

CAPÍTULO XIII

DEFENSAS, REPARACIONES Y ENSANCHES DE CIMIENTOS

§ I. **Defensas.**

Con escolleras. — Con fajinas. — Con gaviones. — Con rastrillos.
Con recintos de tablestacas.

§ II. **Reparaciones.**

Con hormigones sumergidos. — Con aire comprimido. — Con ataguías-cajones de hormigón armado. — Con inyecciones de cemento o mortero.

§ III. **Ensanches.**

Ocurre frecuentemente que, por escasez de recursos, tienen que ejecutarse los cimientos con peligrosas parsimonias. Hay que defenderlos entonces contra las más probables contingencias.

Otras veces, en obras antiguas, se observan socavaciones profundas o desviaciones de cauces, que ponen al aire y en peligro los cimientos. Es preciso acudir con rapidez a defenderlos, para evitar mayores males.

También sucede que, ya sea por destrucción de sus elementos, ya por empujes y trabajos superiores a los calculados, hay que reparar o reconstruir algunos cimientos.

Por último, puede necesitar el ingeniero ensanchar los puentes, y es casi siempre necesario aumentar los cimientos de los que existen.

Reseñaremos los procedimientos más corrientes de *defensas, reparaciones y ensanche* de estos cimientos.

§ I. Defensa de los cimientos

Defensas con escollera. — Ya dijimos en el capítulo anterior, § III, que, en vez de consolidar todo el cauce del río por medio de un zampeado general de escollera, era más frecuente defender los cimientos algún tanto precarios por medio de gruesas piedras vertidas alrededor de los cimientos.

Conviene que este escollerado no sobresalga de la superficie del cauce, y para ello deben utilizarse los taludes de las excavaciones practicadas para el cimiento.

Deben también las piedras ser bastante gruesas para no ser arrasadas por las avenidas y regularizarse su talud o superficie para que no provoquen remolinos ni choques alrededor de los apoyos que defienden.

Es necesario, por último, sobre todo durante los primeros años después de su ejecución, vigilar estas defensas y repararlas, si en cualquier avenida se observase su desaparición o enterramiento.

Con este tipo de defensa hemos conseguido cimentar con sencillez y economía muchos e importantes puentes levantados en lechos profundos de arena.

En San Sebastián, el puente de María Cristina, sobre el Uruemea (página 259), tiene sus pilas y estribos cimentados sobre una solera de hormigón de 1 m. y pilotes de hormigón armado de 5 m. Con una defensa de escollera, que no excedió de 0,50 m.³ por metro lineal de perímetro de solera, hemos conseguido consolidar tan ligero cimiento, construido en 1905, y que desde entonces no ha sufrido socavaciones sensibles (1).

Asimismo hemos defendido un gran número de apoyos en los puentes de la carretera de Ceuta a Tetuán, constituidos con paliza-

(1) Ya citamos en el capítulo anterior el zampeado general de escollera ejecutado sobre el mismo río Uruemea, para defender los cimientos del puente del Kursaal, también en San Sebastián y en la misma barra de la ría.

das y pilotes de hormigón armado, análogos al representado en la figura 238 del capítulo anterior.

Defensas con fajinas. — Cuando se dispone de ramajes en abundancia, que permitan construir los enfajinados descritos en el capítulo XII, pueden defenderse las pilas con plataformas de esta clase (figura 243 bis).

Se proporciona su ancho a la profundidad que se suponga que pueden alcanzar las socavaciones y se recubren de escollera, además de la que se entrelaza entre las mallas del colchón de fajinas. Cuando el terreno cede, la plataforma se pliega y amolda, bajando de $A B$ a $A' B$. Se citan ejemplos de flexibilidad que han permitido a estas defensas replegarse hasta 20 m. de profundidad (1).

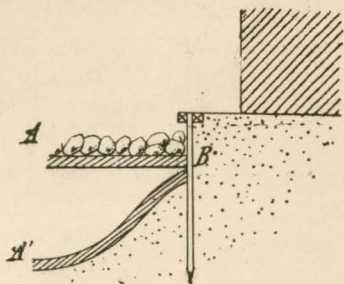


Fig. 243 bis.

Defensas con gaviones. — Pero no siempre se dispone, económicamente hablando, de piedra bastante gruesa, ni de ramajes para fajinas, que permitan defender eficazmente los cimientos precarios.

Se sustituyen entonces estas defensas con los gaviones de tejido metálico, descritos en el capítulo anterior, § III, rellenos con la piedra de que se disponga y reduciendo su número e importancia a la necesaria para conseguir la defensa que se persigue, pero no en todo el ancho del río, sino solamente en aquellos cimientos que no inspiren confianza completa.

Así, por ejemplo, en el puente sobre el Lucus, del ferrocarril de Tánger a Fez, no encontramos en los estribos el terreno firme, sino en una capa de arcilla casi horizontal, situada a unos 2 m. por debajo del río (figuras 244 y 245).

