

## CAPÍTULO XII

### GRANDES BOVEDAS

#### § I. — Definiciones.

#### § II. — De piedra y ladrillo.

Puente de Saint-Sauveur (Francia). — Puentes Aníbal y del Diablo (Italia). — Puentes de Lavaur y Antoinette (Francia). — Puente de Salcano (Austria). — Puente de Plauen (Sajonia). — Puentes de Orleans, Gour-Noir y Montanges (Francia). — Puente de Cinuskel (Suiza). — Puente sobre la Vouga (Portugal).

#### § III. — De hormigón en masa.

Puentes de Big-Muddy, Baltimore y Wáshington (Estados Unidos). — Puentes de Guggersback y Wiesen (Suiza). — Bóvedas alemanas rebajadas.

#### § IV. — Conclusiones.

#### § I. — Definiciones

De acuerdo con Sejourné, clasificamos como *grandes bóvedas* todas aquéllas de 40 metros de luz en adelante, *ya sean construídas con piedra natural*, silleras, sillarejos y mamposterías, *ya con piedra artificial*, hormigón en masa o ladrillo.

En este capítulo sólo estudiaremos las *bóvedas continuas* en todo el ancho de la obra e *inarticuladas*, es decir, aquéllas que se pueden considerar como *empotradas* en el terreno o cimientos.

En el capítulo siguiente estudiaremos las grandes bóvedas constituidas por *arcos gemelos*, y en el capítulo XIV, las *bóvedas articuladas*.

En todas estas grandes bóvedas los tímpanos y plataformas podrán ser de fábricas ordinarias o de hormigón armado.

Reservamos para la tercera parte de este libro el estudio de los *grandes arcos de hormigón armado*.

Describiremos una selección de puentes de cada uno de aquellos tipos, para deducir en cada capítulo las enseñanzas que de su examen se deriven (1).

## § II. — Puentes de piedra y ladrillo

**Puente de Saint-Sauveur (Altos Pirineos)**, sobre el río de Pau.

Construido en 1861, para la carretera de Pau a Barèges (figuras 240 a 242).

Arco de medio punto de 42 m. de luz; la rasante está a 65,50 m. del fondo del barranco.

Bóveda de sillería, tímpanos de mampostería ordinaria con mortero común, adicionado con 1/10 de cemento.

La imposta es convexa, en arco de círculo.

Se utilizan las ménsulas decorativas de la imposta para volar los andenes en 0,60 m., lo que ha permitido reducir el ancho de la bóveda a 5 m.

Barandillas de hierro fundido.

Los tímpanos se han aligerado longitudinalmente.

Es el arco que pedía el terreno; costó 318.000 francos, de los

---

(1) Un gran número de los ejemplos que presentamos se han extractado de la grandiosa obra *Grandes vcútes*, del ilustre Ingeniero M. Paul Sejourné, de que dimos cuenta en la *Revista de Obras Públicas* de 10 de mayo de 1917.

Se compone de seis grandes tomos, con innumerables fotografías y grabados, en que se describen con todo detalle las 263 grandes bóvedas de más de 40 m. de luz, de las que 88 son articuladas, construidas en el mundo hasta 1916.

El Ingeniero que tenga que proyectar algún puente de esta clase debe estudiar el libro de Sejourné. En el nuestro, por lo que a estas grandes bóvedas se refiere, sólo podemos resumir las enseñanzas de tan esclarecido colega de profesorado, al que constantemente debemos citar.

que 120.000 para la cimbra. Hoy costaría tres veces más, por lo que se impondría un arco de hormigón armado, con armadura rígida que permitiese suprimir la cimbra.

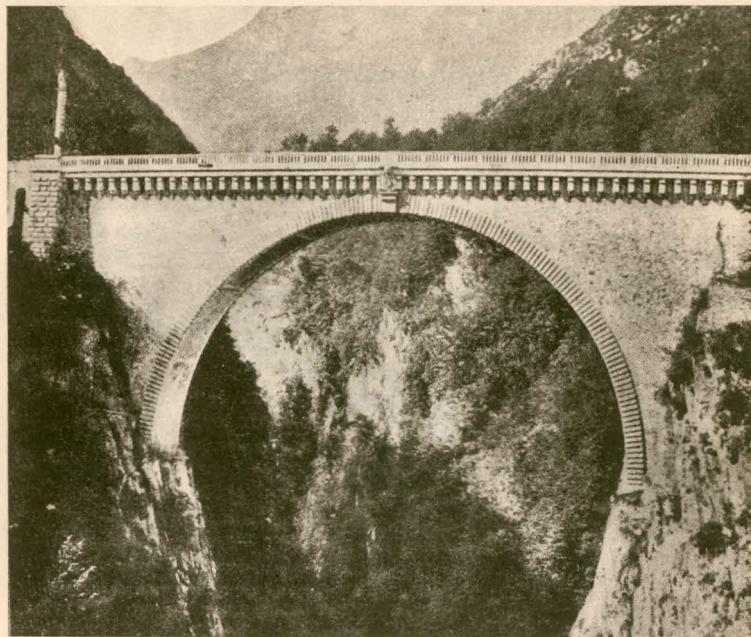


Fig. 240. Puente de Saint Sauveur.

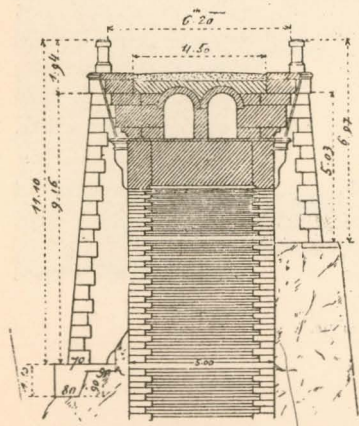


Fig. 241.

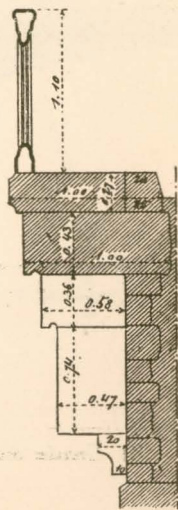


Fig. 242.



**Puente Anibal**, sobre el Vulturno, cerca de Capua (Italia) (1). Terminado en 1869. Ingeniero: Giustino Fiocca.

Tiene un arco elíptico de 55 m., con capialzados; dos aligeramientos visibles en los estribos, y otros transversales en los tímpanos (figuras 243 y 244).

La bóveda y tímpanos son de ladrillo; el resto, de sillarejo.

La disposición es viciosa, por la enorme longitud de los estribos y haber reservado el sillarejo para los estribos, que sufren menores presiones que la bóveda.

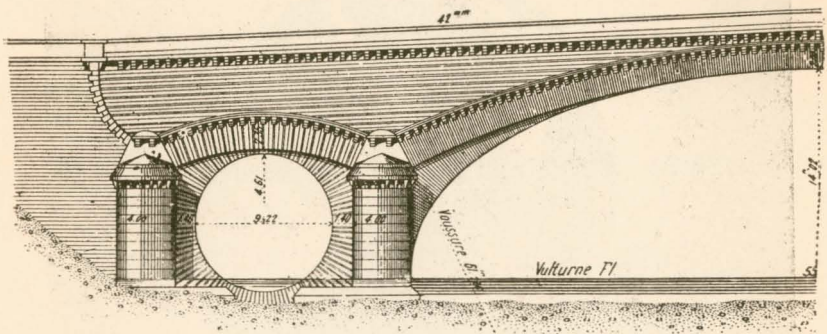


Fig. 243. Puente Anibal.

