

## CAPÍTULO XIII

---

### BOVEDAS GEMELAS

#### § I. — Consideraciones generales.

Antecedentes históricos. — Exceso de resistencia de las bóvedas continuas. — Principios de las bóvedas gemelas. — Sus ventajas.

#### § II. — Descripción de las bóvedas gemelas más importantes.

Puentes de Luxemburgo, des Amidonniers y Sidi-Rached (Francia y Argelia. — Puentes de Walnut Lane, de Cleveland, de Spokane y Nicholson (Estados Unidos). — Puentes del Hôtel Dieu (Lyon) y Ville-neuve (Francia).

#### § III. — Conclusiones.

#### § I. — Consideraciones generales

**Antecedentes históricos.** — Ya en algunos puentes romanos las bóvedas de los puentes se constituyeron con anillos de dovelas en contacto por planos verticales, pero sin enlace entre ellos.

Pueden separarse estos anillos y recubrirlos con losas.

En Francia existe un puente de la Edad Media, el de Airvault (1), cuyos arcos estaban constituídos por tres anillos y sus tímpanos paralelos, pero separados entre sí. Los huecos entre estos arcos están recubiertos por losas de piedra.

---

(1) Citado por Sejourné: *Grandes voûtes*, tomo V, página 69.

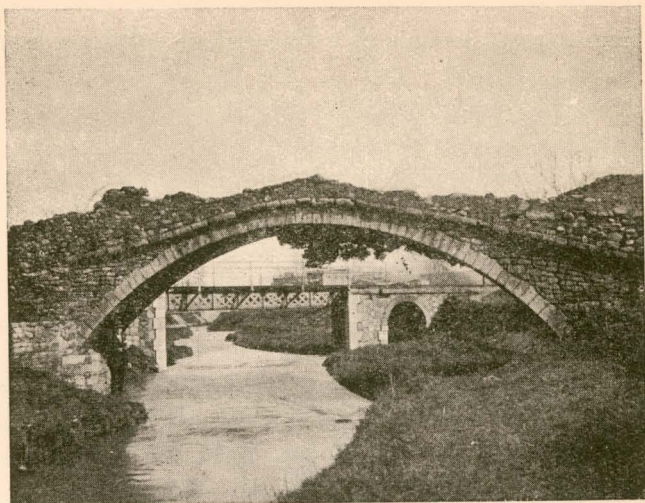


Fig. 279.

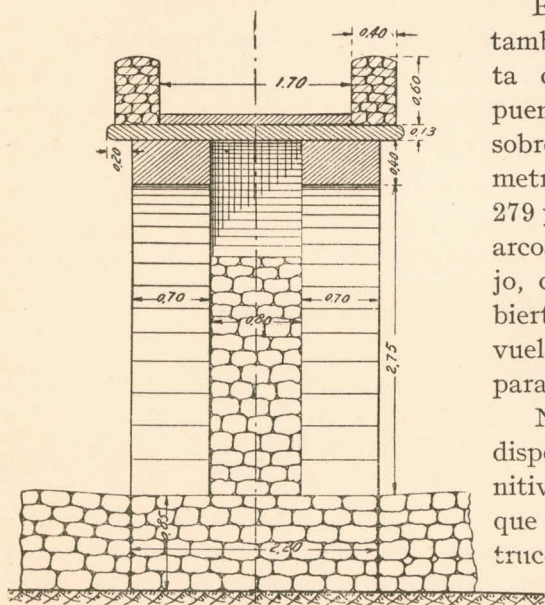


Fig. 280. †

En España tenemos también un ejemplar de esta curiosa disposición, el puente llamado del Diablo, sobre el Güell, a medio kilómetro de Gerona (figuras 279 y 280), formado por dos arcos escarzanos de sillarejo, con 10,80 m. de luz, cubiertos con losas calizas que vuelan 0,20 m. sobre los paramentos (1).

No deben extrañar estas disposiciones, que, en definitiva, son análogas a las que se adoptan en la construcción de una casa: para ésta se construyen muros paralelos, en los que se dejan puer-

(1) Este notable ejemplar de nuestro instinto constructivo ha sido resucitado por el Ingeniero D. Federico Moreno en la *Revista de O. P.* de 1.º de abril de 1928, en el que se describe tan interesante puente, que se supone construido a fines del siglo XVIII.

flectante que se apoya sobre dos puntos tiene un mínimo cuando éstos están en una posición intermedia determinada.

Estos son los principios que aplicó M. Sejourné para las bóvedas de fábrica de sus puentes en Luxemburgo y des Amidonniers (1), y, posteriormente, el autor en sus Modelos de puentes en arco de hormigón armado.