Para reducir el gasto considerable que hubiesen ocasionado los cimientos de estribos profundizados hasta aquella arcilla, consideramos preferible defender con gaviones de piedra de balasto las dos

(1) En el pie de la presa de Scheur, en la desembocadura del Mosa.—*Croizette-Desnoyers*. Cours de construction des ponts. Tomo I, página 288.

márgenes del río en una zona de unos 26 metros de ancho, por debajo de los tramos inmediatos.

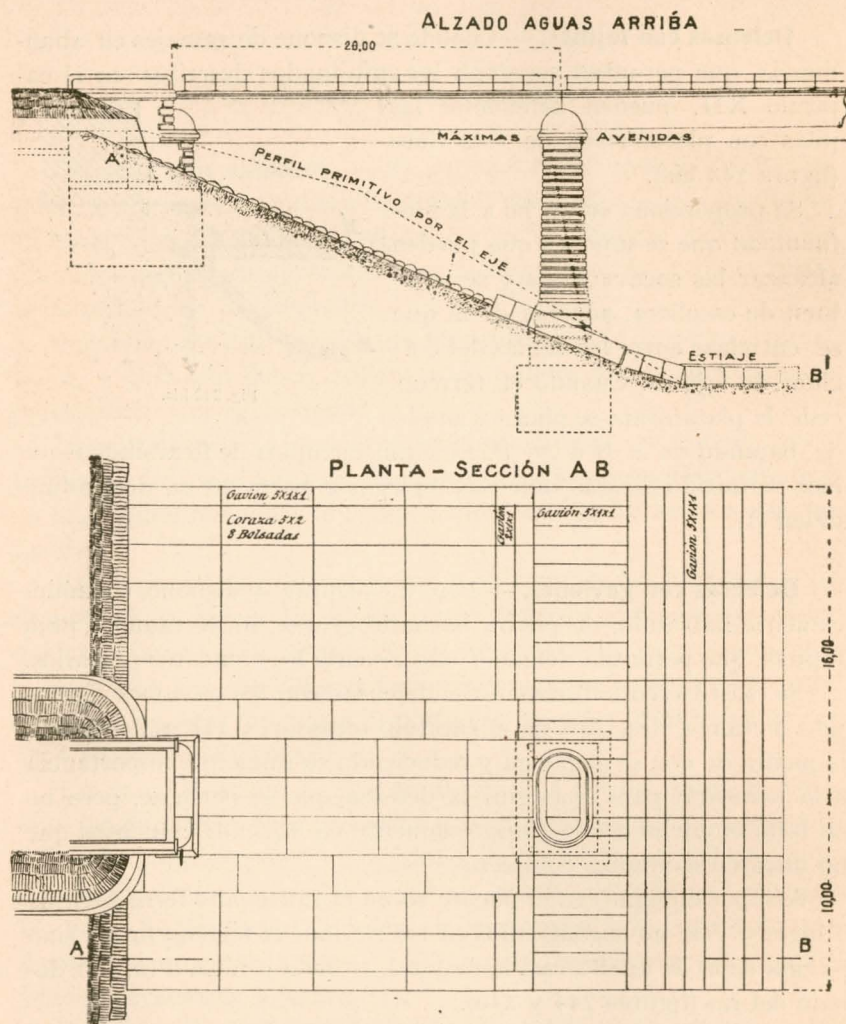


Fig. 244. Defensa con gaviones del puente sobre el Lucus, en Alcazarquivir.

Con rastrillos. — Antiguamente se defendían los cimientos poco profundos con rastrillos constituidos por un doble recinto de pilotes y tablestacadas, *A B - C D*, entre los que se dragaba el terreno hasta donde se podía, rellenándose con escollera, que se reforzaba con otro escollerado exterior (fig. 246).

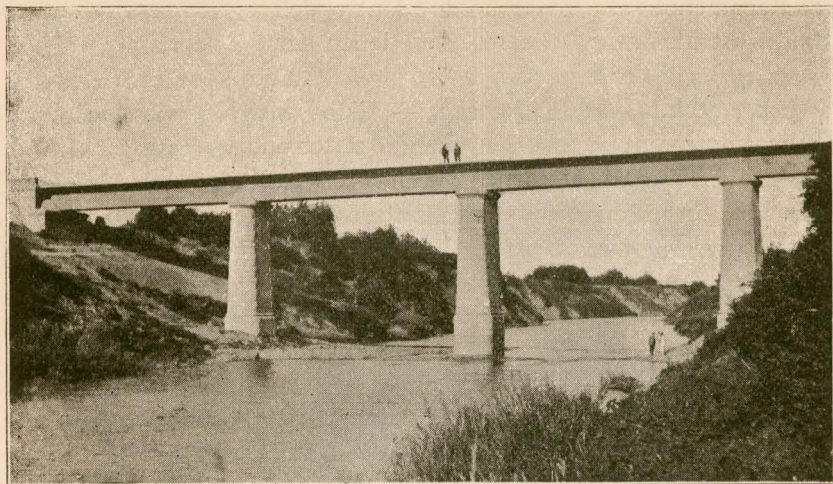


Fig. 245. Puente sobre el Lucus (Alcazarquivir), para el ferrocarril de Tánger a Fez.

