

# Trabajo fin de máster

## Estudio de la estructura de madera del Asador Azitain para su consolidación

AUTORA: Idurre Iriondo Ibaibarriga  
FECHA: 13/11/2019



TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKOA  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



# Índice

## INTRODUCCIÓN AL TRABAJO FIN DE MÁSTER

- 01 Abstract
- 02 Palabras clave
- 03 Antecedentes
- 04 Objetivos del trabajo fin de máster

## PRESENTACIÓN DEL EDIFICIO

- 01 Introducción
- 02 Descripción del edificio

## ESTUDIO SANITARIO

- 01 Metodología previa al descubrimiento total de la estructura
- 02 Conclusiones previas al descubrimiento total de la estructura
- 03 Metodología posterior al descubrimiento de total de la estructura
- 04 Conclusiones posteriores al descubrimiento total de la estructura

## CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

- 01 Barreras físicas
- 02 Tratamiento contra organismos xilófagos
- 03 Reutilización y sustitución de pilares
- 04 Sustitución de zapatas
- 05 Sustitución de cargaderos
- 06 Refuerzo de vigas
- 07 Sustitución de viguetas

## ESTUDIO ESTRUCTURAL

- 01 Clasificación de estructura actual
- 02 Cálculo de capacidad de carga de la estructura actual
- 03 Cálculo de la capacidad de carga de la estructura proyectada
- 04 Protección frente al fuego de la estructura

## CONCLUSIONES

- 01 Causas de la degradación de la madera
- 02 Tipos de tratamientos y su alcance
- 03 Los tipos de refuerzos con madera
- 04 Diferencias entre especies

## ANEJOS

- ANEJO I: Planos iniciales del edificio
- ANEJO II: Fichas del estudio sanitario
- ANEJO III: Planos del estudio sanitario previo
- ANEJO IV: Planos del estudio sanitario pormenorizado
- ANEJO V: Planos proyectuales

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKO  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



# Introducción

## Abstract

El edificio del Asador Azitain ha sufrido un ataque de varios organismos xilófagos. Hace falta determinar cuáles han sido sus causas, el nivel de gravedad de las patologías generadas por los ataques y los criterios de intervención que cumplan con las exigencias actuales que dicta el CTE vigente.

## Palabras clave

Rehabilitación, Madera Estructural, Hongos de pudrición, Termitas, Carcoma, Roble, Chopo, Pino Silvestre, Pino Radiata, Clases de Uso, Nivel de Protección, Tratamiento Curativo, Tratamiento Preventivo, Intervención, Cálculo de Estructura de Madera.

## Objetivos

El objetivo de este trabajo es describir el proceso del estudio y proyecto de consolidación de la estructura de madera del Asador Azitain, desde el inicio del encargo hasta el estado actual del proyecto. En este proceso se quiere reflejar el uso de los conocimientos adquiridos durante este Máster en Estructuras, Construcción y Diseño en Madera y el manejo de las normativas existentes para definir la intervención que se ejecutará en la estructura estudiada.

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKOA  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA

# Presentación del edificio

## 01 INTRODUCCIÓN



*Pilar del comedor*

El edificio objeto de estudio se encuentra en la Calle Azitain Bidea nº6 de Eibar (Gipuzkoa), es conocido en la zona por la actividad de restauración que lleva realizando desde 1887.

El programa del edificio se divide en cuatro plantas, con zona de almacén en la planta semisótano, el restaurante en la planta baja y dos viviendas separadas respectivamente en las plantas uno y dos.

Por petición de un estudio de arquitectura eibarrés que iba acometer las obras de reforma del restaurante, se decide realizar una inspección visual de la estructura de madera del edificio, pues previamente se observan deficiencias en uno de los pilares de madera en el comedor del restaurante.

Ya en esta primera visita se encuentran claras evidencias de un ataque de termitas prolongado en varios elementos principales de la estructura, por lo que se decide dar comienzo al estudio sanitario que se explicará posteriormente.

Se debe tener en cuenta que durante el proceso del estudio sanitario el restaurante está activo, lo cual dificulta la visión global de la estructura. Del mismo modo, es definitivo el hecho de que la propiedad del edificio y de las distintas actividades que se dan en ella es su totalidad es de una sola familia, lo que define criterios de intervención que se tomarán para acometer los trabajos de consolidación de la estructura.

## 02 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio es una construcción de fecha anterior al año 1900 que ha sufrido varias reformas, tanto interiores como exteriores. En la actualidad, tiene la cubierta recientemente reformada junto con las fachadas principal y lateral oeste (las más visibles desde la vía pública), con teja mixta cerámica en el tejado y piedra vista en las fachadas. Según testimonio de los propietarios, anteriormente estas fachadas estaban revestidas exteriormente con mortero y se dejó la piedra vista eliminando este recubrimiento en la última reforma.

La estructura original es de madera en su parte interior, con muros de carga de piedra perimetrales y un añadido en su parte posterior de hormigón armado. En la planta semisótano los pilares de madera han sido sustituidos por pilares metálicos y la estructura horizontal ha sido reforzada debido a un antiguo ataque de termitas.

Está compuesto por una planta semisótano con acceso desde la fachada lateral oeste, una planta baja y dos plantas superiores, siendo la última abuhardillada (ANEJO 1).



*Fachada principal (Norte)*



*Fachada lateral (Este)*



*Fachada trasera (Sur)*



*Fachada lateral (Oeste)*

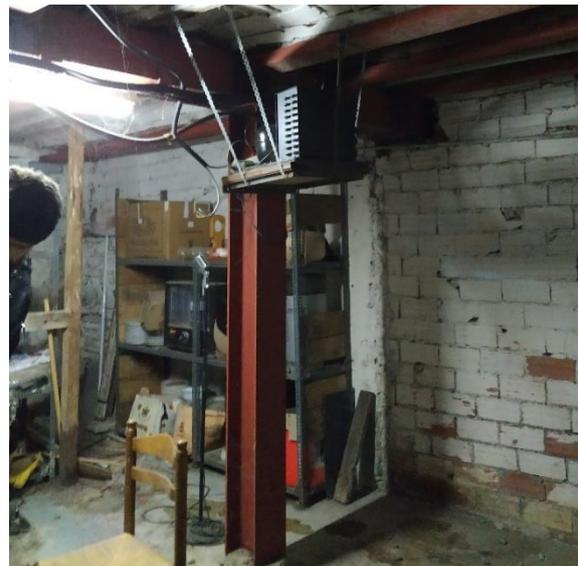
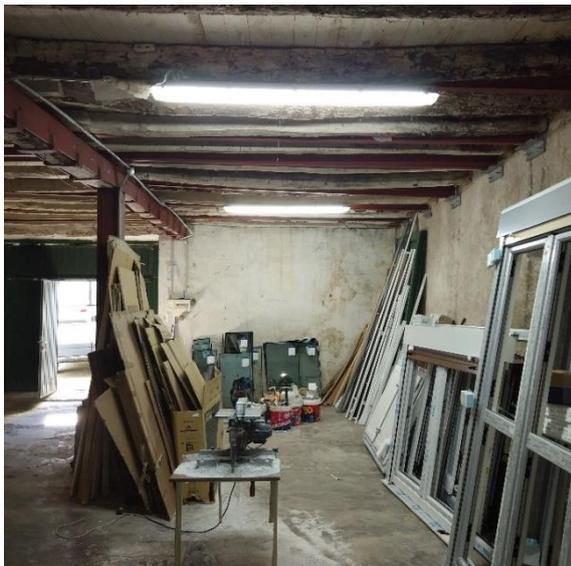
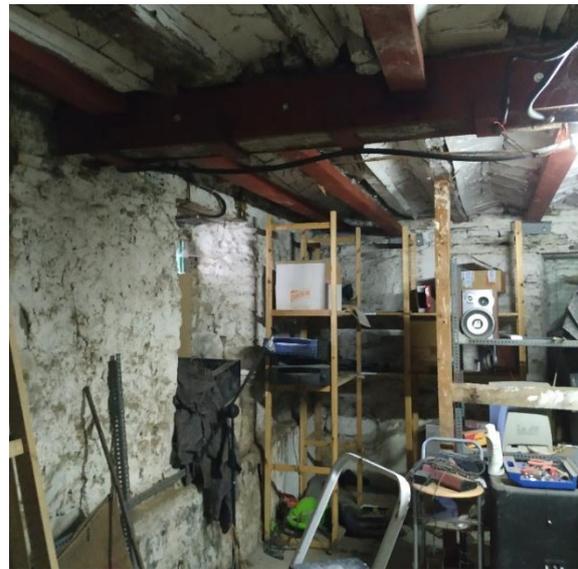
## PLANTA SEMI SÓTANO

La planta semisótano está dividida en dos particiones diferenciables, un local diáfano con entrada desde la fachada lateral Oeste y una zona con acceso desde el almacén ubicado en la planta baja. Ambos están en contacto con el terreno en su parte longitudinal de la fachada principal (Norte).

Un aspecto importante que destacar es el refuerzo de estructura que existe en toda la planta semisótano. Se trata de un refuerzo ejecutado mediante sustitución de pilares metálicos, empresillado de vigas principales y refuerzo de solivería con colocación de nuevas piezas y/o refuerzo de existentes mediante suplemento de perfiles metálicos. La calidad de la ejecución del refuerzo es deficiente y no existe constancia de proyecto alguno en el ayuntamiento de Eibar.

Ambas zonas mencionadas presentan altos niveles de humedad, debido en gran parte a que una de sus caras está en contacto directo con el terreno y a la falta de ventilación y renovación de aire del interior.

Existe una diferencia clara de altura entre las dos partes, siendo la ubicada en la zona Este de menor altura. Esta diferencia es igual al enterramiento de las zapatas de piedra vistas en el lado de mayor altura. Cabe destacar que la zona de menor altura presenta otra disposición de forjado, estando el entrevigado de la solivería formado por bovedillas realizadas in-situ con ladrillo cerámico.

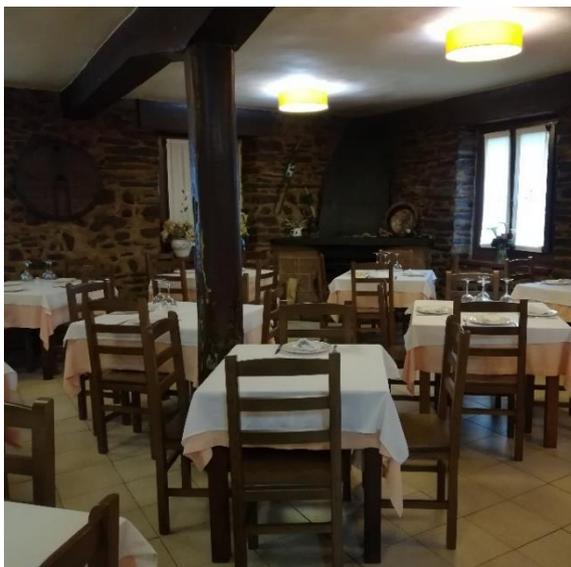


## PLANTA BAJA

La planta baja del edificio es la planta con mayor actividad del edificio, tiene una superficie de 170,00 m<sup>2</sup> y una altura libre hasta el falso techo de 2,50 metros. En esta planta se encuentra el comedor y la cocina del restaurante "Asador Azitain".

En la fachada principal encontramos la entrada al edificio, que conecta directamente con el recibidor del restaurante formado por una pequeña barra de bar por la que tendremos acceso a la cocina, a los aseos (situados a una altura inferior y conectados mediante escaleras) y al comedor principal. Existe un segundo comedor de menores dimensiones situado en la fachada trasera del edificio. Un elemento a destacar es un añadido que se encuentra en la esquina trasera (esquina Sur hacia el Este), donde se encuentra el acceso a las escaleras principales del edificio para acceder a las plantas superiores.

En esta planta baja la totalidad de la estructura está revestida con paneles de yeso, a excepción los pilares ubicados en el comedor, que se encuentran pintados de marrón oscuro ocultando la superficie de la madera. En cuanto al añadido trasero, donde se encuentran las escaleras que conectan las plantas superiores, éste es de hormigón armado con un voladizo sobre las zonas verdes pertenecientes a la parcela.



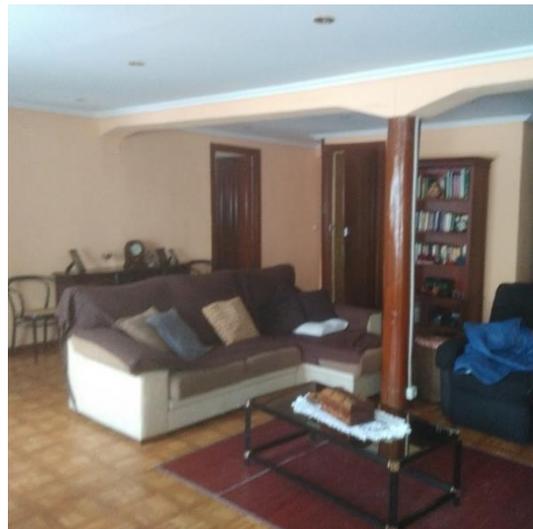
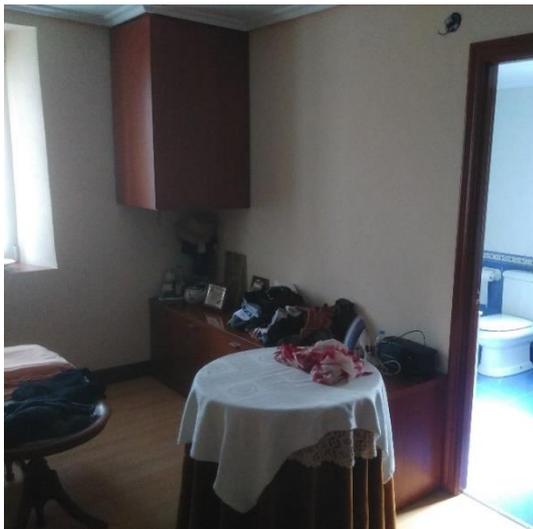
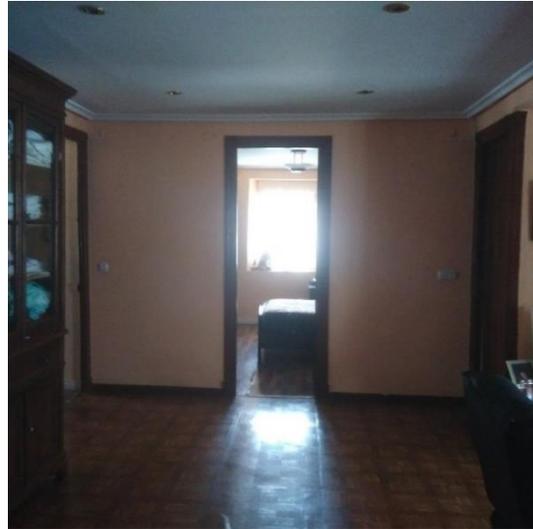
## PLANTA PRIMERA

En la planta primera del edificio se encuentra una vivienda ocupando toda la superficie a excepción de la escalera.

La planta tiene una superficie de 170,00 m<sup>2</sup> y una altura libre hasta el falso techo de 2,50 metros. El acabado del solado se compone por un revestimiento continuo de imitación madera tipo "sintasol", aparentemente colocado sobre tarima de madera. Las paredes están acabadas con yeso pintado y tanto los techos como las vigas están cajeadas con "cielo raso" y en algunas estancias con yeso laminado formando un doble revestimiento.

Casi la totalidad de la estructura estaba oculta tras los revestimientos de las paredes y los cajeados de yeso, a excepción del pilar central de la vivienda, situado en el salón, en el que se podían observar fendas longitudinales en dos de sus caras. Este pilar parecía no estar en óptimas condiciones (visita realizada el día 16/02/2019), lo que llevó a la realización de catas en todos los elementos estructurales principales. Tras una primera revisión de estos elementos (visita realizada el día 09/04/2019), se determinó la existencia actual o en el pasado de agentes xilófagos, lo que obligó a dejar toda la estructura principal vista de acuerdo a realizar un estudio más exhaustivo.

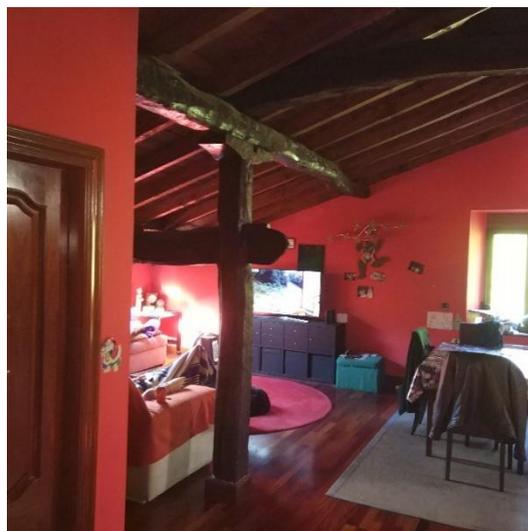
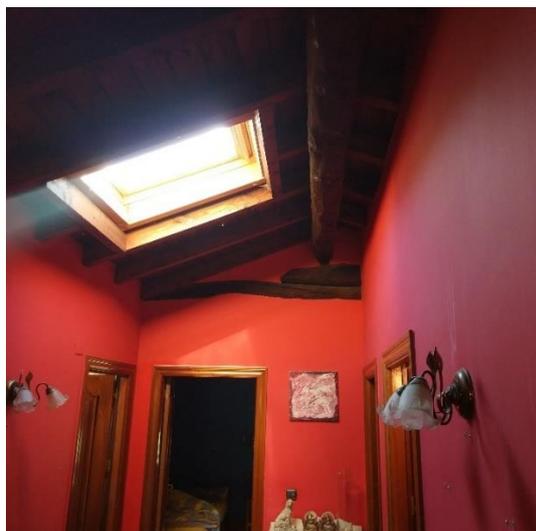
La vivienda cuenta con un amplio salón ubicado en la parte central, seis habitaciones divididas en partes iguales en fachada Este y Oeste. Cabe mencionar que el único aseo de la vivienda se encuentra en el añadido situado en la esquina sureste, con estructura de hormigón armado tal y como se ha comentado en el apartado anterior. Otro punto que destacar es la inexistencia de cocina en la vivienda, debido a que los propietarios son también los del restaurante ubicado en Planta Baja.



## PLANTA SEGUNDA

La planta segunda y última planta del edificio, está compuesta por una única vivienda abuhardillada. La vivienda ha sido reformada recientemente; hay un espacio amplio de cocina, salón y zona de distribución diáfanos y las habitaciones y aseos situados en la zona Oeste.

En esta vivienda encontramos la estructura de madera vista en su totalidad, presentado un buen aspecto general.



## ESPACIOS COLINDANTES AL EDIFICIO

El edificio objeto de este informe no es un edificio aislado, ya que se encuentra en contacto con otras edificaciones colindantes en sus dos fachadas laterales.



En su fachada Oeste, linda con una edificación de menor altura y estructura de hormigón, con una altura de cubierta hasta planta primera del edificio objeto. Esta edificación no ocupa todo el lateral, siendo el espacio de la fachada colindante ocupado de 5,00 metros. Este edificio, no es objeto estudio para el actual informe y no se ha podido acceder a su interior.



