

2. TIPOLOGÍA DE CIMENTACIONES DE PUENTES DE FÁBRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

El puente, como objeto pensado y construido para salvar obstáculos materiales, transmite las cargas del vano que salva a sus márgenes, llevándolas a un terreno competente para que puedan ser resistidas sin que aparezcan asientos apreciables.

La cimentación es el elemento de la estructura que sirve de nexo de unión entre ella misma y el terreno en que se apoya. En principio, en los cimientos de un puente se sigue una clasificación básica en función de la proximidad del terreno competente a la superficie. Así, se tienen:

- Σ • Cimentaciones directas o superficiales en que la roca o una capa con suficiente capacidad portante aflora o se encuentra a escasa profundidad.
- Σ • Cimentaciones profundas en las que la carga no puede ser transmitida a un estrato superficial, sino que debe ser llevada a roca cuyo techo está profundo o debe ser resistida por rozamiento vertical del terreno.
- Σ • Cimentaciones semiprofundas en que el estrato competente no aflora, pero cuyo techo se encuentra a distancia no muy grande de la superficie natural.

En lo que sigue se mencionan diferentes tipos de cimentaciones clasificadas según los tres grupos anteriores. Es de destacar que lo que se expone es general para cualquier tipo de puente, pero adaptado a las particularidades propias de las cimentaciones de puentes de fábrica.

También hay que incidir en el hecho de que existen múltiples muestras en España de puentes con tablero de hormigón o metálico cuyas pilas, estribos y sus cimentaciones son de mampostería, sillería u otro tipo de fábrica. Lo que aquí se expone sobre tipología de cimentaciones de puentes de fábrica es también aplicable a los casos referidos al inicio de este párrafo, en que la subestructura es de fábrica. Asimismo, es de destacar que, en numerosas ocasiones, aletas y muros de acompañamiento han sido construidos con diferentes fábricas. También es aplicable a estos casos lo que se presenta a continuación referente a las cimentaciones de puentes de fábrica.

2.2. CIMENTACIONES DIRECTAS

2.2.1. Cimentaciones directas en roca o en terreno firme

En general, se solía excavar hasta alcanzar la roca, eliminando la capa superficial que se encontraba descompuesta (fig. 2.1) sin que fuera necesario, salvo en ocasiones particulares, que la superficie de apoyo fuera horizontal dejando escalones adaptando la cara inferior del cimiento a la orografía (fig. 2.2).

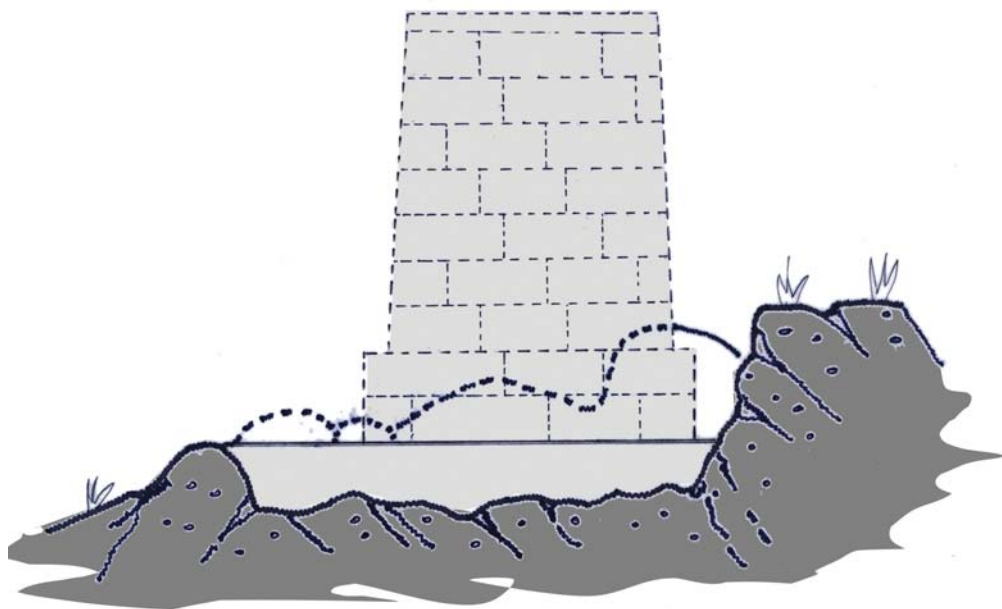


Figura 2.1. Cimentación directa en roca con excavación horizontal.