### Ventajas de las bóvedas gemelas:

a) Economía de material: es en efecto evidente que aun aumentando el espesor  $A'$  y  $B'$  de los dos arcos (figura 284), la gran reducción de su ancho, con relación a  $AB$ , puede producir una sensible disminución del volumen de la bóveda.

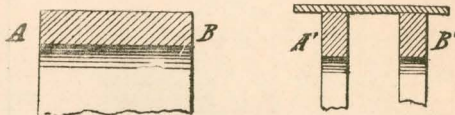


Fig. 284.

b) Reducción de la cimbra al ancho de uno de los dos arcos gemelos. La cimbra del primer arco, después de volteado éste, se traslada al segundo arco. Como el ancho de cada uno de éstos puede ser  $1/6$  y aun menos del ancho del puente, casi en esa proporción se economizan las cimbras.

c) De análogas reducciones benefician los anchos de los estribos, pilas y, lo que es más importante aún, de sus cimientos.

Sin embargo, como contrapartida, las bóvedas gemelas tienen un inconveniente, que a veces puede ser insuperable: los efectos producidos por los cambios de volumen del material.

Los factores, que los determinan son: la temperatura, la retracción del fraguado y el estado higrométrico; sus efectos en las bóvedas crecen, aproximadamente, con sus espesores; los trabajos unitarios que originan pueden superar a los producidos por el peso propio y por las sobrecargas.

Entonces no hay más remedio que reducir el peralte, aumentando el ancho; hasta puede ocurrir que convenga proyectar bóvedas continuas, como sucede en nuestros Modelos de puentes en arco de hormigón en masa para ferrocarriles, según justificaremos en el capítulo XVII.

(1) De los que dimos fotos en el tomo I, páginas 131 y 132.



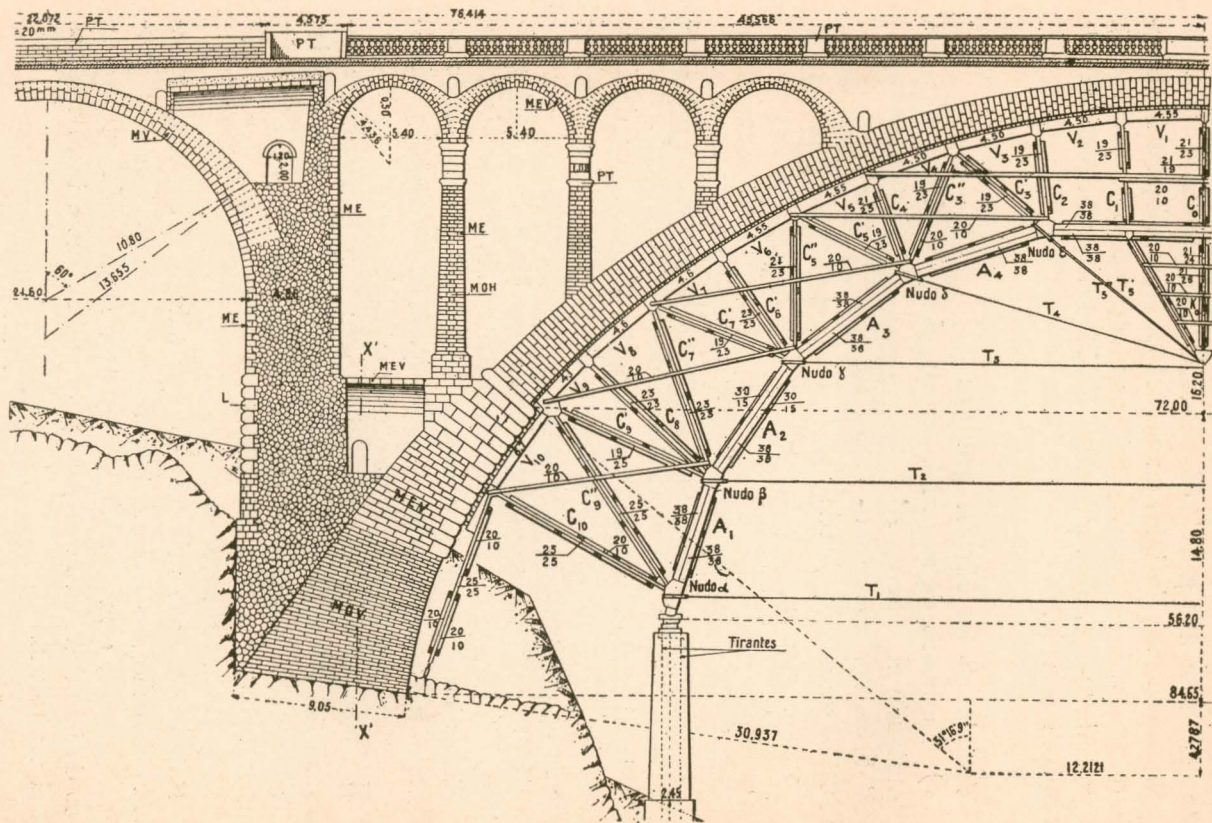


Fig. 285. Puente Adolfo, en Luxemburgo.

