

# SEGUNDA PARTE

---

## PUENTES DE FÁBRICA

---

CAPÍTULO VII.—Estribos.

CAPÍTULO VIII.—Pilas.

CAPÍTULO IX.—Bóvedas de piedra o ladrillo (hasta  
40 m. de luz).

CAPÍTULO X.—Bóvedas de hormigón en masa (hasta  
40 m. de luz).

CAPÍTULO XI.—Tímpanos.

CAPÍTULO XII.—Grandes bóvedas.

CAPÍTULO XIII.—Bóvedas gemelas.

CAPÍTULO XIV.—Bóvedas articuladas.

## CAPÍTULO VII

### ESTRIBOS

Definición. — Disposiciones con aletas. — Con muros en vuelta. — Estribos perdidos. — Supresión de estribos. — Estribos en muelles. — Semitajamares. — Espesores. — Aligeramientos. — Materiales y aparejos. — Estribos de hormigón armado. — Muros en vuelta de hormigón armado. — Resumen.

**Definición.** — Designase con el nombre de *estribos* de un puente, o viaducto, los apoyos extremos de los tramos o arcos principales.

En general son al mismo tiempo los *apoyos extremos* de la obra (figura 66).

Pero también, a ambos lados de los estribos principales,

puede ampliarse la obra con viaductos secundarios compuestos por arcos o tramos de menor luz que el puente o viaducto principal (figura 67).

Así como los arcos o tramos principales se fijan por el desagüe, rasantes, etc., los

*estribos se proyectan siempre a la medida del terreno.*

Veamos las disposiciones más frecuentes.

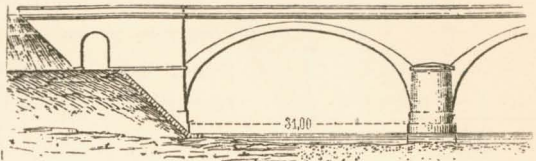


Fig. 66.

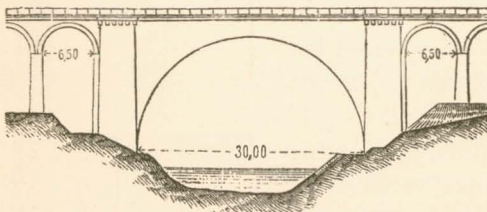


Fig. 67.

**Disposiciones con aletas.** — Cuando los estribos constituyen los apoyos extremos del puente y necesitan empalmarse con los terraplenes, se pueden adoptar en planta disposiciones con aletas análogas a las de la figura 68, parecidas a las de las pequeñas obras de fábrica (1).

La aleta recta es la más económica; la curva, la más cara. No suelen emplearse estas disposiciones con aletas sino en pequeños puentes, hasta unos 15 m. de luz.

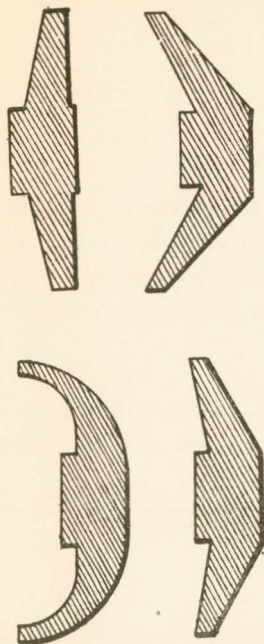


Fig. 68.

despegarse del muro y no ejercen empuje sobre él. Así que, en ferrocarriles sobre todo, en que los extremos de estos muros vibran bajo el paso de los trenes, es necesario darles espesores uniformes en toda su longitud.

Para reducir los espesores de estos muros en vuelta, algunas veces se ha reducido el terraplén interior (fig. 70) volteando sobre los muros una bóveda (ojival de preferencia, para reducir los empujes) y asegurando su estabilidad con tirantes de hierro. Mejor

**Muros en vuelta.** — Generalmente se emplean muros en vuelta (fig. 69). Algunos



Fig. 69.

Ingenieros les dan espesores decrecientes, como se ve en la primera disposición, por suponer que los esfuerzos de los conos de terraplén equilibran el de las tierras interiores. Pero esta hipótesis no es siempre exacta, porque los conos exteriores de tierras que no sufren sobrecargas verticales suelen

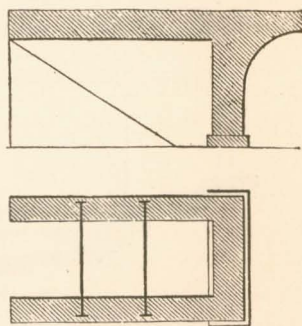


Fig. 70.