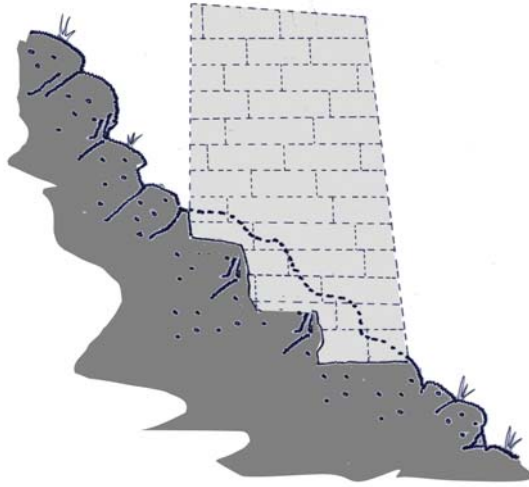


Figura 2.2. Cimentación directa en roca con excavación escalonada

2.2.2. Cimentaciones directas en terrenos “flojos”

Si la carga a transmitir al terreno era apreciable y éste tenía poca resistencia, se procedía a ensanchar la base de la pila o estribo para aumentar la superficie del cimiento hasta que la presión máxima transmitida fuera aceptable para el terreno. En puentes de fábrica era muy habitual que el ensanche de la base de la pila o muro se obtuviera con varios escalones de fábrica ordinaria (fig. 2.3). Estos escalones solían tener una altura de unos 0,40 m y unas zarpas de unos 0,20 m, resultando un talud medio de 1(H): 2(V).

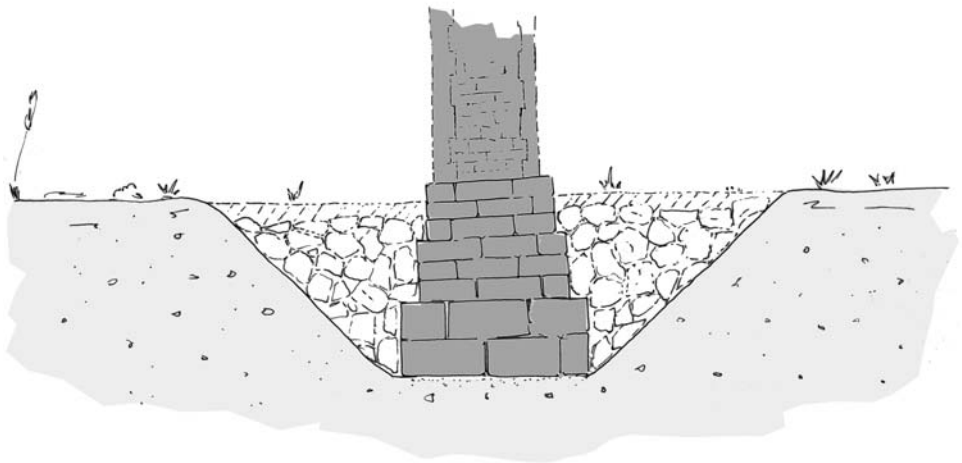


Figura 2.3. Cimentación directa en terrenos “flojos”.

El cimiento en estos casos solía ser de mampostería ordinaria bien trabada, aunque, si los mampuestos eran caros, se construía todo el cimiento con hormigón ciclópeo¹.

2.2.3. Cimentaciones directas sobre escollera

Cuando el apoyo de un puente se ubicaba en un cauce de cierto calado, los constructores antiguos construían un pedestal de piedra gruesa vertida dispuesta con pendiente 2(H): 1(V) o, más bien, 3(H): 1(V) hasta que su coronación sobresalía por encima del nivel del agua en el estiaje (fig. 2.4). Sobre ella disponían el cimiento de pilas o estribos.