En su fachada este existe un añadido al edificio con acceso desde él, donde se encuentran los almacenes principales para el restaurante. Este añadido tiene una estructura de cubierta y de terraza de madera, y se encuentra sobre un muro de mampostería del cual no se conoce su origen ni uso original. Esta edificación tampoco es objeto del actual informe, pero cabe destacar que el estado de conservación de la estructura de madera no presenta un buen aspecto ya que en un primer reconocimiento visual presenta ataques generalizados por carcoma y humedad.



Existe otra edificación que no linda con el inmueble objeto, pero dista muy poco de este en su uno de sus vértices. Se trata de la Ermita de Nuestra Señora de Azitain. Esta edificación tiene una estructura de madera en buen estado de conservación, y según testimonio de sus responsables ha sido tratada contra los xilófagos. En un primer reconocimiento visual se puede decir que presenta buen aspecto general, con ataques residuales de carcoma.



TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKO  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA

# Estudio sanitario

## 01 METODOLOGÍA PREVIA AL DESCUBRIMIENTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

Dado que la propiedad no acepta cerrar el restaurante hasta finales de junio, los métodos utilizados para realizar el estudio sanitario previo deben ser mínimamente visibles y poco molestos para la clientela. Del mismo modo, deben ser fácilmente realizables en las horas en las que el restaurante permanece cerrado.

Se decide realizar catas en todas las piezas estructurales principales de la planta baja, y descubrir la estructura principal al completo en la planta primera.

Una vez la estructura semidescubierta, se crean unas fichas de toma de datos para cada cata, en las que se apuntan el nombre de la pieza a la que pertenece la cata, el nivel de humedad en ese punto, si hay pérdida de sección o no, si la madera se hiende a causa de un golpe con punzón, la gravedad o agudeza del sonido de la madera tras un golpe con martillo, si se encuentran restos de organismos xilófagos y, por último, la dureza de la sección tras realizar un taladro.

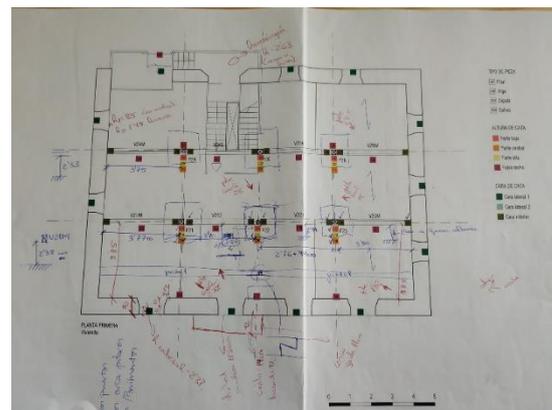
PIEZA	CATAS	Humedad	Pérdida sección		Punzón		Sonido		Restos xilófagos			Dureza			
		%	Si	No	Superficie	Fondo	Agudo	Grave	Hongos	Carcoma	Termita	Normal	Media	Baja	
	D 1														
	D 2														
	D 3														
	D 4														

### CATAS

Como se comenta anteriormente, se ejecuta una serie de catas para descubrir puntualmente la estructura principal de la planta baja.

Las catas se abren tanto en pilares como en vigas. En el caso de los pilares, se realizan tres catas en cada pieza, una en la parte inferior del pilar, otra en la parte central y la última en su cabeza superior, en el encuentro con las zapatas. Para las vigas se decide abrir catas en ambas caras laterales en los extremos de la viga, y en la cara inferior en la parte central. Se abren catas en el falso techo también, para poder inspeccionar la solivería cercana a los pilares.

De este modo, se registran un total de 45 catas en los pilares, 55 catas en las vigas, y 37 en los falsos techos (ANEJO 2).



### MEDICIÓN DE HUMEDAD

Para la medición del nivel de humedad en cada pieza, se utiliza un medidor de humedad Stanley 0-77-030, con un alcance de medición en madera de hasta 44% de humedad con una exactitud de +/-2%.

### TALADRADO DE PIEZAS

Se utiliza una broca de 5 mm de diámetro y 25 cm de longitud para atravesar las piezas y comprobar si existen huecos o zonas de baja densidad en las piezas principales.

### TOMA DE MUESTRAS

Se toman muestras de los restos y detritus de diferentes organismos xilófagos para analizarlas posteriormente con una lupa de 10 aumentos.

Una vez terminada la fase de toma de datos, se crean unas fichas para cada pieza estructural, en las que se añan todos los datos tomados en cada pieza y se incluyen una serie de fotos para facilitar su identificación. (ANEJO II)

Finalmente, tras analizar el estado general de la estructura, se trasladan los datos tomados a los planos (ANEJO III) y se comienza la redacción de las conclusiones previas.



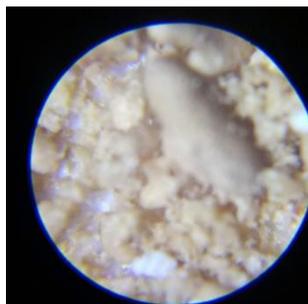
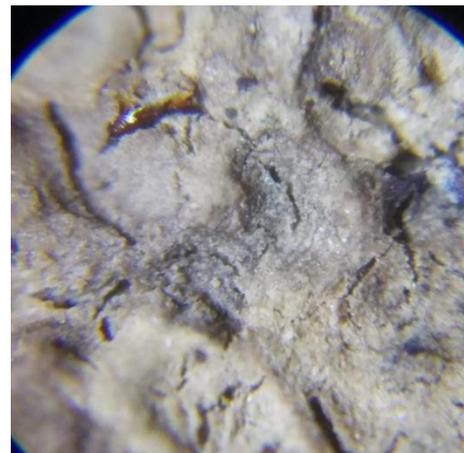
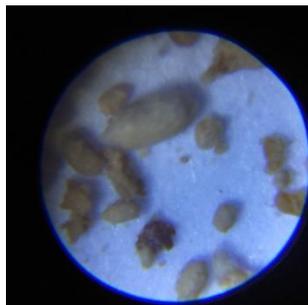
## 02 CONCLUSIONES PREVIAS AL DESCUBRIMIENTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

### 02.01 ATAQUE DE ORGANISMOS XILÓFAGOS

En la inspección realizada, se encuentran varias muestras de existencia tanto en pasado como en el presente de diferentes tipos de organismos xilófagos.

Tal y como se ha ido apuntando en las fichas de las piezas, se han encontrado termitas vivas en dos elementos estructurales principales (P11 y P23), así como restos de ellas en otros varios elementos. Estos ataques, existen combinados con hongos de pudrición parda, anóbidos (carcoma) y cerambícidos (carcoma grande), y en algunas piezas estructurales únicamente existe ataque por anóbidos y/o cerambícidos.

Tras las muestras recogidas se pueden determinar los siguientes tipos de xilófagos.



### Hongos de pudrición parda:

La pudrición parda está producida por hongos que se alimentan preferentemente de la celulosa y la hemicelulosa dejando, como consecuencia, un residuo de color marrón oscuro formado principalmente por lignina. Al secarse la pieza el material residual tiende a agrietarse formado una estructura de pequeños cubos o prismas que se disgrega con facilidad entre los dedos como si fuera polvo. La destrucción no se hace visible hasta que la madera haya perdido el 10 al 20% de su peso, que corresponden a pérdidas del 80-95% de su resistencia mecánica.

El ataque inicial que efectúan en la madera estos hongos favorece el ataque posterior de ciertos insectos xilófagos, como los anóbidos.



### Anóbidos (carcoma):

Son pequeños coleópteros de 3 a 9 mm de longitud vulgarmente conocidos como carcoma. Por lo general, afectan a la madera de albura y preferentemente con cierto contenido de humedad.

La carcoma encontrada en el edificio objeto, por ejemplo, en la viga V23M según los restos analizados, es *Anobium Punetatum* De Geer. Se alimenta principalmente de coníferas y frondosas europeas, como es el roble en este caso. Generalmente no atacan el duramen de la madera, a no ser que presente pudriciones por humedad.

Presentan galerías de 2mm aproximadamente, siguiendo cualquier dirección. Las galerías quedan llenas de serrín en forma de gránulos con forma elíptica parecidos a diminutos limones (vistos bajo lupa digital), formados por viruta de madera y excrementos (ver imágenes de lupa V33, P15, V32).

Su ciclo de vida puede ser muy variable, desde 8 meses a varios años. La humedad favorece su desarrollo y el óptimo de temperatura oscila los 20°C. La época de vuelo suele producirse entre abril y agosto.

Normalmente no viven en maderas situadas al aire libre, y concentran los daños en zonas de mayor humedad y reducida temperatura como pueden ser sótanos y plantas bajas.

El debilitamiento de las estructuras de madera es relativamente raro excepto en piezas de pequeñas escuadrías. A pesar de su reducido tamaño, pueden originar una destrucción completa de objetos de madera.



### **Cerambícidos (carcoma grande):**

Su campo de actuación se encuentra en las estructuras de madera, frecuentemente de cubiertas. Por lo general solo se alimenta de la albura de la madera, con lo que en piezas de gran contenido de duramen el daño es limitado. Hay especies que se alimentan de coníferas y otras de frondosas.

La carcoma grande encontrada en el edificio objeto es *Hylotrupes bajulus* L. Se alimenta únicamente de las maderas coníferas, siendo las frondosas inmunes. La larva puede alcanzar una longitud de 30mm y un diámetro de unos 6mm. Las galerías son de forma ovalada, siguiendo la dirección de la fibra.

Su ciclo de vida varía mucho, oscilando entre 2 y 10 años, siendo lo normal 4-6 años.

La existencia del ataque puede detectarse también por el ruido que hacen las larvas al perforar las galerías o porque el que producen los insectos adultos al realizar los orificios de salida.



### **Reticulitermes lucífugus Rossi (termita):**

Físicamente se parecen mucho a las hormigas, teniendo algunas diferencias anatómicas.

Su estado de convivencia es en agrupaciones, siendo incapaces de vivir solitariamente. Castas diferenciables:

Individuos sexuales: Existen parejas reproductoras e individuos alados reproductores.

Soldados: Individuos con mandíbulas grandes, que producen una segregación pegajosa. Su misión es la defensa de la colonia.

Obreros: Su misión es buscar alimento, alimentar, cuidar la pareja real, construir, reparar y limpiar el nido.

Su ciclo de vida es muy variable, de 10 a 80 años. En el comienzo de la colonia, la reina puede poner hasta 10.000 huevos al día. Después, su incremento se reduce después a 100 huevos al día. Una colonia puede estar constituida por más de un millón de individuos. A veces, construyen tubos o canales, fabricados con saliva, excrementos o partículas de tierra, para salvar cualquier obstáculo. Estos tubos, pueden estar adosados a la mampostería de piedra o incluso colgados del techo.

Una vez al año, generalmente en primavera (entre mayo y abril), los individuos sexuales se alejan del nido en un vuelo corto de apenas unos centenares de metros. La mayor parte, mueren en el vuelo, siendo las supervivientes las parejas capaces de crear una nueva colonia. Estas colonias tienen el nido principal en el suelo, casi siempre fuera de los edificios atacados, por los que entra subterráneamente.

Los elementos básicos para su supervivencia son la oscuridad, la temperatura moderada y la humedad permanente. Para su plena actividad necesitan una humedad relativa del aire de entorno al 95%.

En la madera abren galerías paralelas a la dirección de las fibras, dejando en la mayoría de las ocasiones la capa exterior intacta. El espesor de esta capa superficial puede ser muy escasa, de entorno a 2mm. Los daños son muy característicos, dejando entre las galerías verdaderas tiras de madera sin atacar, adquiriendo un aspecto de "hojas de libro".





## 02.02 ESTADO DE LA ESTRUCTURA ANTES DE SU DESCUBRIMIENTO TOTAL

Tras la inspección que se ha podido realizar recientemente en el Asador Azitain, se concluye que el estado actual de la estructura es la conclusión de una concatenación de eventos y patologías de la última década que han ido a peor en estos últimos cinco años.

Por parte de los propietarios del inmueble se recoge que hubo anteriormente termitas en la estructura del edificio, y que se acudió a técnicos especializados para comenzar el tratamiento y reforzar la estructura dañada.

Se puede verificar que el tratamiento citado se ejecutó incorrectamente, pues no se trató la estructura en su totalidad, y además, los taladros se hicieron sin ni siquiera retirar el revestimiento de yeso que tenían varios de los elementos estructurales. (ANEJO II: 02 Planta baja, Elementos Estructurales de madera)

Ya en la primera visita que se realizó in situ se pudo ver que el muro de contención de la planta de semisótano estaba húmedo, y también se observó que la solivería apoyada en ella presentaba síntomas mucho más visibles de hongos de pudrición parda y termitas que las que se encuentran entre el Pórtico 1 y 2 y las que se apoyan sobre el muro de carga opuesto. (ANEJO II: 01 Planta semisótano, Estructura de madera)

Se sitúa pues, como primera hipótesis, el origen de gran parte de los ataques xilófagos ocasionados en la estructura de madera del Asador Azitain, en este foco de humedad, debido probablemente a la falta de drenaje del muro y al repetido asfaltado de la urbanización exterior, que dificulta el movimiento de las aguas subterráneas. (ANEJO III: Plano 01 y 02)

Subiendo a la planta baja, a primera vista se pudo ver el mal estado del pilar del comedor (ANEJO II: Planta baja, Pilar P13), casi vaciado por uno de sus laterales por el paso continuo de las termitas. Una vez realizadas las catas preventivas (sin quitar la totalidad del revestimiento de la estructura), se constató que el Pórtico 1 ha sufrido ataques de termitas, que en el pilar de la barra del bar (ANEJO II: Planta baja, Pilar P11) presentaba termitas en actividad y que el Pórtico 2 aparentemente se encuentra en buen estado, exceptuando el caso del pilar de la cocina (ANEJO II: Planta baja, Pilar P14) que parece haber sido atacada por termitas también (ANEJO III: Plano 04).

En cuanto a la solivería que sujeta la primera planta, no se ha podido sacar ninguna conclusión, pues como ya se ha dicho anteriormente, debido a la actividad del restaurante, todavía activa hasta finales de este junio, no se ha podido retirar el falso techo. Sí se ha podido comprobar, en cambio, que los cargaderos que dan a la fachada principal han sido atacados por termitas y parecen haber perdido gran parte de su volumen interior.

Ya en la primera planta, se pudo quitar la totalidad del revestimiento que cubría la estructura principal (pilares y vigas) y se observó, confirmando la primera hipótesis, que las termitas habían subido por los pilares del Pórtico 1 hasta llegar a las vigas que sujetan el segundo piso (ANEJO III: Plano 04).

El ataque de termitas es más acusado en el pilar sobre el pilar de la barra del bar (ANEJO II: Planta primera, Pilar P24), pues se puede ver a simple vista que la pérdida de sección es mayor en uno de sus laterales (no tanto como en el caso del P13), pero, a su vez, se divisan termitas en actividad en el pilar del dormitorio opuesto (ANEJO II: Planta primera, P23), justamente encima del pilar del comedor.

Las vigas no parecen haber perdido mucha sección, pero en el caso del V212 (ANEJO II: Planta primera, Viga V212) se ve que el ataque de termitas ha sido más duradero que en el resto de las vigas. Por otro lado, la viga V23M (ANEJO II: Planta primera, Viga V23M) presenta claros síntomas de ataque de anóbidos, y ha perdido el volumen de toda su albura. Aun así, no parecen haber flectado ni haberse movido de su lugar.

Se toman muestras, también, de restos de los túneles de termitas sobre la zapata de uno de los pilares del Pórtico 2, el que está sobre el pilar de la cocina ((ANEJO II: Planta primera, Pilar P24), que en su superficie no tiene más síntomas que de leves ataques de anóbidos.

Por último, se accede a la segunda planta para comprobar el estado de la estructura. Se observa que los cabios han sido recientemente sustituidos para renovar la cubierta, y que aparentemente la estructura se encuentra en buen estado. Excepto en el caso de la viga cumbrera, que presenta ataques de cerambícidos (ANEJO II: Planta segunda).

En conclusión, se puede decir que la estructura de la planta baja ha perdido gran parte de su capacidad portante, que el Pórtico 1, tanto en la planta baja como en la planta primera presenta ataques de termitas, que el pilar de la cocina, tanto en la planta baja como en la planta primera probablemente presenta ataques termitas, que hay ataques de anóbidos en gran parte de la estructura del inmueble, y que hay ataque de cerambícidos en la estructura principal de la cubierta.

Se confirma que actualmente hay termitas en la estructura del edificio, y que, a su vez, puede haber actividad de anóbidos y de cerambícidos también.



## 02.03 ACTUACIONES PROPUESTAS

Se proponen varias actuaciones para asegurar la estabilidad del edificio y eliminar la presencia de los organismos xilófagos en él.

### ACTUACIONES OBLIGATORIAS

Disminuir al máximo posible la presencia de agua y humedad en el muro de contención con sistemas de drenaje/alcantarillado e impermeabilización adecuados, proyectados, ejecutados y supervisados por técnico competente.

Retirar el forjado de la planta baja y sustituirlo por uno adecuado a las circunstancias del lugar según proyecto de ejecución realizado por técnico competente

Sustituir o reforzar los pilares del Pórtico 1 y 2 del semisótano, del Pórtico 1 de la planta baja y de la primera planta, y los pilares P14 y P24, según proyecto de ejecución realizado por técnico competente

Sustituir o reforzar (según caso particular) los cargaderos del semisótano y la planta baja, según proyecto de ejecución realizado por técnico competente

Descubrir y valorar el estado de la solivería que sujeta la primera planta y la segunda planta

Reforzar las vigas principales según proyecto de ejecución realizado por técnico competente

Reparar, reforzar o sustituir la escalera según proyecto de ejecución realizado por técnico competente

Tratar la estructura original no sustituida a base de inyecciones o barrera química contra termitas, anóbidos y cerambícidos

Exigir tratamiento contra termitas a toda nueva estructura de madera que se vaya a incluir en la reforma del edificio

### ACTUACIONES RECOMENDABLES

Intentar eliminar el termitero y proteger el edificio desde el exterior utilizando cebos impregnados de inhibidores de la síntesis de la quitina.

## 03 METODOLOGÍA POSTERIOR AL DESCUBRIMIENTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

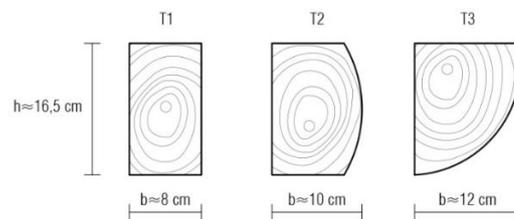
Dado el desconocimiento del estado de los forjados que sujetan la planta primera y la planta segunda, se espera al cierre del restaurante para retirar los falsos techos y revestimientos sobre la estructura principal en su totalidad.

Durante los derribos se observa una gran presencia de termitas activas en la estructura principal de la planta baja, por lo que se decide actuar inmediatamente para eliminarlas.

Se contacta a varias empresas que realizan tratamientos de inyección y colocación de cebos de la zona para obtener distintas visiones sobre el estado de la estructura, hasta que finalmente se decide contratar a una de ellas para realizar los trabajos de eliminación de xilófagos e identificación de piezas no válidas para la estructura.