## § II. — Descripción de las bóvedas gemelas más importantes

**Puente Adolfo** (en Luxemburgo) (1). — Para el Boulevard de la Estación, en la capital del Luxemburgo (figuras 285 y 286).

Terminado en 1903. Proyecto y dirección de las obras: Monsieur Sejourné.

Se construyó un gran arco de 84,65 m. de luz, porque la ubicación de la obra exigía un puente monumental.

Las bóvedas son de sillería y sillarejo, de arenisca dura, resistiendo de 1.200 a 1.600 kg./cm.<sup>2</sup>; los rellenos, de mampostería.

La curva de intradós es un arco de círculo que se peraltó ligeramente para aproximar las curvas de presiones a la fibra media.

Como fué el primer puente de este tipo, M. Sejourné se contentó con dar al tablero de hormigón armado una luz de 5,92 m., con lo que el ancho de las dos bóvedas es 0,66 del ancho total del puente.

La decoración del puente, tan sobria como elegante, acredita el refinado gusto de nuestro ilustre colega.

El gasto total fué de 1.548.000 francos, para una obra de 153 metros de longitud por 16 m. de anchura; es decir, un gasto por metro cuadrado de puente de 632 francos (en 1903), que no es excesivo, dada la grandiosidad de la obra y su perfecta ejecución.

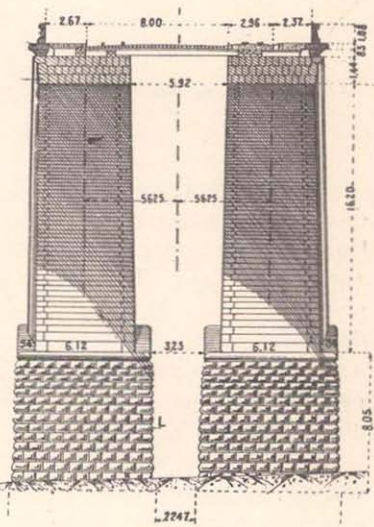


Fig. 286.

(1) En el tomo I, páginas 27 y 131, reproducimos dos fotografías de este puente; en el tomo II, página 65 del libro *Grandes voûtes* se dan toda clase de detalles.



**Puentes des Amidonniers**, sobre el Garona, en Toulouse (1). Terminaron las obras en 1910. Proyecto y dirección: M. Sejourné.

Cinco arcos elípticos de 38,50 y 42 m., los laterales, y 46 m. el central (fig. 287).

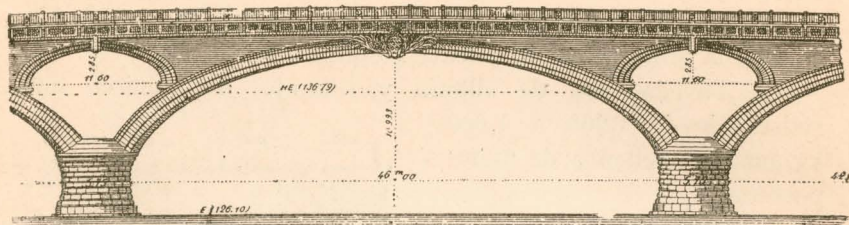


Fig. 287.

En este puente M. Sejourné redujo considerablemente el ancho de las bóvedas; para una distancia entre barandillas de 22 m., los dos arcos gemelos suman un ancho de  $3,20 \times 2 = 6,60$ . El ancho total de las bóvedas es sólo de 0,30 del ancho total del puente de la plataforma útil; es decir, menos de la mitad del puente de Luxemburgo.

Los arcos de trasdós e intradós son elípticos, pero se deformaron interiormente en los riñones para encuadrar mejor las curvas de presiones.

Se construyó: con sillería caliza, los paramentos de pilas, bóvedas principales e impostas; con ladrillo blanco, los arcos de aligeramiento; con ladrillo encarnado, los tímpanos; con hormigón

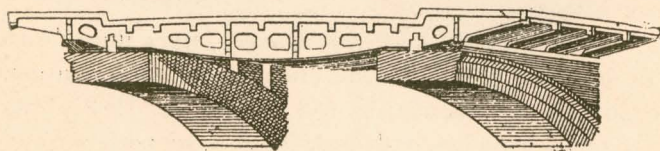


Fig. 288.

armado, el tablero, que está constituido por viguetas aligeradas, que se moldearon en taller, y pequeños largueros.