(1) Descritas en el tomo I, página 157.

será en estos casos un tablero de hormigón armado, simplemente apoyado sobre los dos muros en vuelta, con lo que, al suprimir los empujes de las bóvedas, se pueden reducir los espesores de los muros y suprimir los tirantes (fig. 71).

Es esta la disposición que preconizamos en nuestros puentes de hormigón armado, como luego veremos.

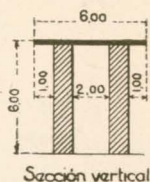


Fig. 71.

**Estribos perdidos.**— Pero cuando la altura del terraplén es grande, es aún preferible aumentar los arcos del puente o viaducto en la forma de la figura 72. El último apoyo toma entonces el nombre de *estribo perdido*.

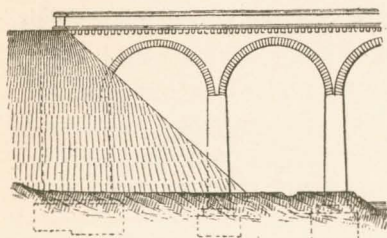


Fig. 72.

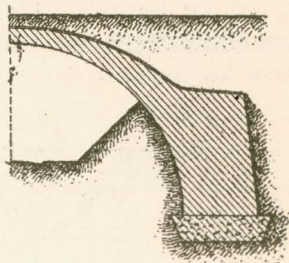


Fig. 73.

Puede igualmente aplicarse con ventaja el estribo perdido en laderas o taludes no muy consistentes (fig. 73). Se prolonga entonces el arco hasta el terreno de cemento.

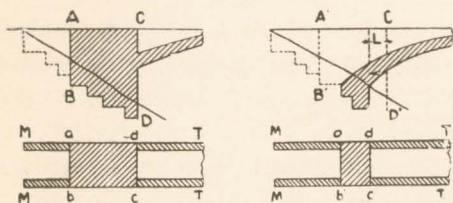


Fig. 74.

La economía puede ser sensible.

Compárense las dos disposiciones representadas en secciones y plantas en el croquis de la figura 74.

Con el estribo perdido, puede quedar este macizo reducido sensiblemente, con un pequeño aumento  $L$  en la luz del arco o tramo y en las longitudes de los muros en vuelta y de los de tímpanos.



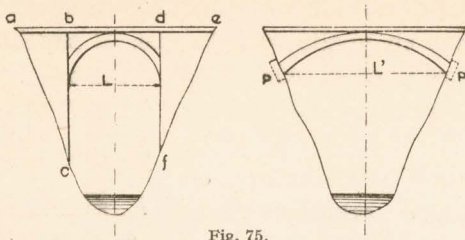


Fig. 75.

En laderas más inclinadas, que, por lo mismo, suelen ser más resistentes, es aún más favorable el empleo de estribos perdidos (fig. 75).

Aquí, con el aumento de luz de  $L$  a  $L'$ , se pueden ahorrar los enormes macizos de estribos  $abc$  y  $def$ .

**Supresión de estribos.**— Puede irse más lejos en este criterio económico, *suprimiendo totalmente el estribo*.

En nuestros Modelos oficiales de puentes en arco de hormigón armado, de que nos ocupamos en el capítulo XVII, son los muros en vuelta *los que actúan como estribos y los que exclusivamente soportan los empujes de los arcos* (fig. 76).

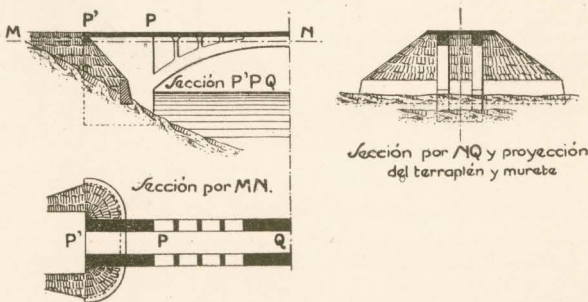


Fig. 76.

Claro es que para ello se precisa sustituir la bóveda continua en todo el ancho del puente por *dos arcos gemelos*, y separados, cada uno de los cuales se apoya y empuja exclusivamente sobre cada uno de los muros en vuelta (1).

La longitud mínima de estos muros es la necesaria para que su peso equilibre al empuje del arco.

Sobre dichos muros se puede prolongar el forjado de hormigón armado del tablero del puente, y de esta manera el talud del terraplén queda contenido en el punto de la margen que se quiera.

(1) Dedicaremos un capítulo especial, el XIII, a estos *arcos gemelos*.