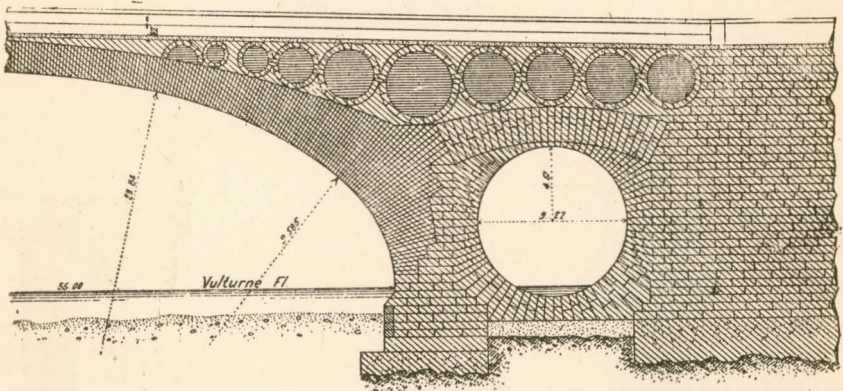


Fig. 244. Sección por el eje.

(1) *Grandes voûtes*, tomo I, páginas 112 y 117.

**Puente del Diablo, sobre el Sele, en Salerno (Italia).**

Terminado en 1873 (fig. 245).

El mismo Ingeniero Giustino Fiocca proyectó otro puente elíptico de igual luz, 55 m., que sigue siendo el de mayor luz entre los elípticos de fábrica.

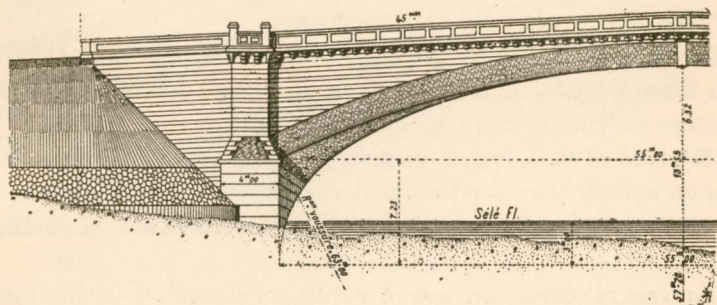


Fig. 245. Puente del Diablo (Italia).

La bóveda y sus capialzados son de ladrillo.

También se aligeraron los tímpanos interiormente, como en el puente Aníbal.

Creemos que estos dos puentes, que necesitaron estribos muy considerables, pudieran haberse construído, con sensible economía, con dos bóvedas cada uno y una pila en el centro de esos ríos, que son de escaso caudal en verano.

Es evidente que su autor se propuso proyectar las mayores bóvedas de su país, ocasionando con ello un sensible aumento de gasto.

### Puentes de Lavour y Antoinette, sobre el Agout (1).

Construídos los años 1882-84, para el ferrocarril de Montauban a Castres.

Proyecto y ejecución: Ingeniero M. Sejourné.

Costaron 485.000 y 224.000 francos, respectivamente.

El primero es casi un medio punto de 61,50 m. de luz; el de Antoinette, un arco circular de 50 m.

La proximidad de otro gran puente del siglo XVIII, de un solo arco, incitó a construir en Lavour una gran bóveda de sillarejo en tres roscas (figuras 246 y 247).

Resultó el de Lavour un puente monumental, admirablemente proporcionado y con refinada decoración; el de Antoinette (figura 248), de aspecto más ligero, con sus tímpanos y pretilos de ladrillo.

Ambos iniciaron un nuevo estilo constructivo de los puentes, y honran a la Ingeniería francesa y a su autor.

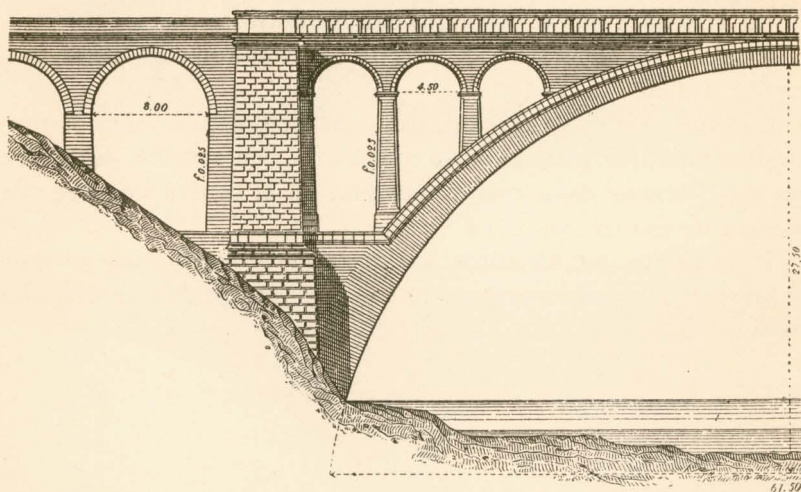


Fig. 246. Puente de Lavour.

(1) Detalles en Sejourné: *Grandes vouîtes*, tomo II, páginas 136 a 156.



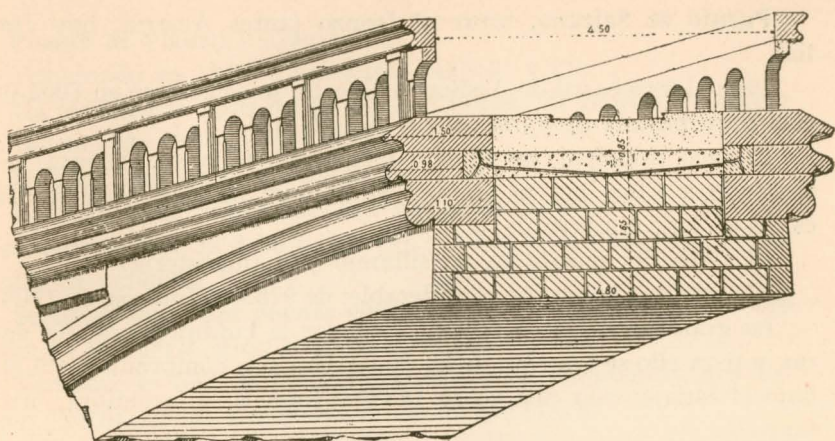


Fig. 247. Sección por la clave y detalles del puente de Lavaur.

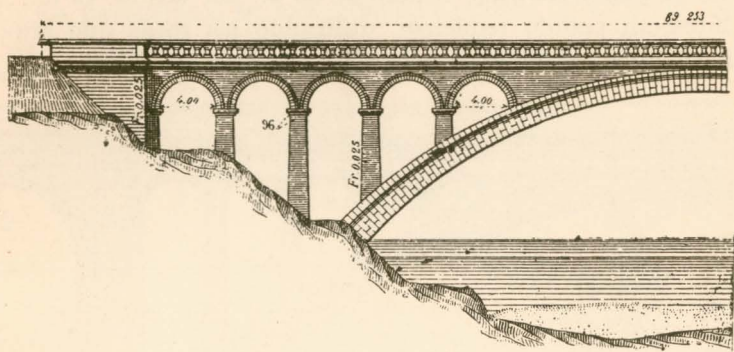


Fig. 248. Puente Antoinette.

Estos puentes fueron los primeros que se construyeron por roscas en sillarejo, con perfeccionamientos de ejecución, que aseguraron la supresión casi absoluta de asentos, a pesar de las grandes luces de las bóvedas.

En el tomo IV los detallaremos.

**Puente de Salcano**, sobre el Isonzo (antes Austria, hoy Italia).

Para el ferrocarril de Asshing a Trieste, se construyó en 1904-06 esta gran bóveda de 85 m. de luz (fig. 249).