(1) Detalles: *Grandes voûtes*, tomo I, página 193.

Este tablero ofrece la particularidad (figuras 288 y 289), de que vuela 3,10 m. sobre los tímpanos y de que se apoya libremente sobre éstos por medio de un dispositivo especial de hor-

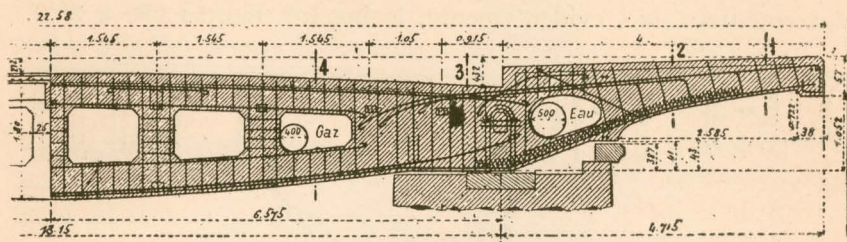


Fig. 289.

migón armado, que permite la libre dilatación de esta enorme plataforma de  $230 \times 22$  m. de longitud y anchura.

Costó esta obra, lujosamente construída, 1.146.000 francos (anteguerra); es decir, 202 francos el metro cuadrado de puente. Es un coste muy reducido, teniendo en cuenta que hubo que cimentar seis apoyos en el Garona a 5,50 m. bajo el estiaje.

En esta obra M. Sejourné ha evidenciado que puede mantenerse la grandiosidad de este puente; a pesar de los voladizos de cerca de 3 m. que ha dado a los andenes; asimismo la reducción del ancho de las bóvedas alcanza 0,30 m. del ancho total entre barandillas, que es el máximo a que se ha llegado en bóvedas de fábrica.





Asimismo la proporción entre el ancho de bóvedas (2 de 6,125 metros) a la distancia de pretilos (11,76 m.) es de 0,70 m., algo superior a la del puente de Luxemburgo.

**Puente de Walnut Lane**, en Filadelfia (E. U. A.) (1). — Terminado en 1908. Ingenieros: Webster y Quimby.

Es también muy parecido al puente de Luxemburgo, pero las bóvedas son de hormigón en masa, y los tabiques *U* de tímpanos de hormigón armado (figuras 292 a 294).

La relación de bóvedas al ancho total es de 0,64.

El tablero es de hormigón armado, con viguetas en doble T

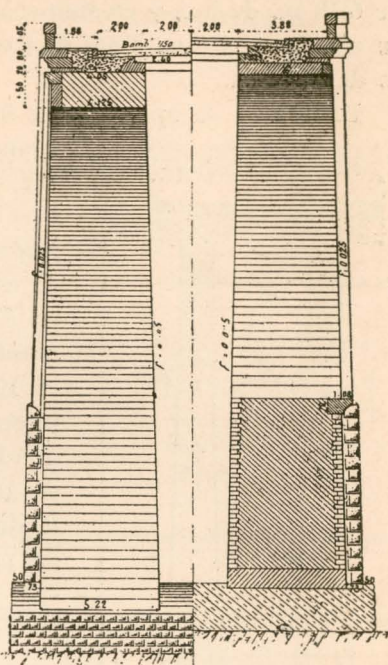


Fig. 291 bis. Puente de Sidi-Rached.

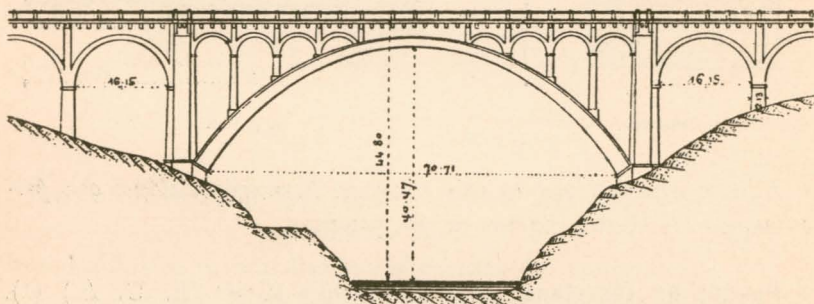


Fig. 292. Puente de Walnut Lane.

de 0,518 m. entre las dos bóvedas principales, y de 0,381 m. entre los arcos de tímpanos.

A su vez, todos los tímpanos de estos arcos de aligeramiento,

(1) Detalles en *Grandes voûtes*, tomo II, página 83.

de 6,10 m. de luz, y en uno solo de sus lados, están separados de las pilastras por una junta de 5 cm. rellena con una hoja de amianto de 3,2 mm.