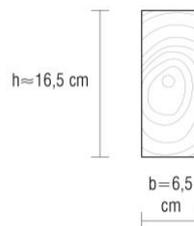
### RECONOCIMIENTO VISUAL

Inicialmente se identifican varios tipos de especies de madera en cada planta del edificio. El forjado que sujeta la planta primera es principalmente de chopo, con unas secciones variables por los cortes que se le dieron al tronco. Se identifican tres tipos de secciones predominantes.



*Solivos de chopo*

Por otro lado, el forjado que sujeta la planta segunda es de pino, con unas secciones regulares y esbeltas.



*Solivos de pino*

No se aprecian deformaciones ni en la estructura principal ni en la secundaria y seguidamente comienzan los trabajos de tratamiento de la estructura por parte de la empresa seleccionada.

### TALADRADO DE PIEZAS

La empresa seleccionada comienza a hazuelar la estructura principal para quitar la masa de madera no resistente y facilitar la posterior introducción de válvulas de inyección. Los taladros se realizan tal como se explicará posteriormente en el apartado "Criterios de intervención".

Gracias al hazuelado se hace visible el alcance real de los daños ocasionados por las termitas y se descubren las secciones resistentes restantes, además, con los taladros se comprueba la dureza de todas las piezas en toda su longitud.

Tras estos trabajos se marcan las piezas que están dañadas parcialmente o en su totalidad.

### MEDICIÓN DE SECCIONES

Una vez visibles todas las caras y las secciones resistentes de las piezas se anotan todas las patologías o anomalías que éstas presentan y se toman las medidas necesarias para el posterior cálculo de resistencia de cada pieza (ANEJO IV).

## 04 CONCLUSIONES POSTERIORES AL DESCUBRIMIENTO TOTAL DE LA ESTRUCTURA

Se confirma la hipótesis principal sobre el origen del ataque de las termitas, la causa principal de la degradación de estructura. Del mismo modo, se reafirman las conclusiones previas al descubrimiento total de la estructura.

Se descubre que el pilar de la cocina P14 también ha sufrido un ataque prolongado de termitas y que una de las vigas que sobre ella apoya, la viga 145 también ha sido atacada.

Gran parte de la solivería de chopo entre el Pórtico 1 y el muro de mampostería de la fachada principal, ha sufrido grandes ataques de termitas en sus cabezas apoyadas sobre el muro. También se identifican ataques puntuales de carcoma en los solivos de roble. A su vez, todos los cargaderos sobre ventanas y puertas de la planta baja presentan grandes pérdidas de sección debido a las termitas (ANEJO 4).

El pilar P22 de la planta primera, que anteriormente se había considerado como defectuoso, presenta una dureza adecuada tras los taladros y la pérdida de sección de las vigas tras el hazuelado es mínima (ANEJO 4).

Los solivos de pino que sujetan la segunda planta no presentan patologías, exceptuando un solivo que ha sido "arreglado" con dudosos métodos (ANEJO 4).

En cambio, los cargaderos de las ventanas de la fachada lateral oeste presentan restos terrosos de termitas, probablemente generados por los niveles de humedad superiores sobre la cubierta del edificio adyacente (ANEJO 4).

Consecuentemente se deduce que las termitas no han seguido subiendo por el muro de mampostería ni la estructura hasta la planta segunda, y se da por tratada toda la estructura de madera del edificio.



*Túneles terrosos de termitas en cargaderos de planta semisótano.*



*Viga V123 visto desde planta baja.*



*Encuentro entre pilar y viga sobre la barra del bar.*



*Cargadero de planta baja.*



*Fendas longitudinales en vigas coincidentes con área de tracción perpendicular a la fibra.*

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKO  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



# Criterios de intervención

Hay varios aspectos que deben tenerse en cuenta antes de definir los criterios de intervención en el caso del proyecto de consolidación de la estructura de madera del Asador Azitain, en Eibar.

Para empezar, el restaurante sito en la planta baja del edificio es el sustento económico principal de la familia, que es a su vez propietaria del edificio. Esto quiere decir que la duración de la ejecución de la obra es determinante, pues ha de ser lo más corta posible, para que los miembros de la familia puedan reanudar su actividad económica.

Por otra parte, dos de los tres miembros de la familia habitan las viviendas del edificio, y aun siendo conocedores de la presencia de termitas en su edificio, no han sido conscientes de la repercusión que ha generado y han dejado prolongar el ataque durante los últimos años. Este aspecto da ligeras pistas de cómo se efectuarán los trabajos de mantenimiento del edificio en el futuro, por lo que garantizará, en medida de lo posible, que ninguna de las piezas de madera ni el muro de mampostería pueda llegar a tener un nivel de humedad lo suficientemente elevado para originar nuevas patologías.

Por último, conscientes de la gran subida presupuestaria que supondrá la reparación de la estructura, en comparación con el proyecto de reforma del restaurante, se intentará aprovechar al máximo toda pieza existente que sea válida para la consolidación del edificio, disminuir al mínimo las intervenciones que sean obligatorias, modificar la disposición de la comunicación vertical para la comodidad de los futuros usuarios, mejorar varios aspectos tales como la accesibilidad, servicios, ventilación, etc. en el restaurante.

Así pues, se definen los criterios de intervención junto con el proyecto de consolidación, teniendo en cuenta los factores citados y las conclusiones extraídas del estudio sanitario, dando lugar al proyecto de consolidación (ANEJO 5) y la siguiente lista de criterios de intervención:

- 01 Barreras físicas
- 02 Tratamiento contra organismos xilófagos
- 03 Reutilización y sustitución de pilares
- 04 Sustitución de zapatas
- 05 Sustitución de cargaderos
- 06 Refuerzo de vigas
- 07 Sustitución de viguetas



# 01 BARRERAS FÍSICAS

- A. DEFINICIÓN DE CLASES DE USO
- B. ASIGNACIÓN DE LAS CLASES DE USO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES ACTUALES
- C. ACTUACIONES PARA DISMINUIR LAS CLASES DE USO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

## A. DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE USO

Tal y como dicta el CTE, el concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos, y principalmente es función del grado de humedad que llegue a alcanzar durante su vida de servicio. Se definen las siguientes clases de uso.

- a. Clase de uso 1: En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%.
- b. Clase de uso 2: Debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural.
- c. Clase de uso 3: El elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20% Se divide en dos clases;
  - i. Clase de uso 3.1: El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%.
  - ii. Clase de uso 3.2: El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%.
- d. Clase de uso 4: El elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%.
- e. Clase de uso 5: Situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente.

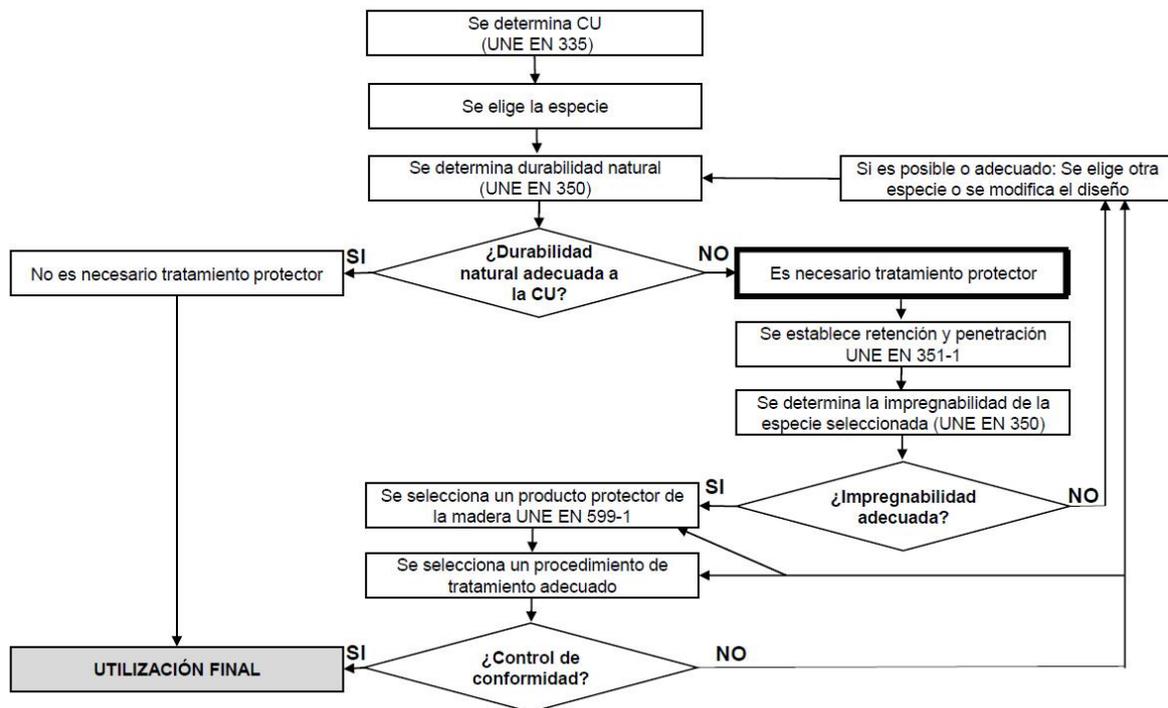
## B. ASIGNACIÓN DE LAS CLASES DE USO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES ACTUALES

Se asigna una clase de uso a cada grupo de elementos estructurales en cada planta del edificio dependiendo de la situación y el nivel de humedad (H, %) que dichos elementos presenten (ANEJO V, Plano nº1).

PLANTA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	NIVEL DE HUMEDAD	CLASE DE USO
Planta semisótano	Muro de mampostería	≥ 20%	---
	Pilares metálicos	---	---
	Cabezas de vigas y viguetas apoyadas sobre muro de mampostería	≈ 20 %	3.2
	Vigas y viguetas	≈ 20 %	3.1
	Cargaderos de ventanas y puertas	≈ 20 %	3.2
Planta baja	Muro de mampostería	< 20%	---
	Base de pilar	≤ 20 %	2
	Pilares	< 20 %	1
	Cabezas de vigas y viguetas apoyadas sobre muro de mampostería	< 20 %	3.1
	Vigas y viguetas	< 20 %	1
	Vigas y viguetas de cocina	≤ 20 %	2
	Cargaderos de ventanas y puertas	< 20 %	3.1
Planta primera	Muro de mampostería	< 20%	---
	Base de pilar	< 20 %	1
	Pilares	< 20 %	1
	Cabezas de vigas y viguetas apoyadas sobre muro de mampostería	< 20 %	3.1
	Vigas y viguetas	< 20 %	1
	Cargaderos de ventanas y puertas	< 20 %	3.1
Planta segunda	---		

## B. ACTUACIONES PARA DISMINUIR LAS CLASES DE USO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Teniendo en cuenta el impacto que tienen las clases de uso sobre la estructura, teniendo en cuenta el siguiente proceso de elección de especies y niveles de protección, se procede a definir las actuaciones necesarias para disminuir las clases de uso.



- a. Evitar altos niveles de humedad en la estructura portante, bajar la cota del pavimento exterior e impermeabilizar el muro de mampostería:

El objetivo principal de las barreras físicas es evitar las condiciones que se dieron antes de que se iniciara toda la concatenación de patologías, que son meramente, la cercanía al río Ego y la dirección de las aguas subterráneas atravesando el edificio, las deficiencias en la evacuación de agua en la zona de entrada al restaurante, el contacto directo del muro de mampostería en la cota del forjado que sujeta la planta baja con el terreno bajo la zona citada y la falta de mantenimiento y atención de la zona más susceptible a un ataque de organismos xilófagos.

Se vuelve incuestionable pues, la necesidad de disminuir el nivel de humedad sobre el muro de mampostería.

Para ello, por una parte, se plantea bajar la cota del pavimento de la zona de entrada al restaurante para evitar elevados niveles de humedad en las cabezas de las viguetas que apoyan sobre el muro en este punto. Se aprovecha esta intervención para regenerar la pendiente necesaria para evacuar rápidamente las aguas pluviales hacia el alcantarillado público, impermeabilizar el encuentro de la fachada con el pavimento nuevo y a su vez, mejorar notablemente la accesibilidad al restaurante.

Se actúa de manera similar en la parte posterior del edificio, evitando así altos niveles de humedad que puedan afectar en los forjados interiores.

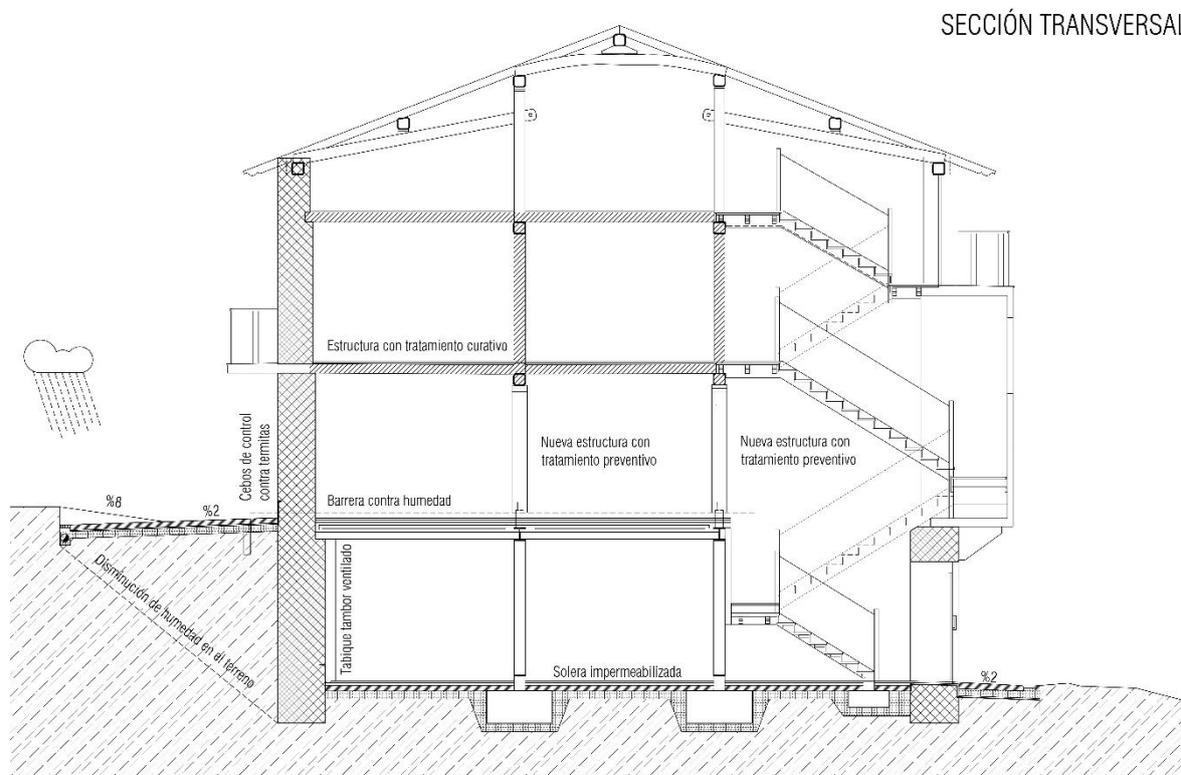
- b. Sustituir los elementos estructurales de madera en la planta semisótano por elementos metálicos:

Teniendo en cuenta el bajo nivel de mantenimiento que es probable que tenga este edificio, se decide no utilizar elementos estructurales de madera en la planta semisótano; foco de altos niveles de humedad hasta el momento y lugar poco transitado por los usuarios del edificio.

Por lo tanto, se toma la opción de sustituir todo el forjado de la planta baja por un forjado metálico compuesto de pilares, vigas y viguetas de acero con un entrevigado de bovedilla cerámica curva, imitando la arquitectura original, formado por viguetas de madera y bovedillas cerámicas bajo las estancias húmedas.

A su vez, siguiendo las exigencias del CTE, toda pieza de madera estructural nueva colocada tras un ataque de termitas, habrá de tener un tratamiento en profundidad suficiente y repelente contra termitas. Por lo que se puede considerar que todos cargaderos nuevos que será necesario colocar en planta semisótano, planta baja y planta primera, funcionarán

como repelente contra termitas. Se explicará más ampliamente este aspecto en el apartado “Tratamiento contra organismos xilófagos”.



Así pues, las nuevas clases de uso de la estructura serían las siguientes (ANEJO 5, Plano nº2)

PLANTA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	NIVEL DE HUMEDAD	CLASE DE USO
Planta semisótano	Muro de mampostería	≥ 20%	---
	Estructura metálica	---	---
	Cargaderos de ventanas y puertas	≈ 20 %	3.2
Planta baja	Muro de mampostería	< 20%	---
	Base de pilar	< 20 %	1
	Pilares	< 20 %	1
	Cabezas de vigas y viguetas apoyadas sobre muro de mampostería	< 20 %	3.1
	Vigas y viguetas	< 20 %	1
	Vigas y viguetas de cocina	≤ 20 %	2
	Cargaderos de ventanas y puertas	< 20 %	3.1
Planta primera	Muro de mampostería	< 20%	---
	Base de pilar	< 20 %	1
	Pilares	< 20 %	1
	Cabezas de vigas y viguetas apoyadas sobre muro de mampostería	< 20 %	3.1
	Vigas y viguetas	< 20 %	1
	Cargaderos de ventanas y puertas	< 20 %	3.1
Planta segunda	---	---	---

(ANEJO 5 – PLANOS Nº1 Y Nº2)



## 02 TRATAMIENTO CONTRA ORGANISMOS XILÓFAGOS

### 02.01 Metodología de tratamiento contra insectos xilófagos sociales y anópidos

Se plantean dos tipos de tratamiento para garantizar la correcta consolidación de la estructura: tratamiento curativo y tratamiento preventivo.

El CTE especifica que, en los elementos estructurales existentes, los tratamientos curativos de ataques activos de hongos de pudrición y termitas se deben realizar mediante la inyección en profundidad (al menos NP 5) de producto protector para poder impregnar adecuadamente la zona de duramen.

El tratamiento curativo busca detener la actividad de las termitas antes de comenzar con la ejecución de las obras de reparación de la estructura.

El tratamiento preventivo tiene como objetivo evitar y dificultar la reaparición de organismos xilófagos en la estructura.

#### Tratamiento curativo

Se entiende como tratamiento curativo todo tratamiento que paralice y elimine cualquier ataque de coleópteros anóbium: carcomas y coleópteros, cerambícidos: carcoma gigante e isópteros: termitas más hongos de pudrición que afectan a la estructura de madera vigas, pilares y forjado de solivería de planta baja y primera del inmueble. Se tomarán como tales el tratamiento en profundidad por inyecciones de protector biocida y el tratamiento superficial por aspersión.

