

CAPÍTULO IV

GRANDES ARCOS EMPOTRADOS

§ I.—Consideraciones generales.

Arcos inferiores o superiores.—Son casos excepcionales.—Ventajas del H. A. Luces máximas que pueden alcanzarse.—Los grandes arcos no pueden someterse a reglas ni modelos.

§ II.—Grandes arcos con armaduras flexibles en España.

De la Presa (41,50 m.), Goizueta (Navarra).—Sobre el Nalón (44 m.), en Valduna (Asturias).—De Purchena (50 m.) (Almería).—De San Román de Candamo (70 m.) (Asturias).—De Alarza (70 m.) (Cáceres).

§ III.—Grandes arcos con armaduras rígidas en España.

De San Telmo (44 m.), en Sevilla.—De Manzanal del Barco (44 m.) (Zamora).—Puente-viaducto de Siete Lunas (44 m.) (Alicante).—Sobre el Tajo (66 m.) (Guadalajara).

§ IV.—Grandes arcos inferiores en el extranjero.

De Forgaria (40 m.) (Italia).—De La Victoria (53,50 m.), en Cremona (Italia).—De Minneápolis (64,30 m.) (Estados Unidos).—De Laval de Cere (67 m.) (Francia).—De la Tournelle (73 m.), en París.—De Plougastel (172,60 m.) (Francia).—De Lisboa (Portugal).

§ V.—Grandes arcos superiores en el extranjero.

De Chippis (60 m.) (Suiza).—De Conflans (126 m.) (París).—De Saint-Pierre de Vauvray (131,80 m.) (Francia).

§ VI.—Conclusiones.

Pueden reducirse casi siempre las grandes luces.—Inconvenientes de los arcos superiores.—Evolución constructiva de los arcos.—No despreciemos los puentes metálicos.

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Arcos inferiores o superiores.—Vamos a estudiar los *grandes arcos empotrados*, cuya luz exceda de 40 m.

Pueden estos arcos ser inferiores, superiores o intermedios al tablero (fig. 118).

En la mayor parte de los casos la rasante de los puentes permite que los arcos, sin rebajamientos excesivos, puedan quedar por debajo del tablero (fig. 118 - A); serán, pues, *arcos inferiores*, y la plataforma del tablero se apoyará sobre los arcos por medio de pilares o tabiques, como si fuera un viaducto de tramos pequeños, que cuando le falte el terreno se apoyan con palizadas sobre el arco, que es el que salva los grandes vanos.

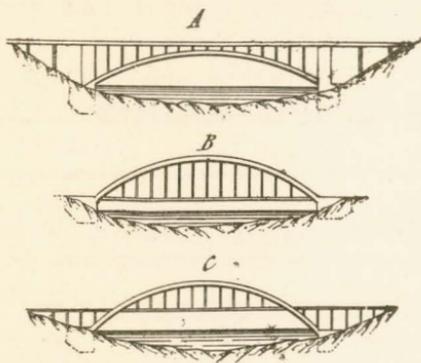


Fig. 118.

Pero hay bastantes casos en que la *rasante obligada del tablero es tan baja*, que no permite situar por debajo arcos de grandes luces, a menos de emplear rebajamientos excesivos. Es preferible entonces, y a veces forzoso, proyectar lo que designamos con el nombre de *arcos superiores*.

Entonces el tablero queda colgado del arco (fig. 118 - B).

Por último, pueden también darse casos en que el tablero quede *intermedio* (fig. 118 - C), y se apoya entonces sobre el arco en los extremos de éste, quedando suspendido en su parte central.

Son casos excepcionales.—Como hemos dicho con insistencia en el tomo III, ha existido y persiste el inmoderado afán, sino de batir el record de las luces de los puentes, por lo menos la humana vanidad de lucimiento, proyectando grandiosas obras; olvida el Ingeniero que su principal obligación es la de defender con parsimoniosa economía los intereses que le han sido confiados, procurando resolver, con el menor gasto posible, sus problemas constructivos.

Por tan censurable como universal dejación de aquellos deberes, se han construido un gran número de puentes en el Extranjero, que serían notables si no empañara su belleza la posibilidad de conseguir igual resultado con obras de menor luz y coste. En España, en cambio, no conocemos ningún puente de luz exagerada, con vistas a la notoriedad; somos aquí poco vanidosos y procuramos evitar los gastos superfluos.

Sin embargo, cuando las rasantes son muy altas sobre anchas barrancadas, cuando los ríos tienen gran profundidad y anchura y sus lechos socavables imponen cimientos profundos y costosos, cuando, por último, existan exigencias de navegación o de monumentalidad, entonces y solamente entonces, es cuando deben estudiarse obras de gran luz.

Pero repetimos que son muy contados los puentes de esta clase (1).

Ventajas del hormigón armado.—Antes de los progresos obtenidos con el hormigón, y sobre todo con el H. A., la mayoría de los puentes y viaductos de grandes luces se proyectaban metálicos.

Pero ya vimos en el tomo III la reacción en favor de los puentes de fábrica y principalmente de hormigón, que caracteriza los últimos cuarenta años, habiéndose construido con dichos materiales grandes bóvedas que excedieron de 100 m. de luz.

Nos parece evidente, sin embargo, que en su mayor parte podían haberse obtenido sensibles economías armando aquellos arcos, obteniéndose así la garantía de que el acero absorbiera las inevitables tensiones que las sobrecargas dinámicas, y sobre todo la temperatura, determinan en los arcos.

Las construcciones de aquellas grandes bóvedas de fábrica alegan en su favor, que si hay tensiones en sus obras, en nada les ha perjudicado; pero el autor sigue creyendo que desde el

(1) En su ya larga vida profesional, y de los 500 tramos que ha proyectado el autor, sólo en cuatro puentes ha necesitado excederse de 40 m. de luz: el puente-viaducto de Pino, con un arco metálico de 120 m.; el puente de Mora del Ebro, sobre el Ebro, donde proyectó cinco tramos metálicos continuos de 50 y 60 m. de luz; el de Amposta, sobre el mismo río, en que proyectó un puente colgado de 135 m., y el de Sevilla, sobre el Guadalquivir, donde las bases del concurso exigían dos tramos fijos de 45 m. y un tramo levadizo de 50 m.

momento en que la adición de armaduras no perjudica ni encarece el arco, su presencia no sólo puede facilitar la construcción, sino que produce una sensación de tranquilidad para lo futuro, que le inclina cada día más a proyectarlos armados.

Luces máximas que pueden alcanzarse.—Ya se han alcanzado con el H. A. luces de 172,60 m. en el puente de Plougastel, que luego describiremos.

Su autor, el eminente ingeniero Freyssinet, que es sin disputa el más audaz e innovador de todos los constructores del día, y al que nos complace rendir aquí un tributo de admiración, pretende teóricamente que con sus disposiciones y procedimientos constructivos pueden ejecutarse arcos de hormigón armado de 500 a 1.000 m. de luz (1), con sensible economía sobre los arcos metálicos o tramos colgados de iguales luces.

En las conclusiones de este capítulo VI resumiremos el estado de este problema, de interesantísima actualidad.

Los grandes arcos no pueden someterse a reglas ni modelos.—Cuanto hemos dicho en el capítulo II, respecto a los arcos inferiores a 40 m. de luz, es solamente aplicable en parte a los arcos de mayores luces.

En éstos, los pesos muertos de tablero, pilares y arcos crecen en importancia por la mayor altura de los tímpanos, que obliga a distanciar, fortaleciéndolos, los apoyos del tablero.

Asimismo, en los grandes arcos, las diferencias de peso entre unas armaduras elásticas y otras rígidas, quizá desvirtúen las ventajas que allí enumeramos en favor de las últimas, si bien, en cambio, el gasto de las cimbras por metro lineal de puente crecerá también con las luces.

Cada caso será, pues, un problema diferente, en el que el Ingeniero, aunque inspirándose en los ejemplos aplicables a su caso, deberá introducir en ellos las variantes que puedan mejorarlos.

(1) Nota de M. E. Freyssinet, en el Congreso de Lieja de 1930, sobre la "Posibilidad de substituir con arcos de hormigón los puentes metálicos de muy grandes luces".

Por esta razón, en vez de explicar reglas, *reseñaremos ejemplos*. Los escogemos entre los grandes arcos inferiores y superiores más característicos de España y del Extranjero.

§ II.—GRANDES ARCOS CON ARMADURAS FLEXIBLES, EN ESPAÑA

Puente de la Presa, en Goizueta (Navarra).— Construído en 1916, sobre el río Ollín, para la carretera de Lecumberri a Hernani (fig. 119).

