

## PILOTES DE MADERA

### DEFINICIÓN

Elemento resistente que dirige la carga de un edificio o construcción descargándola en la punta o por rozamiento del fuste en el terreno.

Los pilotes son cimentaciones llamadas profundas, que tienen formas cilíndricas o prismáticas y que se construyen o se hincan dentro de terrenos normalmente de baja capacidad portante o con problemas constructivos para cimentaciones superficiales. El fin del pilote es transmitir las cargas al terreno a partir de su interacción mutua, como cualquier otro tipo de cimentación.

### ADECUACIONES

La madera como material de construcción se ha usado desde tiempos prehistóricos (1) pero en cimentaciones su uso ha sido menor. Su uso estuvo bastante extendido hasta hace pocos años en EEUU, Rusia y norte de Europa. En dichas regiones se dan las circunstancias de facilidad de suministro de madera para pilotes largos, y frecuencia de obras marítimas en zonas de limos, fangos, arenas, margas y arcillas muy blandas y blandas. Actualmente está en franco desuso, pero sigue vigente de forma puntual en cierto tipo de obras.

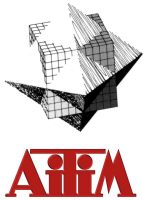
(1) La ingeniería romana usaba dichas soluciones según acreditan tratados como el de Vitrubio, y posteriormente ha sido utilizada hasta la actualidad pasando por casos emblemáticos como en Venecia o en las ciudades holandesas ganadas al mar. En Holanda se calcula que existen 25 millones de pilotes de madera y cada año se renuevan unos 200.000.

En Alemania hay constancia de su uso en ciudades como Bremen, Hamburgo, Leipzig y Berlín. En esta última un edificio famoso sobre pilotes de madera es el Reichstag. En Reino Unido hay muchas ciudades destacando las obras en el estuario del río Támesis. Como edificio singular puede mencionarse la catedral de Salisbury del siglo XIII. En Suecia se encuentran en ciudades como Göteborg, Malmö, Uppsala y Estocolmo. En esta última ciudad destaca el edificio del Parlamento, construido sobre 15.000 pilotes. Así mismo en Francia, y como edificio significativo, se destaca que parte del Museo del Louvre se apoya en pilotes de madera.

A menudo la técnica del pilotaje de madera es la única opción posible en contextos de carencia de energía, de materiales de construcción, de conocimientos y aceptación locales, o simplemente de idoneidad técnico-económica. El pilotaje con madera es una tecnología especialmente indicada en ciertos lugares selváticos recónditos, de difícil acceso. A estas consideraciones se añade el ser una tecnología social, muy utilizada por sus habitantes desde tiempos remotos (palafitos y pasarelas colgantes por ejemplo). Se trata de una implantación viable que los mismos beneficiarios conocen.

Se ha aplicado esta técnica en estructuras para elevación de depósitos de agua, plataformas de embarcaderos en ríos navegables, estribos de pequeñas estructuras-puente de cruce de ríos por tuberías entre otros.

Los pilotes de madera se emplean en condiciones complejas de cimentación, por la existencia de terreno muy blando y presencia de agua en el mismo o en obras bajo el agua: pilas de puentes, cimentaciones de diques, pantalanés, muelles, escolleras, etc. Su utilización en cimentaciones se justifica por la inmediatez que supone el uso de troncos de árboles, y su fácil ejecución con la simple hincada de los mismos en terrenos blandos y/o saturados.



Suelen utilizarse empotrados en la punta sobre estratos muy competentes o estratos rocosos (p.e. granitos, calizas, mármoles) atravesando el terreno blando suprayacente. En cuanto a terrenos granulares son muy aptos para arenas bien graduadas y zahorras, ambas compactadas, arenas bien graduadas y zahorra, ambas flojas, arena uniforme compacta y arena uniforme floja.

Otros factores que determinan la elección del pilote de madera son la topografía de la superficie, drenaje, niveles freáticos, obstrucciones, accesos, etc.

## **PARTES O COMPONENTES**

### **Cabeza**

Es el extremo superior del pilote y la conexión con el resto de la estructura. Su misión es encauzar la energía de la hinca, recibida mediante el golpeo del mazo o martillo.

### **Fuste**

Es el cuerpo del pilote propiamente dicho. Debe ser completamente recto y estar desprovisto de salientes

### **Punta**

Es el extremo inferior de forma afilada. Está en contacto permanente con el terreno y tiene tendencia a deteriorarse durante el hincado.

### **Encepado**

Elemento de atado estructural que sirve para enlazar las cabezas de los pilotes con los elementos estructurales del edificio soportado. Pueden ser puntuales (conecta pilares), lineales (conecta muros) y superficiales (conecta losas).