Se defenderá la base del terraplén con encachados o con muretes de pie hasta por encima del nivel de crecidas, para evitar su degradación por el chapoteo del agua.

Pero podrá también disponerse una o dos pantallas de hormi-gón en masa o armado (fig. 77).

Con la pantalla *P* se impide la entrada y el chapoteo del agua entre los dos muros; con la *P'* se suprime el terraplén interior.

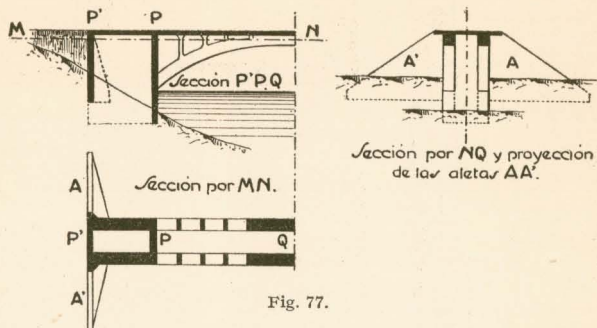


Fig. 77.

Según los casos, convendrán o no una u otra pantalla, o las dos, o no hará falta ninguna.

Si la inclinación de la margen exige contener el terraplén en el extremo del estribo, podrá éste prolongarse con muros en vuelta, o disponer aletas *AA'*, como en el croquis, siempre, como hemos dicho, a la medida del terreno.

**Estribos en muelles.** — En las poblaciones, los ríos suelen estar encauzados por muros-muelles a cuyo largo van calles.

Los estribos tienen que adaptarse a ellos.

Si toda la anchura del cauce entre los dos muelles es necesaria para el desagüe, no deben sobresalir los estribos del paramento de los muelles (fig. 78).

Cuando por debajo de las calles hay muelles inundables, como ocurre en muchos puentes en París, por ejemplo, se dispone el estribo del puente junto a la margen y se establece uno o varios arcos para el desagüe de crecidas sobre el muelle inundable (fig. 79).

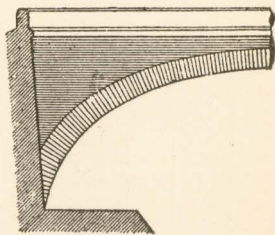


Fig. 78.

Puede ocurrir también, como en el puente de San Telmo sobre el Guadalquivir, en Sevilla, que la rasante del puente tenga que

Fig. 80. Estribo y tramos de acceso del puente de San Telmo, en Sevilla.

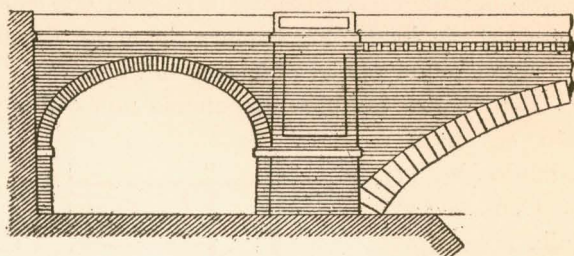
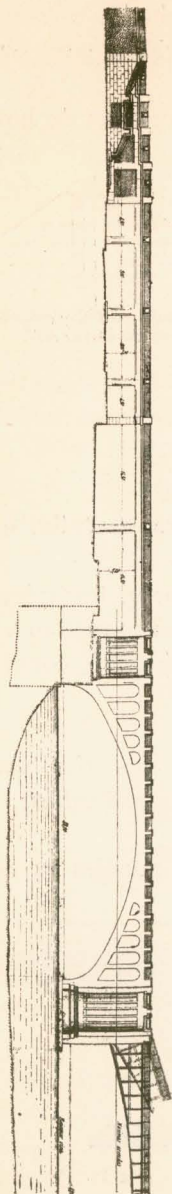


Fig. 79.

pasar encima de la calle, y que haya por debajo de aquélla un muelle inundable; en este caso se disponen los estribos y tramos de avenidas como en la figura 80.

Por último, si no ofrece inconvenientes para el desagüe que los estribos avancen algún tanto sobre los muelles, con objeto de mejorar las entradas del puente y destacarlo al mismo tiempo, para su mejor aspecto, de los paramentos de los muelles, generalmente construídos con fábricas baratas, pueden disponerse los estribos en planta, como lo hemos hecho en los dos puentes sobre el Urumea, en San Sebastián.

En el de María Cristina, en que la fuerza de la corriente es apenas sensible, los paramentos de los estribos son cóncavos (figuras 81 y 83),



Fig. 81.

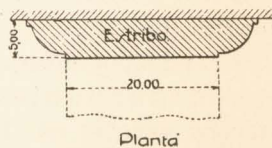


Fig. 82.

para favorecer así la curva de las aceras de entrada.

