

## CAPITULO XI

---

### CIMENTACIONES INDIRECTAS SOBRE PILOTAJE O PILARES

Cimentaciones indirectas. — Pilotajes y emparrillados. — Pilotajes y cajón con fondo. — Pilotajes y hormigón. — Pilotajes en terrenos fangosos. Palizadas metálicas. — Palizadas de hormigón armado. — Cimientos sobre pilares aislados. — Resumen.

**Cimentaciones indirectas.** — Son muy frecuentes los ríos con lechos de aluvión profundos y socavables, en los que los cimientos *directos* resultan caros, en cuanto se quiere alcanzar con ellos profundidades superiores a tres metros.

Deben estudiarse entonces las posibles *cimentaciones indirectas*.

Consisten en soslayar la dificultad y reducir el gasto, alcanzando las profundidades que se consideran resistentes e insocavables, mediante *pilotes* hincados en el terreno, o *pilares aislados* fabricados *in situ*.

Pueden unirse las cabezas de estos pilotes o pilares con plataformas o soleras de repartición.

Pero pueden también prolongarse los pilotes o pilares por encima del terreno, en forma de palizadas, que sustituyen a las pilas y estribos de las obras.

Estudiaremos todas estas disposiciones.

**Pilotaje con emparrillados.** — La cimentación que con más frecuencia emplearon para los grandes puertos los constructores del siglo XVIII es la representada en la figura 211.

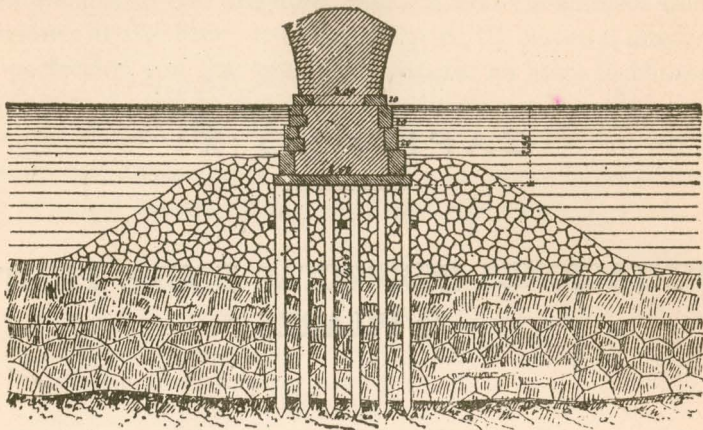


Fig. 211.

Consiste en un fuerte pilotaje, de roble preferentemente, sobre cuyas cabezas se montaba un robusto entramado de maderas en ambos sentidos, cuidadosamente ensamblados, que se denomina *emparrillado*.

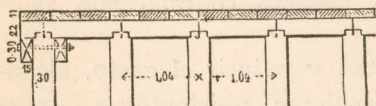


Fig. 212. Emparrillados.

En la figura 212 representamos dos tipos de despieces empleados para estos emparrillados.

Se consolidaba el pilotaje con escollera, y sobre el emparrillado se construía la primera hilada de zócalo del apoyo.

Para que no se pudra la madera de los pilotes y del emparrillado es condición precisa que esta plataforma se encuentre constantemente sumergida, es decir, que debe colocarse por debajo del estiaje, lo que dificulta la operación, tanto más, cuanto que la hinca de los pilotes no es siempre regular, y sus cabezas no suelen estar en línea perfecta, lo que impide, a su vez, un apoyo homogéneo de las vigas del emparrillado.



**Pilotajes y cajones con fondo.** — Se perfeccionó el procedimiento anterior a principios del siglo XIX, sustituyendo el emparrillado por cajones con fondo de madera (fig. 213).

Entonces podían serrarse los pilotes a mayores profundidades, y sobre ellos se fondeaba el cajón, que debía ser suficientemente impermeable para permitir su agotamiento.