Se explicará a continuación el proceso que se ha de seguir para realizar un tratamiento curativo efectivo sobre la estructura, que se dividirá en los siguientes pasos:

- A. PREPARACIÓN DE LAS ZONAS A TRATAR
- B. TRATAMIENTO POR INYECCIONES
- C. TRATAMIENTO POR ASPERSIÓN

#### A. PREPARACIÓN DE LAS ZONAS A TRATAR

Como primera fase del tratamiento la estructura ha de ser saneada y limpiada para que el producto penetre y difunda mejor a través de la madera. De otro modo, el producto insecticida y fungicida queda retenido en la parte superficial de polvo y madera "acorchada" donde la madera ya no es alimento para los xilófagos y no penetra al interior de la madera.

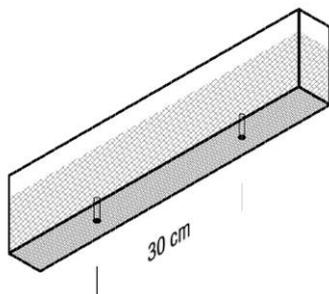
- a. Descubrimiento de todas las piezas de madera estructural que pudieran estar afectadas
- b. Limpieza superficial de piezas de madera
- c. Hazuelado de piezas de madera hasta alcanzar la sección resistente

#### B. TRATAMIENTO CONTRA TERMITAS CON INYECCIONES

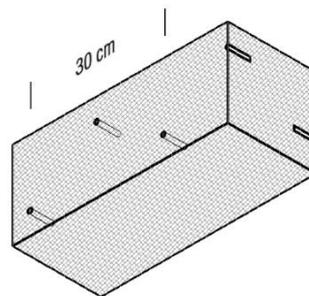
Se realizan una serie de orificios profundos en la madera ya preparada cada 25-30 cm. donde posteriormente se introducirán unas válvulas especiales anti retorno.

La sección de la madera, su tamaño, determina la disposición de las perforaciones y las caras en las que estas se realizan. Además, no todas las partes de la estructura se tratan de igual manera ya que no están sometidas a los mismos riesgos. Esto es muy importante para eliminar insectos y hongos y prevenir futuros ataques.

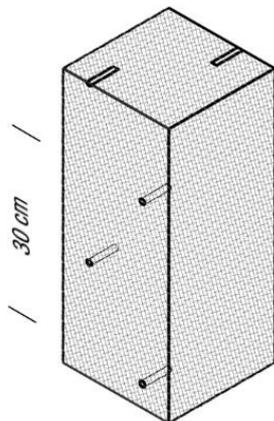
- a. Productos a inyectar
  - Producto 1: Serpol Gel II
  - Producto 2: Corpol Aqua Plus
- b. Profundidad de tratamiento
  - El producto inyectado deberá impregnarse en 2/3 de la sección de la pieza para garantizar su efectividad.
- c. Reparto de válvulas según pieza
  - Vigueta (1. Imagen): Cada 30 cm en cara inferior de vigueta
  - Viga (2. Imagen): A tresbolillo cada 30 cm por ambas caras laterales de viga
  - Pilar (imagen 3. Imagen): Si la pieza se mantiene, a tresbolillo cada 30 cm por ambas caras laterales de viga. Si la pieza se retira, pero ha de mantenerse durante el proceso de obra, collarín de inyecciones en base y cabeza de pilar.
  - Cargadero (4. Imagen): Si la pieza se mantiene, a tresbolillo cada 30 cm por caras visibles del cargadero. Si la pieza se retira, pero ha de mantenerse durante el proceso de obra, inyecciones cada 30 cm en el eje longitudinal.



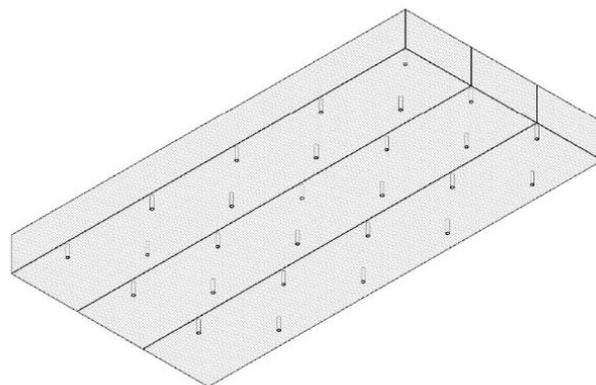
*Reparto de válvulas en vigueta*



*Reparto de válvulas en viga*



*Reparto de válvulas en pilar*



*Reparto de válvulas en cargaderos*

#### d. Consideraciones previas al tratamiento por inyecciones

Los tratamientos por inyección tienen una garantía de 10 años. Si se quisiera volver a realizar este tratamiento una vez pasado el período de garantía, hay que tener en cuenta que las válvulas han de estar visibles y limpias para poder reutilizarlas. Lo cual impide aplicar chorros de arena y/o aplicar productos de acabado sobre las válvulas y resulta incoherente si se volviera a tratar la estructura revestirla pues habría que retirar los revestimientos en su totalidad.

### C. TRATAMIENTO CONTRA CARCOMA POR ASPERSIÓN

La **aspersión** consiste en **aplicar el preservante** mediante un sistema que lo distribuye superficialmente en forma de pequeñas gotas. Es un método que cura y previene el ataque de insectos xilófagos (que se alimentan de la madera). Su acción es superficial y el grado de penetración depende del sistema y producto que se utilice en su aplicación. Los productos domésticos apenas penetran en la madera, mucho menos de lo que la gente cree, y son insuficientes para terminar con un problema de plaga en la madera. Así mismo en su aplicación a menudo los particulares no son suficientemente precavidos e inhalan o se impregnan de productos nocivos que a la larga pueden provocarles problemas de salud. Hay que intentar al máximo evitar este problema.

#### a. Productos para asperjar: Corpol Aqua Plus (ANEJO VI: Fichas técnicas de productos)

## Tratamiento preventivo

El tratamiento preventivo consiste en prevenir la reaparición de organismos xilófagos en la estructura a través de nuevos elementos estructurales tratados en profundidad con sales hidrosolubles y colocación de cebos de celulosa en el perímetro del edificio para vigilarlos en el futuro.

- A. CONDICIONANTES EN LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN DE LOS NUEVOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
- B. ELECCIÓN DE ESPECIE DE MADERA Y CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES
- C. CEBOS DE CELULOSA CONTRA TERMITAS

### A. CONDICIONANTES EN LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN DE LOS NUEVOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

- a. Exigencias de las normativas aplicables
  - i. CTE DB SE M y UNE EN 351-1
  - ii. En los casos en los que se hayan detectado ataques previos por termitas el tratamiento deberá ser en profundidad (NP5), garantizándose que las cabezas de las vigas queden totalmente tratadas en una longitud axial de 50 cm. Además, si durante el proceso de colocación de la madera se realizase un restado de la madera ya tratada, deberá aplicarse in situ un tratamiento.

- 11 -

EN 351-1:2007

**Tabla 1 – Clases de penetración con los requisitos de penetración y las zonas de análisis correspondientes para las mediciones de retención**

Clases de penetración	Requisitos de penetración <sup>a</sup>	Zona de análisis	Ilustración esquemática de los requisitos de penetración
NP1	Ninguno	3 mm en las caras laterales	
NP2	Al menos 3 mm en las caras laterales en la albura	3 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	 Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP3	Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura	6 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	 Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP4 <sup>d</sup>	Al menos 25 mm en las caras laterales	25 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	 Grosor de la albura > 25 mm
NP5	Penetración total en la albura	Penetración total en la albura <sup>c</sup>	 Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP6	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta	 Si sólo hay presencia de madera de duramen

**Legendas de los esquemas:**  
 — límite de la albura cuando se distingue del duramen.  
 - - - - - límite de la albura cuando no se distingue del duramen.

<sup>a</sup> Se aplica sólo a la madera en rollo de especies no impregrables.  
<sup>b</sup> La aptitud para cumplir con los requisitos de una clase de penetración dependerá de la impregnabilidad de la madera correspondiente. Debería admitirse que, con determinadas especies de madera no será posible alcanzar determinados requisitos de penetración y que con algunas de ellas pueden requerirse medidas especiales para alcanzar los objetivos de penetración (por ejemplo incisiones, cedulas de secado especiales, inmersión-difusión). La experiencia demuestra que este es el caso para los tratamientos NP5 y NP6 con picea (*Picea* spp.).  
<sup>c</sup> Si no se puede distinguir el límite entre la zona de albura y el duramen, el requisito de penetración y la zona de análisis se deben suponer del mismo grosor de albura especificado para la clase de penetración correspondiente.



- b. Condicionantes para la elección del tratamiento adecuado  
i. Enfoque simple (AITIM)

Tipo	Penetración	Método de tratamiento
Superficial	La penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm, siendo como mínimo de 1 mm en cualquier parte de la superficie tratada. Se corresponde con P1 P2 y P3	- Pincelado - Pulverización - Inmersión breve
Media	La penetración media alcanzada por el protector es superior a 3 mm en cualquier zona tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable. Se corresponde con P4, P5, P6 y P7	- Inmersión prolongada - Difusión - Autoclave vacío - vacío - Autoclave vacío - presión
Profunda	Es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75% del volumen impregnable. Se corresponde con P8 y P9	- Autoclave vacío - vacío - Autoclave vacío - presión

- ii. Enfoque UNE EN 351-1

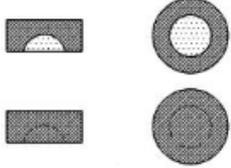
CLASE DE RIESGO (USO)	MADERA FÁCILMENTE IMPREGNABLE		MADERA FÁCILMENTE IMPREGNABLE NO		EXPOSICIÓN A LA INTERMPERIE	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA
	P	R	P	R		
1	P1	R1	P1	T2	Nula	Máxima 20%
2	P1	R2	P1	R2	Muy débil	En alguna ocasión > 20%
3	P4 P8	R3 R3	P1 P5	R3 R3	De débil A fuerte	Frecuentemente > 20%
4	P8	R4	P5	R4	Fuerte	Permanentemente > 20%
5	P9	R5	En principio No recomendable. En algunos casos P7-R5		Fuerte	Permanentemente > 20%

Penetración (P) del producto protector en la madera

Retención (R) del producto protector en la madera.

EN 351-1:2007

- 18 -

Clase de penetración	Requisitos de penetración	Zona de análisis	Ilustración esquemática de la especificación de penetración
P7	Solamente para madera en rollo. Al menos 20 mm en la albura	20 mm en la albura	 Grosor de la albura > 20 mm
P8	Penetración total en la albura	Toda la albura	 Si la distinción entre la albura y el duramen no es posible
P9	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta	Toda la albura y en 6 mm en la madera de duramen expuesta	 Si sólo hay presencia de madera de duramen

Legendas de los esquemas:  
 — límite de la albura cuando se distingue del duramen.  
 - - - - - límite de la albura cuando no se distingue del duramen.

Tabla C.2 – Correspondencias entre clases de penetración

EN 351-1:1995	EN 351-1:2007
P1	NP1
P2	
P3	
P4	NP3
P5	
P6	
P7	
P8	NP5
P9	NP6

c. Exigencias para el tratamiento de los elementos estructurales

- i. Impregnabilidad: Fácilmente impregnable
- ii. Tratamiento en profundidad:
  1. Producto: Sales hidrosolubles
  2. Penetración: P8
  3. Retención: R4
  4. Método de tratamiento: Autoclave vacío – presión
  5. Cumplimiento de normativa: UNE 559-1
- iii. Vida útil de la madera tratada:
  1. En interior: Permanente
  2. En exterior (cargaderos): 20-50 años
- iv. Certificado de calidad de la madera tratada:

Una vez realizado el tratamiento, la empresa que lo ha realizado deberá emitir un certificado en el que se especifiquen la siguiente información.

- Identificación del aplicador (nombre, dirección, número de identificación fiscal, etc.)
- Identificación de la madera tratada (especie, calidad, dimensiones, códigos, etc.)
- Producto protector de la madera empleado (nombre del producto, número de registro o en su defecto informes de eficacia de laboratorios de reconocido prestigio)
- Método de tratamiento aplicado
- Clase de riesgo (Clase de penetración y Retención): Categoría de riesgo que cubre el tratamiento



- Año y mes de tratamiento (número de la partida o lote/año)
- Precauciones ante mecanizaciones posteriores al tratamiento
- Informaciones complementarias

## B. ELECCIÓN DE LA ESPECIE DE LA MADERA PARA LAS PIEZAS NUEVAS

### a. Procedencia de la madera

#### i. Maderas de uso estructural más utilizadas en España

##### Coníferas

1. Ciprés de Lawson (*Chamaecyparis Lawsoniana*)
2. Alerce (*Larix Kampferii*)
3. Abeto Rojo (*Picea Abies*)
4. Pino laricio (*Pinus nigra Arnold ssp salzmanii*. o *Pinus laricio Loud*)
5. Pino pinaster (*Pinus pinaster Ait.*)
6. Pino radiata (*Pinus radiata D. Don*)
7. Pino silvestre (*Pinus sylvestris L.*)

##### Frondosas

1. Castaño (*Castanea sativa Mill.*)
2. Eucalipto (*Eucaliptus globulus Labill.*)
3. Roble (*Quercus robur L.* o *Quercus petraea Liebl.*)

### b. Análisis de impregnabilidad de la madera

Teniendo en cuenta las exigencias de las normativas vigentes, se ha de elegir una especie de madera impregnable con una penetración total en la albura (P8). Para ello, se analizan las impregnabilidades de las especies de madera de uso estructural comercializadas en España, y se elige la especie más eficiente en cuanto a durabilidad y precio por metro cúbico.

#### i. Normativa vigente: UNE EN 350:2016

##### Impregnabilidad:

La impregnabilidad se refiere a la facilidad con la que una madera puede ser impregnada con un líquido (por ejemplo, un producto protector de la madera).

La impregnabilidad se clasifica en las siguientes categorías:

- 1, impregnable
- 2, medianamente impregnable
- 3, poco impregnable
- 4, no impregnable
- n/d no hay datos disponibles
- v, la especie presenta un nivel de variabilidad inusualmente alto

Orígenes de los nombres vulgares se indican como sigue:

- X, denominación ATIBT
- D, denominación en alemán
- E, denominación en inglés
- F, denominación en francés
- O, otras denominaciones

##### Anchura de la albura

- vs, muy delgada (< 2 cm)
- s, delgada (de 2 cm a 5 cm)
- m, mediana (de 5 cm a 10 cm)
- b, grande (> 10 cm)
- x, no se distingue entre la albura y el duramen
- (x), no es posible distinguir generalmente entre la albura y el duramen

1. Tabla B.1– Durabilidad del duramen y la albura de las especies coníferas

Nº	Nombre científico	Código según la Norma EN 13556	Nombre vulgar	Origen	Densidad kg/m <sup>3</sup> al 12% MC	Durabilidad del duramen				Impregnabilidad		Anchura de la albura h	Otros datos/información cuando está disponible
						Hongos	Hylotrupe s	Anobiu m	Termita s	Durame n	Albur a		
11	Larix decidua Mill. (#l.europaea Lam.et DC) L. kaempferi (Lamb.)Sarg.[#L.leptolepis (Sieb.and Zucc)Gord] L. x eurolepis A. Henr. (#L.decidua kaempferi)L.gmelinii	LADC LAKM LAER LAOC	E: Larch F: Mélezze D: Lärche	Europa Japón Híbrido	470-600-650	3-4 (3-4)	D	D	S	4	2v	S	No resistente a xilófagos marinos.
13	Picea Abies (L.)Karst.		E: Norway Spruce F: Epicéa D: Fichte	Europa	440-460-470	4 (4-5)	S	S	S	3-4	3v	x	No resistente a xilófagos marinos.
19	Pinus nigra Arnold ssp. Nigra, [#P. laricio (Hoess)Loud.] b)P.nigra ssp.laricio (Poir.)Maire	PNNN	E: a) Austrian Pine b) Corsican Pine F: a) Pin Noir d'Autriche b) Pin laricio de Corse D: Schwarzkiefer	Sudeste de Europa y cultiado en Reino Unido	510-580-650	4v (3)	D	D	S	4v	1v	m-b	No resistente a los xilófagos marinos
20	Pinus pinaster Ait. (#P.maritima lam.non Mill.)	PNPN	E: Maritime Pine F: Pin maritime D: Seestrand-Kiefer	Sur y Suroeste de Europa	530-540-550	3-4	D	D	S	4	1	b	No resistente a los xilófagos marinos
22	Pinus radiata D.Don	PNRD	X: Pin radiata O: Radiata Pine	Cultivado en Brasil, Chile, Australia, Nueva Zelanda, África del Sur	420-470-500	4-5	D	S	S	2-3	1	b	No resistente a los xilófagos marinos
24	Pinus sylvestris L.	PNSY	E: Scots Pine Redwood F: Pin sylvestre D: Kiefer, Föhre	Europa	500-520-540	3-4 (2-5)	D	D	S	3-4	1	s-m	Esta especie presenta un amplio rango de durabilidad frente a basidiomicetos cuando se ensaya en condiciones de laboratorio

2. Tabla B.2 – Durabilidad e impregnabilidad de las especies frondosas templadas

Nº	Nombre científico	Código según la Norma EN 13556	Nombre vulgar	Origen	Densidad kg/m <sup>3</sup> al 12% MC	Durabilidad del duramen			Impregnabilidad		Anchura de la albura h	Otros datos/información cuando está disponible
						Hongos	Anobium	Termitas	Duramen	Albura		
9	Castanea Sativa Mill.	CTST	E: Sweet Chestnut F: Châtaignier D: Edelkastanie	Europa	540-590-650	2 (1)	D	M	4	2	s	Albura no resistente a Trichoferus holosericeus. No resistente a xilófagos marinos
11	Eucalyptus globulus Labill.	EUGL	X: Blue gum E: Southern Blue Gum F: Eucalyptus bleu D: Blauer Eucalyptus	Cultivado en Europa Galicia (Sp)	700-750-800 750-800-900	5 (2)	n/d D	S	3 n/d	1 n/d	s	
31	Quercus robur L. Q. petraeo	QCXE	E: European Oak F: Chêne rouvre D: Eiche	Europa	650-670-710-760	2-4 (1-2)	D	M	4	1	s	Albura no resistente a Lyctus y Trichoferus holosericeus. Esta especie presenta un amplio rango de durabilidad frente a hongos cuando se ensaya en condiciones de contacto con el suelo



- c. Elección de especie según impregnabilidad
  - i. Descarte de especie por impregnabilidad insuficiente
    - 1. Abeto Rojo
    - 2. Alerce
    - 3. Castaño
  - ii. Descarte de especies por anchura de albura demasiado delgada
    - 1. Pino Silvestre
    - 2. Eucalipto
    - 3. Roble
  - iii. Descarte por datos insuficientes
    - 1. Ciprés de Lawson
  - iv. Especie seleccionada
    - 1. Pino radiata

#### PINO RADIATA

- a. Nombre científico: *Pinus radiata*
- b. Ecología:
- c. Esta especie se cría en zonas de clima templado y húmedo de inviernos suaves. Aguanta mal las heladas y además es muy propensa al ataque de la procesionaria del pino. Se planta principalmente en suelos ácidos, desde el nivel del mar hasta los 800 m.
- d. Usos:  
El principal aprovechamiento de este pino es para la obtención de pasta de papel por su rápido crecimiento, si bien se planta como ornamental, principalmente por el porte y elegancia de los ejemplares juveniles.
- e. Uso en el edificio:  
Elementos estructurales a sustituir, tales como, pilares, solivos, cargaderos y zapatas.