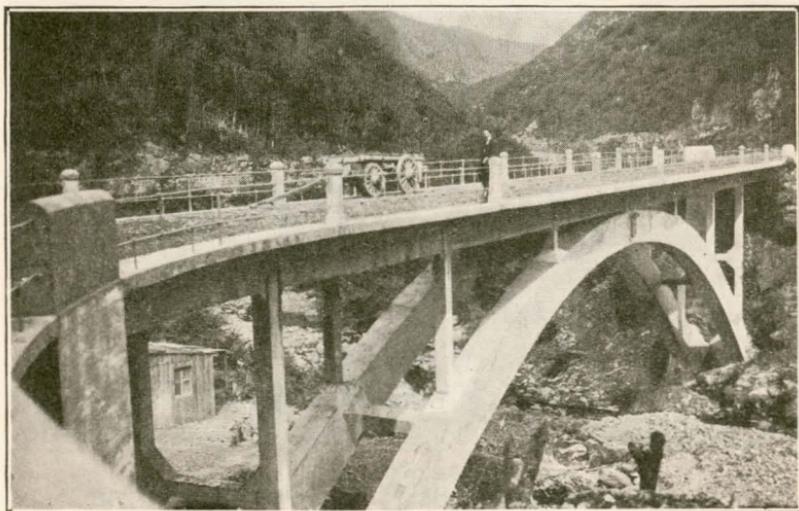


Fig. 117.—Puente de Goizueta (Navarra).

Está compuesto por dos arcos parabólicos de 41,50 m. de luz y flecha de 7,925 m.

Los arcos son de ancho constante de 0,80 m. y alturas de 1,60 a 1,15 m.

El ancho del puente es de 6 m. (1).

(1) Autor del proyecto y director de las obras: D. Alfonso Peña Boeuf, que publicó detalles y cálculos en la *Revista de Obras Públicas* de 6 de diciembre de 1916.

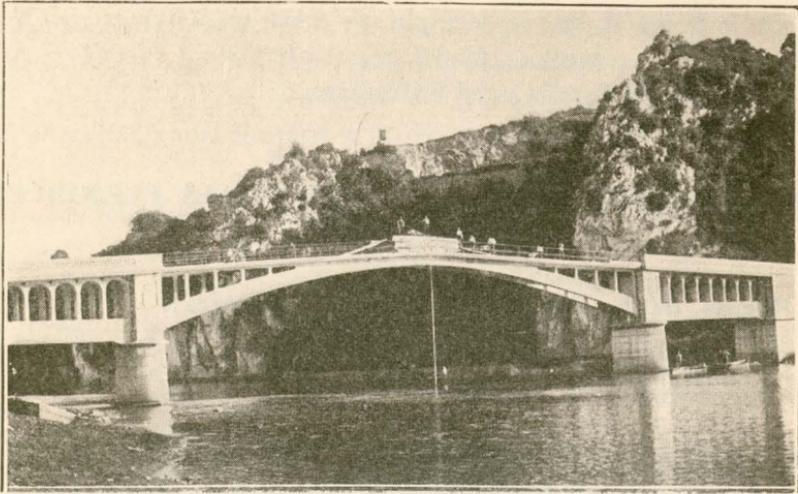


Fig. 120.—Puente de Valduno (Asturias).

Puente sobre el río Nalón, en Valduno (Asturias).—El arco central, de 44 m., se fijó por la facilidad de cimentación de las pilas, completándose el desagüe con dos tramos laterales de 14 m. (figs. 120 y 121).

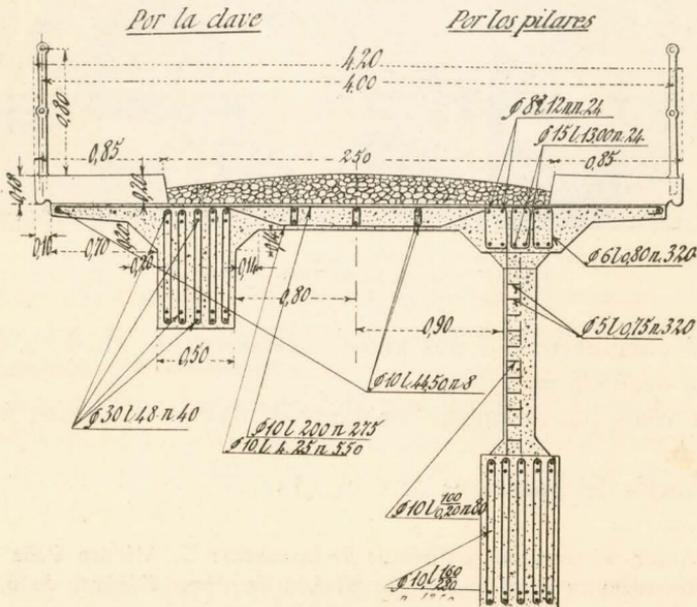


Fig. 121.—Puente de Valduno.

Por economía se construyó de simple vía el arco central, cuya directriz es una parábola de segundo grado, y de doble vía el resto del puente; para reducir el espesor de pilas y cimientos, el Ingeniero proyectó en los tramos laterales dos fuertes vigas rectas, al nivel de los arranques del arco central, que apuntalan las pilas, por decirlo así, transmitiendo a los estribos extremos las componentes horizontales de los empujes del arco.

Es una disposición original y económica, pues que todo el puente sólo costó 160.000 pesetas, de las que 41.000 corresponden a las pilas y estribos (1).

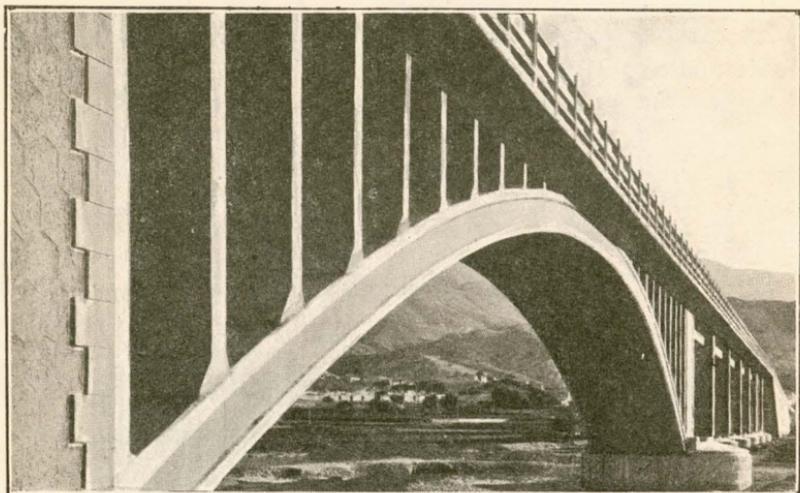


Fig. 122.—Puente de Purchena (Almería).

Puente de Purchena, sobre el Almanzora (fig. 122).—Construido en 1929, para la carretera de Baza a Huércal Overa (Almería).

Un arco de 50 m. y 5 tramos rectos de 13,80 m. de luz (2).

(1) Acaba de construirse por la Diputación provincial de Oviedo, para el camino vecinal de acceso a la estación de Vega, en el ferrocarril Vascoasturiano. Autor del proyecto y director de las obras: ingeniero D. Leonardo García Ovies, que publicará más detalles del mismo en un próximo número de la *Revista de Obras Públicas*.

(2) Ingeniero autor del proyecto: D. Angel Elul Navarro.

La directriz es la parábola de cuarto grado preconizada por nuestro compañero Sr. López Rodríguez:

$$y = 4,032 (6,5x) (1 - x) - x^2 (1 - x^2)$$

Como el lecho del río está seco durante muchos meses, se prefirió construir el arco con simples armaduras flexibles de redondos sobre cimbras del tipo corriente.

El ancho constante del arco es de 4,20 m. y sus espesores de 0,96 y 0,90 m. en arranques y clave. Sus armaduras son de 24 barras de 20 mm. -12 en intradós y 12 en trasdós, con cercos de 6 mm. a 30 cm. de distancia.

En cambio, los tabiques de tímpanos y los tableros son del tipo de nuestros Modelos oficiales.

El arco de 50 m. tenía un presupuesto de:

Cimientos	32.011,84 pesetas.
Alzado	74.209,20 —
Cimbra	28.000,00 —

La presión máxima sobre el terreno en el estribo es de 3,67 kg./cm².

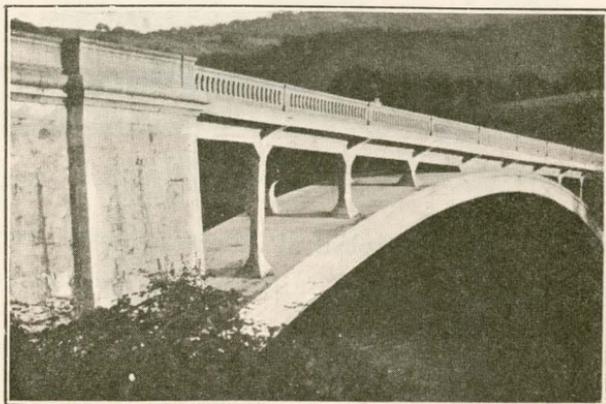


Fig. 123.—Puente en San Román (Asturias).

Puente de San Román de Candamo, sobre el Nalón (Asturias).

Constituido por un solo arco parabólico de 72 m. de luz (figuras 123 a 125) para evitar una pila intermedia de costoso cimien-

Seccion longitudinal del tramo en arco.