### **Protecciones y prótesis**

Camisas metálicas o de hormigón para protección o reparación de pilotes (normalmente exentos, como en el caso de muelles).

## **TIPOS**

Pueden clasificarse según diversos criterios.

### **Según su funcionamiento estructural**

El funcionamiento de un pilote se gobierna desde la punta, el fuste o ambos (mixto).

#### **- Por punta**

Los pilotes resistentes “por punta” transmiten su carga a una zona o estrato de mayor y suficiente capacidad como roca o mezcla densas de arena y grava.

#### **- Por fuste**

Se trata de pilotes flotantes que no alcanzan un estrato resistente, sin embargo su rozamiento con el terreno es capaz de descargar la carga al mismo.

#### **- Mixto**

En el caso mixto de punta y flotante, la transmisión de la carga al terreno utiliza ambos mecanismos.

## Según los materiales utilizados

- **Solo madera.**

- **Mixtos**

Madera-metal y madera-hormigón se usan por ejemplo en la zona de transición del nivel freático que daña especialmente la madera.

## MATERIALES

En la ejecución de dichas cimentaciones profundas se usan diferentes materiales (madera, hormigón armado o pretensado, acero estructural) cuyas dimensiones (longitud y diámetro de la sección) se justifican fundamentalmente por los parámetros de diseño de la cimentación. Una vez elegido el material, el diseño se centra en determinar la forma de ejecutarlo (excavación, construcción, hinca, empalmes, costes, etc.).

La madera para pilotes debe proceder de árboles que tengan dimensiones (en cuanto a longitud y diámetro) y forma (en cuanto a rectitud) adecuadas. Además hay que tener en cuenta su disponibilidad en el mercado y su precio.

## Especies

Son muchas las maderas que pueden usarse y se han usado. Se cita, sin ser exhaustiva, una lista de las más utilizadas junto con su procedencia.

- Coníferas americanas: Southern Pine, Douglas Fir (pino de Oregón), Bald Cypress, Cedar, Pitchpin, Spruce, Southern Cypress, White cedar, Pitch pine. White pine, Red Pine, Hemlock, Spruce.
- Coníferas europeas: En Europa se han empleado tradicionalmente el abeto, el pino silvestre, y en menor medida el abeto Douglas y el alerce; en la actualidad las más empleadas son el abeto Douglas y el pino rígido.
- Frondosas norteamericanas: Maple, Rock-Elm, Red Oak, Black oak, White oak, Tamarac, Red ash, White ash, Scrub oak, Buttonwood, , Chesnut, Beech, Tropicales de América Central: Greenheart (Guyana), Angelique, Manbarklak, Foengo, Black Kakaralli y Purpleheart.
- Frondosas tropicales: se utilizan, por su mayor durabilidad, para sustituir a las coníferas. Las más empleadas son el Alan-Batu, Alep, Azobe, Balau amarillo, Basralocus, Bilinga, Congotali, Cumaru, Doussie, Elondo, Eyoum, Greenheart, Itauba, Ipé, Louro, Mangle, Makore, Massaranduba, Merbau, Quebracho (Lapacho), Teca, Jarrah (eucalipto marginata), Mangle, Talí, Tupertine, etc. Son especies en general imputrescibles e inatacables por insectos y moluscos xilófagos.

Las maderas españolas que suelen o solían usarse por coste y disponibilidad son: el abeto, el eucalipto rojo, la encina, el roble, el castaño, el haya, el olivo y el olmo.

## Durabilidad

La especie de madera del pilote condiciona su uso, no solo por su resistencia y disponibilidad sino, sobre todo, por su durabilidad. Esta condición clasifica a los pilotes entre los que tienen una durabilidad natural adecuada que se pueden utilizar sin tratar en situaciones específicas y los tratados.

### **- Los que tiene una durabilidad natural adecuada)**

La dificultad de suministro y su precio, provocan que se utilicen en situaciones muy específicas y especiales. Se utilizan en función del agente degradador que puede actuar: hongos de pudrición, termitas, insectos xilófagos de ciclo larvario y/o xilófagos marinos dependiendo del lugar de aplicación: contacto con el suelo, con agua dulce o con agua salobre.