## 03 SUSTITUCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE PILARES

Se sustituirán los pilares que presenten pérdidas de sección importantes por pilares nuevos en la planta baja, y los pilares que puedan ser reutilizados se utilizarán para sustituir los pilares en mal estado de la planta primera. (Se omitirán en la redacción de esta memoria los pilares que son sustituidos por pilares de acero).

### 03.01 Sustitución de pilares

- A. CRITERIOS PARA DEFINIR LOS PILARES A SUSTITUIR
  - a. Restos de xilófagos sociales: Los pilares que presenten túneles de termitas serán directamente sustituidos.
  - b. Dureza insuficiente: Los pilares que por la gravedad del ataque de termitas y su vacuidad puedan ser aplastables con un golpe de martillo serán sustituidos.
  - c. Pérdida de sección: Los pilares que presenten grandes pérdidas de sección en cualquier parte de toda su longitud serán sustituidos.
- B. DEFINICIÓN DE PILARES A SUSTITUIR
  - a. Planta baja:
    - i. P14, restos de xilófagos sociales, pérdida de sección.
    - ii. P11, restos de xilófagos sociales, dureza insuficiente, pérdida de sección.
    - iii. P13, dureza insuficiente, pérdida de sección.
  - b. Planta primera:
    - i. P21, restos de xilófagos sociales, pérdida de sección.
    - ii. P23, restos de xilófagos sociales.
- C. EXIGENCIAS PARA NUEVOS PILARES
  - a. Especie: Pino radiata (MLE)
  - b. Tratamiento: Preventivo

- c. Dimensiones: Según cálculos y disposición en obra

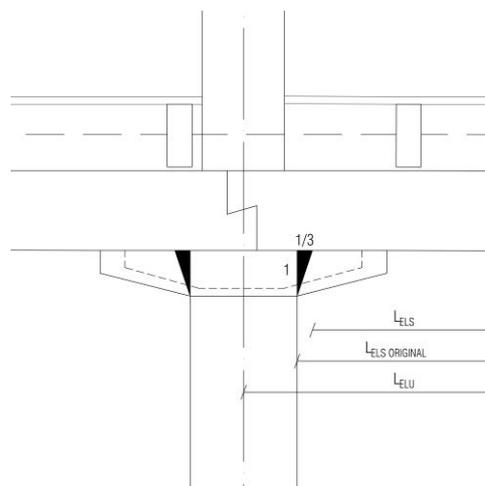
## 03.02 Reutilización de pilares

Aquellos pilares que presenten un buen aspecto pero que por cuestiones proyectuales hayan de ser retirados, serán reutilizados para sustituir los pilares de la planta primera.

- A. EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA PILARES REUTILIZABLES
- Especie: Roble
  - Tratamiento: Curativo
  - Longitud: Igual o mayor que el pilar a sustituir
  - Sección: Igual o mayor que el pilar a sustituir
- B. DEFINICIÓN DE PILARES REUTILIZABLES
- Planta baja:
    - P15 (ANEJO II: Planta baja)
    - P16 (ANEJO II: Planta baja)
    - P12 (ANEJO II: Planta baja)

## 04 SUSTITUCIÓN DE ZAPATAS

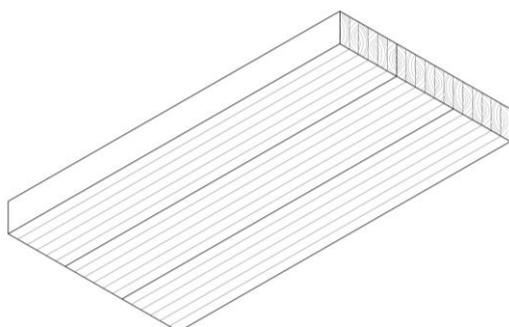
Debido a la gran presencia de restos de los túneles de termitas encontrados en los encuentros entre zapata y viga, se decide sustituir todas las zapatas en planta baja y las zapatas de los pilares que se sustituirán en planta primera. Aprovechando esta intervención, se aumentarán las dimensiones de las zapatas para que la influencia de la zapata sobre las vigas sea mayor a la hora de realizar los cálculos respectivos a los Estados Límites de Servicio.



- A. EXIGENCIAS PARA LAS NUEVAS ZAPATAS
- Especie: Pino radiata (MLE)
  - Tratamiento: Preventivo
  - Dimensiones: Según cálculos y disposición en obra

## 05 SUSTITUCIÓN DE CARGADEROS

Se sustituirán todos los cargaderos que se muestren restos de túneles terrosos de termitas, sin excepciones.



- A. EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA LOS CARGADEROS A MANTENER
- Tratamiento: curativo
- B. EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA LOS NUEVOS CARGADEROS
- Especie: Pino radiata (MLE)
  - Tratamiento: Preventivo
  - Dimensiones: Según cálculos y disposición en obra

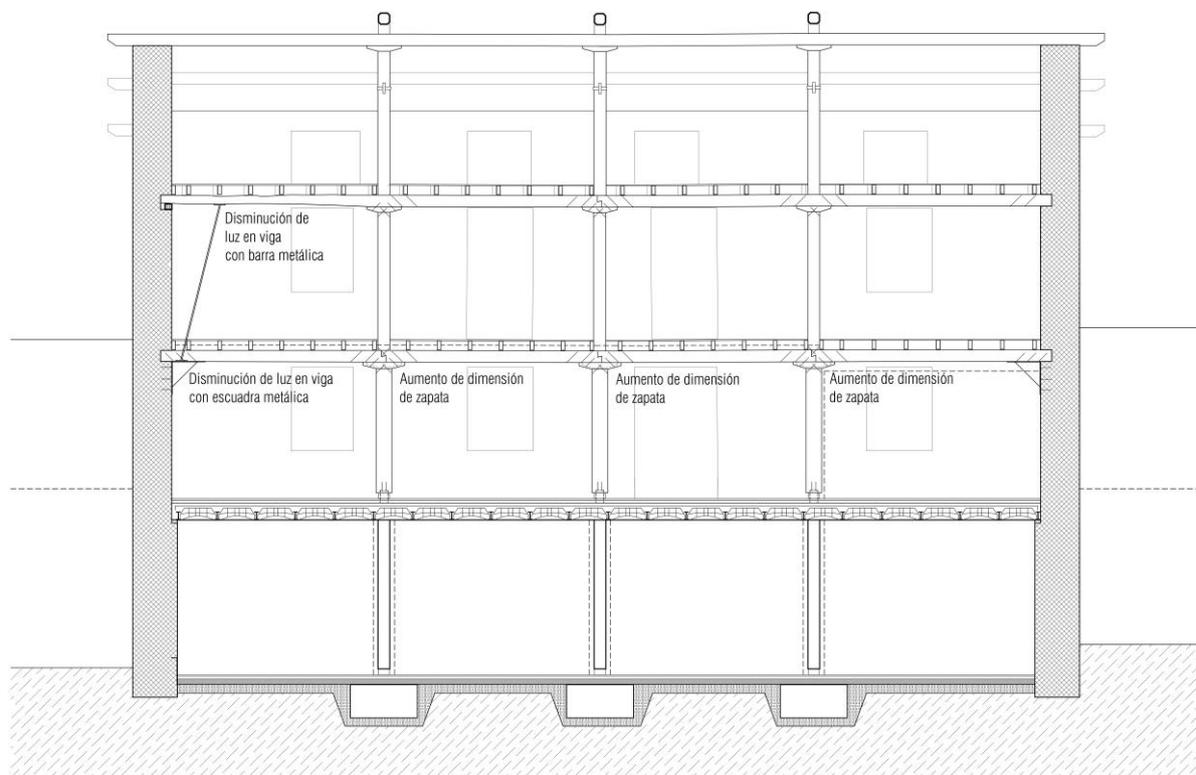
## 06 REFUERZO DE VIGAS

El refuerzo de las vigas se ejecutará utilizando zapatas de mayores dimensiones, escuadras metálicas, consiguiendo así la disminución de luces de vigas necesaria para cumplir con las exigencias en cuanto a la limitación de flecha de integridad, Estados Límites Últimos y resistencia contra incendios según el CTE.

Además, para garantizar la durabilidad de la intervención sobre el edificio, se utilizarán tornillos todorroasca en todas aquellas vigas que presenten fendas longitudinales o desviaciones de fibras que puedan ocasionar deficiencias en el futuro por fallo a cortante cerca de los apoyos.

- A. REFUERZO EN CASO DE PÉRDIDA DE SECCIÓN
  - a. Disminución de luz con zapatas de mayores dimensiones
  - b. Disminución de luz con escuadras metálicas
- B. REFUERZO EN CASO DE FENDAS
  - a. Tornillos a todorroasca

SECCIÓN LONGITUDINAL



## 07 SUSTITUCIÓN DE VIGUETAS

Toda vigueta que haya sufrido un ataque de termitas, que presente una sección insuficiente o que tenga anomalías que pongan en duda su resistencia será retirada y sustituida por una nueva vigueta.

- A. EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA LOS VIGUETAS A MANTENER
  - a. Tratamiento: Curativo
- B. EXIGENCIAS MÍNIMAS PARA LOS NUEVOS CARGADEROS
  - a. Especie: Pino laminado
  - b. Tratamiento: Preventivo
  - c. Dimensiones: Según cálculos y disposición en obra



# Estudio estructural

## 01 CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURA ACTUAL

### 01.01 Diferentes especies de madera en el edificio

La estructura principal del edificio, comprendiendo como tal pilares, zapatas y vigas, es de roble (*Quercus petraea*). Cambia la especie de madera en la solivería de cada planta, de manera que se encuentran viguetas de roble (*Quercus Robur*) en el forjado que sujeta la planta baja, viguetas de chopo (*Populus Nigra*) y roble (*Quercus Robur*) en el forjado que sujeta la planta primera, y por último, viguetas de pino tea (...) en el forjado que sujeta la planta segunda.

A continuación, se analizarán algunas de las propiedades de estas especies.

#### B. ROBLE

a. Nombre científico: *Quercus Petraea*

b. Ecología:

Esta especie prefiere los suelos ácidos, frescos y bien desarrollados, aunque no desdeña los compactados con cierto encharcamiento temporal, a diferencia del roble albar (*Quercus petraea*). Habita en las zonas de clima templado con ausencia prolongada de sequía estival y requiere bastante luz, sobre todo en las primeras fases de su crecimiento. Su área de distribución se solapa en muchos lugares con la del haya, con la que compite. Crece de forma natural formando generalmente extensos bosques, desde el nivel del mar hasta los 1500 m de altitud.

c. Usos:

La madera de este roble es de muy buena calidad y se usó mucho en la industria naval, aunque no se apreciaba tanto como la de *Quercus robur*. Es buena para la confección de traviesas y vigas y se utiliza mucho en ebanistería. Las bellotas y las hojas se emplean como forraje para el ganado y su corteza para curtir pieles por su alto contenido en taninos.

d. Uso en el edificio:

Aparece en el edificio utilizado como solivos en los forjados de planta semisótano y en menor cantidad en el forjado de planta primera, como vigas, zapatas, pilares y cargaderos sobre ventanas y puertas.



#### C. CHOPO O ÁLAMO

a. Nombre científico: *Populus nigra*



b. Ecología:

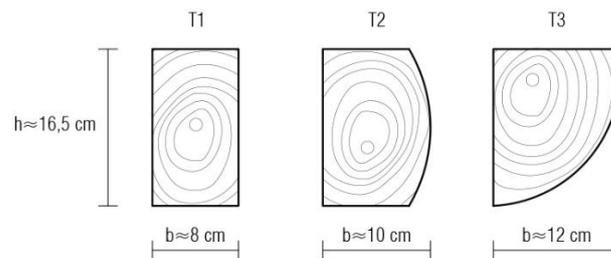
Crece en las riberas de los ríos, márgenes de lagunas, embalses y zonas encharcadas, conviviendo con sauces, fresnos alisos; asimismo no es raro verlo junto a caminos, carreteras y terrenos abandonados muy húmedos. Se da en todo tipo de suelos, soportando incluso cierta salinidad, y habita desde el nivel del mar hasta los 1800 metros.

c. Usos:

Por su rápido crecimiento su madera es blanda y ligera, muy útil para la elaboración de pasta de papel, tablonos y embalajes livianos. Con sus yemas se ha elaborado el denominado 'ungüento popúleo', que alivia y reduce las hemorroides, y también se han usado para teñir de amarillo o verde. Un refrán popular español habla del chopo como el árbol del pobre, por su crecimiento rápido y la facilidad de su cultivo, y su incapacidad para competir con otros árboles por su madera: «Quien tiene dineros pocos, si los echa en chopos, tornársele han más pocos». Hay otra variante que versa: «El álamo largo y enjuto, ni da sombra ni da fruto».

d. Uso en el edificio:

Aparece en el edificio utilizado como solivo que sujeta el forjado de la planta primera con unas secciones variables que se pueden diferenciar en tres tipos: sección rectangular (T1), sección rectangular con cara semicircular (T2), sección semicircular (T3).



*Solivos de chopo*

#### D. PINO SILVESTRE

a. Nombre científico: *Pinus sylvestris*

b. Ecología:

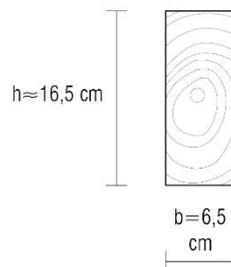
Es una especie adaptada al clima frío y húmedo del norte o de las zonas montañosas del sur, siempre que haya precipitación suficiente. Es indiferente al tipo de suelo y crece sobre todo entre los 1000 y 2000 m.

c. Usos:

El pino silvestre tiene la madera más apreciada de todos los pinos ibéricos y su importancia económica es tal que ha dado incluso un nombre común al segoviano «pino de Valsain», como si fuera una denominación de origen. Produce fustes largos con pocos nudos, muy adecuados para la construcción, elaboración de tableros, vigas, traviesas, mástiles, etc.

d. Uso en el edificio:

Aparece en el edificio utilizado como solivo que sujeta el forjado de la planta segunda con unas secciones uniformes en todo el forjado.



*Solivos de pino*

### 01.02 Clases resistentes

Se utilizan diferentes normativas para la clasificación visual de los elementos estructurales, que posteriormente servirán para asignar una clase resistente a cada tipo de estructura según su especie y propiedades.

Teniendo en cuenta que estas normativas son exclusivamente aplicables a elementos nuevos de madera, sólo se tendrán en cuenta los nudos y la desviación de la fibra para clasificar los elementos.

Después, para el cálculo de dichos elementos, se utilizará su sección residual con la inercia que corresponda a cada barra.

#### A. NORMATIVAS UTILIZADAS PARA CLASIFICACIÓN VISUAL

a. DIN 4074-5 (2003) (Normativa alemana): MADERA ESCUADRADA, ASÍ COMO TABLAS Y TABLONES ENSAYADOS A FLEXIÓN POR EL CANTO (K) FRONDOSAS (ROBLE)

b. UNE 56544 (Normativa española): MADERA DE CONÍFERAS DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA (PINO)

c. UNE 56544 (Normativa española): MADERA DE CONÍFERAS DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA (CHOPO)

#### B. ASIGNACIÓN DE CLASES RESISTENTES SEGÚN ESPECIE Y CRITERIOS DE CALIDAD PARA CLASIFICACIÓN VISUAL



## A. NORMATIVA UTILIZADA PARA CLASIFICACIÓN VISUAL

Debido a la inexistencia de normativas aplicables a estructuras antiguas o existentes, se utilizan los criterios de clasificación visual para madera de frondosas y de coníferas de nuevo corte, tomando como criterios de calidad aplicables el de la nudosidad y la desviación de la fibra.

En base a las clases visuales asignadas según dichos criterios, se acude a las tablas de la norma UNE 1912 para asignar una clase resistente para cada elemento estructural. Cabe decir en este punto, que no se han encontrado equivalencias de *Populus nigra* en dicha normativa, por lo que se equipara a los valores obtenidos en el estudio elaborado por Milagro Casado, Luis Cuña, Luis Alfonso Basterra, Gemma Ramón Cueto y Danien Vecilla "Grading of structural timber of *Populus x euramericana* clone I-214" para la especie *Populus x euramericana*.

A continuación, las normas DIN 4074-5 utilizadas sobre la estructura de roble y la UNE 56544 de anchos menores que 7 cm utilizada las estructuras de pino y chopo.

### a. DIN 4074-5 (2003) (Normativa alemana): CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN VISUAL PARA MADERA ESCUADRADA, ASÍ COMO TABLAS Y TABLONES ENSAYADOS A FLEXIÓN POR EL CANTO (K) FRONDOSAS

CRITERIOS DE CALIDAD		CLASES VISUALES		
		LS 7; Así como LS7K	LS 10; Así como LS10K	LS 13; Así como LS13K
Nudosidad (DEK): en general para roble		$\leq 3/5$	$\leq 2/5$	$\leq 1/5$
		$\leq 3/5$	$\leq 2/5$	$\leq 1/6$
Desviación de la fibra <sup>a</sup>		$\leq 16\%$	$\leq 12\%$	$\leq 7\%$
Médula		No admitida <sup>b</sup>	No admitida <sup>b</sup>	No admitida <sup>b</sup>
Anchura media del anillo		-	-	-
Fendas	De contracción	$\leq 3/5$	$\leq 1/2$	$\leq 2/5$
	de rayo, acebolladuras, etc.	No permitidas	No permitidas	No permitidas
Gemas		$\leq 1/3$	$\leq 1/3$	$\leq 1/4$
Deformaciones <sup>c</sup>	Curvaturas (cara y canto)	$\leq 12$ mm	$\leq 8$ mm	$\leq 8$ mm
	Alabeo	2 mm por cada 25 mm de anchura	1 mm por cada 25 mm de anchura	1 mm por cada 25 mm de anchura
Alteraciones biológicas	Pudriciones pardo rojizas	$\leq 3/5$	$\leq 2/5$	$\leq 1/5$
	Pudriciones blancas	No admitidas	No admitidas	No admitidas
Galerías de insectos xilófagos		No admitidas, independientemente de su tamaño		
Otros criterios		Tanto para su medición como para su evaluación se tendrán en cuenta de una manera coherente los anteriores criterios de calidad así como sus valores límites		
Notas:				
<sup>a</sup> Este criterio de calidad no se considera para madera de haya				
<sup>b</sup> Para madera escuadrada de roble de un grosor del canto superior a 100 mm se admite				
<sup>c</sup> Para piezas clasificadas en húmedo este criterio no debe ser considerado.				