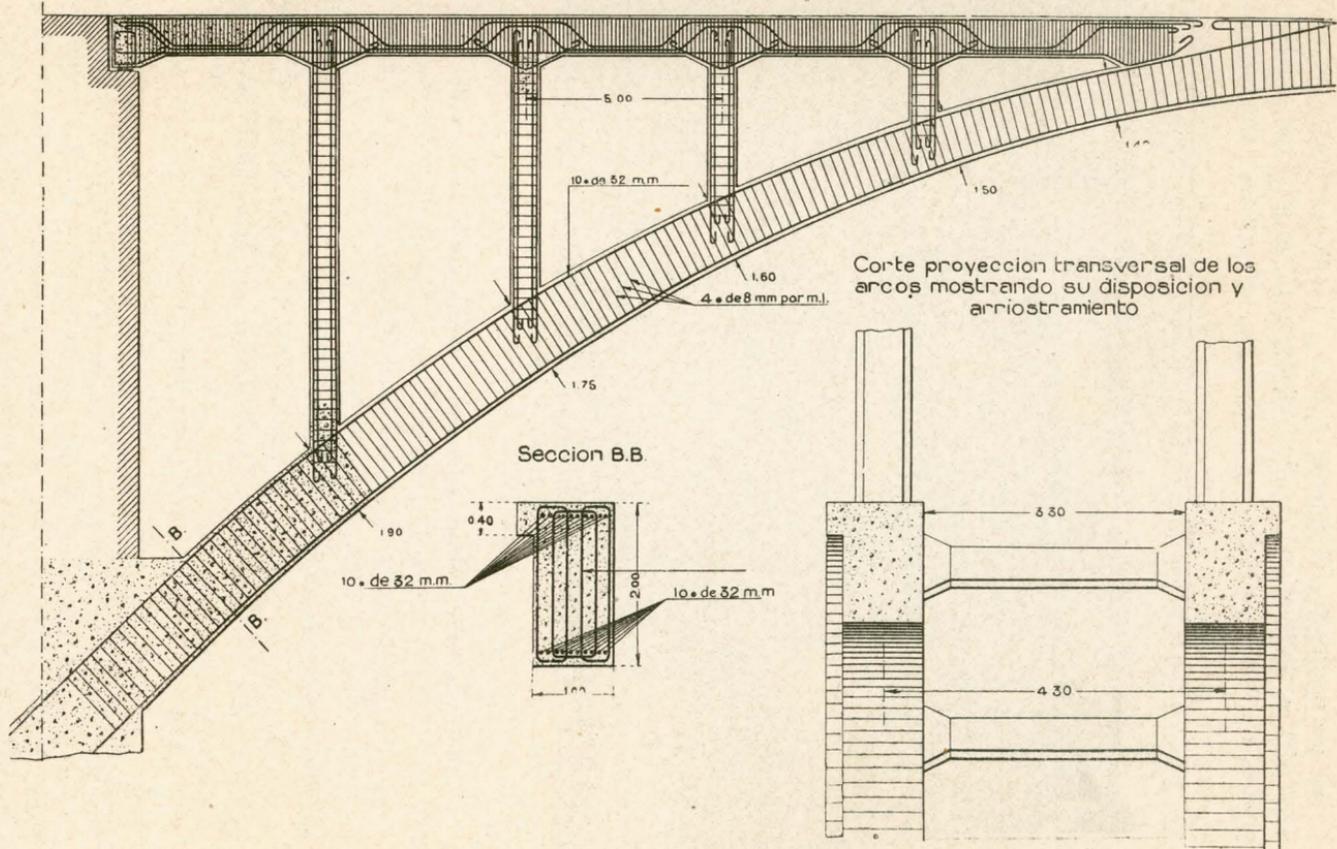


Fig. 127.—Puente de Alarza (Cáceres).

El presupuesto del puente fué de 711.000 pesetas, que para unos 150 m. de longitud de obra, representa un gasto por m. l. de puente de 4.700 pesetas; las flechas de las pruebas reglamenta-

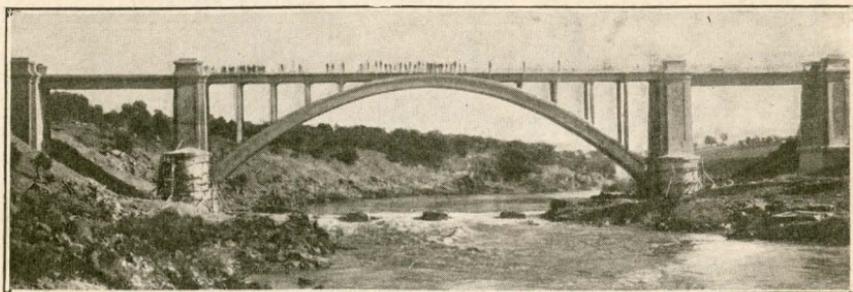


Fig. 126.—Puente de Alarza (Cáceres).

rias fueron de 1 mm. en el arco y 3,8 mm. en los tramos rectos.

Es una obra bien concebida y proyectada y rápida y perfectamente ejecutada, que honra a los ingenieros que en ella intervinieron (1).

§ III.—GRANDES ARCOS CON ARMADURAS RIGIDAS, EN ESPAÑA

Puente de San Telmo, sobre el Guadalquivir, en Sevilla (figuras 128 a 131.—Acaba de probarse con éxito esta obra, compuesta por dos arcos de H. A. de 44 m. de luz libre, un tramo central levadizo, sistema Scherzer, de 50 m. y unos tramos rectos de 14,50 m. sobre el muelle del puerto en su margen izquierda.

La disposición general de los arcos es la empleada por el autor en el puente Victoria y en los Modelos oficiales descritos en los capítulos anteriores.

(1) Ingeniero autor del proyecto y director de la obra: D. César Villalba Granda.—Obra ejecutada en un año y terminada en diciembre de 1929, por la "Nueva Sociedad General de Construcciones".—Director, D. Juan Machimbarrena.—Pueden verse interesantes detalles de la construcción en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º de marzo de 1930.

Su anchura, de 15 m., está, por lo tanto, dividida en:

Dos arcos gemelos en parábola de 2^o-grado, de 2,50 m. de anchura, correspondientes a los andenes.

Un tablero de H. A. de 10 m. de luz, compuesto por viguetas que se apoyan en los tabiques de tímpanos, a 2,52 m. de distancia.



Fig. 128.—Puente de San Telmo.

La forma circular de los arcos de tímpanos, sólo se ha dispuesto en los dos paramentos exteriores en un ancho de 0,25 m.; en el resto de la anchura del puente, un simple forjado de 0,20 m. y 2,12 m. de luz se apoya sobre el resto de los tabiques y sobre las viguetas.

El pavimento de la calzada es de losetas de asfalto comprimido de 5 cm.

Para los efectos de la dilatación, los tabiques y viguetas inmediatos a pilas y estribos están separados de éstos, quedando juntas libres, en la forma adoptada en los Modelos oficiales de puentes ya descritos (tomo III, pág. 209).

El presupuesto de esta solución resultó inferior en 30 por 100 al de la solución metálica propuesta por una reputada firma ex-

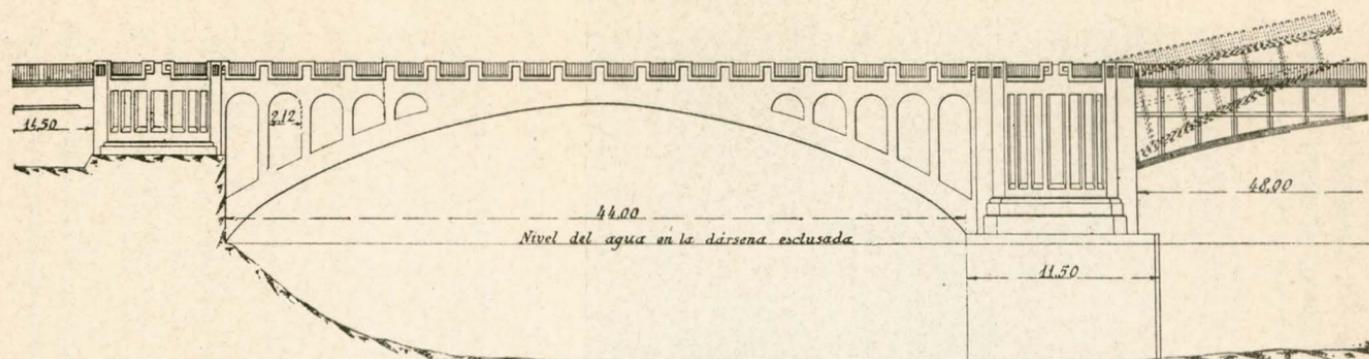


Fig. 129.—Sección longitudinal del puente de San Telmo.

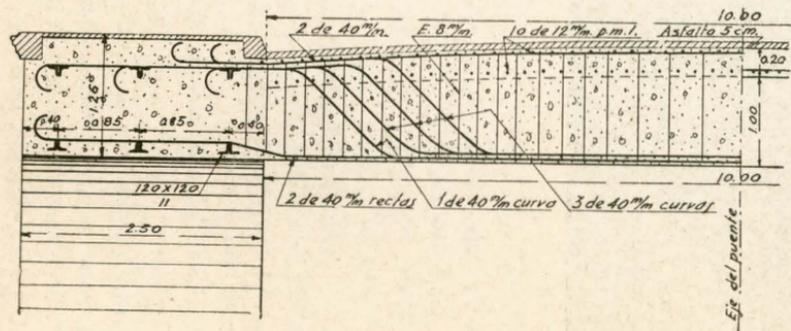


Fig. 130.—Sección transversal por la clave.