El tablero se apoya sobre los tabiques *U* por intermedio de chapas de cinc de 1,6 mm.; está, a su vez, cortado verticalmente el tablero en el eje de los tabiques *U* con una junta de 12 mm. rellena con mástic de asfalto.

*Con estas precauciones se han prevenido los efectos de la dilatación.*

En las bóvedas principales se han intercalado, en el hormigón en masa que las constituye, de 20 a 25 por 100 de gruesos mampuestos, colocados en la dirección de los radios del arco; en las pilas y muros verticales la proporción de estas piedras llegó a 30 y 40 por 100.

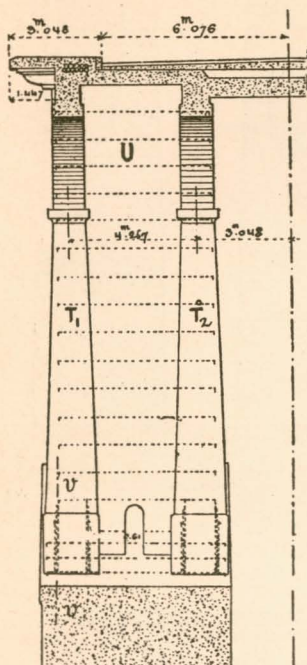


Fig. 293.

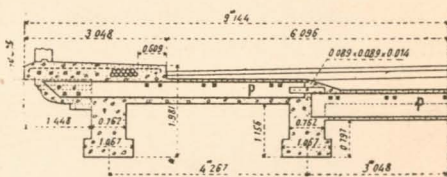


Fig. 294.

*Es ésta una interesante aplicación del hormigón ciclópeo que preconizamos en ciertas partes de los puentes.*

**Puente de Cleveland**, sobre la Rocky-River (E. U. A.) (1). Terminado en 1910. Ingenieros: Sres. Lea y Felgate.

Sus disposiciones son análogas a las de Walnut Lane, pero su arco central tiene mayor luz (85 m.).

Es todo de hormigón en masa (fig. 295).

Se han armado, sin embargo: las bóvedas de acceso, las pilas-

(1) *Grandes vouîtes*, tomo II, página 95.

tras y bovedillas de tímpanos y el tablero, para combatir los esfuerzos de tensión que en ellos produzcan los cambios de temperatura.

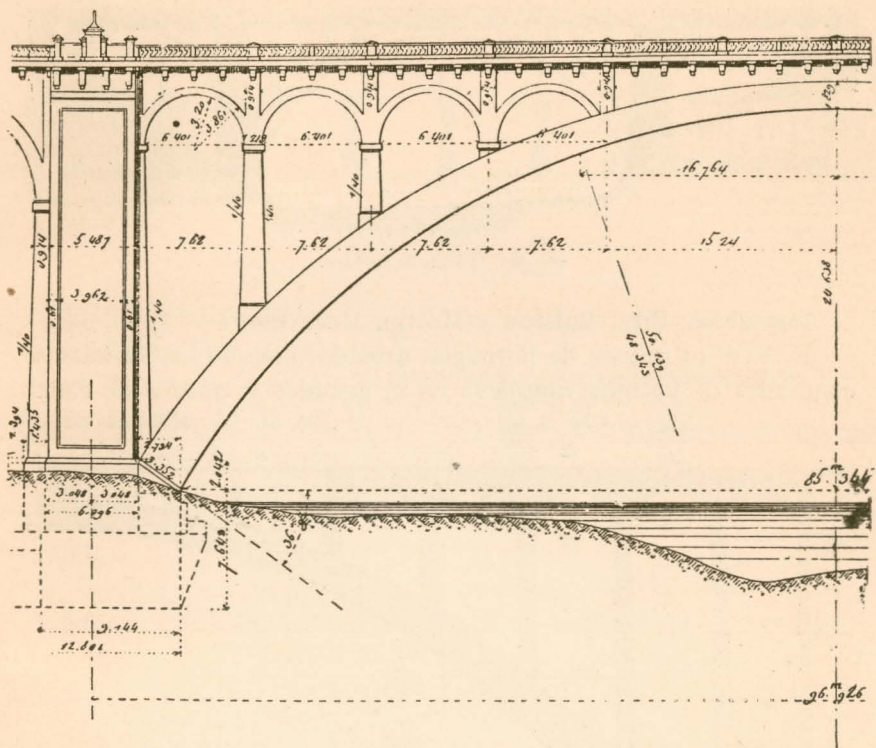


Fig. 295. Puente de Cleveland.

Las armaduras de este tablero son de redondos sobre las bóvedas gemelas, con viguetas de doble T entre las dos bóvedas; a estas últimas se han fijado los carriles del tranvía.