Esta cimentación directa sobre escollera fue profusamente utilizada en otros tiempos, aunque también ha sido causa de numerosas ruinas de puentes. En efecto, al disponer la escollera se puede estrechar notablemente el cauce lo que, a su vez, determina un aumento de la velocidad de la corriente. Si esta velocidad es suficiente para arrastrar la escollera, ésta desaparece y se derrumba la obra.

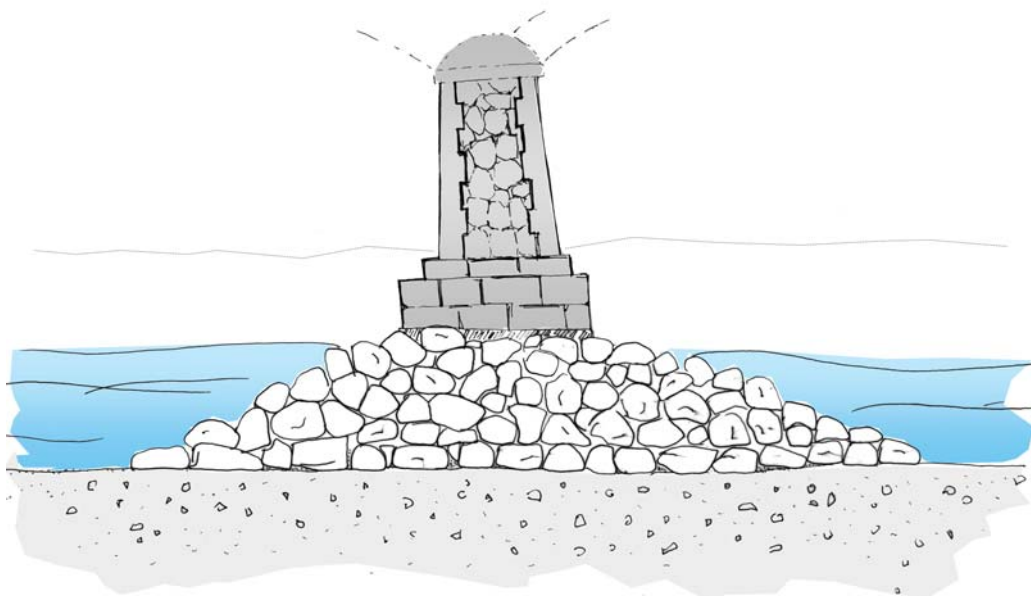


Figura 2.4. Cimentación directa sobre escollera.

¹ Según Eugenio Ribera [1], "hormigón ciclópeo" es la fábrica de hormigón ordinario en la que se incorporan grandes cantos o mampuestos de piedra suelta, cuyo volumen puede alcanzar hasta el 60% del total, exigiendo esta fábrica, para su debida resistencia y homogeneidad, que cada piedra o canto suelto esté envuelto por una capa de hormigón.

2.2.4. Cimentaciones directas con hormigón sumergido

El lecho de escollera sobre el que se asentaba el cimiento podía ser sustituido por un hormigón hidráulico que presentaba la ventaja de su menor socavabilidad.

Antiguamente este mortero sumergido se contenía y limitaba por medio de recintos de pilotes de madera o de tablestacado (fig. 2.5) o por medio de cajones sin fondo protegidos con escollera (fig. 2.6).

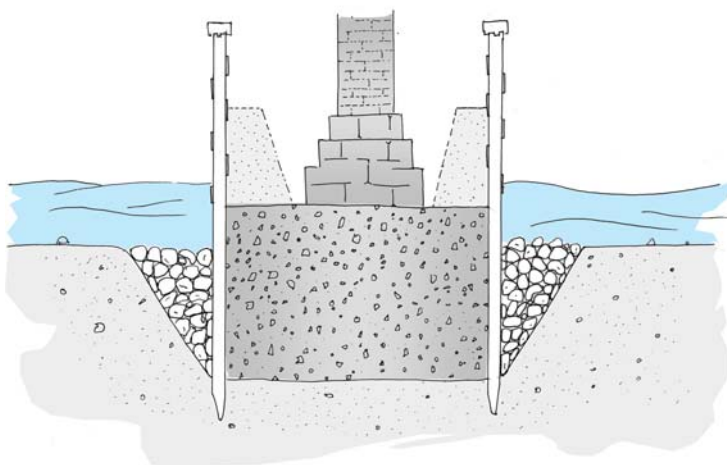


Figura 2. 5. Cimentación directa con hormigón sumergido, recinto de pilotes de madera.