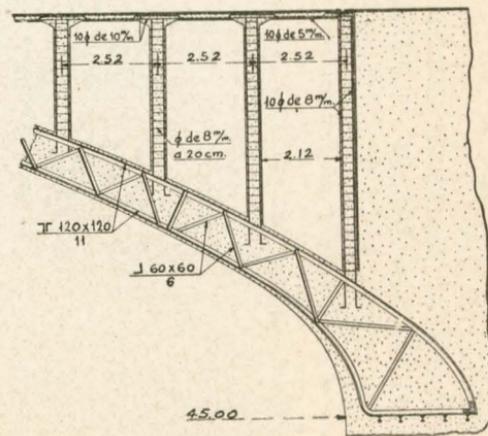


Fig. 131.—Detalle de la armadura.

tranjera en el Concurso internacional que se abrió el año 1920, para los proyectos y ejecución de este puente.

Tan considerable economía fué debida a las causas siguientes:

a) Los arcos de 44 m. de luz de H. A. resultaron de mucho menor coste que los tramos metálicos de igual luz.

b) La disposición de arcos gemelos permitió suprimir en una anchura de 10 m. la parte central de las pilas y estribos y *de sus cimientos neumáticos* (1).

c) Las armaduras rígidas de los arcos permitieron su montaje con la economía y facilidad que expusimos en el capítulo II (fig. 88), *ahorrándose, merced a esta disposición, el enorme gasto de cimbras y andamios de todas las demás soluciones de puentes, en un río tan caudaloso* (2).

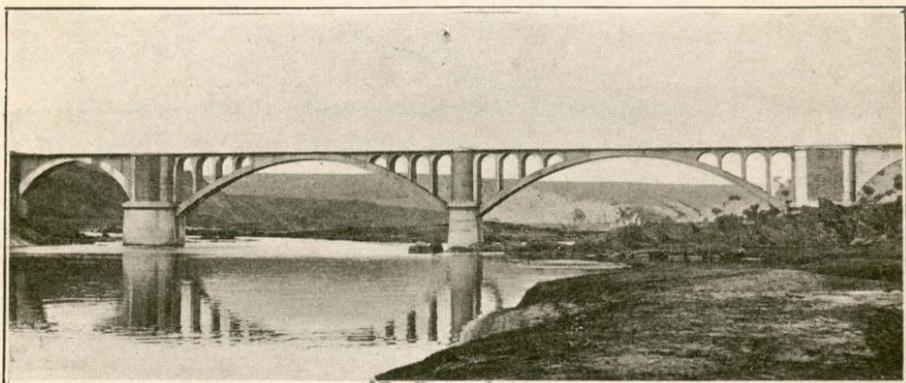


Fig. 132.—Puente de Manzanal del Barco (Zamora).

Puente de Manzanal del Barco, sobre el Esla (Zamora) (3).—

Dos arcos parabólicos de 2º grado de 45 m. de luz de cálculo,

(1) Descritos en el tomo II de este libro (segunda edición, pág. 194.).

(2) Proyecto del autor, ejecutado por la "Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles", que preside, cuyos ingenieros, señores D. Eduardo Torroja y D. José Entrecanales, y el veterano constructor D. Manuel Távara, rivalizaron en inteligencia para resolver las múltiples dificultades constructivas que se presentaron en cimientos y alzados y cuyos detalles pueden leerse en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de septiembre de 1931 y en el *Genie Civil* de 19 de septiembre de 1931.

(3) Para el camino vecinal de La Hiniesta a Carvajales, construído en 1927 por la Diputación provincial de Zamora. Autor del proyecto: Ingeniero D. Antonio Díaz Burgos.

con armaduras rígidas del tipo de los modelos oficiales y dos arcos laterales de 20 m. de luz.

Bóveda única de 2,30 m. y 2 voladizos de 0,7 m.; calzada de 2,20 m., andenes de 0,78 m. sobre ménsulas distanciadas a 3,60 m. (figuras 132 y 133).

Como las pilas y estribos se cimentaron directamente sobre las peñas del cauce, el coste del puente sólo fué de 191.126 pesetas.

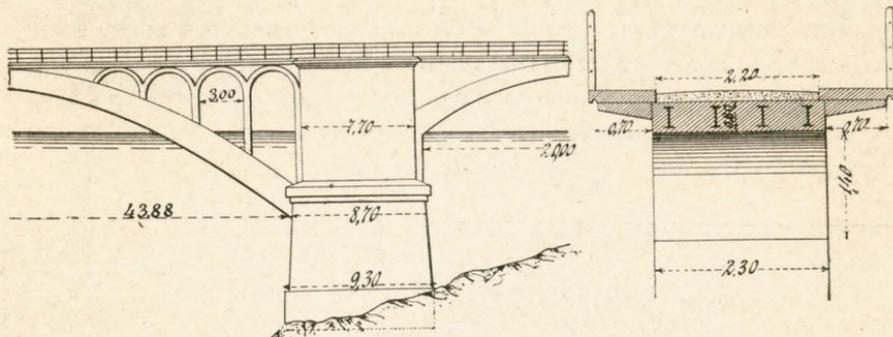


Fig. 133.—Puente de Manzanal del Barco.

tas, es decir, poco más de 1.000 pesetas por metro lineal, que es excepcionalmente económico.

Se realizó el montaje de las cerchas rígidas del arco mediante cables, que permitieron transportar y suspender sus diferentes trozos (fig. 86).

Puente viaducto de Siete Lunas, en el ferrocarril de vía ancha de Alicante a Alcoy (1).—Se acaban de construir para esta nueva línea dos puentes viaductos con arcos de H. A. rebajados y a estribos perdidos.

El de Siete Lunas (fig. 134) tiene 44 m. de luz, 8,80 m. de flecha y 20 m. de altura sobre el barranco; el del Viaducto del Zinc, 40 m. de luz y 8 m. de flecha.

Las armaduras de ambos arcos son semirrígidas, del tipo descrito en el capítulo II (fig. 70).

(1) Detalles en la *Revista de Obras Públicas*. Año 1929 (págs. 349 y 365). Artículos del autor de su proyecto, D. José Roselló.

a las de nuestros modelos oficiales, salvo que se ha aumentado de 2 a 3 m. la distancia entre ejes de los tabiques.

Los arcos gemelos tienen alturas de 2,50 m. en arranques y 1,90 m. en la clave (1).

§ IV.—GRANDES ARCOS INFERIORES, EN EL EXTRANJERO

Puente de Forgaria, sobre el Arzino (Italia) (2).—Construido por los ingenieros militares italianos y destruido por los austríacos en su retirada de 1918 (fig. 136).

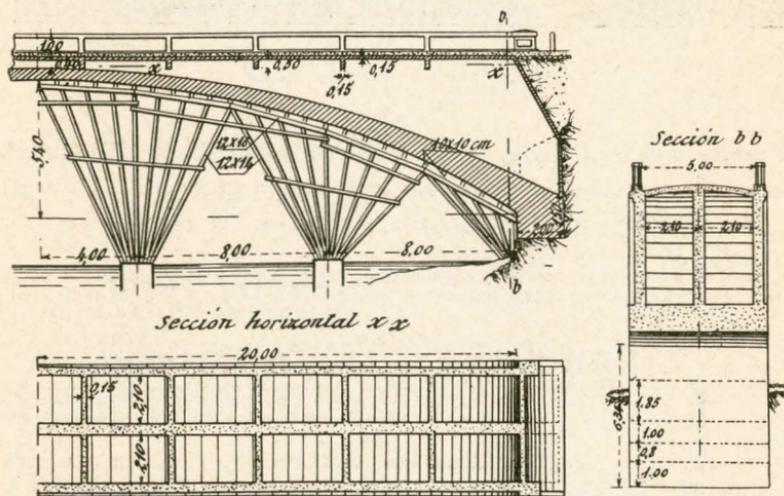


Fig. 136.—Puente de Forgaria (Italia).

Es del tipo de tabiques longitudinales, con armaduras de redondos, que se entrelazan con las del arco, pero en éstos con una cuantía reducida de 1,15 por 100.

(1) Para la carretera de la estación de Vellisca a Carabaña (Guadalajara). El primer proyecto fué de D. Landelino Crespo y D. Ramón de Torre Isunza y el proyecto reformado con que se construye de D. César Villalba, que dirige también sus obras. Cuando se termine esta obra seguramente se publicarán detalles en la *Revista de Obras Públicas*.

(2) Detalles en *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Láminas 63 y 64.

Para 40 m. de luz, los espesores del arco son de 0,50 m. en la clave y 1,10 m. en los arranques.

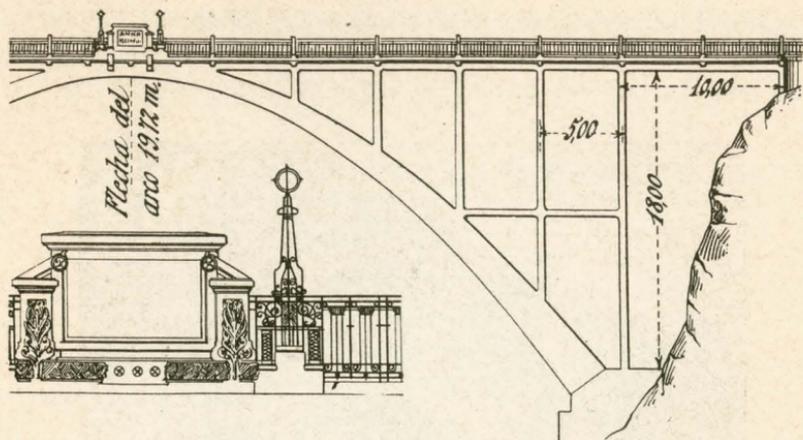


Fig. 137.—Punto de la Victoria (Italia).