Pero así se reducía sensiblemente la sección de desagüe. Para evitarlo, se ejecutaban a veces estos rastrillos, por debajo del nivel de estiaje, con el andamio que figura de puntos en la figura 247, que representa los cimientos de las pilas del puente de Ronen.

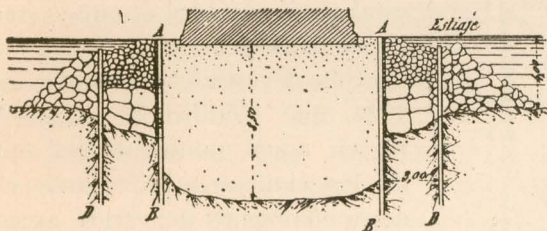


Fig. 246.

pilotes y tablestacas *A B*; se construyó después otro recinto exterior *C D*, serrado a 6 m. bajo el estiaje, arriostrado con el primero y defendido con escollera. El espacio entre los dos recintos, que constituye lo que se designa con el nombre de *rastrillo bajo*, se relleno con hormigón sumergido,

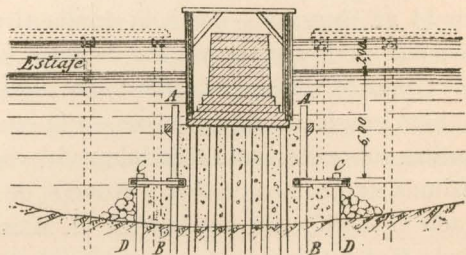


Fig. 247.

análogamente al comprendido dentro del recinto interior. Pero tales rastrillos resultan caros y no deben emplearse ya.

Con recintos de tablestacas. — Estos rastrillos pueden sustituirse muy ventajosamente, cuando el terreno lo permita, por un recinto único de tablestacas metálicas, o mejor aún, de hormigón armado, ambos descritos en el capítulo IV, hincadas a una profundidad mayor que la socavación más honda que pueda preverse.

Si la hinca del recinto no puede ser bastante profunda, debe completarse la defensa del cimiento vertiendo alguna escollera gruesa por fuera del recinto.

En el puente sobre el Guadalquivir, en La Algaba, uno de los estribos y nueve pilas del grupo de pontones de 6 m. que le siguen para el desagüe de las crecidas, estaban cimentadas en arena con profundidades de 4 m.

Una devastadora avenida, en 1924, que modificó el cauce del río en aquel punto, socavó uno de los cimientos, provocando el derrumbamiento de varios arcos del grupo de pontones.

Se resolvió defender todos estos cimientos, mediante un recinto único de tablestacas metálicas

de 11 m., hincadas hasta la arcilla firme, envolviendo los cimientos del estribo y de las nueve pilas (fig. 248).

Como se utilizaron tablestacas algún tanto deformadas, que se habían empleado varias veces en la cimentación de la presa de Peñafior, sobre el mismo Guadalquivir, y el terreno contenía capas durísimas de gruesos cantos y troncos de árboles, la hinca, encomendada al inteligente constructor D. Manuel Távora, resultó muy difícil. Hubo tablestaca que necesitó mazas de 1.500 kg. cayendo

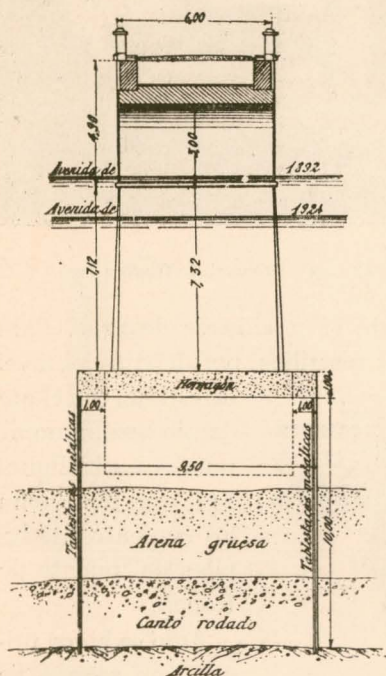


Fig. 248.

de 4 m., porque el martillo trepidante americano de 1.700 kg. no la movía.

Para completar la defensa de los cimientos, se ejecutó un zampeado general de hormigón de un metro de grueso, en toda la extensión del recinto y se defendieron además los conos del terraplén de avenidas con gaviones y corazas de tejido metálico.

El resultado de estas obras parece muy satisfactorio.

Cuando no se dispone de tablestacas metálicas de los tipos especiales que describimos en la página 66, pueden, como hemos dicho, fabricarse de hormigón armado.

Pero también pueden utilizarse, sobre todo para defensas, viguetas ordinarias de doble T, que se encuentran en todos los almacenes de hierro, y así lo ha hecho con éxito el citado constructor Sr. Távora.

La sujeción de estas viguetas, que pueden ser de 20 cm., se efectúa por unos ganchos T, llamados *trapas* (figura 249), de fleje de acero de 40×20 milímetros, que atraviesan el ala de cada vigueta, previamente agujereada; la operación debe hacerse en caliente para poderlas doblar, amoldándolas al perfil.

Cada tablestaca debe llevar sobre un canto todas sus trapas: las más altas, $t t'$, a unos 30 cm. de separación; las demás, t'' , pueden ponerse de 1 a 1,50 m. de distancia. Las puntas de las viguetas deben cortarse en bisel B para facilitar la hinca.