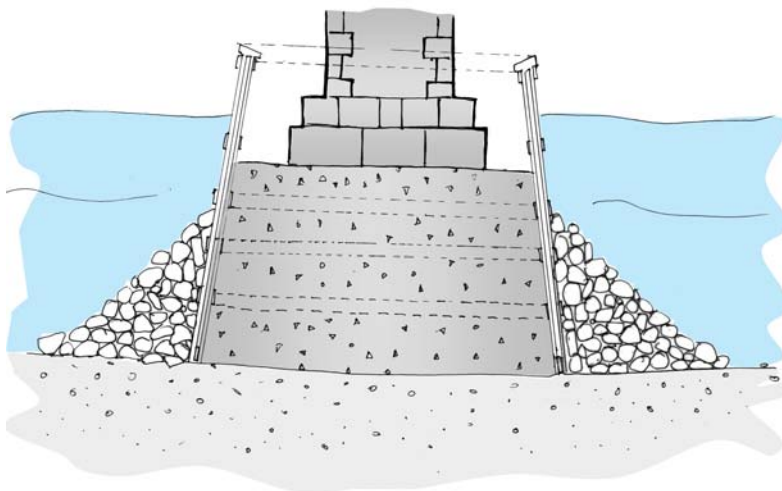


Figura 2.6. Cimentación directa con hormigón sumergido, cajones sin fondo.

2.3. CIMENTACIONES PROFUNDAS

Los pilotes y las pantallas o tablestacas se emplean para transmitir la carga de la estructura a un estrato rocoso que no aflora en superficie. También se utilizan cuando el terreno es poco resistente en una gran profundidad. Entonces se tiene una “cimentación flotante” en que las cargas se distribuyen en vertical al terreno por rozamiento.

Los pilotes y tablestacas empleadas en puentes de fábrica solían ser de madera, aunque se incluyen aquí también algunas consideraciones sobre pilotes de hormigón armado empleados en la primera mitad del siglo XX.

2.3.1. Cimentaciones profundas con pilotes de madera

Los pilotes de madera solían ser de pino o, preferiblemente, de roble, que tienen una vida útil casi indefinida si están constantemente sumergidos. Cuando era previsible que sufrieran de humedad y sequedad se pintaban con alquitrán para retardar su putrefacción.

En general, los pilotes de madera tenían un diámetro o grosor de 0,15 a 0,35 m, en función de su longitud, que solía ser entre 30 y 40 veces su diámetro, pero rara vez mayor de 10 m.

Los pilotes podían ser redondos o cuadrados, acabando en una punta cónica o piramidal de altura próxima al doble del diámetro. La punta se remataba con un “azucho” de hierro o de fundición. La cabeza del pilote se rodeaba de un “cincho” de hierro que protegía la madera durante el golpeteo que el “martinete” producía durante la hinca, ya que estos pilotes se colocaban mediante hincado por percusión. Aún así, la cabeza solía quedar deteriorada por los golpes de las mazas, por lo que debía ser serrada una vez finalizada la hinca.

Hincados los pilotes, se montaba sobre las cabezas un entramado de madera llamado “emparrillado” que se consolidaba con escollera (fig. 2.7). Sobre el emparrillado se asentaba la primera hilada del zócalo del apoyo.