El arco principal, de sillería caliza, en toda su anchura, resistiendo a 1.200 kg.; el máximo trabajo en las juntas de rotura es de 51 kg.; mortero de  $1 \times 3$ .

El resto del puente es de sillarejo y mampostería.

El coste de la obra fué considerable: de 975.030 francos, en 1906.

La gran luz del arco aconsejó apoyar la cimbra en medio del río, y para ello se cimentó dicho apoyo con aire comprimido a 9 m. bajo el estiaje; esta pila costó 143.000 francos, y la cimbra, otro tanto.

¡Cuánto mejor hubiera valido aprovechar ese cimiento para elevar una pila y sustituir el arco de 85 m. por dos de 40 m., que aun hubieran podido reducirse, utilizando las rocas que afloran en una margen! Siempre el afán de batir *records* de luces.

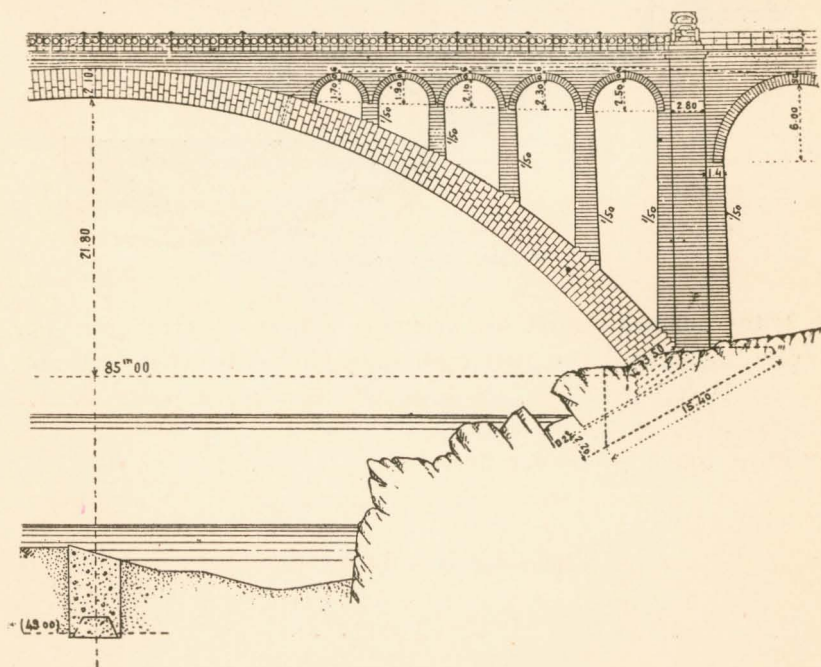


Fig. 249. Puente de Salcano.



**Puente de Plauen (Sajonia) (1).**

Terminado en 1905. Ingenieros: Liebold y Cía.

Ha sido, hasta hace pocos años, el puente de fábrica de mayor luz del mundo (90 m.) (fig. 250).

Es para una calle, con ancho de 17 m.

Pero no está justificada tan excepcional dimensión, pues ni tiene perspectiva, ni debajo hay río, y sobra sitio para otras pilas, fáciles de cimentar.

Se quiso hacer un puente colosal, y costó 615.000 francos oro antes de la guerra. Hoy costaría el triple.

Tampoco es feliz su decoración, ni sus aligeramientos, que parecen destinados al alcantarillado de la población.

La bóveda se ejecutó con sillarejo muy duro, con más de 40 por 100 de mortero. Es casi hormigón.

En los paramentos se han simulado gruesos sillares. La obsesión de lo colosal.

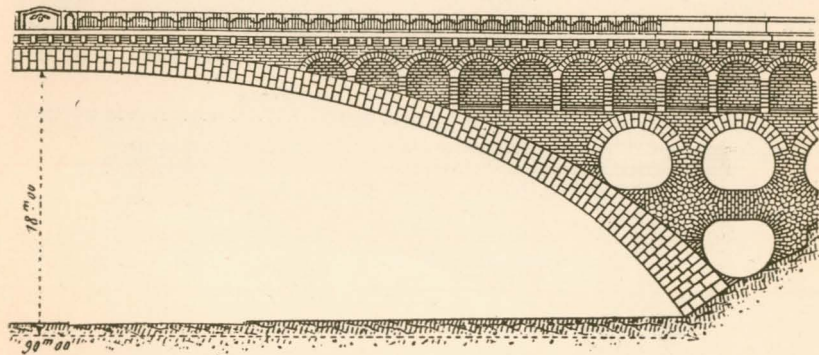


Fig. 250. Puente de Plauen.

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 52. Véase su fotografía en nuestro tomo I, página 140.

### Puente de Orleans, sobre el Loira, para carretera (1).

Construido en 1906. Ingeniero: M. Legay.

Siete arcos de 43,85 m., iguales (figuras 251 y 252).

La curva de intradós es una proyección de catenaria, que el autor del proyecto, M. Legay, llama *catenoïde* (2).

Las grandes bóvedas y pilastras de tímpanos son de sillarejo; los tímpanos, de ladrillo.

Para evitar las grietas de los tímpanos bajo el efecto de los grandes fríos, en sus bovedillas rebajadas de ladrillo (fig. 253) se han intercalado unos segmentos de hormigón convenientemente armados.

La primera pilastra del tímpano está separada de la pila, quedando ocultada la junta por el paramento de la pila. El tímpano sigue, pues, los movimientos del arco.

Es el primer puente francés en que se han tomado precauciones para evitar las contracciones de los tímpanos.

Esta disposición es parecida a la que empleamos en España para los tímpanos de los Modelos oficiales en puentes de arco de hormigón armado. Pero creemos haberlo resuelto más sencillamente. (Véase página 208.)

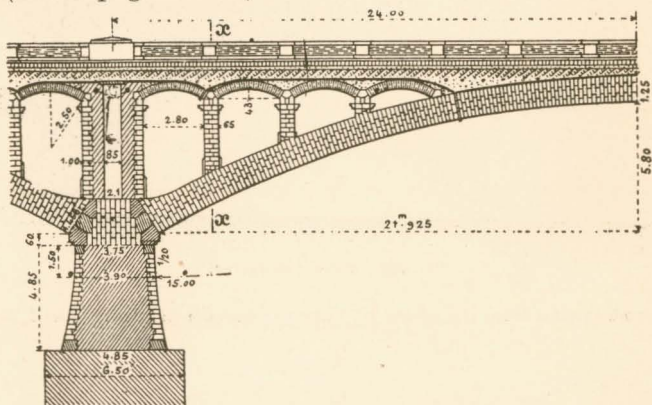


Fig. 251. Puente de Orleans, sección por el eje.

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 255.

(2) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1900, cuarto trimestre: «Memorias sobre el trazado y cálculo de las bóvedas de fábrica».