En el del Kursaal, situado aguas abajo y en la misma barra de la ría, los golpes de mar son violentos; nos pareció preferible



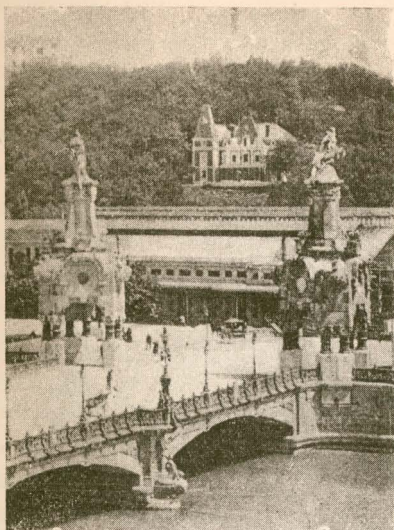


Fig. 83. Puente de María Cristina.

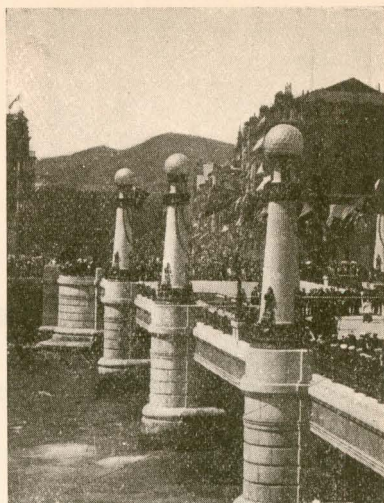


Fig. 84. Puente del Kursaal.

establecer los estribos salientes en forma convexa (figuras 82 y 84). Debemos reconocer, sin embargo, que en este puente la disposición de los estribos obedeció principalmente a consideraciones de orden estético, pues siendo el puente de tramos rectos, sobre pilas con tajamares de medio círculo, nos pareció mejor dar a los estribos la forma de medias pilas, aunque de mayores dimensiones.

**Semitañamares.** — Por análogas razones de simetría, es muy frecuente disponer los paramentos de

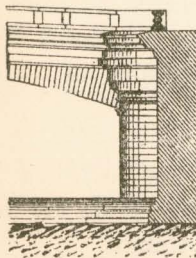


Fig. 85.

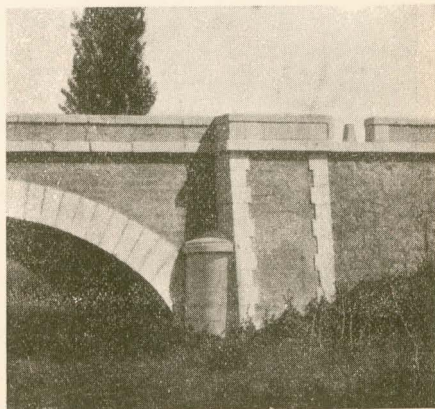


Fig. 86.



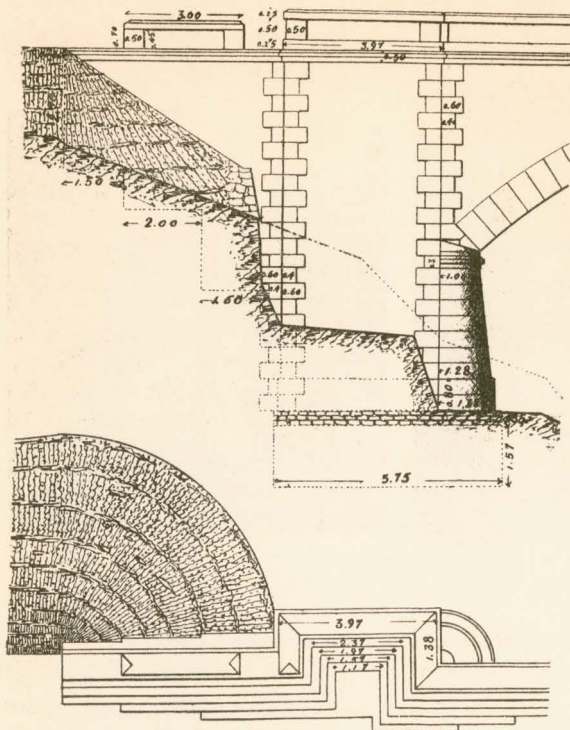


Fig. 86 bis.

estribos con semitajamares análogos o iguales a los de las pilas.

Así lo hizo Perronet en el puente de La Concordia, en París (fig. 85), separándolo del muelle del Sena.