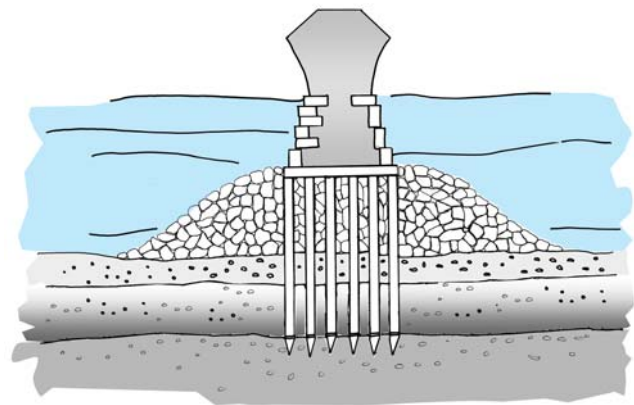


Figura 2.7. Cimentación profunda con pilotes de madera.

Para que no se pudriera la madera de los pilotes ni la del emparrillado, esta plataforma debía situarse constantemente sumergida, es decir, que debía colocarse por debajo del estiaje, lo que dificultaba la operación. Por ello, a finales del siglo XIX se perfeccionó el procedimiento, sustituyendo el emparrillado por cajones con fondo de madera y suficientemente impermeables (fig. 2.8). Así, se podían hincar los pilotes, fondear el cajón, agotar su interior y construir en seco la base de la pila.

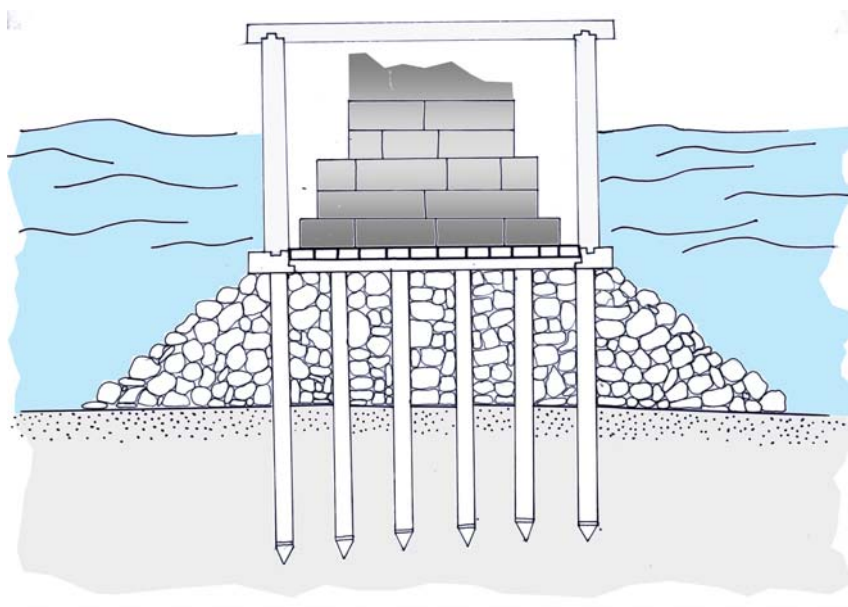


Figura 2.8. Cimentación profunda con pilotes de madera.

2.3.2. Cimentación profunda mediante pilotes de hormigón armado

En puentes de fábrica no es habitual encontrar cimentaciones mediante pilotes de hormigón armado ya que esta técnica de cimentación se empieza a utilizar con profusión en el segundo cuarto del siglo XX, coincidiendo con la época de declive de los puentes de fábrica, que empiezan a ser sustituidos por los de hormigón armado y por los de acero.

En los casos contados en que se disponían pilotes de hormigón armado como cimentación de puentes de fábrica, aquéllos solían ser de sección cuadrada de 0,20 a 0,50 m de lado y de 5 a 20 m de longitud. En general, estos pilotes se descabezaban hasta dejar vistas sus armaduras que se recibían en una solera de hormigón en masa defendida por escollera en todo su perímetro (fig. 2.9).