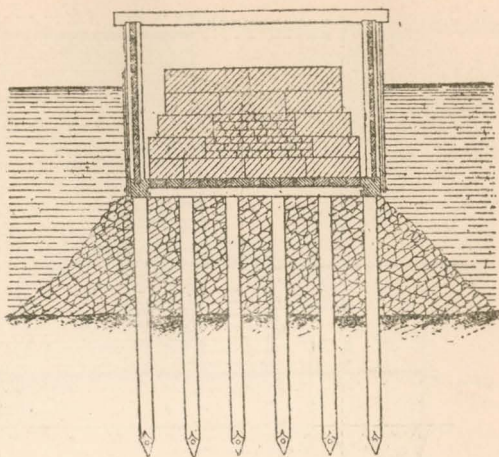


Fig. 213.

Efectuado éste, se construían en seco las hiladas necesarias para sacar los apoyos fuera del agua.

Con este procedimiento se han cimentado monumentales puentes de piedra, entre otros el de Jena, en París, que parecen tener larga vida; pero son cimientos costosos, a pesar de su aparente sencillez, por efecto del gasto elevado de esos cajones con fondo, sobre todo con el encarecimiento enorme que ha sufrido la madera y su mano de obra especializada.

**Pilotajes y hormigón.** — El empleo del hormigón sumergido permitió suprimir la enorme complicación de los emparrillados y cajones con fondo, que ya no se usan en ningún cimiento.

Lo que se hace, y es muy preferible por todos conceptos, es envolver las cabezas de los pilotes con una solera general de hormigón sumergido, que se contiene dentro de una ataguía, o mejor aun de un recinto ligero y desmontable (fig. 214).

Se da a esta solera la altura del terreno dragado antes de hincar los pilotes, y se defiende con escollera en todo su perímetro.

Este procedimiento, que se ha empleado en un gran número de casos y con pilotes de madera, entre otros el puente de Santa Catalina, en San Sebastián (fig. 215), y en algunos puentes con pilotes metálicos de rosca, ya no se aplican más que con pilotes de hormigón

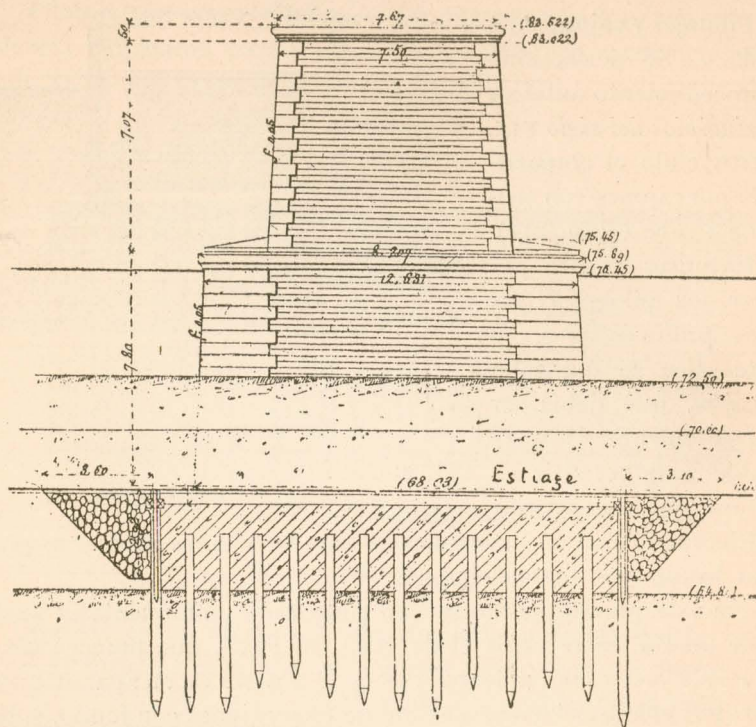


Fig. 214.

armado, que son tan baratos como los primeros y bastante más que los segundos y resultan más duraderos que ambos.