Las equivalencias entre clases visuales de esta normativa y las clases resistentes se obtienen de la norma UNE 1912:

DIN 4074-5 (2003)	CLASE RESISTENTE
LS 10	D30



b. UNE 56544 (Normativa española): MADERA DE CONÍFERAS DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

CRITERIOS DE CALIDAD		ME-1	ME-2
Diámetro de los nudos sobre cara (h)		$d \leq 1/5$ de "h"	$d \leq 1/2$ de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (b)		$d \leq 1/2$ de "b" y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de "b"
Anchura máxima del anillo de crecimiento (1)	Pino silvestre	$\leq 4$ mm	Sin limitación
	Pino laricio	$\leq 5$ mm	
	Pino gallego y pinaster	$\leq 8$ mm	
	Pino insigne (radiata)	$\leq 10$ mm	
Fendas	De secado (2,3)	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$
		Las fendas de secado solo se considerarán si su longitud es mayor que la menor de las siguientes dimensiones: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 metro	
Acebolladuras, rayo, heladura y abatimiento		No permitidas	
Bolsas de resina y entrecasco		Se admiten si su longitud es menor que 1,5 "h"	
Madera de compresión		Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra		1:10 (10%)	1:6(16.7%)
Gemas	Longitud	$\leq 1/4$ de "L"	$\leq 1/3$ de "L"
	Anchura y espesor	$g \leq 1/4$	$g \leq 1/3$
Médula (1)		Admitida No admitida si se clasifica en húmedo	Admitida
Alteraciones biológicas	Muérdago (V. album), pudrición y galerías de insectos xilófagos	No se admiten	
	Azulado	Se admiten	
Deformaciones máximas (2,4)	Curvatura de cara	10 mm (para 2m de longitud)	20 mm (para 2 m de longitud)
	Curvatura de canto	8 mm (para 2 m de longitud)	12 mm (para 2 m de longitud)
	Alabeo	1 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2m) es decir $\leq "h"/25$	2 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2m) es decir $\leq 2"h"/25$
	Atejado o abarquillado	Sin limitación	Sin limitación
1) Estos criterios solo se consideran cuando se comercializa en húmedo. 2) Estas características no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo. 3) Referidas a un 20% de humedad. 4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (por que puedan corregirse durante la fase de montaje) y exista un acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente.			

Las equivalencias entre clases visuales de esta normativa y las clases resistentes se obtienen de la norma UNE 1912:

CLASIFICACIÓN VISUAL	ESPECIE DE CONÍFERA	CLASE RESISTENTE
ME1	Pino silvestre C27	C27
	Pino radiata C24	C24
	Pino pinaster C24	
ME2	Pino radiata C18	C18
	Pino pinaster C18	
	Pino laricio C18	
	Pino silvestre C18	



c. UNE 56544 (Normativa española): MADERA DE CONÍFERAS DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

CRITERIOS DE CALIDAD		ME-1	ME-2
Diámetro de los nudos sobre cara (h)		$d \leq 1/5$ de "h"	$d \leq 1/2$ de "h"
Diámetro de los nudos sobre el canto (b)		$d \leq 1/2$ de "b" y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de "b"
Anchura máxima del anillo de crecimiento (1)	Pino silvestre	$\leq 4$ mm	Sin limitación
	Pino laricio	$\leq 5$ mm	
	Pino gallego y pinaster	$\leq 8$ mm	
	Pino insigne (radiata)	$\leq 10$ mm	
Fendas	De secado (2,3)	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$
		Las fendas de secado solo se considerarán si su longitud es mayor que la menor de las siguientes dimensiones: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 metro	
Acebolladuras, rayo, heladura y abatimiento		No permitidas	
Bolsas de resina y entrecasco		Se admiten si su longitud es menor que 1,5 "h"	
Madera de compresión		Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
Desviación de la fibra		1:10 (10%)	1:6(16.7%)
Gemas	Longitud	$\leq 1/4$ de "L"	$\leq 1/3$ de "L"
	Anchura y espesor	$g \leq 1/4$	$g \leq 1/3$
Médula (1)		Admitida No admitida si se clasifica en húmedo	Admitida
Alteraciones biológicas	Muérdago (V. album), pudrición y galerías de insectos xilófagos	No se admiten	
	Azulado	Se admiten	
Deformaciones máximas (2,4)	Curvatura de cara	10 mm (para 2m de longitud)	20 mm (para 2 m de longitud)
	Curvatura de canto	8 mm (para 2 m de longitud)	12 mm (para 2 m de longitud)
	Alabeo	1 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2m) es decir $\leq "h"/25$	2 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2m) es decir $\leq 2"h"/25$
	Atejado o abarquillado	Sin limitación	Sin limitación
1) Estos criterios solo se consideran cuando se comercializa en húmedo. 2) Estas características no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo. 3) Referidas a un 20% de humedad. 4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (por que puedan corregirse durante la fase de montaje) y exista un acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente.			

Las equivalencias entre clases visuales de esta normativa y las clases resistentes se obtienen a partir del estudio elaborado por Milagro Casado, Luis Cuña, Luis Alfonso Bastera, Gemma Ramón Cueto y Danien Vecilla "Grading of structural timber of Populus x euramericana clone I-214", que tras realizar varios ensayos de acuerdo a la norma UNE-EN 408:2004, ofrece las siguientes equivalencias basadas en la norma UNE 56544 (1997) pero no nos ofrecen resultados concluyentes para piezas de gran escuadría:

CLASIFICACIÓN VISUAL	CLASE RESISTENTE
ME1	C18
ME2	C14

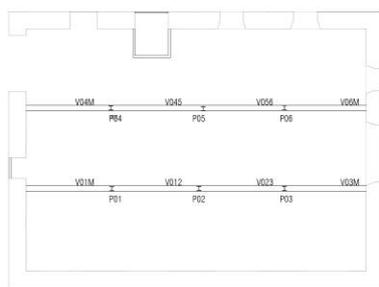
## C.ASIGNACIÓN DE CLASES RESISTENTES SEGÚN ESPECIE Y CRITERIOS DE CALIDAD PARA CLASIFICACIÓN VISUAL

### a, Piezas de roble

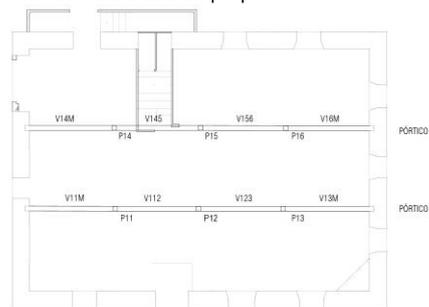
Para la asignación de la clase resistente a las piezas de roble, se tendrán en cuenta aquellas vigas que hayan sufrido un ataque de termitas, considerando que la resistencia de su sección residual es suficiente.

CRITERIOS DE CALIDAD			NUDOSIDAD				DESVIACIÓN DE LA FIBRA	CLASE RESISTENTE ASIGNADA
PIEZA	h (mm)	b (mm)	d <sub>n</sub> (mm)	d <sub>n</sub> /h	d <sub>b</sub> (mm)	d <sub>b</sub> /b	(%)	
V11M (Pórtico 1)	233	210	50	0.214	25	0.119	5	D30
V112 (Pórtico 1)	240	212	35	0.145	40	0.188	17,5	---
V123 (Pórtico 1)	230	210	80	0.347	50	0.238	17	---
V13M (Pórtico 1)	245	211	60	0.244	30	0.142	7,8	D30
V14M (Pórtico 2)	240	215	30	0.125	---	---	0	D30
V145 (Pórtico 2)	245	210	---	---	---	---	16	D30
V156 (Pórtico 2)	242	220	---	---	---	---	11,3	D30
V16M (Pórtico 2)	240	220	50	0.208	50	0.227	4,5	D30
V21M - V212 (Pórtico 1)	240	220	50	0.208	70	0.318	2,3	D30
V223 - V23M (Pórtico 1)	240	220	---	---	50	0.227	5,5	D30
V24M - V245 (Pórtico 2)	242	232	---	---	50	0.215	5.6	D30
V256 - V26M (Pórtico 2)	241	220	70	0.29	40	0.181	0	D30

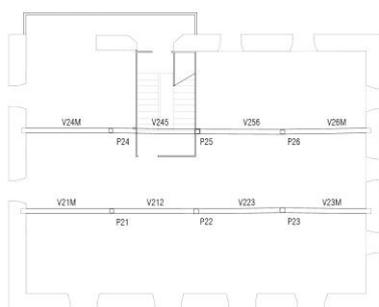
En aquellos casos en los que la desviación de la fibra supere los límites establecidos por las normativas, se reforzarán los elementos con tornillos tondorrosa, evitando así en fallo por acebolladura o tracción perpendicular a la fibra.



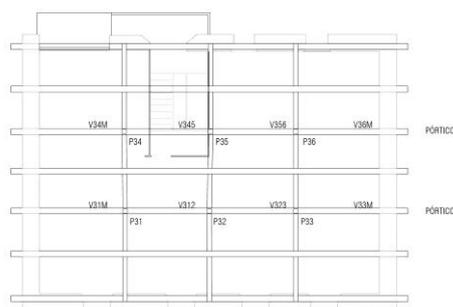
Planta Semisótano



Planta Baja



1ª Planta



2ª Planta



### b, Piezas de pino

CRITERIOS DE CALIDAD			NUDOSIDAD				DESVIACIÓN DE LA FIBRA	CLASE RESISTENTE ASIGNADA
PIEZA	h (mm)	b (mm)	d <sub>h</sub> (mm)	d <sub>h</sub> /h	d <sub>b</sub> (mm)	d <sub>b</sub> /b	(%)	
Pieza tipo	165	65	10	0.061	20	0.308	0	C27

### c, Piezas de chopo

Se utilizarán las equivalencias obtenidas del estudio anteriormente citado para asignar una clase resistente a las piezas de chopo, aunque éstas no se correspondan con piezas de pequeña escuadría.

CRITERIOS DE CALIDAD			NUDOSIDAD				DESVIACIÓN DE LA FIBRA	CLASE RESISTENTE ASIGNADA
PIEZA	h (mm)	b (mm)	d <sub>h</sub> (mm)	d <sub>h</sub> /h	d <sub>b</sub> (mm)	d <sub>b</sub> /b	(%)	
Pieza T1	165	80	---	---	---	---	0	C18
Pieza T2	165	100	---	---	---	---	0	C18
Pieza T3	165	120	---	---	---	---	0	C18

## 01.03 Tablas de características de las diferentes especies en la estructura de madera existente

### A. ROBLE

Propiedades características de la pieza		
Clase resistente	D30	
Resistencia característica	N/mm <sup>2</sup>	
Flexión	f <sub>m,k</sub>	30
Tracción paralela	f <sub>t,0,k</sub>	18
Tracción perpendicular	f <sub>t,90,k</sub>	0,6
Compresión paralela	f <sub>c,0,k</sub>	23
Compresión perpendicular	f <sub>c,90,k</sub>	8
Cortante	f <sub>v,k</sub>	4
Rigidez	kN/mm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad paralelo medio	E <sub>0,medio</sub>	12
Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil	E <sub>0,05</sub>	10,1
Módulo de elasticidad perpendicular medio	E <sub>90,medio</sub>	0,8
Módulo transversal medio	G <sub>medio</sub>	0,75
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	
Densidad característica	ρ <sub>k</sub>	530
Densidad media	ρ <sub>medio</sub>	640



## B. PINO SILVESTRE

Propiedades características de la pieza		
Clase resistente	C27	
Resistencia característica	N/mm <sup>2</sup>	
Flexión	$f_{m,k}$	27
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	16
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	22
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,6
Cortante	$f_{v,k}$	4
Rigidez	kN/mm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	11,5
Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil	$E_{0,05}$	7,7
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,38
Módulo transversal medio	$G_{medio}$	0,72
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	
Densidad característica	$\rho_k$	370
Densidad media	$\rho_{medio}$	450

## C. CHOPO

Propiedades características de la pieza		
Clase resistente	C18	
Resistencia característica	N/mm <sup>2</sup>	
Flexión	$f_{m,k}$	18
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	11
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	18
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,2
Cortante	$f_{v,k}$	3,4
Rigidez	kN/mm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	9
Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil	$E_{0,05}$	6
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,3
Módulo transversal medio	$G_{medio}$	0,56
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	
Densidad característica	$\rho_k$	320
Densidad media	$\rho_{medio}$	380

## 02 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### 02.01 Cargas permanentes características de los sistemas constructivos

#### FORJADO DE PLANTA PRIMERA

Vigueta			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	h (m)	b (m)	L (m)
290	0,16	0,08	4

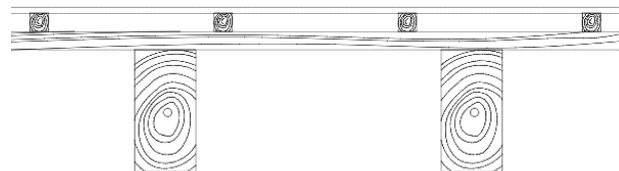


Tablero			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
290	0,03	1,2	2,4

Intereje, i (cm)	Peso tablero (kg/m <sup>2</sup> )	Peso vigueta (kg/m <sup>2</sup> )	Peso sistema (kg/m <sup>2</sup> )
0,57	8,7	46,4	35,148

#### FORJADO DE PLANTA SEGUNDA

Vigueta			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	h (m)	b (m)	L (m)
290	0,16	0,075	3,65



Tablero			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
290	0,02	1,2	2,4

Rastrelado y tarima
Peso (kg/m <sup>2</sup> )
40

Intereje, i (cm)	Peso tablero (kg/m <sup>2</sup> )	Peso vigueta (kg/m <sup>2</sup> )	Peso rastrel y tarima (kg/m <sup>2</sup> )	Peso sistema (kg/m <sup>2</sup> )
0,55	5,8	3,48	40	52,13

## FORJADO DE PLANTA SEGUNDA EN COCINA Y BAÑOS

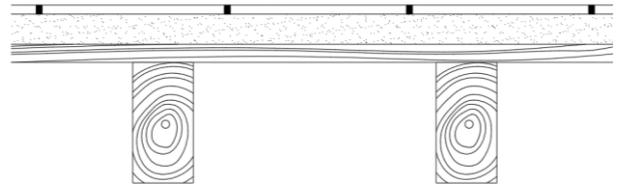
Vigueta			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	h (m)	b (m)	L (m)
290	0,16	0,075	3,65

Tablero			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
290	0,02	1,2	2,4

Recrecido			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
1800	0,045	1	1

Baldosa cerámica			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
1800	0,015	1	1

Intereje, i (m)	Peso tablero (kg/m <sup>2</sup> )	Peso vigueta (kg/m)	Peso recrecido (kg/m <sup>2</sup> )	Peso baldosa cerámica (kg/m <sup>2</sup> )	Peso sistema (kg/m <sup>2</sup> )
0,55	5,8	3,48	81	27	<b>120,13</b>



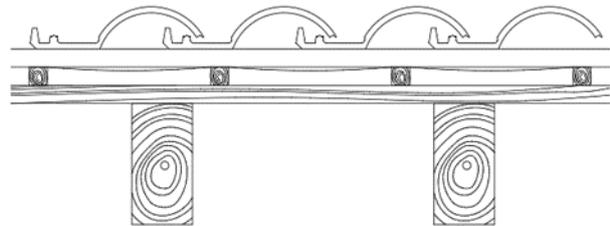
## CUBIERTA – TEJADO

Vigueta			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	h (m)	b (m)	L (m)
290	0,16	0,08	4

Tablero			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
290	0,02	1,2	2,4

Teja sobre rastrel			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	e (m)	a (m)	L (m)
325	0,15	1	1

Intereje, i (cm)	Peso tablero (kg/m <sup>2</sup> )	Peso vigueta (kg/m <sup>2</sup> )	Peso sistema teja (kg/m <sup>2</sup> )	Peso sistema (kg/m <sup>2</sup> )
0,55	5,8	6,75	48,75	<b>66,82</b>





## SOBRECARGA DE USO – VIVIENDA

Peso de sobrecarga de uso (kg/m <sup>2</sup> )
200

### 01.04 Determinación del factor de servicio de los elementos estructurales

#### DETERMINACIÓN DE LA CLASE DE SERVICIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	CLASE DE SERVICIO	
Estructura de una cubierta cuyo espacio bajo techo sólo es accesible para mantenimiento y no tiene calefacción. Por ejemplo, almacenes, buhardillas y trasteros.	2	
Estructura de cubierta cuyo espacio bajo techo es habitable, está aislado térmicamente y suele contar con calefacción	1	
Piscinas cubiertas	2	
Forjados intermedios entre espacios habitables	1	
Forjados de planta baja sobre local o espacio sin calefacción. Por ejemplo garajes sin calefacción y cámaras sanitarias bajo forjado de planta baja.	2	
Muros entramados interiores (situados dentro de la construcción).	1	
Muros entramados de cerramiento de la construcción con revestimiento	Con la estructura en el interior del espacio aislado térmicamente.	1
	Con la estructura al exterior del espacio aislado térmicamente.	2
Uso al exterior cuando la pieza está protegida de la caída directa del agua. Por ejemplo: cobertizos sin paredes, estructura de pasarelas y puentes con cubierta y protegida del agua de lluvia, frontones abiertos y cubiertos.	2	
Uso al exterior totalmente expuesto (pérgolas sin cubierta, pasarelas y puentes con estructura expuesta directamente al agua de lluvia.	3	

#### ASIGNACIÓN DE LA CLASE DE SERVICIO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	CLASE DE SERVICIO
Pilar de madera de frondosa (roble)	1
Viga de madera de frondosa (roble)	1
Zapata de madera de frondosa (roble)	1
Solivo de madera de frondosa (roble)	1
Solivo de madera de conífera	1
Solivo de madera de frondosa apoyado en muro exterior (roble)	1
Solivo de madera de conífera apoyado en muro exterior	1
Cargadero de ventana o puerta	2



### 01.05 Determinación del factor de modificación, $k_{mod}$

Se utilizarán los valores de la siguiente tabla para determinar el factor de modificación para cada hipótesis de cálculo.

MATERIAL	NORMA	CLASE DE SERVICIO	DURACIÓN DE LA CARGA					ACCIDENTAL
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea	Incendio
Madera maciza	EN 14081-1	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1
		2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	
		3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9	
Madera laminada encolada	EN 14080	1	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	
		2	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	
		3	0,5	0,5	0,65	0,7	0,9	

### 01.06 Determinación los coeficientes de simultaneidad

Se utilizarán los siguientes valores para los coeficientes de simultaneidad dependiendo de la predominancia de las cargas en cada hipótesis.