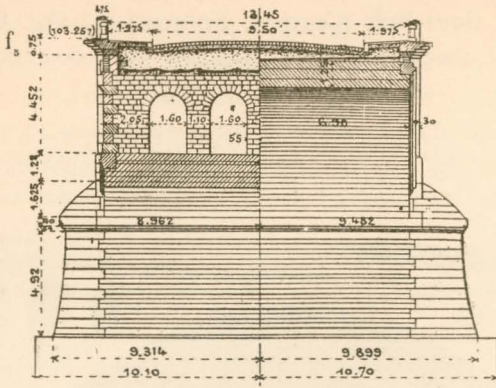
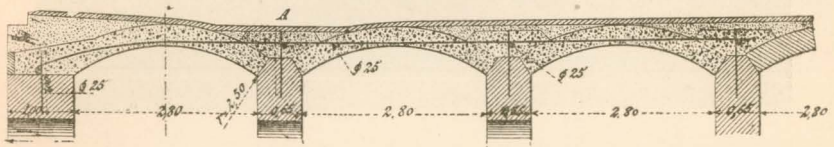
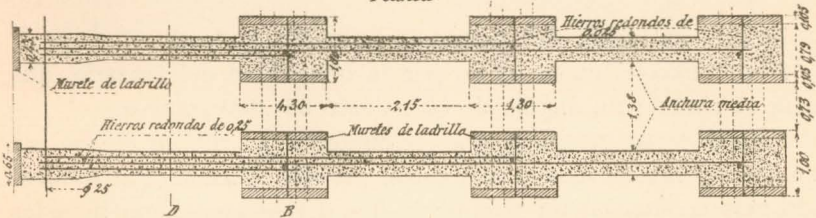


Fig. 252. Semisecciones por x x y por la clave.

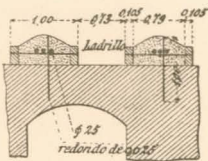
*Corte longitudinal*



*Planta*



*Corte AB*



*Corte CD*

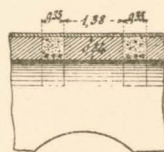


Fig. 253. Disposi ivos para la dilatación de los tumbanos.



**Puente de Gour-Noir** (Correze, Francia) (1) (fig. 254).  
Línea de Limoges a Brives (simple vía), construido en 1899.

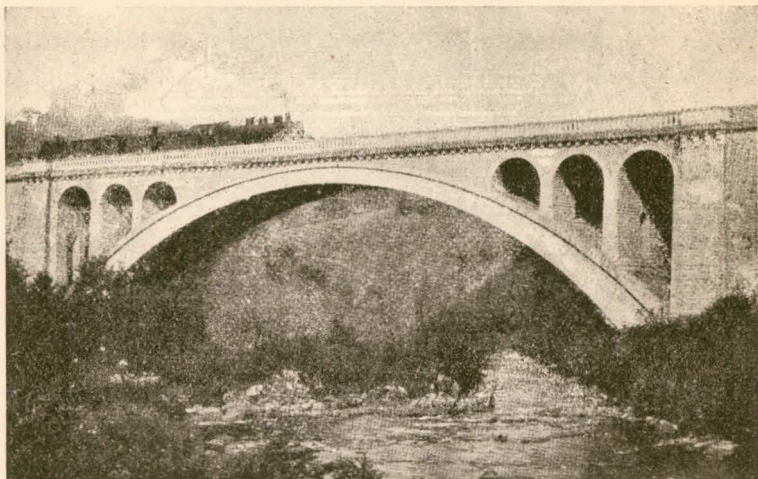


Fig. 254. Puente de Gour-Noir.

Es una imitación del puente de Lavaur y todo de sillarejo.

Se justificó la luz de 62 m. por la oblicuidad del trazado, que corta al río con un ángulo de  $56^\circ$ . Costó 534.000 francos.

Pero el lecho granítico y al descubierto del río, en el que era tan fácil construir una o dos pilas, permite afirmar que hubiese sido más económico un puente de dos o tres arcos, con bóvedas oblicuas de hormigón en masa de 20 ó 30 m. de luz.

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 103.

**Puente de Montanges** (Ain, Francia) (1).

Terminado en 1910. Ingeniero: M. Picard (fig. 255).

Está, en cambio, justificada la luz de 80 m. de este puente, cuya rasante se encuentra a 62 m. sobre el lecho del río, con laderas en roca casi verticales.

Tiene 6,20 m. de anchura entre barandillas y sirve para una carretera y un ferrocarril de 1 m.

Costó 355.000 francos (en 1910).

Es todo de sillarejo, y la cimbra, por su excepcional altura, así como las precauciones de construcción, fueron muy bien estudiadas, por lo que daremos detalles de su ejecución en el tomo IV.

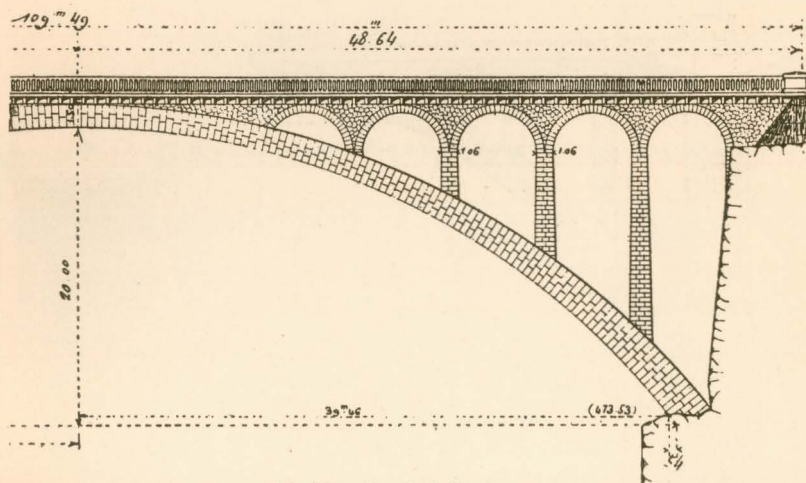


Fig. 255. Puente de Montanges.

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 62.

### Puente de Cinuskel, sobre el Inn (Engandina, Suiza) (1).

Construido en 1912, para el ferrocarril de Bevers a Schuls (figura 256).

Proyecto de M. Hans Studer.

La directriz de su arco central es la curva de presiones por el peso propio.

Los radios de intradós y trasdós son más pequeños en el centro del arco que en los riñones.

Toda la obra es de sillarejo.

Se construyó en dos roscas: la de intradós se calculó como un arco elástico para soportar el peso de la segunda.

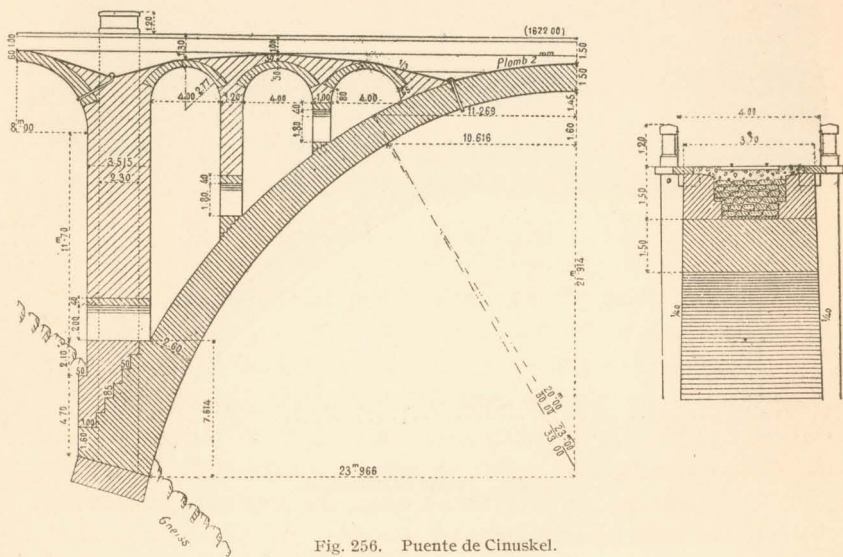


Fig. 256. Puente de Cinuskel.

(1) *Grandes vouîtes*, tomo II, página 189.



**Puente sobre la Vouga, en Pozo (Portugal) (1).**

Construído en 1913, para el ferrocarril de vía estrecha de Sarnada a Vizeu.