La plataforma lleva juntas de dilatación cada 15,24 m., lo que parece demostrar que las precauciones tomadas en el puente de Walnut Lane, que tiene juntas cada 7 m., fueron excesivas.



**Puente de Spokane** (Estado de Wáshington) (1). — Terminado en 1911. Para una calle (figuras 296 a 299).

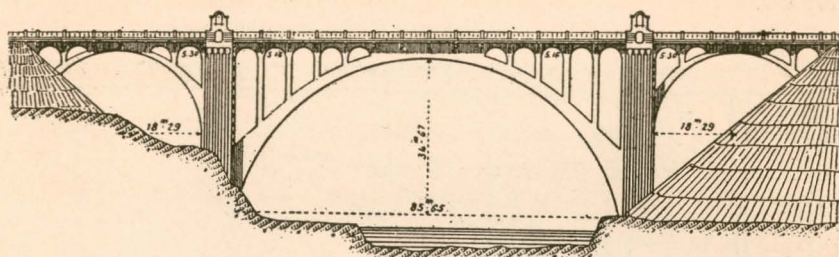


Fig. 296. Puente de Spokane.

Ingenieros: Sres. Ralston y Morton Macartney.

Es casi un puente de hormigón armado, aunque las 32 barras cuadradas de 25 mm. que lleva en el intradós y trasdós de cada

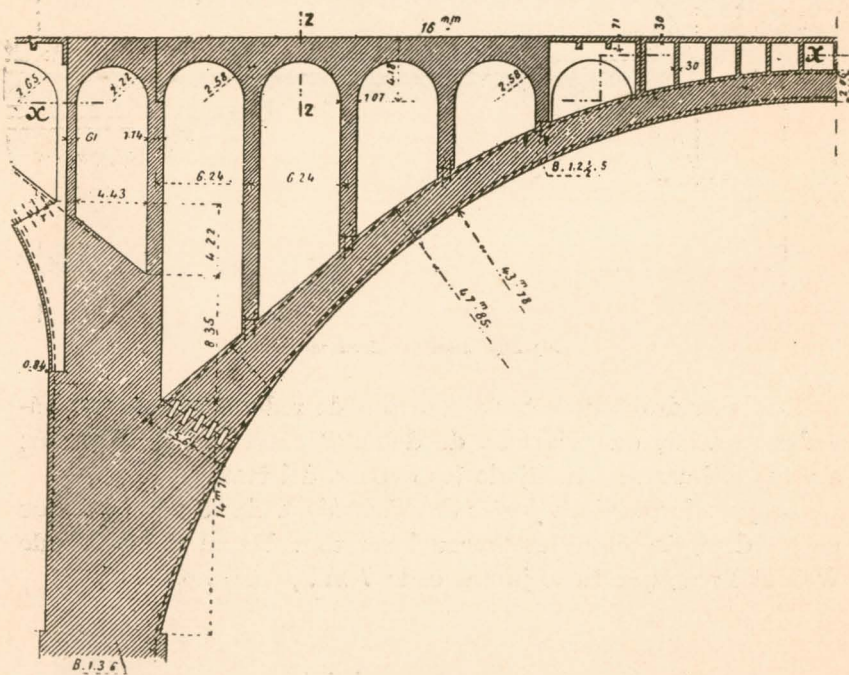


Fig. 297. Sección por y y.

(1) *Grandes voûtes*, tomo III, página 293.

una de las bóvedas principales sólo tienen por objeto combatir los efectos de la temperatura.

Los tabiques y tableros son de hormigón armado.

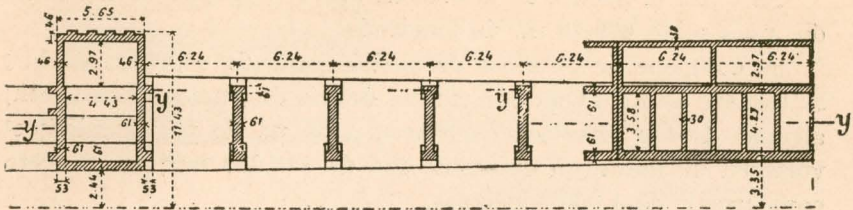


Fig. 298. Sección x x.

Es excepcional la altura del terraplén de una de las márgenes, que alcanza la cota de 38 m.

La disposición de tabiques sobre las bóvedas principales, así como los voladizos de 2,90 m. de los andenes, se asemeja a la de nuestros Modelos oficiales de puentes en arco de hormigón armado para carreteras y caminos vecinales.