### **- Los no tratados.**

Son los más antiguos y fueron los primeros en utilizarse. La experiencia indica que se pueden usarse en condiciones de saturación permanente de terrenos muy blandos (lodos, trampales, fangos, etc.). En esta situación su vida útil es larga y algunas veces casi indefinida, cuando se colocan bajo el nivel freático. Su durabilidad puede estimarse en unos 100 años, con la excepción de la madera de albura que puede ser degradada muy lentamente por las bacterias anaeróbicas (efectos importantes se apreciarían a los 50 años). Pero hay que tener en cuenta que lo habitual es que el nivel freático fluctúe y en este caso la parte del pilote que quede por encima de dicho nivel freático será más vulnerable a la degradación. Por ejemplo, se conoce la existencia oscilaciones de 75 años naturales en los niveles de los Grandes Lagos americanos en Chicago que afectan a los tramos sumergidos de los pilotes.

### **- Los tratados.**

El tratamiento a realizar, la elección del tipo de protector y los parámetros de protección (penetración y retención del protector), depende de la clase de uso en que se encuentre:

- clase de uso 4, en contacto con el suelo y/o con agua dulce
- clase de uso 5, en contacto con agua salobre o salada.

La experiencia determina una duración de amplio rango: de 100 a 1000 años. Pero, sin embargo, esta durabilidad es difícil garantizarla.

### **Vida útil**

La madera en cimentación responde bien en los dos extremos ambientales: sequedad total o humedecimiento permanente. La madera sometida a un humedecimiento permanente evita la presencia de oxígeno, lo que impide su deterioro por agentes xilófagos (no bacterias) y sufre una peculiar transformación química que produce, entre otras cosas, un endurecimiento del material. La sequedad total no impide que se puedan desarrollar organismos xilófagos. Se desaconseja el uso de la madera laminada y otros tipos de madera reconstituida debido a la falta de durabilidad actual de los adhesivos ante estas solicitaciones. Para aumentar la vida de la madera se puede revestir su superficie con otros materiales incluyendo el encamisado con acero o con hormigón proyectado.

Todos los autores concluyen que un pilote de madera correctamente tratado incrementa su vida suficientemente. Cabe citar que cuando se derrumbó el Campanile de San Marcos de Venecia el 14 de Julio de 1902 los pilotes de la cimentación de madera cuya construcción se inició en el siglo IX durante el ducado de Pietro Tribuno y sobre cimentaciones de origen romano, habían estado en servicio durante 1000 años. Su estado de conservación era tal que la reconstrucción de 1912 los mantuvo.

Así pues, la vida útil puede ser indefinida si están impregnados correctamente, enterrados completamente, en suelo granular denso, y sus extremos sellados. Pero incluso, haya o no partes sumergidas, en arenas sueltas o gravas, la creosota y tratamientos similares, puede deteriorarse por temperatura. En cualquiera de los casos y por encima del nivel freático, los pilotes de madera pueden tener una vida útil bastante variable que oscila, a efectos ingenieriles, entre los 10 años y los 30 años. La aplicación por ejemplo de creosota prolonga la duración de los pilotes (como mínimo de 15 a 30 años).

En la vida del pilote estructural de madera influye poderosamente la química del terreno y si está tratado con sustancias químicas. De ahí la importancia de la descontaminación del suelo previa y el consiguiente análisis de compuestos existentes en el mismo. Estas reacciones químicas pueden influir o bien en la putrefacción, la proliferación de organismos, o bien la alteración de la protección realizada en la madera.

El medio natural puede verse afectado también por otras infraestructuras cercanas. Por ejemplo, se pueden producir drenajes no contemplados del terreno causados por túneles ejecutados posteriormente a las obras de cimentación con pilotes de madera.

Las influencias de la proximidad geográfica de zonas naturalmente saturadas, como costas, estuarios y terrazas de ríos, son también condicionantes en caso de drenaje de terrenos adyacentes por saneamiento (caso de marismas, albuferas, lagunas, etc.) o simplemente por causas constructivas de otras cimentaciones que requieran en alguna de sus fases una excavación en seco.

### **Calidad del pilote de madera**

La selección de madera para pilotes se fija especialmente en la rectitud de la fibra y en la ausencia o presencia de otras singularidades naturales de la madera como nudos y fendas. A falta de normas europeas o españolas se pueden tomar como referencia normas de otros países como las del Reino Unido y de Holanda.

En el caso de existir, también se podrán usar valores de ensayo mecánico de un número representativo de piezas o asignaciones resistentes mediante clasificación para uso estructural.

### **DIMENSIONES**

Un problema habitual en materiales heterogéneos es la medición y definición geométrica del mismo. En el caso de pilotes de madera se miden y comercializan, especialmente en Norteamérica, en múltiplos de 60 cm o de 1,5 metros si son menores de 12 m o mayores de 12 m respectivamente.