Arco carpanel de tres centros (figura 257).

Bóveda de sillarejo y mampostería concertada con mortero a 350 kg.

Gracias al atrevimiento de los tímpanos, la presión máxima en la bóveda principal no excede de 24 kg.

Para un ferrocarril de vía ancha serían exageradas las luces de los aligeramientos.

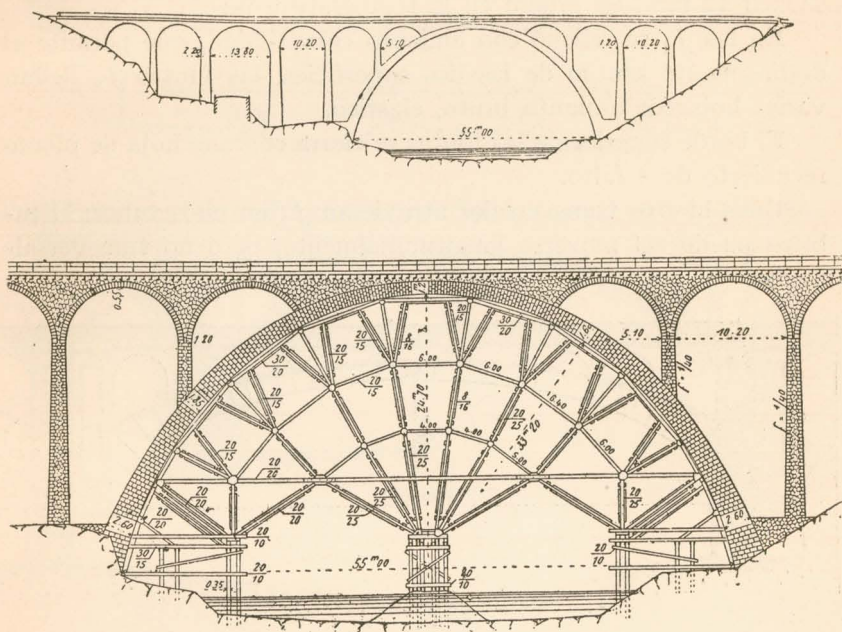


Fig. 257. Puente sobre la Vouga (Portugal).

(1) *Grandes voûtes*, tomo VI, página 208.

## § III. — Con hormigón en masa

**Puente sobre el Big Muddy** (Illinois, E. U.) (1).

Construido en 1903, para el ferrocarril de Chicago a Nueva Orleans.

Ingeniero: H. W. Parkhurst.

Tres arcos iguales de 42,672 m. (140 pies); todo de hormigón en masa (fig. 258).

Se han dejado juntas longitudinales  $J_1$  y transversales  $J_2$  (figuras 259 y 260); dos encima de cada pila, una en cada estribo. Tienen 12 mm. de grueso en la temperatura media.

En las  $J_1$  se rellenó con amianto comprimido, que permite el deslizamiento mutuo de las dos superficies; las juntas  $J_2$  llevan varias hojas de amianto bruto, elástico.

El borde superior de las juntas se cierra con una hoja de plomo recubierto de asfalto.

Unos hierros transversales atraviesan  $J_1$  en unos tubos; el tablero puede así moverse longitudinalmente, pero no transversalmente.

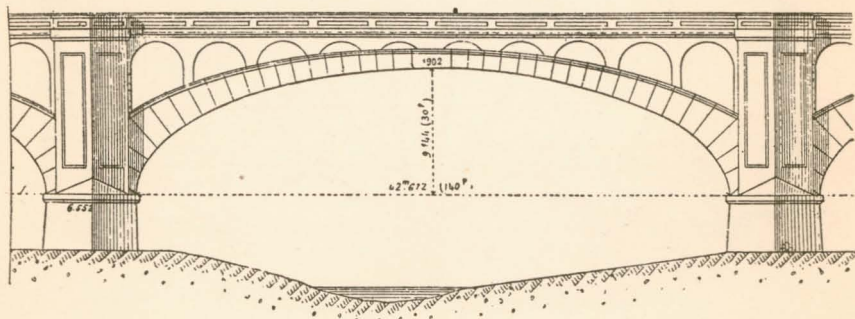


Fig. 258. Puente de Big Muddy.



Fig. 259.

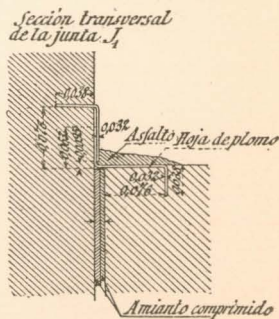


Fig. 260.

**Puente en Baltimore, Avenida Edmondson (E. U.) (1).**

Terminado en 1909. Ingeniero: D. T. Fendall.

Las bóvedas, pilas y paramentos de tímpanos, de hormigón en masa (figuras 261 y 262).

El forjado y pilares que los sostienen en la parte interior, de hormigón armado.

Tiene 17 m. de anchura, y sirve para dos vías férreas, en una mitad, y una calzada de asfalto para vehículos ordinarios.

Se han dejado juntas de dilatación de ranura y lengüeta en los puntos *J* de la sección y semiplanta

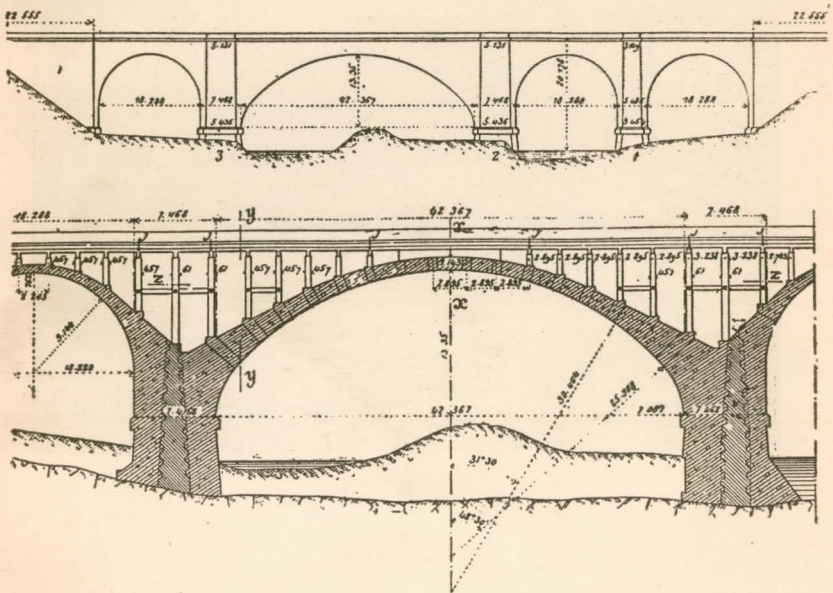


Fig. 261. Sección.

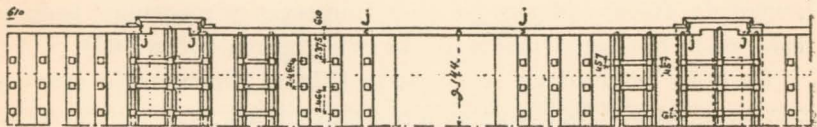


Fig. 262. Semiplanta.

(1) Detalles en *Grandes voûtes*, tomo I, página 122, y *Engineering Records* de 19 junio y 14 agosto 1909.



### Puente en Wáshington, Avenida de Connecticut, sobre el Rock Creek (1).

Terminado en 1908. Ingeniero: Georges S. Morison.