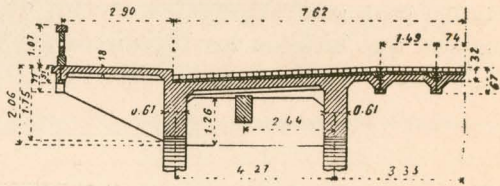


Fig. 299. Sección z z.

**Puente de Nicholson** (Pensilvania) (1). — Terminado en 1916. Para ferrocarril de doble vía (figuras 300 a 303).

Ingenieros: Sres. Ray y Wheaton.

Es quizá el puente de fábrica de mayor importancia del mundo, pues mide 679,70 m. de longitud.

Se compone de 10 arcos de medio punto de 54,86 m. de luz; su rasante está a 73 m. por encima del río de Tunkhannok Creek; algunas de sus pilas se cimentaron a 30 m. de profundidad; el volumen de hormigón empleado fué de 125.000 m.<sup>3</sup>; el de acero para armar, de 1.000 toneladas.

Puede considerarse que es todo de hormigón en masa, pues las armaduras que se emplearon en bóvedas y pilas sólo se han puesto para contrarrestar los efectos de la temperatura, de igual manera que hicieron los Ingenieros americanos en los puentes de Delaware y Spokane, antes descritos.

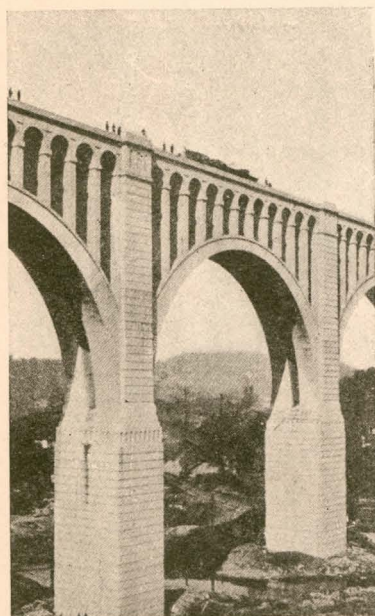


Fig. 300. Puente de Nicholson.

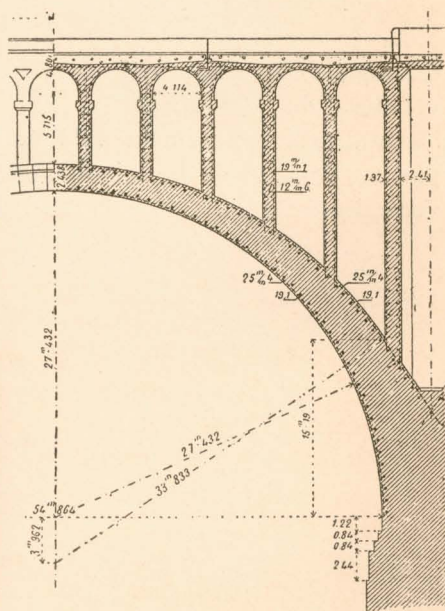


Fig. 301. Puente de Nicholson.



Es el primer puente para ferrocarril en que se emplearon bóvedas gemelas, una para cada vía; pero con gran timidez, pues que la separación entre los arcos principales es sólo de 1,828 m., y que esta separación no se ha mantenido en los tímpanos, que son de cañón corrido en todo el ancho de la plataforma.

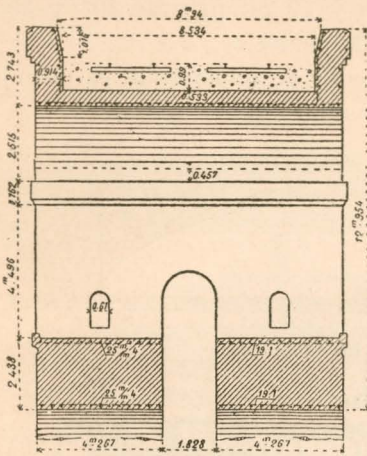


Fig. 302.

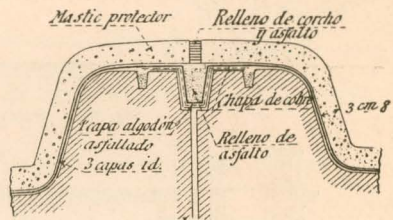


Fig. 303.

Quizá hubiera ofrecido mejor aspecto, y más economía, peraltar las bóvedas, como en el puente de Wiesen (capítulo anterior), para reducir la importancia de los tímpanos, que nos parecen excesivos.

Pero también es posible que, por la excepcional longitud de la obra, prefirieran los autores del proyecto establecer unos tímpanos continuos, en los que pudieran emplearse los dispositivos especiales para la dilatación.

Por de pronto estos tímpanos llevan una contrarrosca compuesta por tres capas de algodón asfaltado, que se recubrieron con dos capas de mástic de asfalto de 19 mm. cada una.