Así se han proyectado un gran número de estribos con disposiciones de estribos con semitajamares (figuras 86, 86 bis y 87). Esta disposición es la clásica; hacen bien, pero complican la construcción, sin ventaja sensible para el desagüe.

Así que en la mayor parte de los puentes se sustituye el semitajamar por un resalto rectangular que destaca el estribo de los muros en vuelta (figuras 88 y 89).

Algunos Ingenieros han extremado su amor a la simetría, adosando a los estribos tajamares completos (fig. 90).

No está justificado, ni debe imitarse.

**Espesores.** — Los estribos tienen que resistir al empuje de las bóvedas o al peso de los tramos.

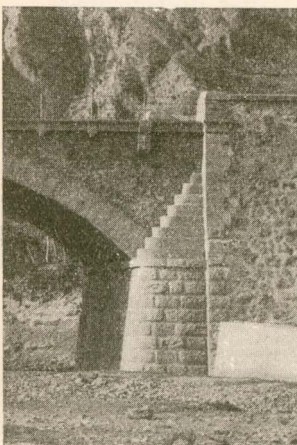


Fig. 87.

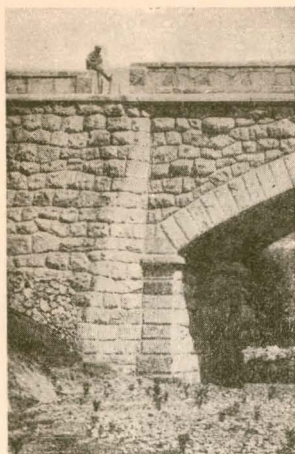


Fig. 88.

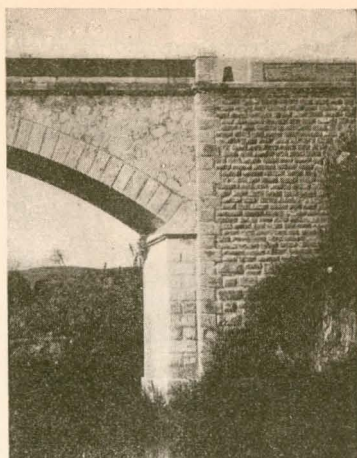


Fig. 89.

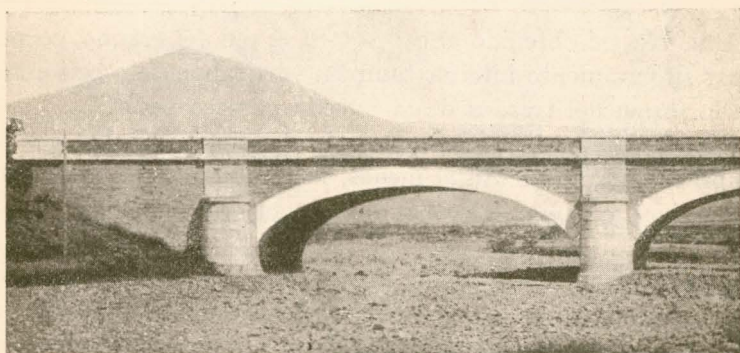


Fig. 90.

También necesitan resistir al empuje del terraplén.

No se tiene en cuenta éste para contrarrestar el empuje de las bóvedas, ya que puede ocurrir que una crecida arrastre el terraplén. Pero sí hay que tener en cuenta el empuje del terraplén para fijar la dimensión mínima del estribo.

En los puentes corrientes, hasta 40 m. de luz, que estamos estudiando, se pueden adoptar los espesores obtenidos por las fórmulas empíricas de Leveillé, que son las más conocidas (figura 91) (1):

(1) Sejourné: *Grandes voûtes*, tomo V, página 44.

$$\text{Arco escarzano: } E = (0,33 + 0,212(2a)) \sqrt{\frac{h \times (2a)}{H(b + e_0)}}$$

$$\text{Arco de medio punto: } E = (0,60 + 0,162(2a)) \sqrt{\frac{[h + 0,25(2a)] \times 0,865(2a)}{H(0,25(2a) + e_0)}}$$

$$\text{Arco elíptico: } E = (0,43 + 0,154(2a)) \sqrt{\frac{(h + 0,54b) \times 0,84(2a)}{H(0,465b + e_0)}}$$

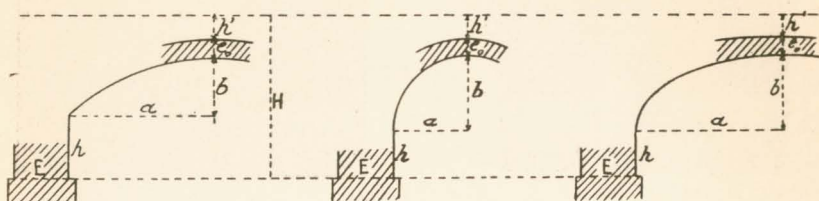


Fig. 91.