Una vez hincada la primera vigueta, se presenta la segunda con su cabeza engrasada, en los huecos de las trapas de aquélla, entre las que desliza. Para conseguir la rigidez del recinto se pueden acuñar las cabezas de las viguetas con planos de acero C.

El conjunto llega a ser estanco, por el mismo orín que cría el hierro. Se hincan con facilidad con cualquier maza y se extraen con un aparejo diferencial.

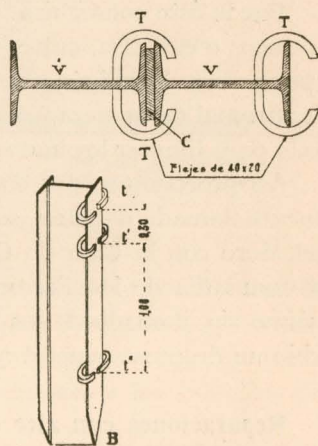


Fig. 249.

§ II. Reparaciones de cimientos

Reparaciones con hormigones sumergidos. — Los lechos de los ríos sufren a veces descensos sensibles en parte y a veces en todo el ancho del cauce. Estas socavaciones dejan al aire cimientos que habrán resistido muchos años y muchas avenidas.

Si el cimiento está constituido por pilotaje y emparrillado de madera, se pudren rápidamente aquellas partes, que sufren alternativas de humedad y sequedad y es forzoso rellenar los huecos para impedir el asiento de los apoyos y la consiguiente ruina de la obra.

Puede éste conseguirse sumergiendo cuidadosamente hormigón en sacos o en masa, entre los pilotes, y recalzando los zócalos de los apoyos con hormigón bien apisonado, contenido en un recinto provisional de madera, con auxilio de buzos, si fuera preciso, sobre todo para limpiar los huecos entre los pilotes.

Así procedimos, por encargo de S. M. el Rey, para recalzar el puente llamado del Rey, sobre el Manzanares, que enlaza el Campo del Moro con la Casa de Campo, y análogo procedimiento empleó la Compañía de los Ferrocarriles del Norte en su puente sobre el mismo río, llamado de los Franceses, donde el lecho del río ha sufrido un descenso general que excede de 2 m. (1).

Reparaciones con aire comprimido. — En ciertos casos es preciso recurrir al empleo del aire comprimido, en cajones o campanas al efecto preparadas.

Uno de los ejemplos más interesantes es la reparación ejecutada en los cimientos del llamado Pont Neuf, de París, construido en 1578 (2).

Este puente se había cimentado a 1,50 m. por debajo del lecho que entonces tenía el Sena, apoyando sencillamente unas traviesas

(1) El cauce del río Manzanares ha descendido sensiblemente de nivel por la creciente extracción de arena para las obras de la capital, que no es compensada por las aportaciones del río, muy escasas desde que se construyeron las presas de Colmenar Viejo, llamadas de Santillana.

(2) Nota sobre la restauración del Pont Neuf, en París, por M. Guiard. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1891, primer semestre.

de roble de 0,40 a 0,45 m. de anchura, a 1 m. de distancia sobre una arena muy compacta, casi aglomerada por un cemento calizo. Sobre las traviesas se había dispuesto un entablonado de 0,16 m. de grueso, también de roble, y sobre éste habíanse levantado las pilas (fig. 250).

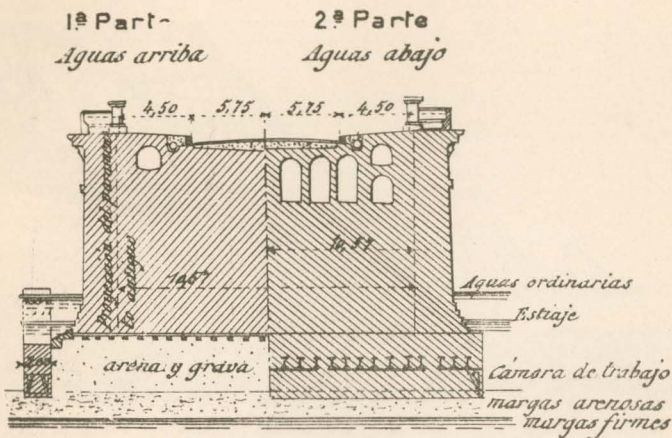


Fig. 250. Reparación del Pont Neuf (Paris).

Los dragados sucesivos efectuados en el río para facilitar su navegación habían rebajado su nivel en unos 2 m., por lo que se iniciaron socavaciones en algunas pilas, que obligaron a su reparación, aprovechando ésta para ensanchar los apoyos y las bóvedas del puente.

El procedimiento consistió en hincar por aire comprimido unos cajones metálicos de 2 m. de anchura alrededor de los cimientos antiguos, constituyendo con ellos unos *rastrillos* de defensa y rellenando con hormigón sumergido el hueco entre el cimiento viejo y el rastrillo.