En cada gran bóveda se dejaron cuatro juntas de dilatación: dos cerca de las pilas, y otras dos a 1/4 de la luz, cuyo detalle se aprecia en la figura 303. De esta manera, cuando la bóveda se abre, la contrarrosca se abre también en su junta, pero la chapa de cobre rellena de asfalto impide que el agua y el polvo penetren en la junta.

Nos parece preferible nuestro dispositivo (pág. 207) e inútil esa contrarrosca tan complicada.





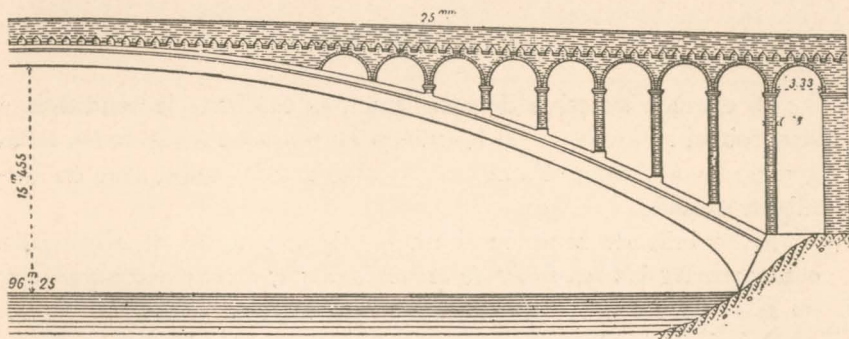


Fig. 306. Puente de Villeneuve, sobre el Lot.

Los tímpanos y pretiles son de ladrillo; el tablero y andenes, de hormigón armado.

La fibra media es una funicular del peso muerto; referida a la tangente en la clave que tiene por ecuación:

$$y = 0,47619 \left( \frac{x}{10} \right)^2 \left[ 1 + 0,00681819 \left( \frac{x}{10} \right)^2 + 0,0000161006 \left( \frac{x}{10} \right)^4 \right]$$

Normalmente a la fibra media se han llevado los 1/2 espesores calculados y se ha trazado el intradós a sentimiento.

La relación de espesores de arcos al ancho útil es de 0,55.

Además de su luz excepcional, ha ofrecido este puente la originalidad de su sistema de descimbramiento, también imaginado por M. Freyssinet.

En lugar de hacer bajar las cimbras por debajo de sus bóvedas, se peraltan las bóvedas por encima de la cimbra, separando las dos semibóvedas de uno y otro lado de la clave por medio de gatos hidráulicos capaces de un esfuerzo igual al empuje que el descimbramiento produjera (1).

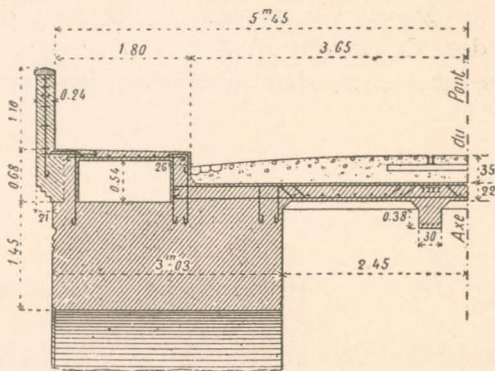


Fig. 307.

(1) En el tomo IV detallaremos este ingenioso procedimiento.



## § III. — Conclusiones

El examen sucesivo de estos puentes confirma la tendencia a sustituir el sillarejo por el hormigón en masa en los grandes arcos gemelos, y a que no sólo el tablero, sino los tímpanos, sean de hormigón armado.

Se ha iniciado también el empleo de armaduras de acero para contrarrestar las *tensiones de la temperatura*; *no hay razón para que no se aumenten las armaduras, para que resistan a otros esfuerzos.*

Asimismo se han ido reduciendo los anchos de dichos arcos, que el propio Sejourné disminuyó de 0,66 del ancho total en Luxemburgo a 0,30 en Amidonniers.

Se observa, por último, que no se ha recurrido al empleo de arcos gemelos sino en puentes con luces superiores a 40 m., para arcos de escaso rebajamiento y con anchuras de plataforma de más de 10 m.

En efecto, en las bóvedas de menor luz o en las bastante rebajadas, desaparecen casi las ventajas de los arcos gemelos.

Lo justificaremos en el capítulo XVII, al describir los Modelos oficiales de *puentes de hormigón en masa para ferrocarriles.*

En cambio, veremos también en dicho capítulo que, tratándose de puentes H. A. para carreteras, aun estrechos, no hay inconveniente, sino ventaja, en disponerlos con bóvedas gemelas.