Obsérvese la importancia de las cimbras, que hubieran podido evitarse con armaduras rígidas.

Puente de la Victoria, sobre el Pioverna, en Cremona (Italia).—Entre los muchos puentes de H. A. construidos por los ingenieros italianos, sobre todo después de la guerra, merece citarse este puente, que salva una profunda depresión del río y a 86 metros de su nivel, por lo que en realidad es un puente-viaducto (figs. 137. a 139).

Su vano central se ha salvado por dos cerchas de 53,50 m. de luz y 19,72 metros de flecha, con la curva

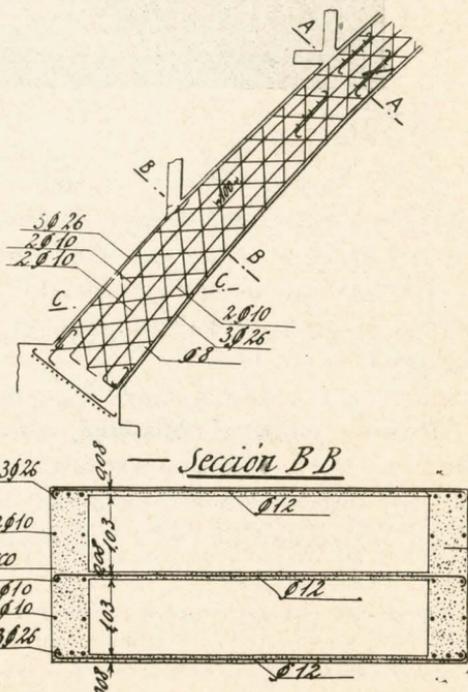


Fig. 138.—Detalles del puente de la Victoria (Italia).

del funicular del peso propio, aumentado en la mitad de la máxima sobrecarga uniforme.

Las dos cerchas y los pilares que sobre ellas se apoyan, van en planos inclinados, para resistir a los esfuerzos del viento, y están además arriostradas entre sí por 3 forjados de 8 cm.

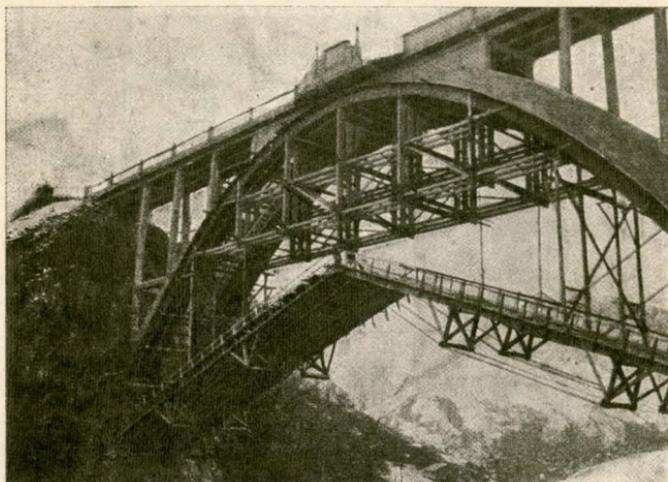


Fig. 139.—Cimbra del puente de la Victoria.

Como se proyectaron armaduras flexibles, hubo que emplear una costosa cimbra, de tipo original (fig. 139), que sólo costó 140.000 libras, por haberse podido utilizar la cimbra de otro puente análogo. De no haber existido esta circunstancia favorable, parece evidente la superioridad en este caso de las armaduras rígidas (1).

Puente sobre el Missisipí, en Minneápolis (Estados Unidos (2).—Corta oblicuamente al río con tramos en arco de 64,30 m. de luz y dos extremos de 40,85 m.

En los tramos de 64,30 m., cada uno de ellos está constituido

(1) Pueden leerse detalles en la *Revista de Obras Públicas*, año 1927 (pág. 322), y sobre todo en el libro *Ponti Italiano in cemento armato*, de Santarella y Miozzi.

(2) Detalles interesantes de su construcción en la *Revista de Obras Públicas* de 30 de noviembre de 1916.

por tres arcos (fig. 140), armados el central con 6 cerchas de armaduras rígidas en celosía y los laterales con 4 cerchas.

Los tramos de 40,85 m. de luz llevan bóvedas continuas, pero su armadura es también del tipo rígido.

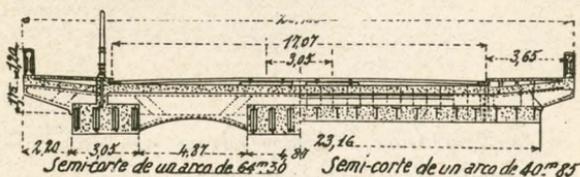


Fig. 140.—Puente de Minneapolis (E. U. A.).

Los tímpanos con pilares que sirven de apoyo al tablero y el forjado son de tipo corriente (1).

Puente de Laval de Cère, para un empalme con la red del ferrocarril de París a Orleans (fig. 141).—De vía normal; un arco de 67 m. de luz y 10 m. de flecha.

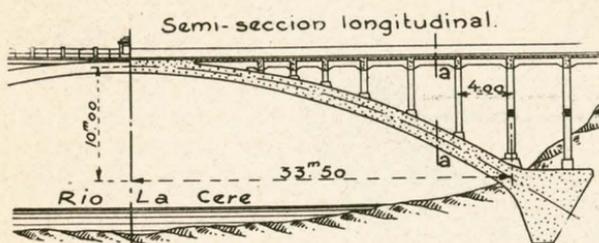


Fig. 141.—Puente de Laval de Cère (Francia).

Sección a. a

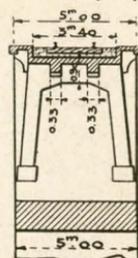


Fig. 141 bis.

La bóveda continua, de anchura constante de 5 m., tiene espesores de 0,80 m. en la clave y 1,40 en arranques.

(1) Posteriormente se ha construido en la misma población y sobre el Missisipi otros dos grandes puentes. Uno de ellos, descrito en *Ingeniería y Construcción*, de julio de 1920, tiene un arco central de 121,92 m. y dos laterales de 60,66 m.; otro, descrito en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de diciembre de 1927, tiene tres arcos centrales de 90 m. y los dos extremos de 42 m.

El primero de estos arcos mantuvo el *record* de luces entre los de H. A., hasta que los de Saint-Pierre de Vauvray (131,30 m.) y el de Plougastel (187 m.), que luego citamos, sobrepasaron a aquél.

Soporta el tablero por parejas de pilares a 4,00 m. de distancia.

Las armaduras del arco son continuas y se soldaron con autógeno. Para el hormigón de la bóveda se empleó supercemento, que permitió hacer trabajar el hormigón a 90 kg./cm².

Podía haberse proyectado una pila central, reduciéndose las luces del arco a poco más de 30 m., y, a nuestro juicio, con sensible economía.

Puente de la Tournelle, sobre el Sena, en París (1).—Substituye a un muy antiguo puente con bóvedas de pequeña luz, que

obstruía las inundaciones del río Sena (fig. 142).

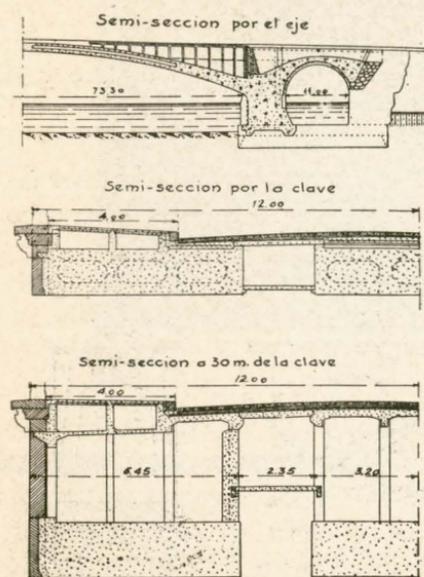


Fig. 142.—Puente de la Tournelle (París).

El tramo principal de 73,30 metros de luz, está compuesto por tres arcos gemelos de H. A. de 6,45 m. de ancho a 2,75 m. de distancia. El espesor de estos arcos varía de 2,28 m. en los arranques a 1,40 m. en la clave.

Éstos arcos están aligerados longitudinalmente en 2/3 de su longitud en la forma representada por las figuras; en sus paramentos exteriores se han recubierto los arcos con sillares de piedra natural, con un despiece que les da aspecto de un puente de sillería.

El tablero se apoya sobre los arcos por medio de tabiques longitudinales en los bordes de cada arco y de pilares intermedios.

Se terminó en 1928, costando 12,5 millones de francos.

Puente sobre el Elorn, en Plougastel (cerca de Brest).—Inaugurado el 9 de octubre de 1930 por el Presidente de la República francesa (figs. 143 a 146).

(1) Detalles en *Genie Civil* de 17 de marzo de 1928. Ingenieros: M. M. Deval, Lang y Reirant.