Además, ofrece la ventaja de su mayor solidaridad con la solera de hormigón.

A ese efecto, conviene romper las cabezas de los pilotes de hormigón armado para descubrir sus armaduras, que quedan así engarzadas en la masa general del hormigón sumergido.

Este tipo de cimiento es el que hemos empleado en las pilas y estribos del puente de María Cristina, de San Sebastián, para arcos de 30 m. rebajados al 1/12 (fig. 216), cimentado en arena indefinida, y en todos los puentes de los ferrocarriles de Ceuta a Tetuán y Tán-ger a Fez, con tramos rectos de 12 a 18 m. de luz, cimentados en aluviones y arenas fangosas.

Se dragaba generalmente un metro de profundidad en el lecho



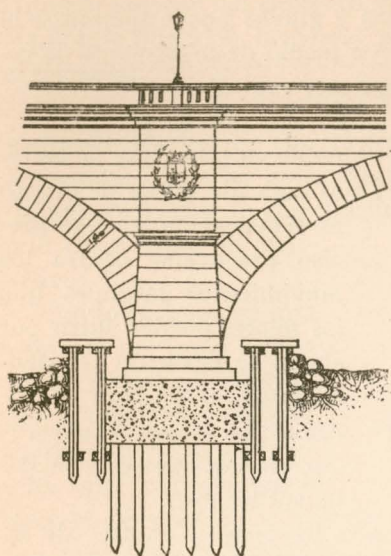


Fig. 215. Puente de Santa Catalina, en San Sebastián.

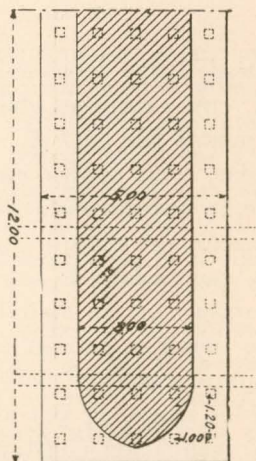
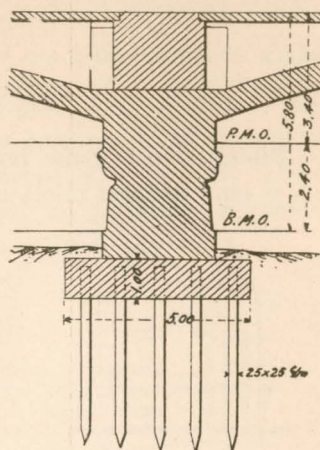


Fig. 216. Puente de María Cristina, en San Sebastián.

del río, colocándose un recinto de madera. Hincábanse los pilotes, cuyas cabezas se rompían. Se agotaba cuando se podía, y si no, se sumergía el hormigón con el mayor cuidado.

En algunos puentes del ferrocarril de Tánger a Fez, en que el terreno era fangoso, se mejoró el recinto, sustituyéndolo por un cajón sin fondo de hormigón armado.

Es, pues, un procedimiento de cimentación de gran rapidez y economía, que resuelve el problema de la mayor parte de los lechos de aluvión, con suficientes garantías de duración.

Siempre que se teman socavaciones del lecho, se consolidará éste con escollera arrojada alrededor de la solera de hormigón, o si no hubiera piedra gruesa, con cajas de alambre galvanizado (llamadas gaviones), rellenas con las gravas que se encuentren en el río o sus inmediaciones.

Por último, en terrenos de arenas y gravas puede mejorarse la solera de hormigón y sus defensas por medio de inyecciones de cemento, según explicaremos en el siguiente capítulo.

**Pilotajes en terrenos fangosos.** — Aunque en esta clase de terrenos el cimiento por pilotaje parece el más indicado, y por de pronto es el más económico, es preciso precaverse contra los movimientos laterales que los pilotes pueden sufrir por efecto de la escasa resistencia que a ellos opone la fluidez de los fangos o las socavaciones desiguales y fáciles de sus lechos.