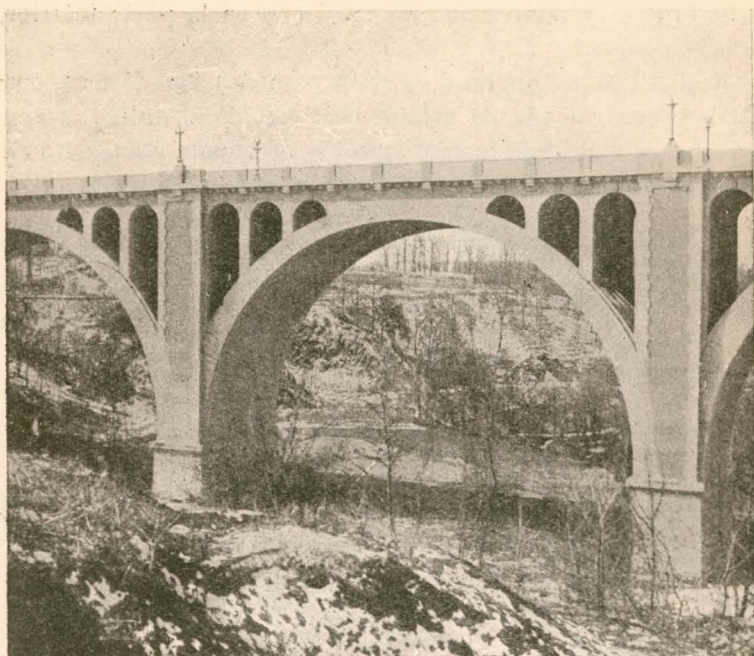


Fig. 263. Puente en Wáshington.

Cinco arcos de medio punto de 45,72 m. (150 pies), y otros dos de 25 m.

Son de sillería artificial, con tizones de 0,50 y 0,70 m., los frentes de arcos, cadenas de pilas, impostas y ménsulas; todo el resto es de hormigón moldeado *in situ* (figuras 263 a 265).

La gran longitud de este puente (378 m., incluyendo estribos extremos) ha obligado a especiales precauciones para contrarrestar los efectos de la temperatura.

Se han dejado, pues, juntas de dilatación en las claves de los arcos principales y en las claves de cada dos arcos de tímpanos.

(1) Detalles en *Grandes voûtes*, tomo I, página 67. *Génie Civil* del 5 septiembre 1908.

Cuando estas últimas juntas se abren, en invierno, las medias bóvedas próximas quedan en voladizo; se sostienen por medio de dos flejes horizontales de  $25 \times 100$  mm., cortados en cada junta y enlazados entre sí por pernos. (fig. 265).

También se han dispuesto juntas de dilatación en los muros en vuelta y a distancias de 15 m.

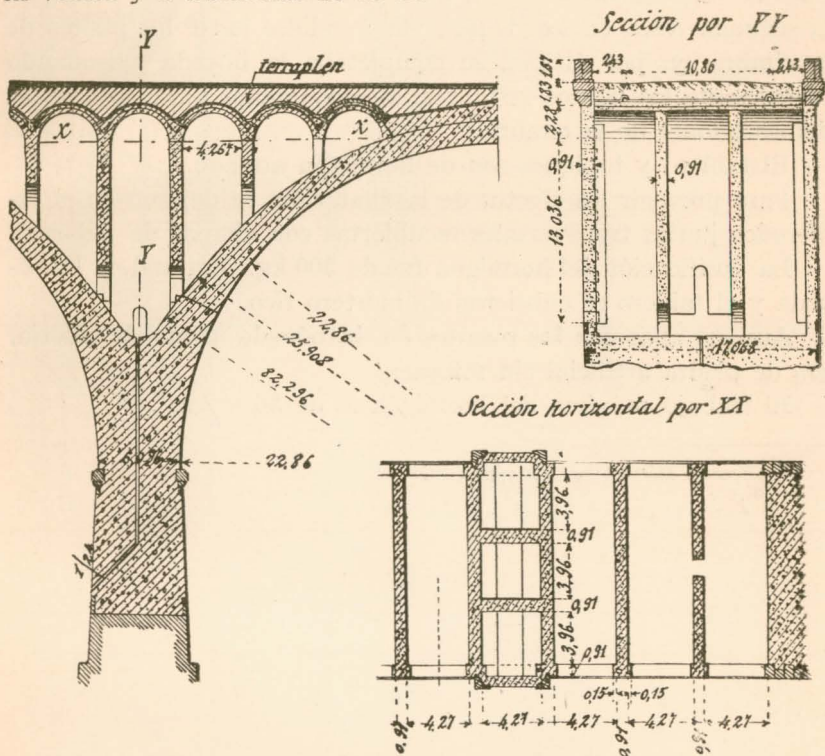


Fig. 264. Puente en Washington

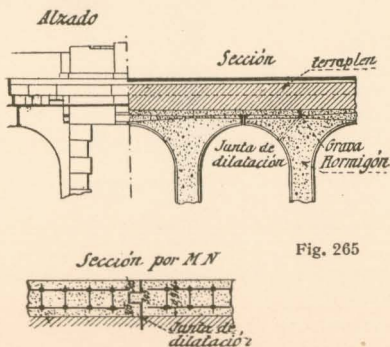


Fig. 265

**Puente de Guggersback** (Suiza, Cantón de Berna) (1).

Construído en 1906. Ingenieros: Jager y d'Erlach.

La luz es de 50,20 m. Para carretera (fig. 266).

La bóveda, de hormigón en masa. Se apisonó la primera rosca por hiladas aisladas normales al paramento; se apisonaban después las hiladas intermedias, pero con menor tizón; se construía la segunda rosca en los trozos comprendidos entre los pilotes de la cimbra, y, por último, se completaba la bóveda apisonando fuertemente los huecos restantes, escalonándolos para reducir las deformaciones de la cimbra.

El tablero y tabiques son de hormigón armado.

Para prevenir los efectos de la dilatación, se dejaron en el tableros juntas transversales recubiertas con chapas de palastro.

La dosificación del hormigón fué de 300 kg. portland, y la bóveda y el tablero se cubrieron de mortero rico.

Aunque aparecen los puentes en la bóveda como de sillería, son de piedra artificial sin retoque.

El trabajo máximo del hormigón es de 35 k./cm<sup>2</sup>.

---

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 59.