Una vez así obtenido el espesor en el pie del estribo, se puede trazar su paramento interior también verticalmente o con el talud que la forma del trasdós de la bóveda parezca pedir.

Pero en puentes que excedan de 30 metros de luz conviene comprobar, gráficamente al menos, la estabilidad del estribo bajo los empujes y cargas máximas que tenga que soportar.

**Aligeramientos.** — Cuando las rasantes son altas o las luces o rebajamientos de los arcos considerables, resultan espesores enormes, que encarecen mucho los estribos.

Procuran los Ingenieros disminuir su coste aligerando esos macizos.

Se comenzó con pozos, como se representa en planta en la figura 92, rellenándolos con aluviones permeables, que empujan poco.

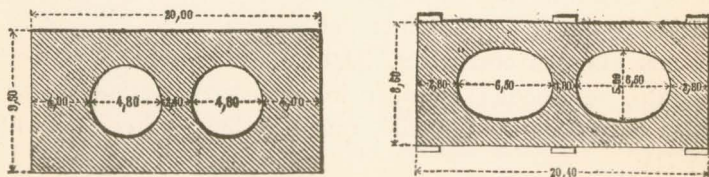


Fig. 92.



No deben estos aligeramientos interrumpir la transmisión de los empujes de la bóveda a través del macizo de estribo.

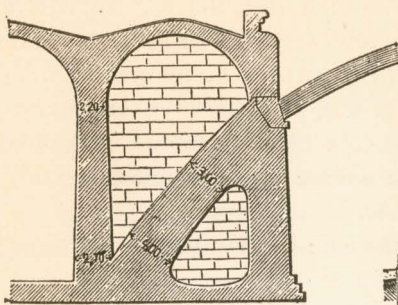


Fig. 93.

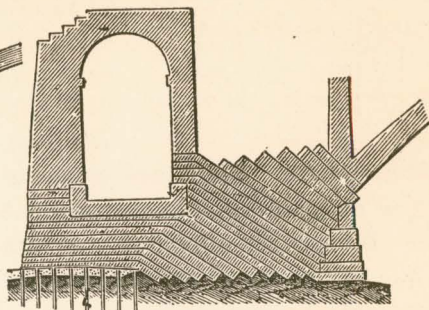


Fig. 94.

Para ello se procede como en la figura 93, y mejor aún en las figuras 94 y 95, en los que las fábricas del estribo bajo la bóveda se disponen por hiladas normales al empuje para repartir éste sobre una gran superficie de cimiento.

En los puentes ingleses, construídos generalmente de ladrillo, se exageran a veces estos aligeramientos (fig. 96), pues la estabilidad de estos macizos, de 25 metros de altura, sometidos a la trepidación que produzca una locomotora pesada a gran velocidad,

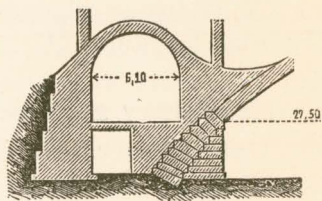


Fig. 95.

está a la merced de un defecto del ladrillo o de la mano de obra.

En los estribos de los puentes corrientes preferimos en España macizarlos enteramente con la fábrica más barata.

Tenemos así en cuenta, que todo lo que sea aumentar el

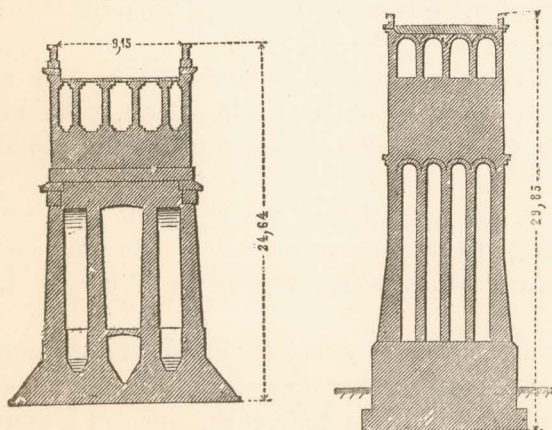


Fig. 96.

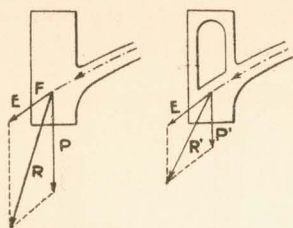


Fig. 97.