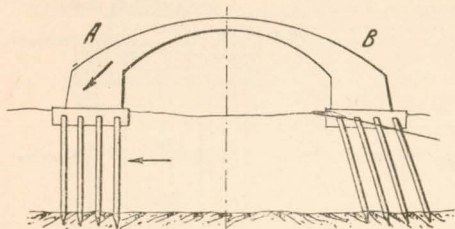


Fig. 217.

Desde luego deben evitarse entonces los puentes en arco de fábrica, cuyos empujes oblicuos hacen girar los estribos alrededor de sus puntas (fig. 217 A), lo que ha obligado a reconstruir algunas bóvedas, como ocurrió en el puente de los Inválidos, de París.

Se ha querido soslayar este peligro hincando los pilotes según la inclinación del empuje (fig. 217 B); pero no puede evitarse por completo, por cuanto *no sólo la intensidad, sino la dirección de los empujes*, varían con las sobrecargas que actúan sobre los arcos, y, por tanto, la inclinación constante de los pilotes no puede contrarrestar siempre la oblicuidad variable de los empujes.

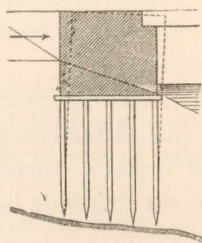


Fig. 218.

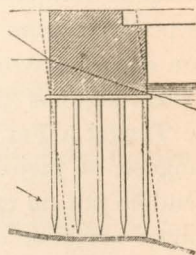


Fig. 219.

Parece que entonces debía obviarse este inconveniente construyendo los puentes con tramos rectos que sólo produzcan presiones verticales sobre los apoyos. Pero tampoco se evitan así los movimientos que en subsuelos fangosos pueden determinar los empujes oblicuos de los terraplenes de avenidas.

Pueden ocurrir dos efectos: o que el empuje directo del terraplén haga girar los estribos hacia el tramo, como en la figura 218, o que



el fondo fangoso del cimiento, comprimido por el terraplén, empuje el pilotaje (fig. 219), haciendo, por el contrario, girar el estribo hacia el terraplén.

Previendo estas contingencias, suele procederse cargando previamente los fangos con el peso de los terraplenes de avenidas, aumentado por las sobrecargas que sobre ellos pueden actuar (figura 220), con lo que pueden alcanzar un equilibrio aparente, que no siempre es definitivo.

Así lo hicimos en una vaguada del trozo primero del ferrocarril de Tán-ger a Fez. Pero después de construir una alcantarilla que necesitábamos

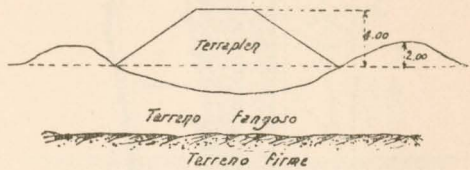


Fig. 220.

para el desagüe de las grandes lluvias, continuaron los movimientos y nos ha sido preciso trasladar aquella obra hacia la ladera más firme, mediante una variación de cauce de alguna importancia.

En el puente sobre el Oust (Bretaña) ocurrió lo mismo, a pesar de la precaución también adoptada de construir previamente los terraplenes de avenida, con lo que se consiguió comprimir el fango debajo de los estribos y de aligerar considerablemente el volumen de los estribos para reducir su peso.

Pero tampoco fueron suficientes aquellas precauciones, por cuanto, después de construido el puente con una viga recta continua y metálica de tres tramos, de 15 y 18 m. de luces, comenzaron los estribos a moverse, por lo que fué necesario arriostrar los cuatro cimientos mediante robustos entramados de madera dentro del lecho del río (fig. 221).