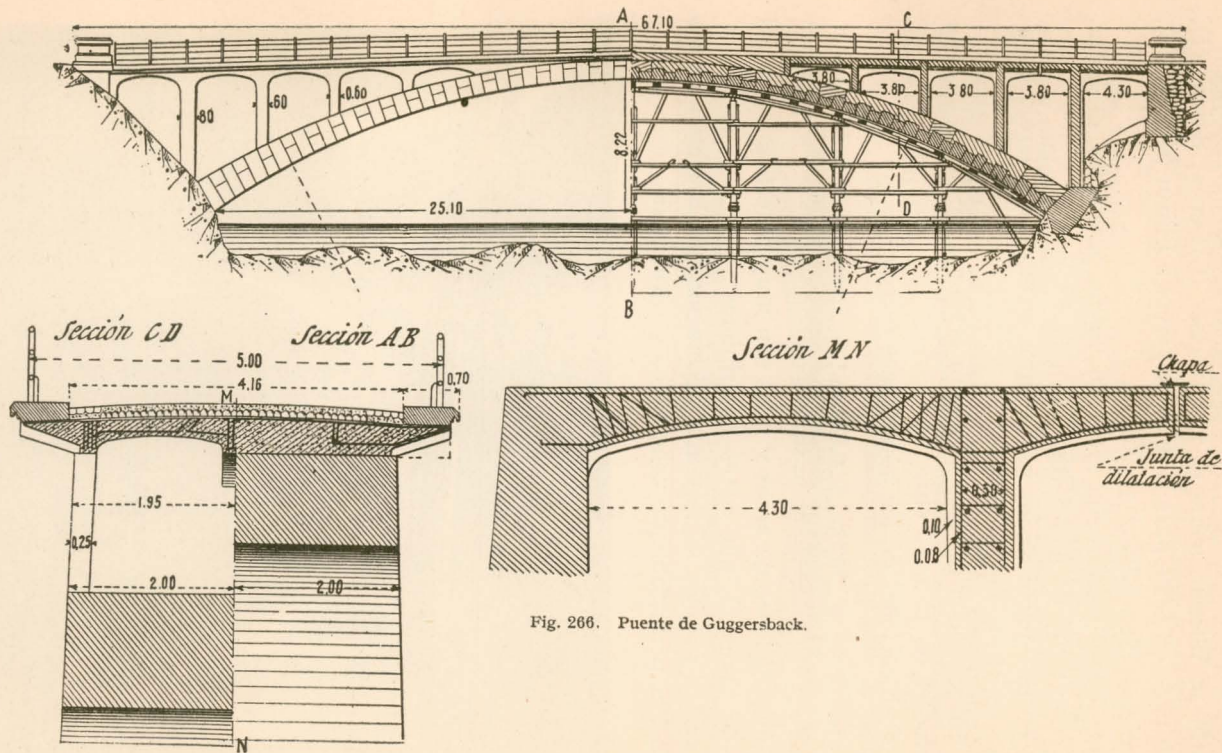


Fig. 266. Puente de Guggersback.

**Puente de Wiesen**, sobre el Landwasser (Grisones, Suiza) (1). Terminado en 1909, para la línea de Davos a Filisur (simple vía). Ingenieros: Sres. Saluz y Studer.

El intradós y trasdós son arcos *carpaneles peraltados*, de 55 m. de luz, con flecha de 33,33 (fig. 267).

Sólo en una parte de los paramentos se empleó sillarejo natural; el resto, de hormigón moldeado.

Las bóvedas, con dovelas de piedra artificial, de  $50 \times 25$  cm., con espesores de 15 a 25 cm.

Las dosificaciones de los hormigones fueron:

Para el arco de 55 m., 300 kg.  $\times$  0,550 m.<sup>3</sup> de arena y 1,00 m.<sup>3</sup> de grava.  
 » el » de 20 m., 250 kg.  $\times$  0,450 m.<sup>3</sup> de » y 1,00 m.<sup>3</sup> de »

Las disposiciones de arcos y pilas son muy parecidas a las del puente de Cinuskel, que antes describimos.

En ambos puentes no hay más decoración que la silueta de los arcos. Están perfectamente concebidos y estudiados.

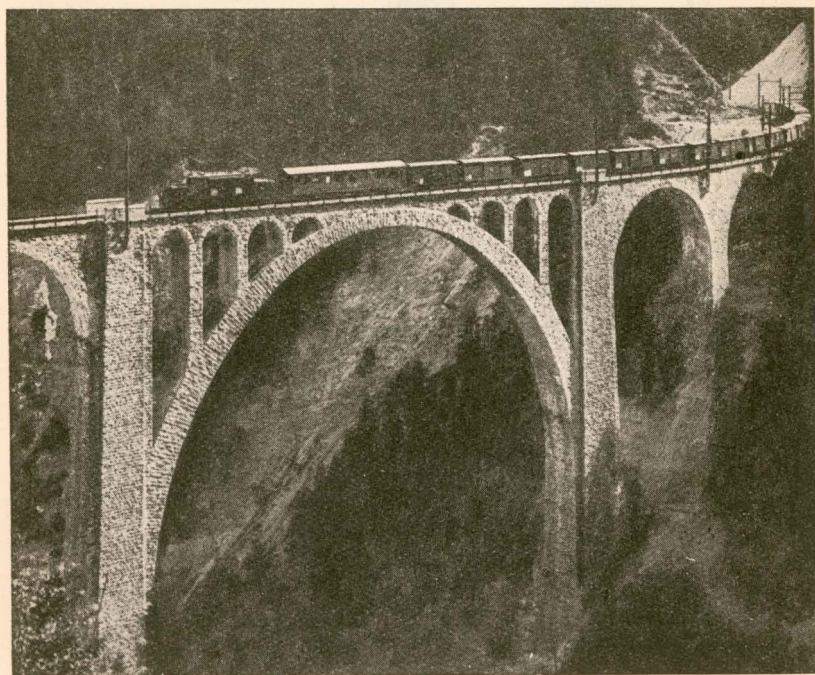


Fig. 267. Puente de Wiesen.

(1) *Grandes vouîtes*, tomo I, página 236.



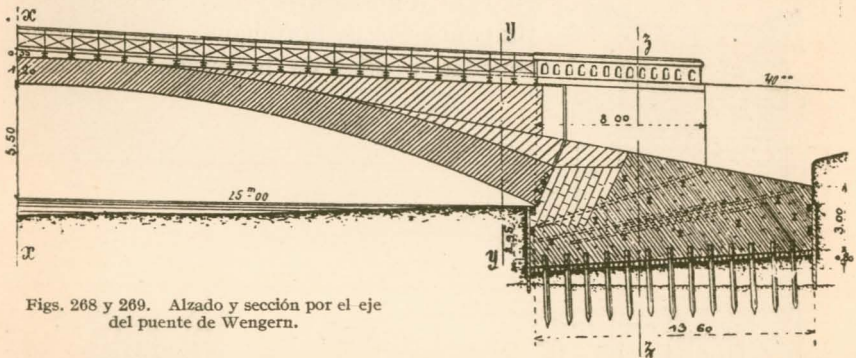
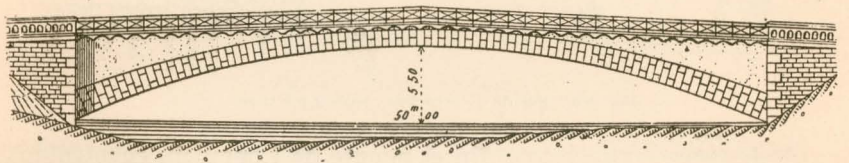
**Bóvedas alemanas rebajadas (1).** — Se han construido en Alemania un gran número de bóvedas de hormigón, rebajadas del  $1/8$  y al  $1/10$ , y de 40 a 50 m. de luz.

Los tipos más característicos son los siguientes:

El puente de Wengern (figuras 268 a 272), con *timpanos macizos* y *andenes volados* de 1,15 m., construido en 1904 por la Casa Liebold y Cía.

Sólo se empleó la sillería en ocho hiladas de arranques; en el hormigón del estribo se intercalan varias filas de carriles para solidarizar todo el macizo.

En los paramentos se ha simulado un despiece de la boquilla.



Figs. 268 y 269. Alzado y sección por el eje del puente de Wengern.

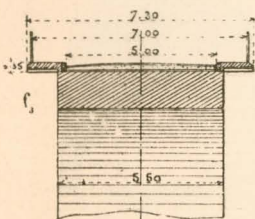


Fig. 270. Por *x x*.

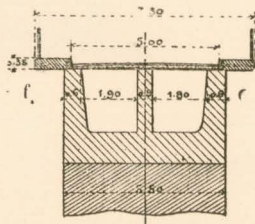


Fig. 271. Por *y y*.

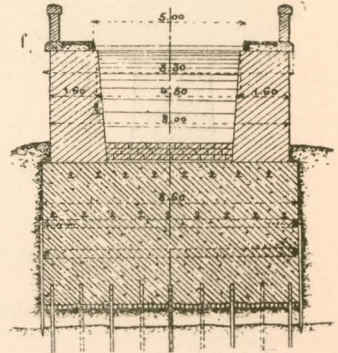


Fig. 272. Por *z z*.



