las luces mayores. Prácticamente todas las luces sobrepasan los 500 kg/m² de carga total. Teniendo en cuenta las estimaciones de pesos muertos, 160 a 240 kg/m², queda libre una sobrecarga de uso de 340 a 260 kg/m², en el caso de mayor luz.

Sin embargo, el criterio de limitación de la deformación, a partir de la luz igual a 5,36 m ofrece cargas totales inferiores a los 500 kg/m², llegando al valor mínimo de 264 kg/m² para la luz mayor de 7,42 m. Hay que tener en cuenta que entre la luz de 5,36 y 7,42 m, se encuentra el 72 % de la superficie útil del total de forjados.

De esto se deduce que es difícil cumplir las exigencias de deformación con las sobrecargas de uso que especifican las normas actuales para uso público (300 kg/m²), si aceptamos el uso actual.

— Se debe hacer la precisión de que en el cálculo de las deformaciones no se ha tenido en cuenta el efecto de la fluencia. Para ello, se deberían considerar las deformaciones debidas a cargas permanentes, 160-240 kg/m² de peso propio, afectadas por el factor de fluencia que una estimación aproximada lo situaría en el valor 2. Su efecto sería equivalente a tomar como carga permanente el doble de la existente para calcular la deformación como instantánea. Esta deformación debería ser inferior a 1/360, y la deformación total menor a 1/250, siguiendo el criterio de la reglamentación norteamericana.



— Por último, se puede destacar que la relación media entre el canto y el ancho de las vigas de forjado es de 1,14. Partiendo de una sección circular del tronco del árbol, la relación canto/ancho igual a la unidad ofrece el área máxima; la relación 1,41 daría el máximo módulo resistente y la relación 1,73 el mayor momento

de inercia. Se puede comprobar que el valor medio, antes indicado, se sitúa entre el área y módulo resistente máximos.

7. Comprobación del dimensionado de las formas de cubierta

Para el análisis del dimensionado de las pie-

zas que forman la cubierta, se ha elegido la forma tipo A, que es la más característica. (Ver figura 6). Esta es una estructura muy sencilla de par y nudillo, con una luz de unos 6,80 m. La sección es de 14,5 x 24 cm, tanto para el par como para el tirante. Se encuentran separadas entre ejes a 100 cm.

Tabla n.º 1

li (cm) l. int.	li (media)	Secciones y sep. ejes b x d/s	Superficies Ai (m ²)	Qri (Kg/m ²) Capacidad por resistencia	Qdi (Kg/m ²) Capac. por resist. y deformación (l/300)	$Q_{rm} = \frac{\sum Q_{ri} \times A_i}{\sum A_i}$ (media ponderada)	$Q_{dm} = \frac{\sum Q_{di} \times A_i}{\sum A_i}$ (media ponderada)
300	300	20 x 23 /65	22,26	2.187	2.187	2.187	2.187
386	387	20 x 22 /65	23,63	1.204	1.000	1.355	1.191
388		20 x 24,5/65	28,80	1.479	1.348		
410	415	21 x 23 /65	30,42	1.232	1.011	1.269	1.032
415		21 x 23 /60	25,40	1.304	1.059		
418		21 x 23 /60	25,58	1.280	1.031		
424	424	19 x 21 /60	26	936	682	1.156	936
424		20 x 24 /65	78	1.187	980		
424		20 x 24 /60	26	1.285	1.061		
451	455	22 x 25 /60	27,60	1.359	1.101	1.249	997
457		21,5 x 24,5/65	30	1.148	902		
532	536	19 x 23 /55	35,65	776	497	773	501
541		21 x 24 /65	40	769	506		
590	590	22 x 24 /65	36	687	419	680	427
590		20 x 25 /65	108	678	430		
612	612	21 x 23,5/70	39	539	310	550	320
612		21 x 24 /70	39	562	330		
658	658	22 x 24 /65	237	553	304	565	320
658		22 x 26 /75	93	563	334		
658		22 x 25,5/67	79	606	354		
742	742	22 x 25 /65	100	475	243	489	264
742		22 x 26 /66	237	506	269		
742		19 x 29 /77	106	466	275		

Sobre esta forma se ha efectuado un análisis por ordenador de las tensiones y comprobación de las secciones para dos hipótesis de carga: cargas permanentes y permanentes más nieve y sobrecarga de uso de mantenimiento. La comprobación se ha realizado según la reglamentación norteamericana National Design Specification of Wood Construction (NDS) y para unos valores de tensiones admisibles de: flexión (100 kg/cm^2), compresión (80 kg/cm^2) y cortante (11 kg/cm^2); módulo de elasticidad = 100.000 kg/cm^2 .