En casos semejantes cree el autor que, además de la indispensable precaución de la carga previa por los terraplenes, *cuya cota conviene reducir cuanto sea posible*, deben sustituirse los puentes, como dijimos en el tomo I, página 238, por grupos de alcantarillas, mejor aun que de pontones, con tramos rectos de hormigón armado de poco peso y palizadas dobles que no perturben en lo más mínimo el régimen de la corriente.

Es, efectivamente, algún tanto arriesgado construir pilas o recintos de grandes espesores en estos terrenos fangosos, tan fáciles

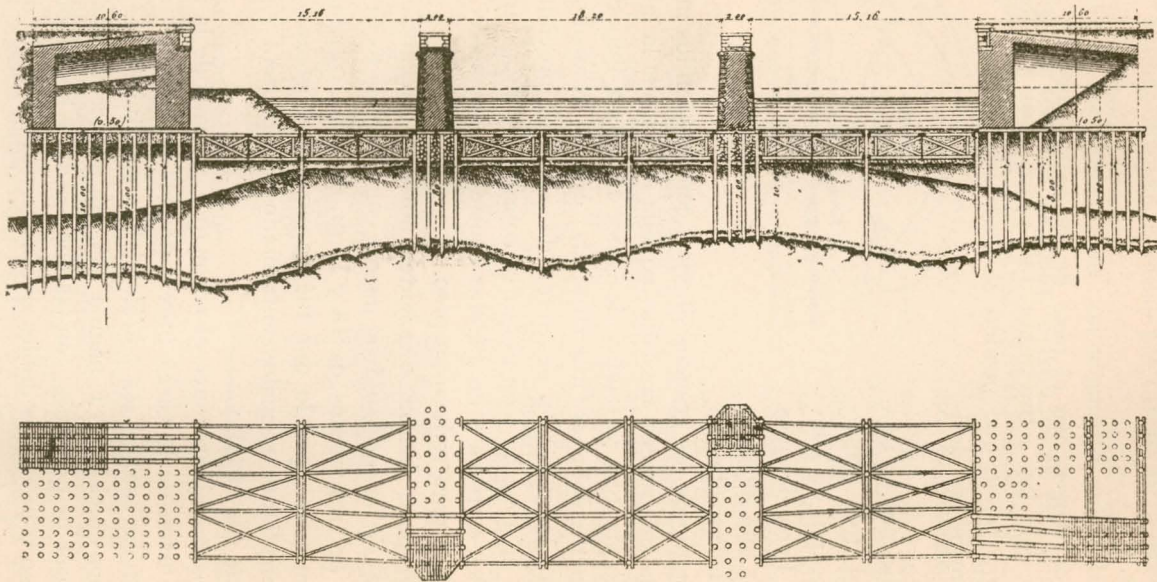


Fig. 221. Puente del Oust (Bretaña).



de socavarse, con pequeños aumentos de velocidad o remolinos del río, pues en cuanto la socavación se verifica desigualmente en el perímetro del cimiento, el empuje de la parte no socavada basta para inclinar hacia el lado opuesto los pilotes o el cimiento.

Deben, en todo caso, arriostrarse estos pilotajes, uniendo sus cabezas con rígidas *soleras de hormigón armado*, que impidan las flexiones laterales de los pilotes.

**Palizadas metálicas.**—Por analogía con los puentes y muelles de madera, se han construído muchos puentes y muelles metálicos, en los que, sobre los pilotes de fundición o acero, descritos en el capítulo IV, se levantaban palizadas de igual material que sostenían directamente el tablero.

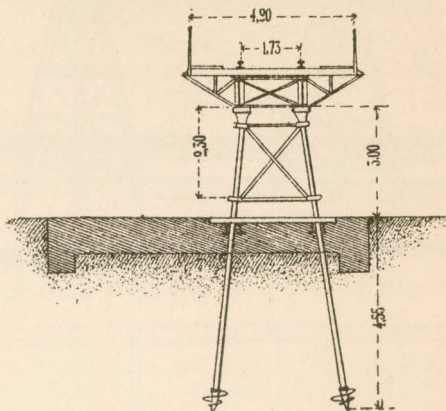


Fig. 222. Puente sobre el río Muga.