Acciones	Coeficientes		
Sobrecargas de uso DB SE AE	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Residencial	0,7	0,5	0,3
Administrativo	0,7	0,5	0,3
Uso público	0,7	0,7	0,6
Comercial	0,7	0,7	0,6
Tráfico	0,7	0,7	0,6
C.transitables	Según uso	Según uso	Según uso
C.mantenimiento	0	0	0
Nieve+1000m	0,7	0,5	0,2
Nieve≤1000m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Terreno	0,7	0,7	0,7

### 01.07 Coeficientes de mayoración en Estados Límite Últimos

Situaciones de proyecto	Tipo de acción	Coeficiente de mayoración	
		Efecto desfavorable	Efecto favorable
Situaciones persistentes o transitorias	Permanente ( $\gamma_G$ ) peso propio, peso del terreno, empuje del terreno, presión del agua	1,35	0,80
		1,35	0,70
		1,20	0,90
	Variable ( $\gamma_Q$ )	1,50	0,00
	Accidental ( $\gamma_A$ )	1,00	0,00

## 01.08 Situaciones de cálculo en Estados Límites Últimos (ELU) y sus coeficientes

En las siguientes tablas se presentan los coeficientes de mayoración, de modificación y de simultaneidad en cada combinación hipotética, siendo:

- CP, carga permanente
- SU1, sobrecarga de uso (Vivienda 1)
- SU2, sobrecarga de uso (Vivienda 2)
- P<sub>SU</sub>, carga puntual de sobrecarga de uso
- N, nieve

### VIGAS Y VIGUETAS

CLASE DE SERVICIO	1
USO	Residencial

Combinaciones	1	2	3	4	k <sub>mod</sub>	ψ <sub>0</sub>	Duración
CP	1,35				0,6	0,7	Permanente
CP + SU1	1,35	1,5			0,7		Larga
CP + P <sub>SU</sub> + SU1	1,35	1,5	1,5		0,9		Corta
CP + P <sub>SU</sub> + SU1	1,35		1,5	1,5	0,9		Corta

### PILARES

CLASE DE SERVICIO	1
USO	Residencial

Combinaciones	1	2	3	4	5	k <sub>mod</sub>	ψ <sub>0</sub>	Duración
CP	1,35					0,6	0,7	Permanente
CP + SU 1 + SU 2	1,35	1,5	1,5			0,7	0,7	Larga
CP + SU 1 + SU 2	1,35	1,5	1,5			0,7	0,7	Larga
CP + SU 1 + SU2 + N	1,35	1,5		1,5	1,5	0,9	0,5	Corta
CP + SU 1 + SU2 + N	1,35	1,5		1,5	1,5	0,7	0,7	Larga
CP + SU 1 + SU2 + N	1,35	1,5		1,5	1,5	0,7	0,7	Larga

### CARGADEROS

CLASE DE SERVICIO	2
USO	Residencial

Combinaciones	1	k <sub>mod</sub>	ψ <sub>0</sub>	Duración
CP	1,35	0,6	0,7	Permanente

La expresión utilizada para las combinaciones de acciones es los estados límite últimos según las diferentes situaciones de cálculo es la que corresponde a situaciones de cálculo persistentes y transitorias dictada por el CTE DB SE:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.3)$$

### 01.09 Coeficientes de mayoración en Estados Límite Últimos en caso de incendio

Situaciones de proyecto	Tipo de acción	Coeficiente de mayoración	
		Efecto desfavorable	Efecto favorable
Situaciones accidentales	Permanente ( $\gamma_G$ )	1,00	0,80
	Variable ( $\gamma_Q$ )	1,00	0,00
	Accidental ( $\gamma_a$ )	1,00	1,00

### 01.10 Situaciones de cálculo en Estados Límites Últimos en caso de incendio

Para el cálculo de resistencia de las piezas estructurales en caso de incendio, el factor de modificación  $k_{mod}$  se tomará igual a la unidad. Además, en este método se consideran las siguientes hipótesis implícitas:

- Los elementos estructurales, a estos efectos, solamente los elementos estructurales individualmente en lugar de la estructura global.
- Las condiciones de contorno y apoyo, para el elemento estructural, se corresponden con las adoptadas para temperatura normal
- No es necesario considerar las dilataciones térmicas en los elementos de madera, aunque sí en otros materiales.

#### VIGAS Y VIGUETAS

CLASE DE SERVICIO		1						
USO		Residencial						
Combinaciones	1	2	3	4	$k_{mod}$	$\psi_0$	Duración	
CP	1,00				1	0,7	Permanente	
CP + SU	1,00	1,00			1		Larga	
CP + P <sub>SU</sub> + SU	1,00	1,0	1,0		1		Corta	
CP + P <sub>SU</sub> + SU	1,00		1,0	1,00	1		Corta	

#### PILARES

CLASE DE SERVICIO		1						
USO		Residencial						
Combinaciones	1	2	3	4	$k_{mod}$	$\psi_0$	Duración	
CP	1,00				1	0,7	Permanente	
CP + SU 1 + SU 2	1,00	1,00	1,00		1	0,7	Larga	
CP + SU 1 + SU 2 + N	1,00		1,00	1,00	1	0,5	Corta	

La expresión utilizada para las combinaciones de acciones es los estados límite últimos según las diferentes situaciones de cálculo es la que corresponde a situaciones de cálculo extraordinarias dictada por el CTE DB SE:



$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.4)$$

## 01.11 Método de la sección reducida para el cálculo de la resistencia de los elementos estructurales en caso de incendio

La comprobación de la capacidad portante de un elemento estructural de madera se realiza por los métodos establecidos en DB SE-M, teniendo en cuenta las reglas simplificadas para el análisis de elementos establecidos en E.3, y considerando:

- a. una sección reducida de madera, obtenida eliminando de la sección inicial la profundidad eficaz de carbonización,  $d_{ef}$ , en las caras expuestas, alcanzada durante el periodo de tiempo considerado;

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (E.1)$$

siendo:

$d_{char,n}$ , profundidad carbonizada nominal de cálculo

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (E.2)$$

$\beta_n$ , velocidad de carbonización nominal

$$\beta_n_{ROBLE} = 0,55$$

$$\beta_n_{CHOPO} = 0,80$$

$$\beta_n_{PINO\ RADIATA} = 0,70$$

$t$ , tiempo de exposición al fuego

$$t_{RESTAURANTE} = 90 \text{ minutos}$$

$$t_{VIVIENDA} = 60 \text{ minutos}$$

$d_0$ , de valor igual a 7 mm

$k_0$ , de valor igual a 1 para un tiempo,  $t$ , mayor o igual a 20 minutos y  $t/20$  para tiempos inferiores, en el caso de superficies no protegidas o superficies protegidas cuyo tiempo del inicio de la carbonización  $t_{ch}$ , a menor o igual que 20 minutos. Para superficies protegidas cuyo tiempo del inicio de la carbonización,  $t_{ch}$ , sea mayor que 20 minutos se considerará que  $k_0$  varía linealmente desde cero hasta uno durante el intervalo de tiempo comprendido entre cero y  $t_{ch}$ , siendo constante e igual a uno a partir de dicho punto.

	R90	R60
$d_{ef}$ ROBLE	56,5 mm	40 mm
$d_{ef}$ CHOPO	79 mm	55 mm
$d_{ef}$ PINO RADIATA	70 mm	49 mm

- b. que la resistencia de cálculo y los parámetros de cálculo de la rigidez se consideran constantes durante el incendio, tomando como tales los valores característicos multiplicados por el siguiente factor  $k_{fi}$  para:

Tipo de madera	Factor $k_{fi}$
Madera maciza	1,25
Madera laminada encolada	1,15

## 01.12 Coeficientes de mayoración en Estados Límite Servicio

Situaciones de proyecto	Tipo de acción	Coeficiente de mayoración, $\gamma_G$	
		Efecto desfavorable	Efecto favorable
	Permanente	1,00	1,00
	Variable	1,00	0,00



### 01.13 Determinación del factor de fluencia, $k_{def}$

Se utilizarán los valores de la siguiente tabla para determinar el factor de fluencia para cada hipótesis de cálculo en Estados Límite de servicio.

MATERIAL	NORMA	CLASE DE SERVICIO	FACTOR DE FLUENCIA
Madera maciza	EN 14081-1	1	0,60
		2	0,80
		3	2,00
Madera laminada encolada	EN 14080	1	0,60
		2	0,80
		3	2,00

### 01.14 Situaciones de cálculo en Estados Límites Servicio (ELS) y sus coeficientes

#### VIGAS Y VIGUETAS

CLASE DE SERVICIO	1
USO	Residencial

Combinaciones	1	2	3	4	$k_{mod}$	$\psi_0$	$\Psi_1$	$\psi_2$	Duración
CP	1				0,6			0,3	Permanente
CP + SU	1	1			0,7			0,3	Larga
CP + P <sub>SU</sub> + SU	1	1	1		0,9	0,7		0	Corta
CP + SU + P <sub>SU</sub>	1	1	1		0,9	0,7		0	Corta

#### CARGADEROS

CLASE DE SERVICIO	2
USO	Residencial

Combinaciones	1	$k_{mod}$	$\psi_0$	Duración
CP	1,00	0,6	0,7	Permanente

Para los estados límite de servicio o aptitud al servicio, se establecen tres tipos de combinaciones de acciones, caracterizadas por distintas frecuencias de ocurrencia o distintos tiempos de actuación.

Los efectos debidos a las deformaciones impuestas o impedidas, se tendrán debidamente en cuenta en el caso de las nuevas piezas estructurales colocadas en el edificio.

Los tipos de combinaciones se formulan de la siguiente:

- Combinaciones características poco probables - Integridad:  
Para la determinación de los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, del tipo denominado característica, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.6)$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor característico ( $G_k$ );
- una acción variable cualquiera, en valor característico ( $Q_k$ ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- el resto de las acciones variables, en valor de combinación ( $\psi_0 \cdot Q_k$ ).



b. Combinaciones frecuentes – Confort:

Para los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.7)$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico ( $G_k$ );
- b) una acción variable cualquiera, en valor frecuente ( $\psi_1 Q_k$ ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor casi permanente ( $\psi_2 \cdot Q_k$ ).

c. Combinaciones casi permanentes - Apariencia

Para los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.8)$$

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico ( $G_k$ );
- b) todas las acciones variables, en valor casi permanente ( $\psi_2 Q_k$ ).

### 01.15 Limitación de las deformaciones (flechas)

Se limitan las flechas que como máximo tendrán los elementos estructurales horizontales, tal y como establece en CTE DB SE, tomando como valores límite para los casos que atañen a este proyecto los siguientes:

Flecha integridad  $\leq L/500$

Ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento (CP). Incluye:

$W_{int}$	
Flecha debida a la fluencia de la carga permanente	$W_G \cdot k_{def}$
Flecha debida a la carga variable dominante	$W_{Q,1}$
Flecha debida a la fluencia de la carga variable dominante (sólo de la parte casi permanente de la carga)	$W_{Q,1} \cdot k_{def} \cdot \psi_2$
Flecha debida a las restantes cargas variables con su valor de combinación	$\sum W_{Q,i} \cdot \psi_0$
Flecha debida a la fluencia de las cargas variables anteriores (sólo de la parte casi permanente)	$\sum W_{Q,i} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}$

Flecha confort  $\leq L/350$

Ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración. Incluye:

$W_{con}$	
Flecha debida a la fluencia de la variable dominante	$W_{Q,1}$
Flecha debida a las restantes variables con su valor de combinación	$\sum W_{Q,i} \cdot \psi_0$

Flecha apariencia  $\leq L/300$

Ante cualquier combinación de acciones casi permanente.

$W_{apa}$	
Flecha debida a la carga permanente	$W_G$
Flecha debida a la fluencia de la carga permanente	$W_G \cdot k_{def}$
Flecha debida a las cargas variables (sólo la parte casi permanente)	$\sum W_{Q,i} \cdot \psi_2$
Flecha debida a la fluencia de las cargas variables	$\sum W_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot k_{def}$
Contraflecha de ejecución	$-W_{CF}$

## 01.16 Método de cálculo de los esfuerzos sobre las barras

El cálculo de los esfuerzos sobre las piezas se efectúa barra por barra, entendiendo cada elemento como biapoyadas articuladas con el giro libre en el eje perpendicular al eje longitudinal, excepto en el caso de las vigas del forjado que sujeta la planta segunda, que son triapoyadas con las mismas características en sus apoyos.

Se comprueban los elementos estructurales con las propiedades mecánicas que tienen actualmente, y se dimensionan los elementos estructurales que se vayan a sustituir con las propiedades mecánicas correspondientes.

Aquellas barras que sobrepasan los índices de agotamiento se replantearán según los criterios de intervención establecidos y se volverán a comprobar para que obtengan la resistencia suficiente para su vida útil.

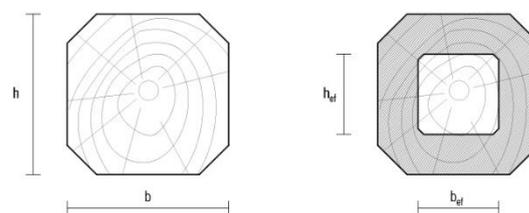
No se intervendrá sobre las viguetas originales que no cumplan las exigencias de las flechas límite de apariencia, puesto que es su estado original no han presentado patologías que deban ser subsanadas.

## 01.17 Comprobaciones de barras de la estructura existente

A continuación, se exponen los índices de agotamiento de los elementos estructurales existentes.

### PILAR ROBLE

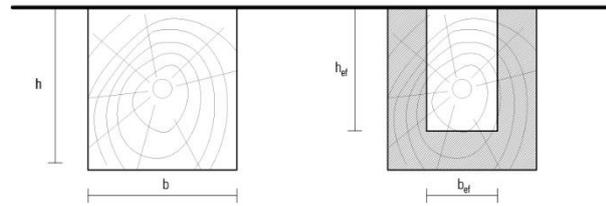
PILAR TIPO		
Canto (mm)	h	220
Base (mm)	b	220
Longitud (mm)	L	2800
Inercia eje y (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub>	1,65 · 10 <sup>8</sup>
Inercia eje z (mm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub>	1,65 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	7,5 · 10 <sup>5</sup>
Área (mm <sup>2</sup> )	A	45200
Volumen (m <sup>3</sup> )	V	113000000
Área comprimida (mm <sup>2</sup> )	A'	22500



ELU								
Compresión paralela a la fibra			Pandeo			Incendio R60		
$\sigma_{C,0,d}$	$f_{c,0,d}$	$I_{c,0,d}$	$N_d$	$P_{crit}$	$I_{crit}$	$\sigma_{C,0,d}$	$f_{c,0,d}$	$I_{FUEGO}$
4,19	9,52	43,93 %	$9,42 \cdot 10^4$	$2,95 \cdot 10^6$	3,19%	3,28	8,03	40,82%

## VIGAS ROBLE, D30

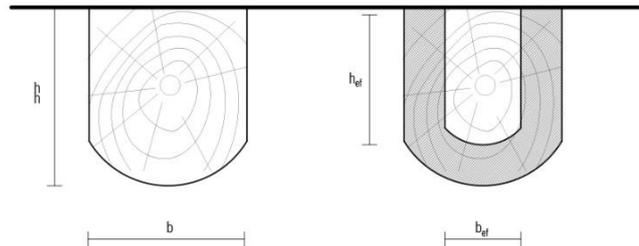
<b>V11M</b>		
Canto (mm)	h	240
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	4100
Luz (mm)	L'	3844
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,42 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	2,02 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
7,83	10,77	72,77	0,58	2,15	39,27%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
16,37	37,50	43,65%	0,74	5,00	14,83%	7,47	23,08	32,36%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/400	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
6,00	8,20	73,16	1,13	11,71	9,64%	12,45	13,67	91,09%

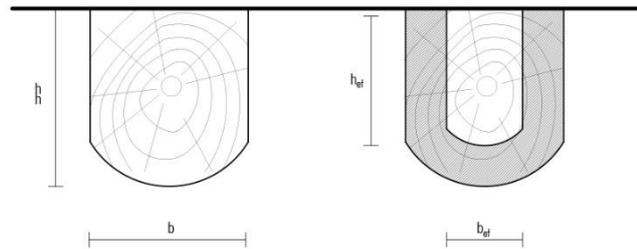
<b>V112</b>		
Canto (mm)	h	230
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3830
Luz (mm)	L'	3670
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	1,96 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,62 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
12,81	16,15	79,32%	0,85	1,66	51,73%	1,95	6,15	31,61%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
24,56	37,50	65,51%	1,10	5,00	21,99%	9,81	23,07	42,51%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/400	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
5,72	8,20	69,77%	1,45	10,94	13,22%	10,70	13,67	78,32%

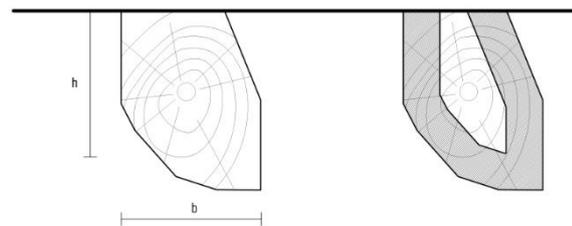
<b>V123</b>		
Canto (mm)	h	240
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3830
Luz (mm)	L'	3670
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,01 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,68 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
15,67	16,15	97,03%	0,56	2,15	26,06%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
16,15	37,50	43,07%	0,73	5,00	14,63%	15,67	23,08	67,92%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
3,40	7,34	46,38%	0,86	10,49	8,21%	6,37	12,23	52,06%

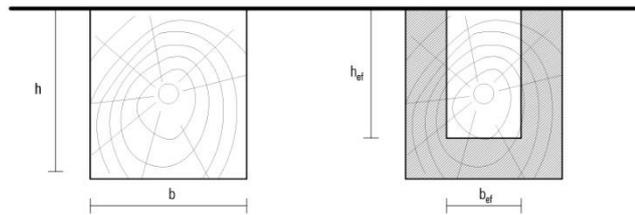
<b>V13M</b>		
Canto (mm)	h	269
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3950
Luz (mm)	L'	3770,67
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,42 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,80 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
13,10	16,15	81,12	0,81	2,15	37,69%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
30,75	37,50	82,01%	1,30	5,00	20,82	13,10	23,08	56,78

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
4,72	7,54	62,61%	0,80	10,77	7,40%	10,08	12,57	80,23%

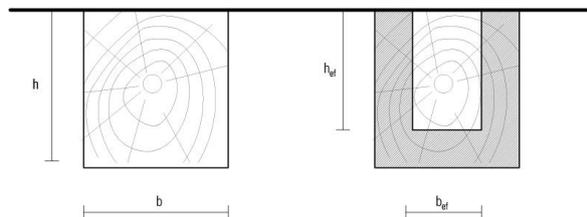
<b>V14M</b>		
Canto (mm)	h	230
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	4100
Luz (mm)	L'	3946,67
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	$1,96 \cdot 10^8$
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	$1,70 \cdot 10^6$



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
13,10	16,15	81,12%	0,82	2,15	37,69%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
30,75	37,50	82,01%	1,30	5,00	20,82	13,10	23,08	56,78%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
5,50	7,54	72,99%	0,93	10,77	8,62%	11,75	12,57	93,52%

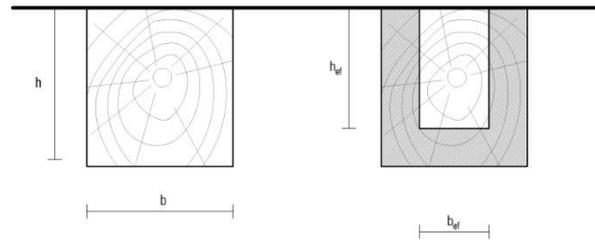
<b>V145</b>		
Canto (mm)	h	240
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3830
Luz (mm)	L'	3464
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	$2,42 \cdot 10^8$
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	$2,02 \cdot 10^6$



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{c,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
6,84	16,15	42,35%	0,64	2,15	31,61	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
19,17	37,50	51,12%	1,03	5,00	20,62%	6,84	23,07	29,65%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
3,20	7,34	43,65%	0,72	10,49	6,82%	6,29	12,23	51,44%