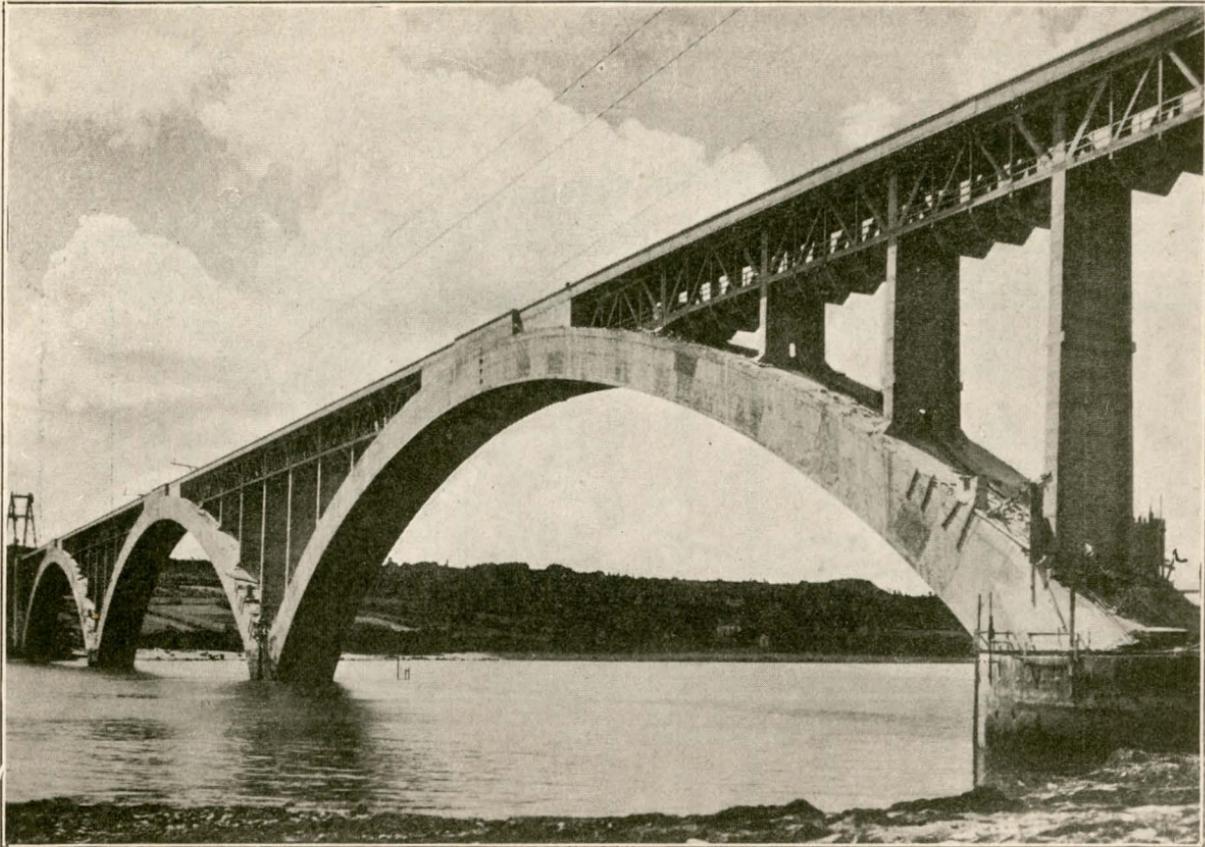


Fig. 143.—Vista general del puente de Plougastel,

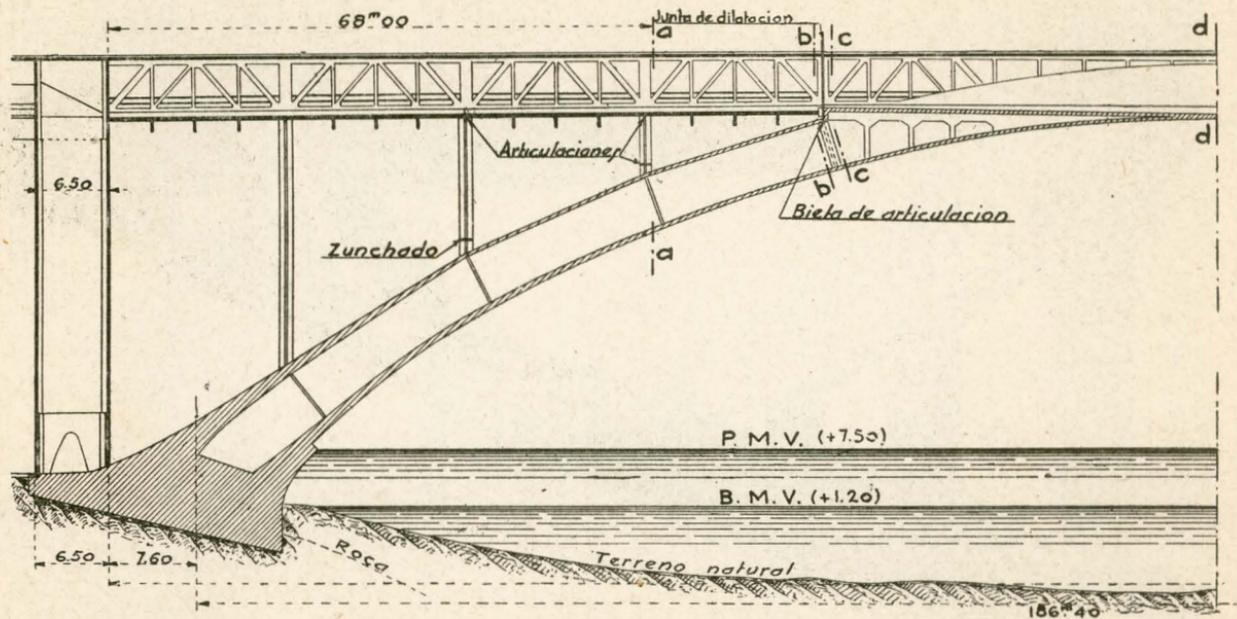


Fig. 144.—Sección longitudinal del puente de Plougastel,

Tres arcos de H. A. de 172,60 m. de luz; son los mayores del mundo hasta la fecha y honran a la Ingeniería francesa y a su autor, el eminente ingeniero M. E. Freyssinet (1).

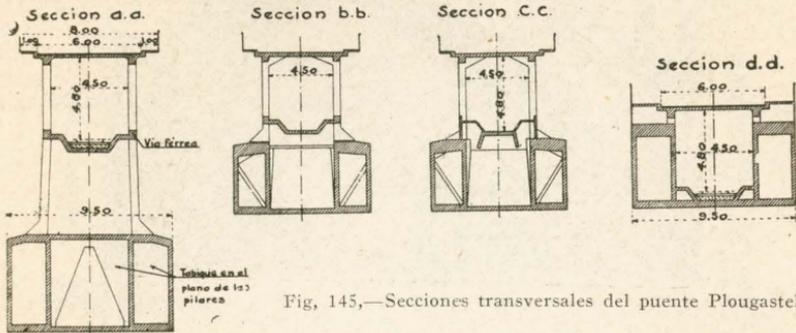


Fig. 145.—Secciones transversales del puente Plougastel,

Además de sus excepcionales dimensiones, las características de esta grandiosa obra son:

- 1.º Que los arcos son huecos, como luego veremos en el de Saint-Pierre de Vauvray.
- 2.º Que los tableros son dobles: el de arriba para doble vía carretera, el inferior para una vía férrea de ancho normal francés.
- 3.º En las disposiciones para contrarrestar los efectos de la temperatura, muy sensibles en un puente de cerca de medio kilómetro de longitud.

Los arcos pueden dilatarse libremente, pero el tablero tiene que cortarse en ciertos puntos; se han escogido los puntos de apoyo de la cuarta viga triangulada, sobre el arco y de cada lado de éste. El apoyo del tablero sobre el arco se realiza por unas bielas con dos articulaciones (sistema Freyssinet), que asegura la completa libertad de la dilatación. La palizada de apoyo del tablero más próxima a la clave se articula también casi en sus extremos (véase la fig. 144). La que viene después, sólo tiene una articulación en su parte alta y su base se ha zunchado con objeto de que pueda resistir las flexiones parásitas que le produzca la dilatación del tablero.

(1) Autor de los puentes de Villeneuve sur Lot., de 96,25 m. de luz (tomo III, pág. 255), de Saint-Pierre de Vauvray y del puente articulado Candelier, estos últimos descritos más adelante.

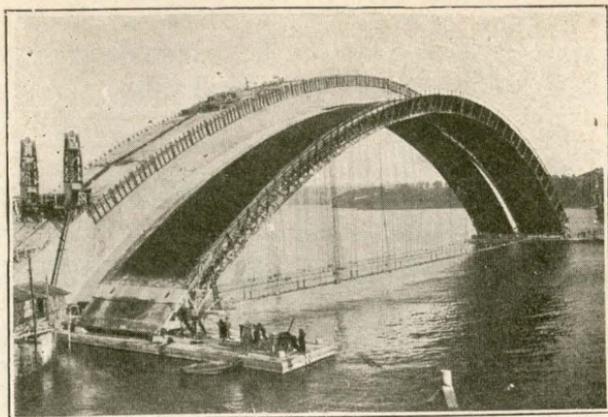


Fig. 146.—Cimbra del puente de Plougastel,

4.º Además de sus dimensiones extraordinarias, en este puente ha resuelto el ingeniero M. Freyssinet con su genial originalidad, muy interesantes problemas de construcción, que merecen conocerse, pues que ejecutó sus tres arcos con una sola cimbra, transportada por flotación de uno a otro de los arcos (fig. 146).