Indicamos algunas de las disposiciones más características (1):

Figura 222.

*Puente sobre el río Muga.* Palizada sencilla de pilote macizo de acero dulce, para el ferrocarril de Barcelona a Francia.

Figura 223.

*Puente del río de las Piedras.* Palizada do-

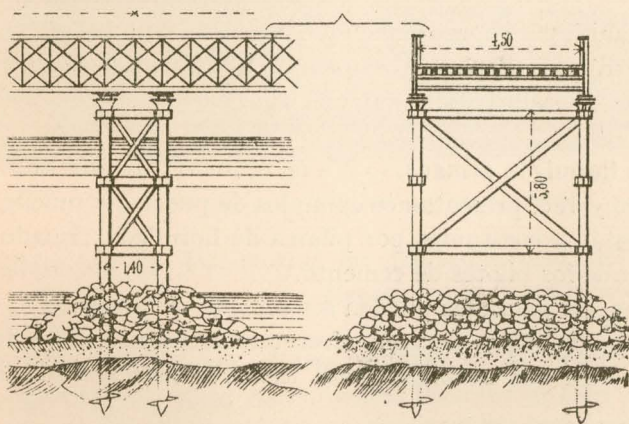


Fig. 223. Puente sobre el río de las Piedras (Huelva).

(1) En mi ya citado libro *Puentes económicos sobre palizadas y pilotes metálicos* reproduce con detalle todas las obras construídas con análogas disposiciones.

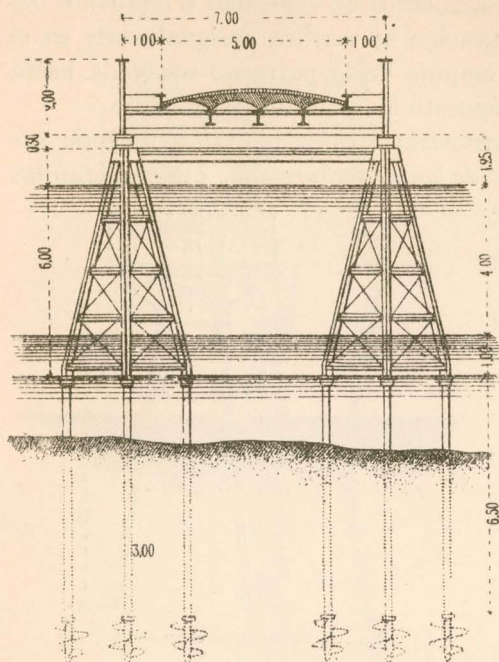


Fig. 224. Puente de Ribadesella (Asturias).

ble de tubo de fundición.

Figura 224. *Puente de Ribadesella*. — Palizadas piramidales, pilotes de fundición, rosca de acero fundido, entramado de acero laminado (proyecto del autor del año 1888).

Estas disposiciones, al suprimir las pilas de fábrica, permiten una sensible economía y gran rapidez de ejecución.

Tan evidentes ventajas parecían aconsejar la generalización del sistema, y así lo preconizábamos en nuestro citado libro.

Pero la aparición de los pilotes de hormigón armado y la manifiesta superioridad que ofrecen sobre los pilotes metálicos, desterró por completo el empleo de éstos, y claro está que el de las palizadas metálicas, que eran una consecuencia de aquéllos.

**Palizadas de hormigón armado.** — Ya en el tomo I de este libro, páginas 105, 106 y 186, presentamos ejemplos de puentes y muelles cuyos apoyos están constituídos por pilares de hormigón armado, en prolongación de los pilotes de cemento.

Para puentes, las palizadas pueden ser sencillas o dobles.

Las primeras (fig. 225), parecen ofrecer menos obstáculo a la corriente del río en sus avenidas, pero tienen escasa resistencia lateral (1).