Fig. 98.

peso  $P$  del estribo, que ha de componerse con el empuje  $E$ , contribuye a verticalizar la resultante  $R$  (fig. 97) y a impedir que salga del tercio central de la base. Cuando se aligera el estribo, al reducirse su peso a  $P'$  (fig. 98), se disminuye la resultante  $R'$ ; pero ésta es más oblicua al cimiento, y puede salirse de su núcleo central, lo que obliga a aumentar el cimiento.

Preferimos aumentar el volumen de la mampostería ordinaria, que es barata, al del cimiento, que es caro.

Sólo en contados casos, en que las dimensiones de los estribos resultan excepcionales, puede convenir aligerarlos, y aun así deben rellenarse los huecos de piedra o arena para no reducir  $P$ .

Ya citaremos algunos ejemplos al ocuparnos de las grandes bóvedas (capítulo XII).

**Materiales y aparejos.** — Se emplean todos los materiales, de preferencia los más económicos.

En el interior de los macizos deberán inclinarse las hiladas, aun de la mampostería más basta, en la dirección normal a los empujes.

En los paramentos se establecen las juntas horizontales.

Un estribo que arranca del suelo, que resiste por su masa, no debe llevar labra fina ni materiales escogidos; es preferible, por el contrario, paramentos averrugados (fig. 88).

En los puentes situados en lugares deshabitados no hay el menor inconveniente en suprimir totalmente la sillería, y las pilastras, semitajamares y demás aditamentos puramente decorativos.

Ahora se construyen muchos estribos con hormigón ciclópeo; tampoco estará demás que los mampuestos que se intercalan en el hormigón tengan sus mayores lechos normales a las curvas de la bóveda.

Para evitar los moldes exteriores y mejorar el aspecto, es también frecuente reservar el sillarejo y mamposterías concertadas o careadas para el paramento y rellenar todo el interior con hormigón ciclópeo.

**Estribos de hormigón armado.** — Los constructores de hormigón armado tienden a aplicar ese material a todos los elementos del puente; así se han construido numerosos estribos de hormigón armado.

Sus disposiciones están influenciadas por las de los arcos, y varían mucho.

Las detallaremos en la tercera parte de este libro (capítulo XXI).

El autor opina que, salvo casos excepcionales, es más económico un estribo de mampostería u hormigón ciclópeo, que el de hormigón armado.

Las paredes y tabiques verticales o inclinados de hormigón armado exigen moldes y armaduras complicados por ambos paramentos, que hay que mantener rígidos durante el apisonado. Se puede ahorrar, es verdad, mucho volumen de material, hasta las tres cuartas partes, si se quiere; pero como el precio por metro cúbico del hormigón armado, en paredes y tabiques, será próximamente cuatro veces más caro que la mampostería u hormigón ciclópeo, nada se ahorra complicando el problema y la construcción.

Por estas razones, en España no suelen construirse estribos de hormigón armado.

**Muros en vuelta de hormigón armado.** — Los muros en vuelta exigen a veces grandes volúmenes de fábrica y cemento, en la parte recubierta por los conos de tierra (fig. 99), con sus correspondientes cimientos  $CD$ . Aunque estos muros son obras accesorias al puente, y sus cimientos pudieran ser menos profundos que los del estribo adyacente, cuando el terreno es muy flojo entre  $E$  y  $D$ , resulta casi necesario profundizar el muro hasta  $CD$ .

Para evitarlo, M. Sejourné ha sustituido,

con éxito, estos muros por unas ménsulas triangulares de hormigón armado  $A'B'E'$  (fig. 100), cuyo lado inferior sólo penetra unos 0,50 m. en el cono del terraplén  $A'E'$ , y cuyas armaduras quedan

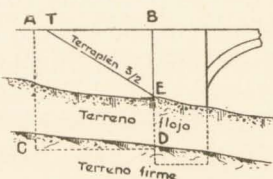


Fig. 99.

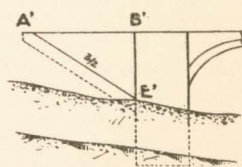


Fig. 100.



fuertemente empotradas por  $B'E'$  en el macizo del estribo (1).

Una disposición de esta índole es la que vamos a emplear en el puente de Santi Petri, para la Base naval de Cádiz (fig. 101).