En el puente de Schwusen, de 48 m. de luz (figuras 273 y 274), construído en 1907 por la misma Casa Liebold, se *aligeraron los tímpanos* con bóvedas transversales, y sólo se volaron los andenes en 0,35 m.

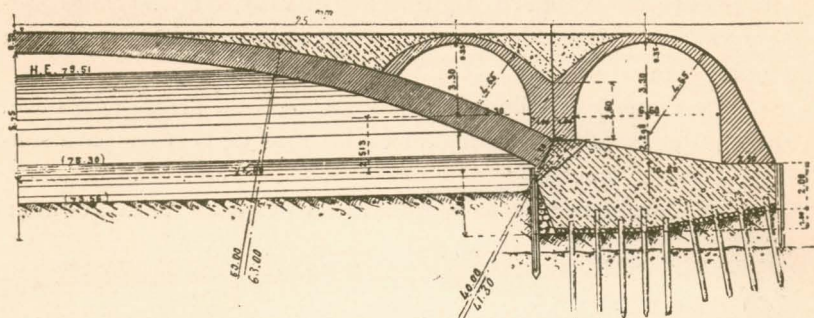
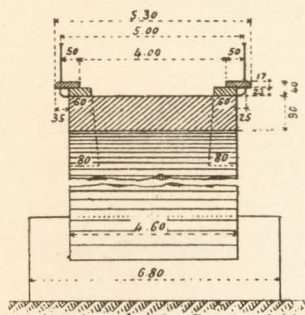


Fig. 273. Puente de Schwusen, sección por el eje.



En el puente de Longuich, construído en 1911 (figuras 275 y 276), el tablero y tímpanos son de hormigón armado, sobre bóvedas y pilas de hormigón en masa.

Fig. 274. Sección por la clave.

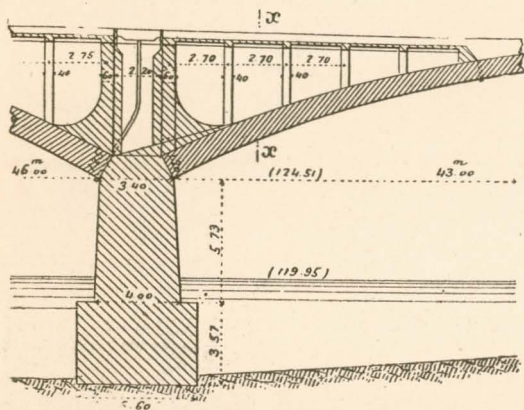


Fig. 275. Puente de Longuich, sección por el eje.

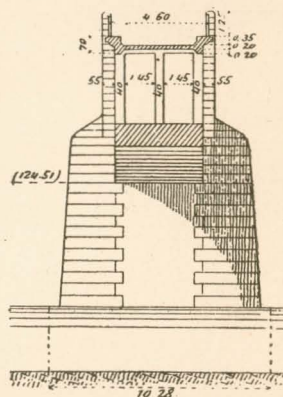


Fig. 276. Sección por x x.

En los de Mehring (fig. 277) y Schweich (fig. 278), construídos en 1904 y 1906 por la misma Casa Liebold y Cía., y ambos con arcos de 46 m. de luz, los aligeramientos se realizaron también en los tímpanos; pero con el hormigón a la vista se ha procurado decorarlos.

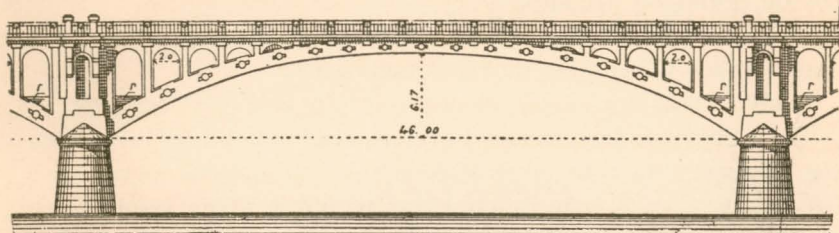


Fig. 277. Puente de Mehring.

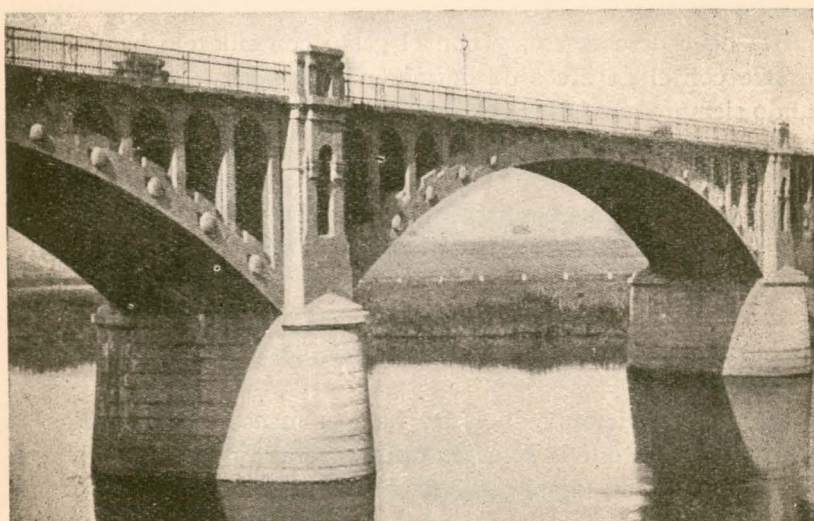


Fig. 278. Puente de Schweich.

#### § IV. — Conclusiones

Una gran parte de las grandes bóvedas construídas podían haberse sustituido por arcos de menor luz.

Existe el prurito entre algunos Ingenieros de proyectar la mayor bóveda de la región. Tal tendencia al *record* es costosa para el país y para la administración que confía sus intereses al Ingeniero gestor.

Subsiste también aún el culto a la sillería, aunque ya se transige con el sillarejo.

Pero aumentan los adeptos del hormigón en masa para los puentes, y aunque con más resistencia, se aceptan hasta en ferrocarriles los tableros, los tramos rectos y, en algunos casos, los arcos de hormigón armado.

El éxito de los hormigones en masa o armados consagra la superioridad y ventajas de estos materiales.

Salvo casos muy excepcionales, los Ingenieros deben hoy:

1.º Suprimir las grandes bóvedas, si el estudio de los cimientos demuestra la conveniencia económica de apoyos intermedios; los progresos en el arte de cimentar permiten ahora resolver este problema con más facilidad que en tiempos pasados.

2.º En los casos en que parezcan imponerse las bóvedas de grandes luces, y que se disponga para ellas de buena piedra, la sillería debe descartarse, y aun el gasto con sillarejo ha de compararse con el de arcos de hormigón en masa o armados, recordando siempre que las economías así obtenidas deben capitalizarse a interés compuesto.

3.º Deben estudiarse también otras soluciones de grandes bóvedas, ya sea con arcos gemelos, ya con bóvedas articuladas, ya, y principalmente, con arcos de hormigón armado, que estudiaremos en los capítulos XIII, XIV y XVIII.

En resumen, el autor opina que *serán contadisimos, casi excepcionales, los casos en que convenga emplear grandes bóvedas de fábrica.*

Si no se pudieran reducir las luces a menos de 40 metros, lo más probable es que la solución óptima será la de arcos de hormigón armado, y en algunos casos podrán aún resultar más económicos los tramos metálicos o colgados.