Pero esta reparación, ejecutada en 1885, pudiera hoy sustituirse con ventaja, ya sea con un rastrillo de cajones de hormigón armado hincados por el sistema de pozos o por aire comprimido, o por un recinto de tablestacas metálicas o de hormigón armado (1).

(1) Se emplean también cajones o campanas de aire comprimido para la reparación de muros de muelles cuyos paramentos han sufrido deterioros. Pueden consultarse: *Note sur l'emploi d'un caisson mobile pour la réparation des murs de quai du bassin Carnot du port de Calais (Annales*

Reparaciones con ataguías de tablestacas metálicas. — En un gran número de puentes franceses y belgas, que ha sido preciso reparar después de la guerra, al proceder al reconocimiento de sus cimientos se observó que muchos de ellos, cimentados sobre pilotes y hormigón sumergido, presentaban numerosas cavernas, ya por

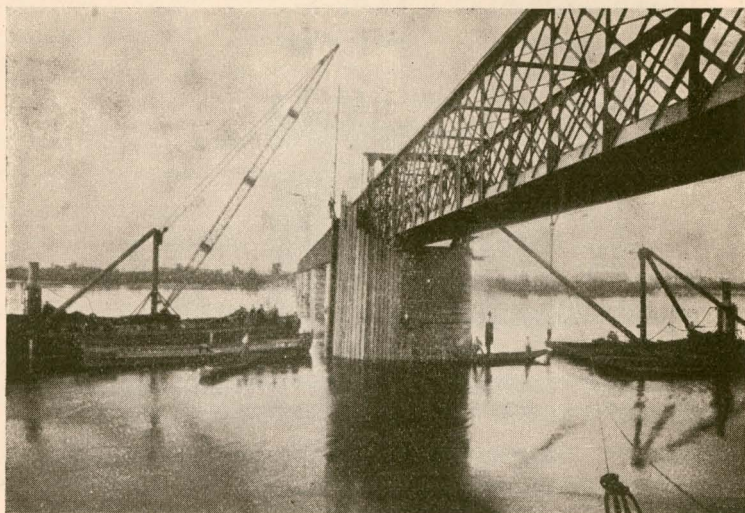


Fig. 251. Reparación y defensa de las pilas con tablestacas metálicas.

la degradación del hormigón mal fraguado o por socavaciones de los pilotes.

Con gran frecuencia se ha apelado al procedimiento de ataguías de tablestacas metálicas envolviendo la parte de cemento destruido (figura 251), que se reconstruía con hormigón ejecutado al aire, después de agotado el recinto, o se dejaban hincadas como defensa permanente.

Reparaciones con ataguías-cajones de hormigón armado. — En la provincia de Zaragoza se ha empleado para los recalzos de dos

des Ponts et Chaussées, 1897, primer trimestre), y *Note sur les travaux de réfection des têtes des formes de radoub* núm. 1 y 2 du port de Dunkerque (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1904, primer trimestre).

pilas de fábrica las ataguías de hormigón armado representadas en la figura 252 (1).

Una vez desviado el río hacia uno de los arcos extremos, por medio de una ataguía provisional de pilotes y tablestacas de madera, se construyeron esos cajones de hormigón armado, análogos a los que hemos descrito en el capítulo VIII, § III, para su hinca por el procedimiento llamado vulgarmente «indio».

Se construían dos medios cajones, uno para cada media pila, reforzando sus paredes por medio de contrafuertes interiores del mismo material.

En el interior de esta ataguía, y con los agotamientos necesarios, se practicó la excavación hasta la roca, dejando al descubierto el cimiento de la pila, mediante el previo apeo de ésta, y sustituyendo la fábrica defectuosa por hormigón, con cuyo material, terminado el recalzo, se rellenó también el espacio comprendido entre el cajón y el cimiento de la pila.

Terminada la reparación de la pila izquierda, que se realizó con los dos medios cajones representados en la figura anterior, se procedió a reparar la pila derecha. Pero habiendo aparecido el banco de roca escalonado y con 1,10 m. de altura mayor en el lado derecho, se pudo suprimir medio cajón-ataguía en este lado (fig. 253).

El proyecto y la dirección de las obras correspondieron al ingeniero D. Joaquín Camón.

Reparaciones con inyecciones de cemento o mortero. — Cuando la permeabilidad del terreno lo permita, aun resulta más económico recurrir al procedimiento de petrificación del lecho del cauce bajo el cimiento, por medio de inyecciones de cemento o mortero que hemos descrito extensamente en el capítulo anterior, § II.

Sus excelentes resultados en los puentes antiguos de la provincia de Madrid y demás aplicaciones allí descritas, permiten asegurar que la inyección de cemento o mortero sustituirá con ventaja, en la mayor parte de los casos, a los procedimientos antes reseñados.

Pero exige material adecuado y personal inteligente, y si puede ser especializado, para obtener una consolidación eficaz y económica.

(1) Puente del Vado, sobre el río Guadalupe, cuya reparación se describe en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de junio de 1926.