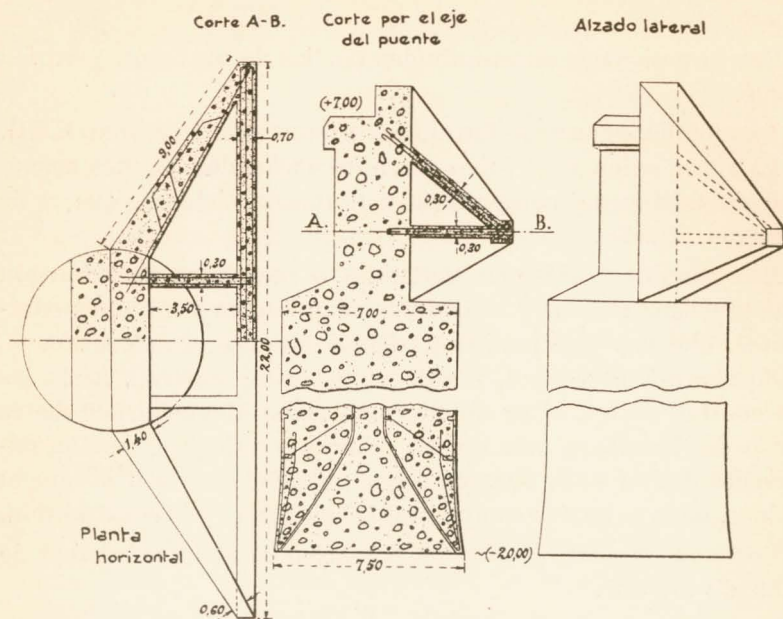


Fig. 101. Aletas de los es.ribos del puente de Santi Petri (Cádiz).

Los estribos y pilas de un puente metálico se cimientan por aire comprimido con cajones circulares de hormigón armado que a través de una capa de fango de más de 10 m. de espesor van a bucar el firme.

El terraplén de acceso se contendrá con unas aletas de hormigón en masa, *sin cemento propio*; estarán colgadas de los estribos por tirantes y riostras de hormigón armado embebidos en su masa.

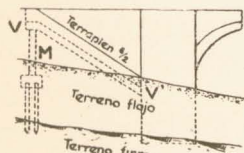


Fig. 102.

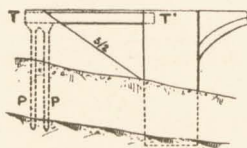


Fig. 103.

Con análogo objeto, se ha empleado otra disposición (fig. 102). Para evitar el empotramiento de la consola, se apoya la pared

(1) Puente de la Lavina (línea de Niza a Coni). — Más detalles en Gay: *Ponts en maçonnerie*, página 239.

triangular del muro sobre una viga  $VV'$  de hormigón armado. Esta, a su vez, descansa, por un extremo, sobre un pilar o muleta,  $M$ , de hormigón armado, y, por el otro,  $V'$ , en el estribo. La muleta  $M$  se puede cimentar sobre pilotes alcanzando el terreno firme (1).

Pero muchos problemas constructivos se resuelven *suprimiendo* el problema.

El autor, que quizá abusa de este aforismo, preferiría suprimir esta complicación sustituyendo el muro en vuelta, o las ménsulas armadas, con un sencillo tramo recto  $TT'$  de hormigón armado (figura 103) apoyado en el estribo, por un lado, y, por el otro, a estribo perdido sobre pilotes  $PP$  de hormigón armado.

La solución nos parece más sencilla y será probablemente más económica en puentes estrechos de una sola vía. En puentes anchos habría que compararlas.

**Resumen.** — Como resumen de todo este capítulo se observa la gran variedad de las disposiciones de estribos y la conveniencia de estudiarlos *a la medida del terreno*.

Son obras costosas, cuyo presupuesto puede influir sensiblemente en el del puente, si no se utilizan los recursos de la experiencia ajena y propia.

Pero desde luego puede deducirse de cuanto antecede la conveniencia de suprimir en los estribos muchos elementos que tradicionalmente venían empleándose en la mayor parte de los puentes, aun en aquellos que por su alejamiento de poblaciones no exigían decoración alguna.

Los semitajamares curvos con sombreretes perfilados, las pilastras salientes con ángulos y pretilos de sillería, por ejemplo, sólo deben aplicarse cuando el puente lo requiera; los aligeramientos de los macizos, cuando realmente resulten beneficiosos.

Por último, la decoración, según veremos en el último capítulo de este libro, también tiende a simplificarse.

El Ingeniero no debe copiar los estribos que se han hecho, sino proyectarlos con arreglo a las necesidades de cada obra, suprimiendo lo que sea inútil.

(1) Puente de Abrest (línea de Riom a Vichy). — Gay: *Ponts en maçonnerie*, página 240, y viaducto de la Lieure (línea de Charleval a Serqueuse). — Sejourné: *Grandes voûtes*, tomo V, página 46.