Su coste ha sido de 22 millones de francos, equivalentes a 7 millones de pesetas, o sean 9.000 pesetas por metro lineal, que en España serían unas 13.000 pesetas, por el mayor precio del cemento, hierro y maquinaria (1).

Puente de Lisboa, sobre el Tajo (Portugal).—Aunque no se ha construido aún, merece citarse este proyecto, debido a nuestro compañero el profesor D. Alfonso Peña Boeuf, que, de realizarse, alcanzaría el *record* de *luzes* de todos los puentes de H. A. y el de mayor longitud del mundo (figs. 147 y 148).

Consiste en diez tramos con arcos de 200 m. de luz, sobre pilas cimentadas a grandes profundidades, por un procedimiento también original (2) y un viaducto de acceso de 1115 m. de longitud, con tramos en arcada de 15 m. sobre palizadas.

(1) Detalles en *Genie Civil* de 4 de octubre de 1930.—*Revista de Obras Públicas* de 15 de noviembre de 1930 y un artículo del autor en la revista *Ferrocarriles y Tranvías*, núm. 1, febrero de 1931.

(2) Descrito en nuestro tomo II, pág. 249, y en *Genie Civil*, tomo 81, núm. 1.

Para suprimir las cimbras, se han proyectado los arcos *con armaduras rígidas*, que se montarán al aire por medio de transbordadores aéreos.

Las cerchas son dobles en cada uno de los cuatro arcos y están

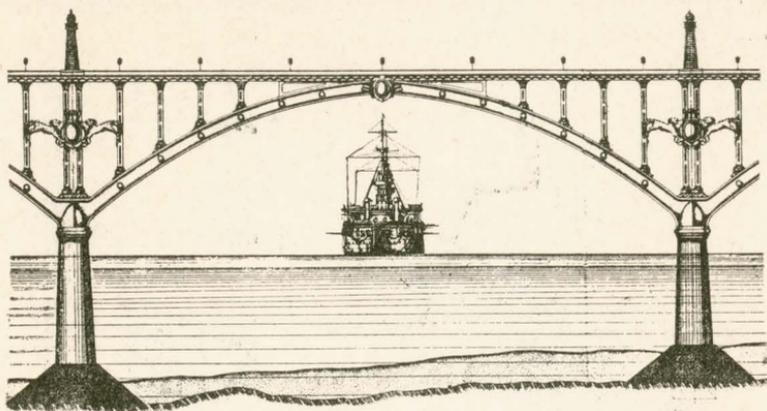


Fig. 147.—Puente sobre el Tajo (Lisboa).

formadas por cuatro angulares y platabandas enlazadas por celosía de angulares formando cuadros de 4 m. (1).

El ancho del puente será de 24 metros para sobrecargas, correspondientes a doble vía de ferrocarril normal, doble vía de carretera y dos aceras laterales.

La rasante está proyectada a 45 m. sobre la P. M. E., que permite el paso de los mayores barcos.

Su presupuesto, incluyendo el viaducto de accesos es de 50 millones de pesetas.

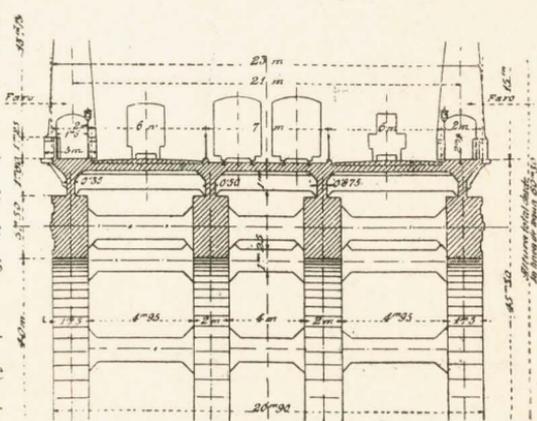


Fig. 148.—Puente de Lisboa.

(1) Detalles en *Madrid Científico* de 1.º de diciembre de 1921.

§ V.—GRANDES ARCOS SUPERIORES, EN EL EXTRANJERO

Puente de Chippis, sobre el Ródano (Suiza).—Se construyó para un ramal de ferrocarril de vía ancha, con un arco de 60,44 m. de luz (figs. 149 y 149 bis).

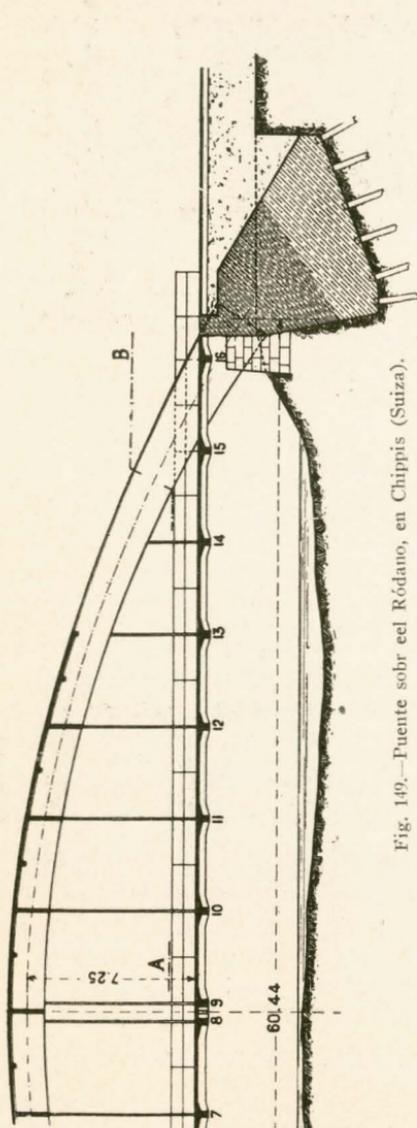


Fig. 149.—Puente sobre el Ródano, en Chippis (Suiza).

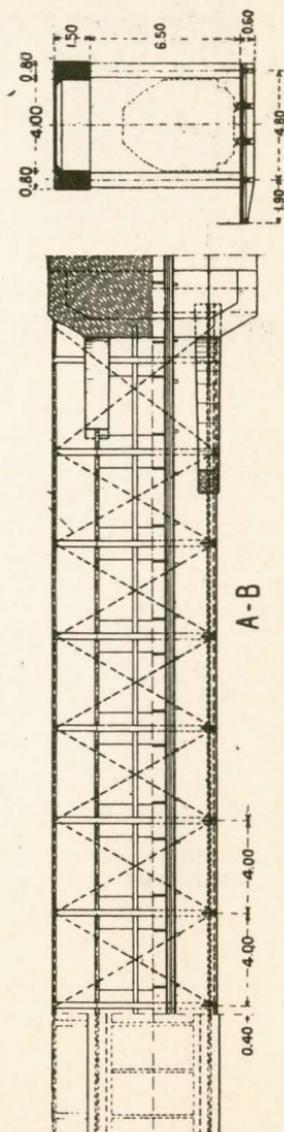


Fig. 149 bis.—Sección por A-B de la fig. 149.

Los dos arcos, a estribos perdidos, se arriostran en su parte inferior por el tablero de H. A., que está colgado de los arcos y tiene una junta de dilatación en su centro.

También en este puente podía haberse reducido a la mitad la luz de su arco único, con una pequeña pila en el centro del río.

Puente de Conflans, sobre el Oise, próximo a París (1).— Terminado en 1929 para substituir a un antiguo puente colgado (figuras 150 y 151).

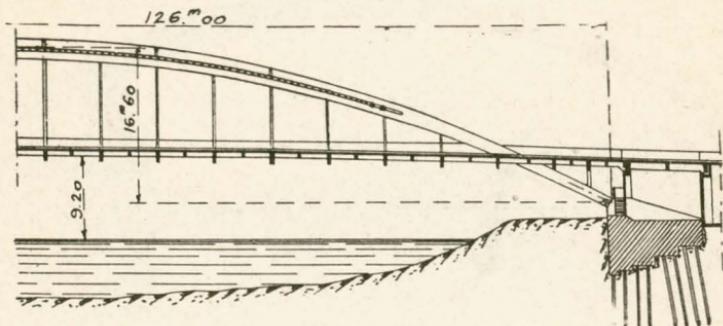


Fig. 150.—Puente de Conflans.

Aunque del tipo y dimensiones del puente de Saint-Pierre de Vauvray, que describiremos a continuación, difiere de éste en que en el de Conflans los arcos se van adelgazando desde la clave (2,10 m.) hasta los arranques (1,26 m.). El ancho en estos arcos es constante (1,20 m.), salvo en los arranques en que se ensancha a 1,80 m.

Las péndolas a 6,00 m. de distancia son octógonos de 0,20 m. de grueso.