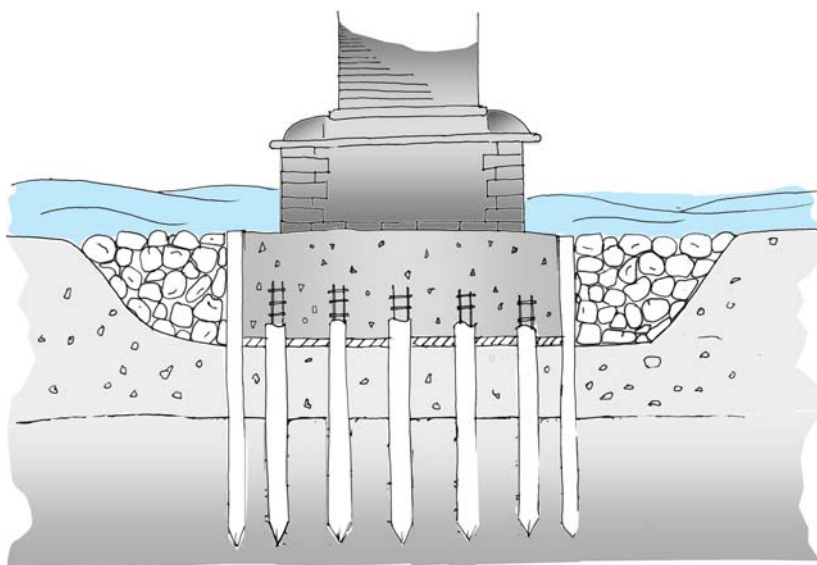


Figura 2.9. Cimentación profunda con pilotes de hormigón armado.

2.4. CIMENTACIONES SEMIPROFUNDAS

2.4.1. Cimentaciones semiprofundas con pozos

Cuando, para alcanzar el terreno firme, había que excavar terrenos flojos en una cierta profundidad, el volumen de excavación que resultaba era importante, ya que se hacía necesario tender los taludes. Para disminuir esta excavación había que recurrir a “entibar”, es decir, a sostener con un entramado de puntales horizontales la excavación localizada del cimientó, realizada con taludes más verticales que los admisibles para ejecutar una excavación convencional.

Si la profundidad era importante el coste de la entibación resultaba excesivo por lo que se recurría a la cimentación con pozos. Esta técnica se basaba en ejecutar un pozo entibado desde superficie hasta el estrato competente que, posteriormente, se rellenaba con mampostería recibida con conglomerantes hidráulicos u hormigón ciclópeo.

2.4.2. Cimentaciones semiprofundas con cajones indios

Sin embargo, en cauces fluviales la excavación y posterior relleno del pozo se podía complicar debido a la presencia de agua. Por ello, en estos casos se buscó un

procedimiento constructivo de la cimentación que permitiera trabajar en seco hasta alcanzar el sustrato competente deseado. Para ello, se emplearon profusamente los llamados “cajones indios”. Estos consistían, en esencia, en construir sobre un anillo o cajón cerrado rectangular un prisma de cierta altura con la misma directriz que el cajón o anillo, pero sin fondo ni tapa. El anillo o cajón de base solía tener un acabado en punta para facilitar su hinca.

Una vez construido el prisma con su base, se excavaba el terreno desde el interior del cajón alcanzando la zona inferior del apoyo del cajón. Al excavar el terreno natural por debajo de la base, el propio peso del cajón lo hacía penetrar dentro del terreno salvando el rozamiento lateral del cajón contra el terreno.

Una vez alcanzada la cota requerida se procedía al agotamiento en caso de que existiera agua y al relleno del interior del cajón con fábrica. Si el agotamiento no podía mantenerse, se dragaba el interior y se rellenaba el espacio resultante con hormigón sumergido.

Cuando se empleó este procedimiento en puentes de fábrica, los cajones eran de madera, lo cual presentaba el inconveniente de su poco peso y de la consiguiente dificultad de hinca. En España, desde principios del siglo XX se sustituyó la madera por hormigón armado, siendo este procedimiento muy utilizado para cimentar pilas en cauces fluviales o en terrenos poco firmes.

2.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Ribera J.E. *“Puentes de fábrica y hormigón armado” Tomo III. Anteproyectos y puentes de fábrica.* 1936.