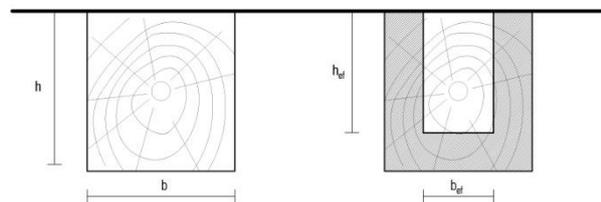
<b>V156</b>		
Canto (mm)	h	220
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3830
Luz (mm)	L'	3464
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	1,86 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,69 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{C,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
8,13	16,15	50,33%	0,69	2,15	41,99%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
21,34	37,50	56,91%	0,91	5,00	14,57%	8,13	23,07	35,23%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
4,21	7,37	57,17%	0,94	10,52	8,97%	8,26	12,28	67,28%

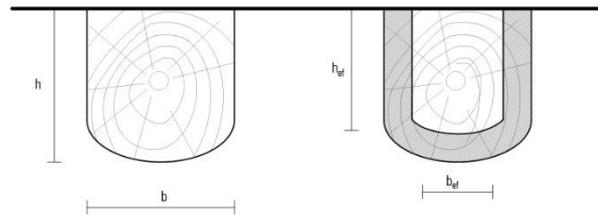
<b>V16M</b>		
Canto (mm)	h	240
Base (mm)	b	210
Longitud total (mm)	L	3950
Luz (mm)	L'	3583
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,42 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,85 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{C,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
7,28	16,15	45,05%	0,66	2,15	30,64%	2,04	4,31	47,31
Incendio R90 - Flexión			Incendio R90 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
18,12	37,50	48,31%	0,84	5,00	16,83%	7,28	23,07	31,53%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
3,64	7,58	48,07%	0,81	10,83	7,51%	7,16	12,63	56,65%

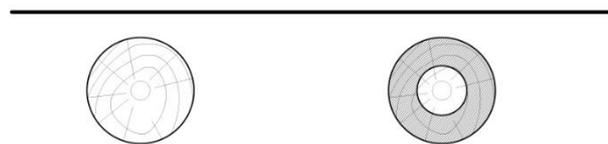
<b>V21M</b>		
Canto (mm)	h	230
Base (mm)	b	210
Longitud AB (mm)	L <sub>1</sub>	3950
Longitud BC	L <sub>2</sub>	3830
Luz (mm)	L'	3583
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,06 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,79 · 10 <sup>6</sup>



ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{C,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
8,39	12,42	67,52%	0,53	2,15	24,56%	2,04	4,31	47,31
Incendio R60 - Flexión			Incendio R60 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
13,55	37,50	36,13%	1,19	5,00	23,96%	8,39	23,07	36,35%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
W <sub>INT</sub>	L/500	I <sub>WINT</sub>	W <sub>CON</sub>	L/350	I <sub>WCON</sub>	W <sub>APA</sub>	L/300	I <sub>WAPA</sub>
4,78	12,66	37,79%	1,31	10,85	12,11%	8,62	12,66	68,11%

<b>V23M</b>		
Canto (mm)	h	150
Base (mm)	b	150
Longitud AB (mm)	L <sub>1</sub>	3950
Longitud BC	L <sub>2</sub>	3830
Luz (mm)	L'	3583
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,06 · 10 <sup>8</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	1,79 · 10 <sup>6</sup>

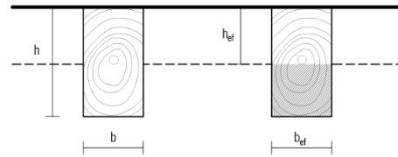


ELU								
Flexión			Cortante			Compresión perpendicular		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{C,90,d}$	$f_{c,90,d}$	$l_{c,90,d}$
21,62	16,15	133,81%	2,04	4,73	43,06%	2,85	4,31	66,13%
Incendio R60 - Flexión			Incendio R60 - Cortante			Vuelco lateral		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$	$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d} \cdot k_{crit}$	$l_{crit,d}$
13,55	37,50	36,13%	1,19	5,00	23,96%	21,62	23,07	93,66%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
W <sub>INT</sub>	L/500	I <sub>WINT</sub>	W <sub>CON</sub>	L/350	I <sub>WCON</sub>	W <sub>APA</sub>	L/300	I <sub>WAPA</sub>
7,75	7,70	100,69%	1,98	11,00	17,98	14,45	12,82	112,62%

## VIGUETAS CHOPO, C18

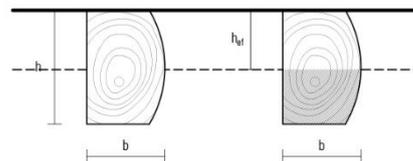
<b>T1</b>		
Canto (mm)	h	165
Base (mm)	b	80
Longitud (mm)	L	3630
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	$2,99 \cdot 10^7$
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	$3,63 \cdot 10^5$



Flexión			Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
6,75	9,69	56,24%	0,46	1,41	32,62%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R60 - Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
7,21	22,50	32,05%	0,26	4,25	6,15

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
6,24	7,26	85,95%	1,32	10,37	12,73%	12,50	12,10	103,30%

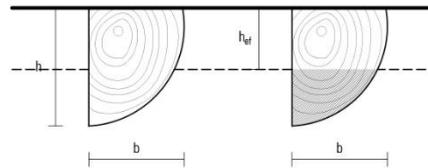
<b>T2</b>		
Canto (mm)	h	165
Base (mm)	b	100
Longitud (mm)	L	3630
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	$3,71 \cdot 10^7$
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	$4,50 \cdot 10^5$



ELU					
Flexión			Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
5,44	9,69	56,22%	0,37	1,41	26,02%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R60 - Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
5,77	22,50	25,64%	0,2	4,25	4,93%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/300	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
5,30	7,26	72,99%	1,12	10,37	10,77%	10,62	12,10	87,73%

<b>T3</b>		
Canto (mm)	h	165
Base (mm)	b	120
Longitud (mm)	L	3630
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	3,31 · 10 <sup>7</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	4,05 · 10 <sup>5</sup>

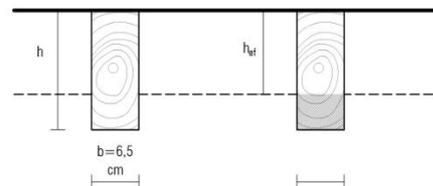


ELU					
Flexión			Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
6,11	9,69	63,02%	0,31	1,41	21,68%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R60 - Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
11,28	22,50	50,12%	0,27	4,25	6,29%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
5,94	7,26	81,81%	1,25	10,37	12,07%	11,90	12,10	98,33%

## VIGUETA PINO SILVESTRE, C27

<b>Vigueta tipo</b>		
Canto (mm)	h	165
Base (mm)	b	65
Longitud (mm)	L	3840
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	2,43 · 10 <sup>7</sup>
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	2,95 · 10 <sup>5</sup>



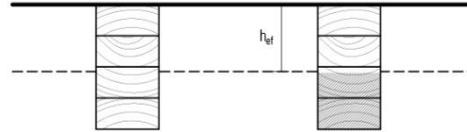
ELU					
Flexión			Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
9,29	14,54	63,95%	0,60	1,66	35,99%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R60 - Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$l_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$l_{v,d}$
12,81	33,75	37,95%	0,39	5	7,74%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$l_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$l_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$l_{WAPA}$
6,94	7,43	93,33%	1,46	10,62	13,73%	13,91	12,39	112,30%

## 01.18 Dimensionamiento y comprobaciones de los nuevos elementos estructurales

### VIGUETA MLE PINO RADIATA, C24

Vigueta tipo		
Canto (mm)	h	165
Base (mm)	b	80
Longitud (mm)	L	3840
Inercia (mm <sup>4</sup> )	I	$2,99 \cdot 10^7$
Módulo resistente (mm <sup>3</sup> )	W	$3,63 \cdot 10^5$



ELU					
Flexión			Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$I_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$I_{v,d}$
7,55	12,92	58,46%	0,48	1,66	29,24%
Incendio R90 - Flexión			Incendio R60 - Cortante		
$\sigma_{m,d}$	$f_{m,d}$	$I_{m,d}$	$\tau_{v,d}$	$f_{v,d}$	$I_{v,d}$
10,40	30,00	34,68%	0,31	5,00	6,29%

ELS								
Integridad			Confort			Apariencia		
$W_{INT}$	L/500	$I_{WINT}$	$W_{CON}$	L/350	$I_{WCON}$	$W_{APA}$	L/300	$I_{WAPA}$
5,89	7,43	79,19%	1,23	10,62	11,61	11,82	12,37	95,39

### PILAR MLE PINO RADIATA, C24

P1		
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	E	11 000
Longitud (mm)	L	2550
Nd - ELU (N)	Nd	$1,03 \cdot 10^5$
Nd - Incendio R90 (N)	Nd	$6,42 \cdot 10^4$
Profundidad carbonizada (mm)	dchar	70

ELU			Resistencia del pilar original de roble		
Compresión paralela a la fibra			$\sigma_{c,0,d}$	$f_{c,0,d}$	$I_{c,0,d}$
$f_{c,0,d}$	$A_{min}$	h x b	4,19	9,52	43,93 %
8,96	11449	107 x 107	Dimensiones mínimas para igualar el índice de agotamiento ELU - c,0,d		
Incendio R90			$A_{min}$	h (mm)	b (mm)
Compresión paralela a la fibra			26167,84	161,76	161,76
$f_{c,0,d}$	$A_{min}$	$h_{ef} \times b_{ef}$	Resistencia del pilar original del roble en caso de incendio (R90)		
12,32	5162,42	71,85 x 71,85	$\sigma_{c,0,d}$	$f_{c,0,d}$	$I_{c,0,d}$
Dimensiones mínimas del pilar			5,25	28,35	18,52%
h (mm)	b (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Dimensiones mínimas para igualar el índice de agotamiento ELU incendio		
220	220	48400	$A_{min}$	h (mm)	b (mm)
ELU - Comprobación inestabilidad			45142,49	212,47	212,47
$\sigma_{c,0,d}$	$f_{c,0,d} \cdot k_{c,y}$	$I_{c,0,d}$			
4,59	11,47	55,86%			



## CARGADEROS MLE PINO RADIATA, C24

<b>Puerta semisótano fachada este</b>		
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	E	11 000
Base (mm)	b	250
Longitud (mm)	L	2880
Flecha de apariencia límite (L/500) (mm)	w <sub>APA</sub>	5,76
Carga de muro de mampostería (kg/m <sup>3</sup> )	q	1990
Volumen soportado (m <sup>3</sup> )	V	0,94
Peso soportado (kg)	P	1870,6
Altura mínima (mm)	H	145,5

<b>Puerta semisótano fachada oeste</b>		
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	E	11 000
Base (mm)	b	250
Longitud (mm)	L	2260
Flecha límite (L/500) (mm)	w	4,52
Carga de muro de mampostería (kg/m <sup>3</sup> )	q	1990
Volumen soportado (m <sup>3</sup> )	V	0,94
Peso soportado (kg)	P	1870,6
Altura mínima (mm)	H	133,92

<b>Puerta de entrada</b>		
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	E	11 000
Base (mm)	b	250
Longitud (mm)	L	1480
Flecha límite (L/500) (mm)	w	2,96
Carga de muro de mampostería (kg/m <sup>3</sup> )	q	1990
Volumen soportado (m <sup>3</sup> )	V	0,29
Peso soportado (kg)	P	577,1
Altura mínima (mm)	H	78,6

<b>Ventanas</b>		
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	E	11 000
Base (mm)	b	250
Longitud (mm)	L	1160
Flecha límite (L/500) (mm)	w	2,32
Carga de muro de mampostería (kg/m <sup>3</sup> )	q	1990
Volumen soportado (m <sup>3</sup> )	V	0,29
Peso soportado (kg)	P	577,1
Altura mínima (mm)	H	73,3

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKOA  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



# Conclusiones

## La realización del estudio sanitario

Las predicciones que se hicieron sobre el alcance de las termitas en la estructura, antes de que se descubriera en su totalidad, se asemejaban a las conclusiones que se obtuvieron después de haber visto toda su superficie. Aun así, no es posible determinar la gravedad de los daños sin tener una visión total, ni el conocimiento, ni la experiencia necesaria, ni el instrumental adecuado para descubrir patologías en cada uno de los elementos.

En el caso del estudio sanitario de la estructura de madera del Asador Azitain, la intervención de la empresa especializada en tratamientos contra organismos xilófagos facilitó estas labores, gracias a que hazueló y taladró cada elemento existente minuciosamente. A partir de este momento, la definición del alcance de los diferentes ataques sobre la estructura tomó la dimensión necesaria para decidir apropiadamente con qué criterios intervenir sobre la estructura.

## La definición de los criterios de intervención

La gran variedad de propuestas de intervención para reparar o recuperar elementos estructurales de madera hace compleja la elección de las técnicas adecuadas para cada caso. Hace falta conocer la capacidad ejecutiva de cada constructor para cerciorarse de la correcta ejecución de los detalles proyectados en obra y los acabados que cada uno de estos detalles acarrea consigo si la estructura va a quedarse vista.

También es necesario realizar algunas comprobaciones previas para asegurar que la resistencia de los elementos estructurales, sobre todo de los Estados Límites de Servicio y en caso de incendio son suficientes. De esta manera, se conoce más fácilmente el factor más determinante de cara al cumplimiento del CTE sobre el elemento estructural, como puede ser su inercia, módulo resistente y en el caso de este proyecto de consolidación, las longitudes reales, para elegir un método de intervención simple y fácilmente ejecutable.

## La clasificación visual de las tres especies de madera diferentes del edificio

El descubrir tal diversidad de especies de madera en una misma estructura resultó sorprendente desde un principio, sobre todo por la aparición de viguetas de chopo en el forjado que sujeta la primera planta.

Si, por una parte, las normativas existentes no contemplan los criterios de calidad necesarios para la clasificación visual de estructuras antiguas, tampoco abarcan toda la variedad de especies de madera que han tenido usos estructurales. Este factor ha influido en la determinación de las clases resistentes de cada especie que se ha encontrado en la estructura, y aunque se hayan utilizado las tablas de clasificación visual de normativas alemanas y españolas, puede haber dudas sobre la fiabilidad de los resultados, sobre todo en las viguetas de chopo. Las especies de chopo contempladas en las normativas y en las investigaciones realizadas hasta el momento no concuerdan con las especies de chopo utilizadas como elementos estructurales históricamente en este entorno geográfico.

## El estudio estructural como herramienta

Aunque se hicieron cálculos previos de la estructura antes de definir los criterios de intervención, después de haber realizado el estudio estructural de manera más concienzuda, los índices de agotamiento obtenidos han sido, en general, más favorables de lo esperado.

Causa de ello son, a groso modo, la indefinición inicial de las cargas sobre la estructura planta por planta y, sobre todo, el uso de la misma clase resistente para todas las piezas.

Los cálculos iniciales se realizaron con una clase resistente C24, esto genera, una disminución del %20 de la resistencia a flexión característica y una profundidad de carbonización 19,3% mayor, en comparación con la D30.

Siendo esto consecuencia de las circunstancias en las que se ha realizado el estudio del edificio, cabe subrayar la importancia de la sistematización del estudio general de una estructura, entendiendo como orden adecuado el siguiente: el descubrimiento total de la estructura, el estudio sanitario, el estudio estructural, definición de los criterios de intervención y comprobación de las secciones.

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
AUTORA  
FECHA

Estudio de la estructura de madera de madera del Asador Azitain para su consolidación  
Idurre Iriondo Ibaibarriaga  
2019/09/13



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKOA  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



# Bibliografía

## Referencias bibliográficas

Arriaga, F. (1), Peraza, F. (2), Esteban, M. (3), Bobadilla, I. (4) y García, F. (5), (2002), *Intervención En Estructuras De Madera*, Aitim, Madrid

Arriaga Martitegui, F. (1); Argüelles Álvarez, R. (2); Esteban Herrero, M. (3); Íñiguez González, G. (4) y Argüelles Bustillo, R. (5), (2018), *Estructuras De Madera – Bases De Cálculo*, Aitim, Madrid.

Arroyo Portero, J.C (1); Sánchez Fernández, R. (2); Romero Ballesteros, A. (3); G. Romana, M. (4); Corres Peiretti, G. (5) y Garcías-Rosales, G (6). (2009), *Números Gordos En El Proyecto De Estructuras*, Cinter, España.

Muñoz Hidalgo, M., (2012). *Manual De La Patología De La Edificación (Detección, Diagnóstico Y Soluciones)*, Manuel Muñoz Hidalgo, Madrid

## Investigaciones

Casado, M. (1), Acuña, L. (2), Relea, E. (3), Basterra, A. (4), Ramón, G. (5), López, G. (6), (---). *Structural Timber Classification Of Populus X Euramericana I-214*. Universidad de Valladolid (España).

María C. Filippetti (1); Alfredo A. Guillaumet (2); Roberto D. Manavella (3), (Diciembre, 2015), *Uso Estructural De La Madera De Iamo*, Venado Tuerto (Argentina).

## Páginas web

TSA Conservación Del Patrimonio. *Tratamiento antixilófagos de estructuras de madera de edificios*. Recuperado de <https://tsaconservacion.com/tratamiento-antixilofagos-de-estructuras-de-madera-de-edificios-bilbao/#tab-id-1>

Rains Impex Sanidad Ambiental, (2017). *Serpol Gel*. Recuperado de <http://rainsimpex.com/madera/serpol-g>

Quimunsa, (2019). *Corpol Aque Plus*. Recuperado de <https://www.quimunsa.com/verproducto2.asp?id=406&cat=&subcat=9>

Infomadera, (---). *Protección de la madera*. Recuperado de [https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_77\\_proteccion.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_77_proteccion.pdf)

Egoin, (2019). *Tratamientos*. Recuperado de <https://egoin.com/tratamientos/>

Maderea (27 septiembre, 2017). *Tipo de madera de chopo*. Recuperado de <https://www.maderea.es/tipos-de-madera-de-chopo/>

Arbolapp (---). *Listado de especies*. Recuperado de <http://www.arbolapp.es/especies/ficha/populus-nigra/>

Arbolapp (---). *Listado de especies*. Recuperado de <http://www.arbolapp.es/especies/ficha/quercus-robur/>

Arbolapp (---). *Listado de especies*. Recuperado de <http://www.arbolapp.es/especies/ficha/pinus-sylvestris/>



## Normativas

UNE-EN 350:2016. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos de la madera y de los productos derivados de la madera.

UNE-EN 351-1:2008. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.

UNE EN 1995-1-1:2016 Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

DIN 4074-5:2003. Criterios de clasificación visual para madera escuadrada, así como tablas y tablones ensayados a flexión por el canto (k) frondosas.

UNE 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.

CTE Parte I (Junio 2013, Versión con modificaciones señaladas).

CTE DB-SE (Abril 2009). Seguridad estructural.

CTE DB-SE-AE (Abril 2009.) Seguridad Estructural – Acciones en la edificación.

CTE DB-SE-M (Abril 2009). Seguridad Estructural – Madera.

CTE DB-SI (Febrero 2010, Modificaciones conforme Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero (BOE 11-03-2010) y Sentencia de TS de 4/5/2010 (BOE 30/7/2010)). Seguridad en caso de incendio.