Las palizadas dobles, con tajamares, sobre todo (fig. 106 del

(1) Las hemos empleado en numerosos puentes, entre otros, todos los de la carretera de Ceuta a Tetuán.



tomo I y fig. 226), que después de muchas aplicaciones empleamos ahora con más frecuencia, ofrecen una rigidez similar a las de las pilas de fábrica. Deben emplearse en los ríos de violenta corriente (1).

Hemos también adoptado en algunos casos una disposición mixta.

Constituímos entonces el puente en varios trozos, independientes cada uno de ellos de tres a cinco tramos.

Las palizadas extremas de cada trozo son dobles, con tajamares y chapas de plomo para la

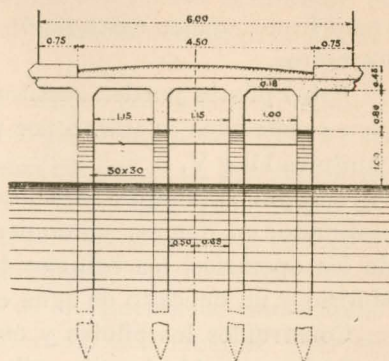


Fig. 225. Puente sobre una palizada de H. A. para la carretera de Ceuta a Tetuán.

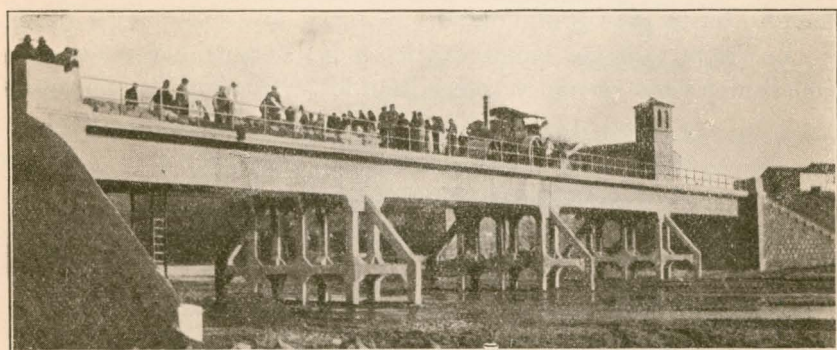


Fig. 226. Puente sobre el río Perales (Madrid).

dilatación de los trozos; las palizadas centrales son sencillas.

Ya discutiremos estas disposiciones de apoyos en el tomo III.

**Cimientos sobre pilares aislados.**— Al describir en el capítulo VIII los tipos de cimientos directos al aire, incluimos entre ellos el que se emplea algunas veces en Madrid para las casas sobre terrenos echadizos de relleno.

(1) Las hemos empleado en varios puentes de la Península y de la carretera de Tánger a Larache.



Consiste en pilares aislados de fábrica, que se llevan hasta el terreno firme, unidos entre sí por bóvedas, sobre las que se levantan los muros.

Estos pilares pueden sustituirse por pilotes de hormigón Simplex construídos *in situ*, o por pilonos Compresol, descritos en los capítulos IV y V.

Con pilotes Simplex cimentamos en un terreno fangoso y nauseabundo, en que los agotamientos eran peligrosos para la salud de los operarios, los edificios frigoríficos del nuevo Matadero de Madrid y un depósito de agua elevado.

Construídos los pilotes y empotradas en sus cabezas unas armaduras, se moldeaba sobre ellos unas fuertes carreras de hormigón armado. Sobre éstas se levantaron los muros del edificio.

Con los pilonos Compresol se ha cimentado el notable puente del Risorgimento (tomo I, pág. 139), formado por un arco de 100 m. y 20 m. de ancho, sobre el Tíbre, en Roma, construído en un terreno fangoso hasta gran profundidad.