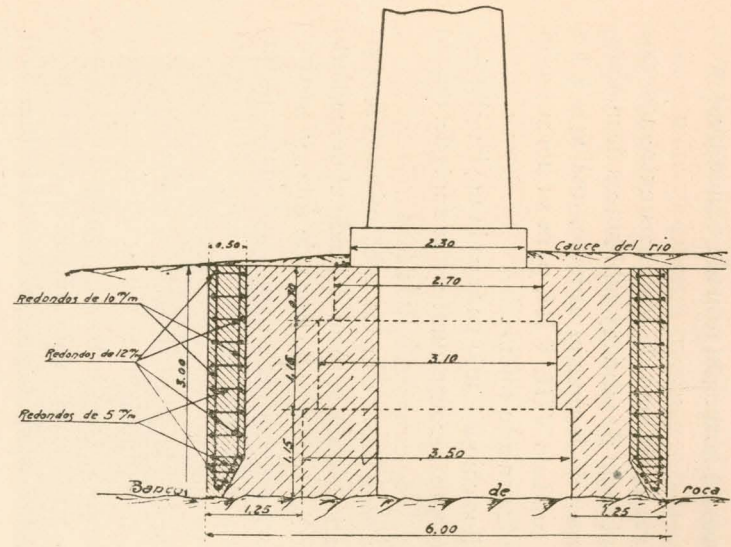
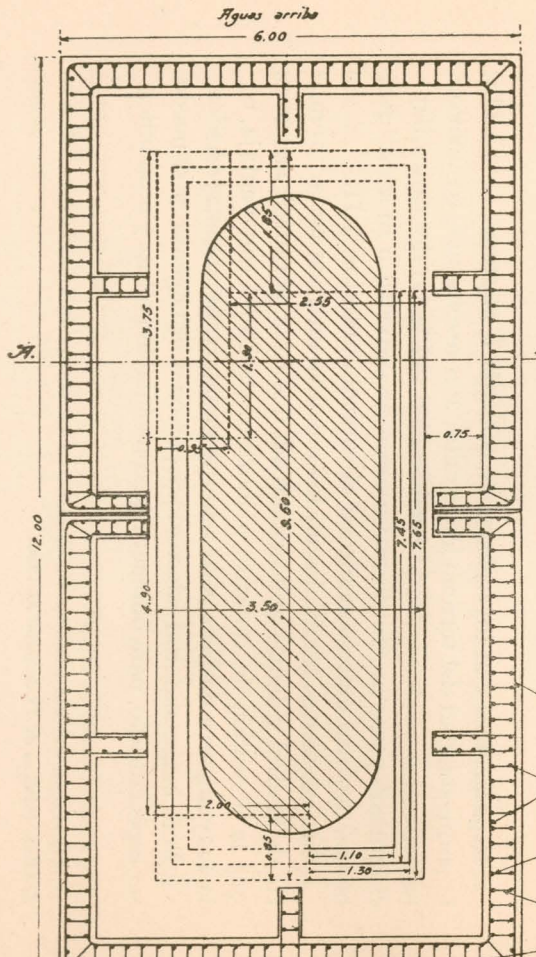


Fig. 252. Ataguía-cajón de H. A. en el puente del Vado (Zaragoza).

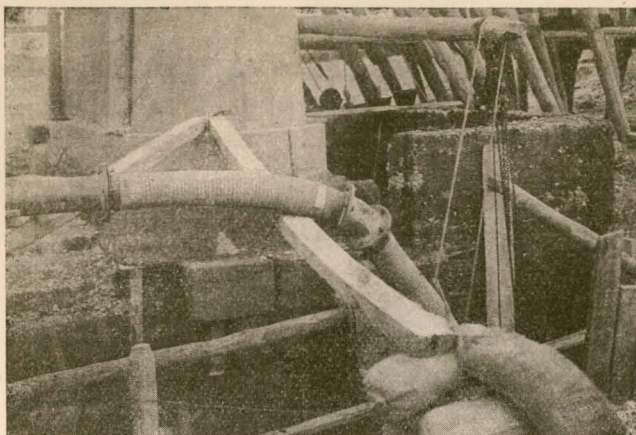


Fig. 253. Reparación del puente del Vado.

§ III. Ensanches de cimientos

Con motivo del aumento creciente de tráfico de nuestras carreteras y vías férreas, se hace muchas veces necesario ensanchar los puentes de fábrica.

En ciertos casos, que estudiaremos en el tercer tomo, puede conseguirse, con la sustitución por barandillas metálicas de los pretiles de fábrica, que absorben sin utilidad una anchura de 0,80 a 1 m., y dando a los andenes algún vuelo sobre los paramentos, mediante ménsulas o voladizos de hormigón armado (fig. 254). No hace falta entonces ensanchar los cimientos.

Pero ya sea cuando se quiere establecer doble vía en los ferrocarriles cuyos puentes fueron construídos para simple vía, ya cuando se precisa aumentar sensiblemente la anchura de las calzadas y andenes de las carreteras, puede ser indispensable ensanchar las pilas y estribos, y, por tanto, sus cimientos respectivos.

Pueden presentarse varios casos.