Las conclusiones de este análisis son las siguientes:

Los pares presentan secciones muy ajustadas aunque válidas. El aprovechamiento de la sección está entre el 90 y 100 %. El tirante, por el contrario, sólo es aprovechado en un 20 %, quedando muy rebajado su estado tensional. Esto es debido a la dificultad de transmisión de tensiones en el nudo par-tirante, que obliga a un sobredimensionado de este último.

La deformación vertical del nudo de cumbre en el caso más desfavorable, representa una relación luz/flecha de 225.

Conclusiones

Para la estimación de los daños es necesario realizar una inspección de carácter selectivo. Es posible para ello efectuar un muestreo representativo de cada grupo de piezas. Es importante poder separar las zonas en función del nivel de riesgo.

Cuando se requiere conocer la capacidad portante, es preciso la clasificación visual de las

piezas, al menos de forma aproximada, mediante la detección de los defectos que contienen. En esta operación se pueden encontrar piezas que deben reponerse por falta de calidad o roturas.

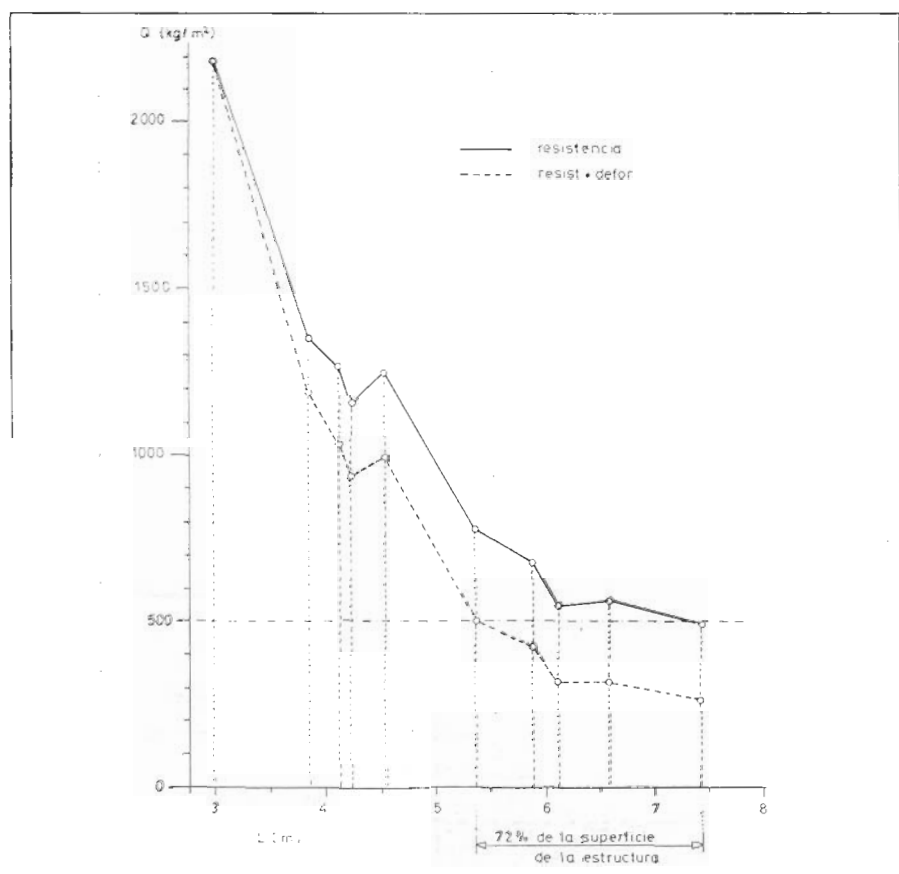
Antes de los trabajos de consolidación, se realiza una comprobación muy detallada de cada pieza. De igual forma, cuando se ejecuta el tratamiento químico de la madera, pueden detectarse piezas con deterioros que obliguen a su reposición.

Del análisis estructural, dentro de los límites de su validez, se extraen las siguientes conclusiones:

Las piezas de madera, en general, no están sobredimensionadas como podría pensarse en un principio. Así, para el caso de los forjados existe un exceso de escuadrías solamente en luces menores a los 4 ó 5 metros, que representan una parte pequeña de la superficie de la estructura horizontal. Y, sin embargo, en luces superiores, el cumplimiento de las exigencias habituales de la deformación ($1/300$), se lograría con sobrecargas elevadas de uso público.

En relación a las formas de cubierta, las piezas se encuentran dimensionadas de manera ajustada al planteamiento de las tensiones y deformaciones admisibles.

Resultaría de interés reunir información parecida de construcciones antiguas de madera para la realización de análisis de comprobación similares. El estudio de estas estructuras puede servir como banco de datos sobre el comportamiento real de la madera a largo plazo ■



igura 8