Los siete tabiques longitudinales y los siete transversales que constituían cada estribo y transmitían al terreno una presión total

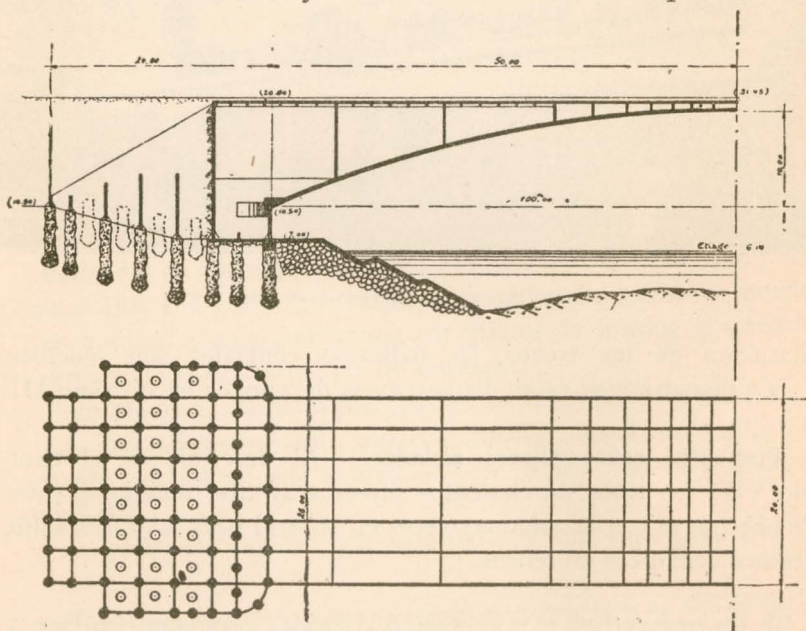


Fig. 227: Puente del Risorgimento sobre el Tíbre (Roma).

de 16.000 toneladas se apoyaban sobre 72 pilonos Compresol; es decir, que a cada pilono de 7 m. le correspondía una carga de 111 toneladas (fig. 227).

Para evitar el deslizamiento del estribo, por el empuje enorme de un arco de 100 m. rebajado al 1/10, se terraplenaron los 24 alvéolos formados por los tabiques antes citados, y en este relleno se hincaron otras 24 raíces Compresol, de hormigón armado, que actuaron como pernos de unión entre el terreno natural y el terraplén, e impidieron todo movimiento longitudinal.

Es este un interesante ejemplo de un puente de dimensiones excepcionales construído sobre un terreno casi fangoso, pues los pilonos de dicho cimiento no alcanzaron el terreno firme.

**Resumen.** — Las cimentaciones por medio de pilotes o pilares de hormigón armado permiten una rápida y económica solución en terrenos de aluvión, que son los más frecuentes en los ríos, lo que justifica la preferencia que hemos dado a este procedimiento en más de la mitad de los cimientos por el autor ejecutados, sobre todo para tramos rectos de hormigón armado.

También para puentes en arco puede recurrirse a las cimentaciones con pilotajes hincados verticalmente, como en el puente de María Cristina, de San Sebastián, siempre y cuando estén fuertemente arriostradas sus cabezas por una rígida solera de hormigón u hormigón armado.

En el caso en que el terreno, por su escasa consistencia o por su excesiva fluidez, hiciera temer alguna desviación lateral de los pilotes, por el efecto de los empujes oblicuos de los arcos, podrían éstos compensarse en parte hincando oblicuamente los pilotes con los martinetes especiales descritos en el capítulo V, pág. 93.

Pero como ni la intensidad ni la dirección de estos empujes oblicuos es constante, pues varían con la importancia y la situación de las sobrecargas, es preferible en estos terrenos prescindir de la superestructura de arcos, proyectando los puentes con tramos rectos.

En éstos la verticalidad de las presiones sobre el centro de los apoyos suprime las componentes horizontales en el pilotaje, lo que no sólo reduce sus dimensiones sino que facilita su hinca.