El diámetro del pilote depende de su longitud, así como de la clase de madera utilizada. El diámetro medio varía de 20 a 30 cm; aunque algunas pueden llegar hasta 45 cm. El diámetro se mide a 90 cm de la cabeza y la punta, pero nunca en las secciones extremas. Los diámetros que se comercializan varían con las longitudes de uso. Con longitudes de hasta 12 m, oscilan entre una punta 20 a 25 cm de diámetro a una cabeza de 30 a 50 cm de diámetro. Si las longitudes llegasen hasta 18 m, en punta se usan de 15 cm a 22,5 cm de diámetro. Para más de 18 m, en punta se llega hasta los 12,5 cm a 15 cm de diámetro.

### **PROPIEDADES**

#### **Economía**

La ventaja más buscada en los pilotes de madera es económica. En general, son relativamente más eficientes económicamente por tonelada cargada que los pilotes de hormigón. Las circunstancias de su uso les hacen no competitivos en casos singulares, por lo que no necesariamente es la opción más económica en todos los casos.

## Resistencia

En la literatura técnica (manuales de construcción de distintas épocas) se indica que los pilotes de madera pueden soportar con seguridad de 15 a 30 toneladas por pilote. En el libro "Design of driven foundation" se da la horquilla entre 10 y 50 Tn mientras que en el libro "Pilotes y cimentaciones sobre pilotes" se mencionan entre 15 y 20 Tn.

En el Código Técnico de la Edificación - Documento Básico de Seguridad Estructural - Cimientos (CTE - DB SE-C) se especifica que se puede utilizar la madera (véase capítulo 5 "Cimentaciones profundas" apartado 5.3.8 "Consideraciones estructurales" de DB SE-C) en el que se indican los valores del tope estructural de los pilotes.

Procedimiento	Tipo de pilotaje	Valores de "δ" (MPa)
Hincados	hormigón pretensado	0,30 ( $f_{ck} - 0,9 f_p$ )
	hormigón armado	0,30 $f_{ck}$
	metálicos	0,30 $f_{yk}$
	madera	5,0
<b>Notas:</b> - $f_{ck}$ = resistencia característica del hormigón - $f_p$ = tensión introducida en el hormigón armado - $f_{yk}$ = límite elástico del acero		

Tabla Valores recomendados para el tope estructural de los pilotes (Fuente CTE)

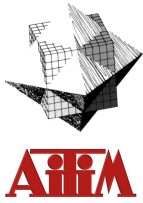
En España no existe normativa específica para pilotes de madera pero se podrían tomar referencias del cálculo geotérmico propio de nuestra normativa, complementado con normativa de países en los que sí se usan habitualmente como Holanda (normas NEN 5491 "Quality requirements for timber piles", NEN 6743 "Geotechnics-calculation method for bearing capacity of pile foundations-compression piles" y NEN 6740 "Geotechnics design code". Un ejemplo práctico de cálculo desarrollado con normativa holandesa se puede encontrar en la publicación Step2 (ver Bibliografía). El valor que da Step 2 - E 1814 Tabla 1 Design compression strength values of timber piles es  $f_{c,o,d} = 7,5 \text{ W/mm}^2$ . De forma complementaria se pueden utilizar las normas de madera en rollo estructural (prEN 14544), o en su caso la de postes de madera para líneas aéreas (UNE-EN 14229). Véanse los capítulos correspondientes.

## INSTALACIÓN

La ejecución del pilote pasa por la introducción del fuste en el terreno. La penetración por percusión es válida para todos los tipos de pilotes; siendo los pilotes de hormigón ejecutados in situ los únicos que no, ya que son hormigonados sobre el terreno excavado y sostenido lateralmente.

Las fases de la instalación de pilotes son las siguientes.

- Estudio geotécnico del terreno
- Replanteo
- Elección del tipo de pilote.
- Hincado
- Preparación del pilote
- Empalmes
- Descabezado o desmochado
- Encepado



## **MARCADO CE**

Este producto está afectado por el Reglamento Europeo de Productos de Construcción, por lo que cuando se apruebe su norma armonizada deberá incorporar el Marcado CE.

Actualmente no existe norma específica, pero en su caso se debería tomar la correspondiente a madera en rollo estructuras que está en fase de borrador prEN 14544.

## **MÁS INFORMACIÓN**

Publicaciones de AITIM - [www.aitim.es](http://www.aitim.es)

- Guía de la Madera: Tomo II - Productos estructurales y Construcción en madera.
- Diseño Estructural en madera.
- Estructuras de madera: Diseño y Cálculo.
- Manual de clasificación de madera.
- Las estructuras de madera en los tratados de arquitectura.
- Puentes de madera.

Pliego condiciones – [www.aitim.es](http://www.aitim.es)