Si los ejes de las vías o

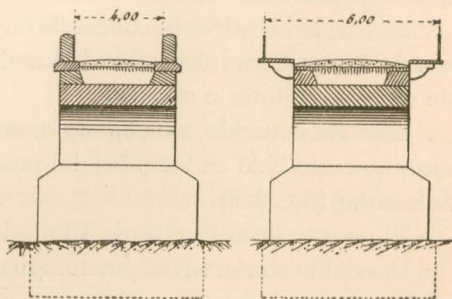


Fig. 254.

calzadas pueden sufrir variación, claro es que entonces resulta más económico concentrar en un solo lado el ensanche de la obra, de preferencia aguas abajo, en donde suele haber mayor facilidad de ejecución. Si el cimiento contiguo se ha comportado bien y no hubiese otro más barato que lo mejore, se prolonga aquél lo necesario para la prolongación de la pila o estribo (fig. 255 A).

Pero con las disposiciones modernas de arcos aislados de hormigón armado, cuyo empleo patrocinamos (tomo I, páginas 111 y 112), puede simplificarse el problema construyendo aguas arriba o aguas abajo de las pilas contiguas unos cimientos aislados que sirvan de apoyo a un arco o una viga de hormigón armado que se une al puente contiguo con un tablero de igual material (fig. 255 B).

En este caso, el ensanche de cimiento puede ser independiente de los antiguos y ejecutarse también con procedimientos distintos.

Por último, como ocurre en las poblaciones donde los ejes de los puentes coinciden con calles edificadas en su prolongación, los ensanches de los apoyos necesitan ser simétricos con relación al eje y hay que ejecutarlos por mitades aguas arriba y aguas abajo, como en C (fig. 255).

Entonces suele adoptarse un procedimiento de ejecución de ensanche análogo al de la obra antigua, si bien corrigiendo las deficiencias que en éstos se hayan observado para que los cimientos añadidos sean un refuerzo o una defensa de la parte antigua.

Es frecuente que estas obras de ensanche se dificulten por la presencia de escolleras alrededor de los cimientos, que impidan la hinca de recintos, pilotes o cajones.

Esto ha ocurrido, por ejemplo, en el ensanche de los cimientos ejecutado en 1925 en las pilas del puente de Santa Catalina, en San Sebastián (fig. 256).

El puente primitivo tenía 13 m. de anchura y se amplió a 25 m

Deseando conservar al puente igual aspecto, no se tuvo en cuenta la economía, sino que se eligió una solución costosa, consistente en

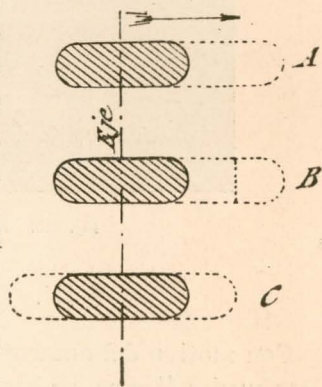


Fig. 255.

construir a cada lado del primitivo un medio puente de 6,50 m. de anchura, de iguales materiales y estructura que aquél. Unicamente se sustituyó la bóveda de sillarejo del cañón interior por hormigón

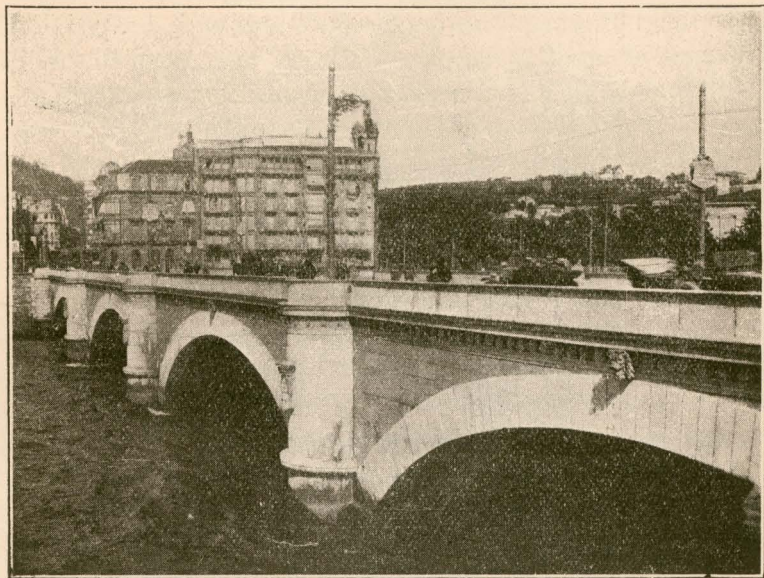


Fig. 256. Puente de Santa Catalina (San Sebastián).

en masa, con la particularidad de haberse empleado en dicho hormigón el cemento de Zumaya, para prevenir los efectos de la acción química del agua del mar.

A pocos metros de la desembocadura del Urumea, los efectos de las mareas y temporales dificultaron enormemente la construcción, por la imposibilidad de establecer instalaciones fijas de importancia, pues aun las provisionales que se hicieron fueron en tres ocasiones desechadas por las marejadas.