El arriostramiento superior es un techo calado, suspendido de tres arquillos que se empotran en los dos

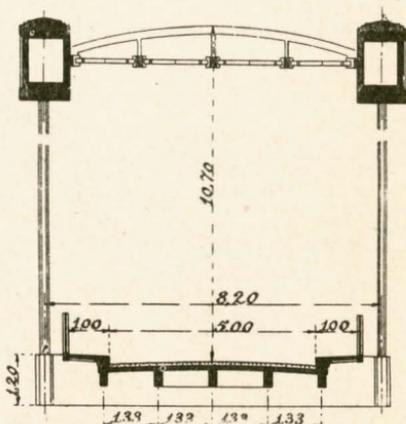


Fig. 151.—Puente de Conflans.

(1) Proyecto y ejecución de la Casa Boussiron, mediante concurso. Detalles en *Genie Civil* de 1.º de febrero de 1930.

arcos principales. El autor hubiera preferido tres arcos de 40 m., que hubieran podido ser inferiores, cuyas cimbras, moldes y mano de obra resultarían mucho más económicos.

Puente de Saint-Pierre de Vauvray, sobre el Sena (Francia) (1).—Proyecto y construcción del ingeniero M. E. Freyssier.

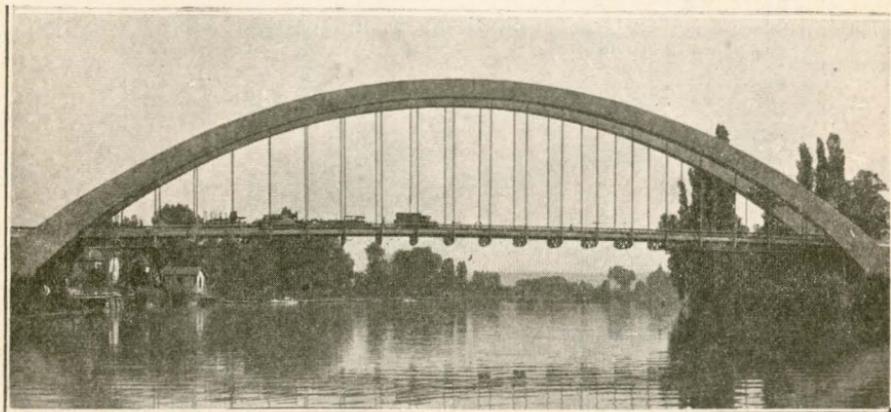


Fig. 152.—Puente de Saint-Pierre de Vauvray (Francia).

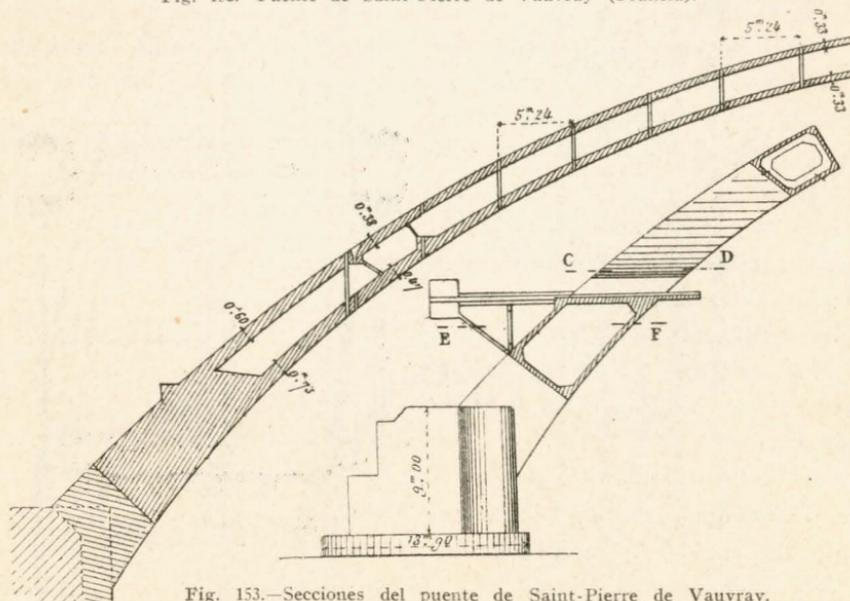


Fig. 153.—Secciones del puente de Saint-Pierre de Vauvray.

(1) Detalles en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de octubre de 1923.

net, autor del puente de Plougastel. El puente que nos ocupa ahora, construido en 1923, ofrece las características siguientes (figs. 152 y 153):

Luz libre entre estribos: 131,80 m.; flecha: 25 m.

Ancho de la plataforma: 8,80 m., de los que una calzada de 5,35 y 2 andenes de 1,34 m.

Sección de los tirantes de suspensión que aguantan el tablero: 40 barras de 10 mm.

Es el primer puente que se ha ejecutado con arcos huecos de paredes delgadas.

§ VI.—CONCLUSIONES

Pueden reducirse casi siempre las grandes luces.—El examen de los puentes anteriormente descritos evidencia la variedad dispositiva que pueda darse a los grandes arcos empotrados

Pero también puede observarse en muchos de ellos, que podrían haberse substituído los grandes arcos únicos (fig. 154 - A) por dos o más tramos con arcos menores de 40 m.

Así, por ejemplo, en la misma figura, la solución B obliga a una pila más, pero las dimensiones de los estribos se reducen por ser menor el rebajamiento de los arcos y, en cambio, éstos necesitarán menos hormigón y acero que el arco único y, sobre todo, cimbras y moldes más ligeros.

Más ventajosa aún sería la substitución del arco superior C de la figura 154, por los tres arcos inferiores del croquis D. El volumen total de cimientos de las dos pilas no será muy superior al que se ahorre en los estribos; pero, en cambio, es evidente que los materiales cimbras y moldes de los tres arcos inferiores serán mucho menores que los que exigiría el arco superior único.

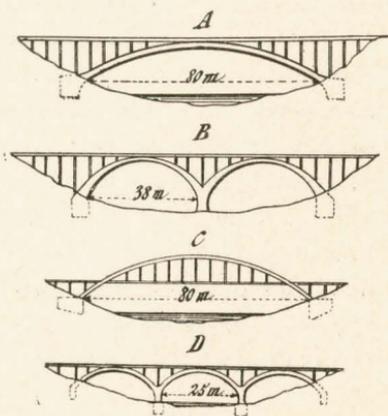


Fig. 154.

Inconvenientes de los arcos superiores.—Por lo demás, estos arcos superiores e intermedios, aunque en apariencia ligeros y económicos de material, ofrecerán siempre serios inconvenientes:

a) El grave peligro de sus cimbras *de gran altura*, expuestas al viento y a las crecidas.

b) El gasto considerable de cimbras y moldes *que tiene que amortizarse en un solo arco*.

c) El elevado coste de la mano de obra, para arcos huecos, *a gran altura sobre la rasante*.

Para el autor no es dudoso que los tres notables ejemplos que hemos presentado pudieran haberse realizado con arcós inferiores de tipo corriente más económicos, teniendo en cuenta la reducción de coste de los precios de cimientos cuando se aumenta el número de apoyos.

Evolución constructiva de los arcos.—Es incuestionable, sin embargo, que en barrancos muy profundos o en ríos de gran nivel de agua con lechos de escasa consistencia y muy socavables, que exijan pilas de exagerada altura o cimientos caros, podrán imponerse arcos de más de 100 metros.

También es cierto que aplicando los nuevos procedimientos constructivos de Freyssinet y los supercementos y aceros especiales, que consienten trabajos de cien y más kilogramos al hormigón y de 15 a 20 kg. al acero, podrán alcanzarse grandes luces, con volúmenes de material relativamente reducidos.

Pero, a pesar de esta notoria evolución constructiva, que abre nuevos campos a los grandes arcos de hormigón armado, no es menos cierto que este material tendrá siempre en contra suya los peligros y los gastos de sus cimbras y moldes, que crecen en progresión geométrica de las luces y alturas de arcos y rasantes.

No despreciemos los puentes metálicos.—No olvidemos, por último, que los cables y quizá en breve el empleo de aceros especiales permitirán soluciones más atrevidas que el *cantilever* de 643 metros de Quebec y el tramo de 1.066 m. que acaba de terminarse en Nueva York.

Es probable que los progresos del cálculo, de la fabricación de aceros y de los medios de montaje consientan soluciones

nuevas, y que así como el hierro, primero, y el hormigón, después, revolucionaron sucesivamente el mundo constructivo, vuelvan los nuevos aceros a producir una reacción en favor de los puentes metálicos, en combinación quizá con cementos especiales que los defiendan y vigoricen.

De todos modos, y como indicamos en el capítulo I del tomo III, el ingeniero, antes de decidirse por los grandes arcos de H. A., deberá comparar su coste con los de fábrica ordinaria y hasta con las soluciones metálicas que más se acomoden a las circunstancias de la obra en proyecto, pues el acero se defenderá contra la ofensiva victoriosa del hormigón armado, como se defienden el gas y el vapor contra la creciente absorción de la electricidad.

En España, sin embargo, por efecto de la protección arancelaria exorbitante de que disfrutaban los aceros, con relación a la que tiene el cemento, serán cada día más excepcionales los puentes metálicos, por resultar casi siempre más caros de construcción, sobre todo si se le agrega, como es justo, el gasto capitalizado de su conservación constante, que no recargan a los puentes de fábrica o de hormigón armado.