La cimentación se proyectó sobre pilotaje de haya de 0,30 m. de diámetro. La profundidad media del agua en bajamar equinoccial era de 1 m., aproximadamente, y el fondo del cauce, que en los alrededores es de arena y cascajo, estaba alterado en la zona del ensanche por la gruesa escollera de defensa del puente primitivo, que, oculta por una capa de arena de bastante espesor, fué una gran difi-

cultad para la cimentación, por imposibilitar de todo punto la hincada de pilotes y tablestacas después de haber empleado todos los

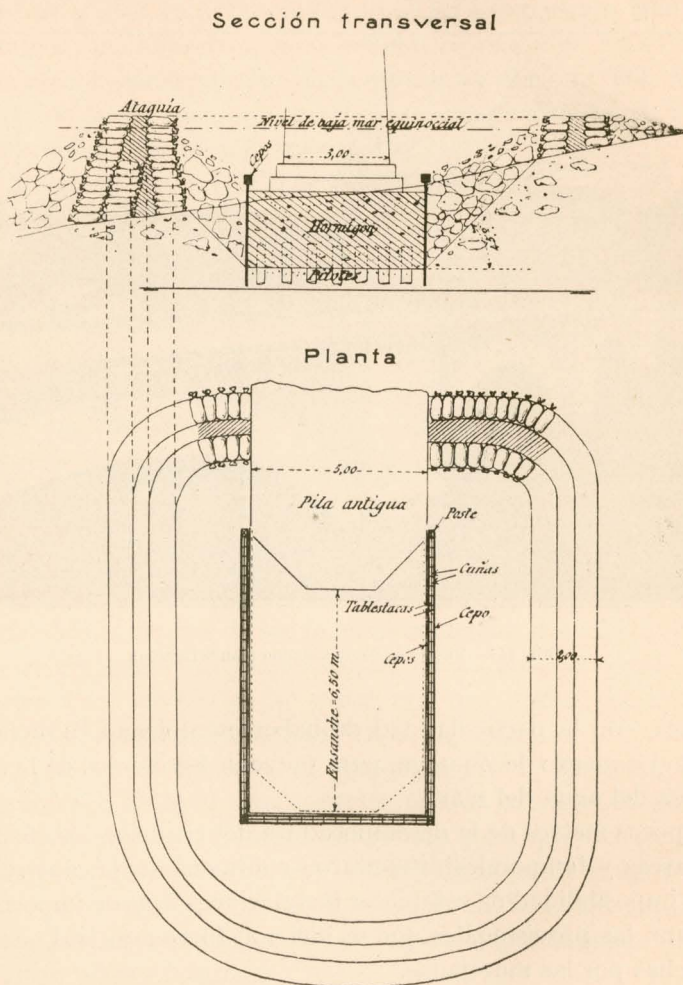


Fig. 257. Ensanche de las pilas del puente de Santa Catalina (San Sebastián).

procedimientos de hincada conocidos. Fué preciso, pues, extraer dicha escollera, y para ello se formó una ataguía de doble fila de sacos de hormigón pobre de Zumaya, con una capa de arcilla interpuesta, según se indica en la figura 257. El contorno interior de la

base de dicha ataguía se estableció de manera que la excavación quedase con un talud de 45° , para evitar la destrucción de la ataguía.

Construída esa ataguía, se agotaba con dos potentes bombas de 25 HP. cada una, y se iba extrayendo el escollero. El talud de 45° resultó insuficiente, como ya se preveía, por tratarse de arena mojada, y fué preciso construir interiormente una ataguía de tablestacas, que se iba profundizando a medida que se extraía la escollera, y que, a la vez que de contención de las arenas y productos de la excavación que tras ellas se echaban, sirvieron de encofrado para el hormigón del cimientó. Recién establecida la ataguía de sacos, no se conseguía una gran impermeabilidad; pero a medida que se iban echando productos de la excavación a un lado y otro, y mediante tapones de arcilla, se llegó siempre a una impermeabilidad aceptable. Ya en la pila central, donde la profundidad del agua era de 2 m., fué preciso colocar hasta tres bombas, y aun así se anduvo muy apurado.

A la ataguía se le dió muy poca altura sobre el nivel de bajamar, pues aunque teóricamente hubiese convenido darle la necesaria para poder trabajar también en pleamar, no podía prácticamente realizarse, pues era imprescindible dejar que se llenase la ataguía antes de que al llegar las olas de la pleamar rompiesen sobre ella en vacío y la destruyesen. Aun con esta precaución, siempre removían algo los sacos las olas rompientes, y era preciso estar arreglando constantemente, lo que encareció notablemente el coste de dichas ataguías.

Una vez extraída la escollera, se hincaban pilotes de haya de 30 cm. de diámetro, situados a 80 cm. de eje a eje, y luego se ejecutaba el hormigón del cimientó una vez agotado el recinto de tablestacas (1).

La presencia de la escollera y, además, la carrera de marea, que en aquel puente alcanza hasta 4,40 m., así como las violentas resacas que se producen en aquel sitio, que coincide casi con la barra de la ría, retrasaron algún tanto el ensanche de esas pilas.

Pero, en cambio, el ensanche de las bóvedas y resto del puente pudo realizarse con excepcional velocidad.

(1) Estos interesantes datos me han sido facilitados por mi joven compañero D. Felipe Cabredo, que, como ingeniero de la Sociedad Ormaeche y Compañía, realizó aquellos trabajos.