

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

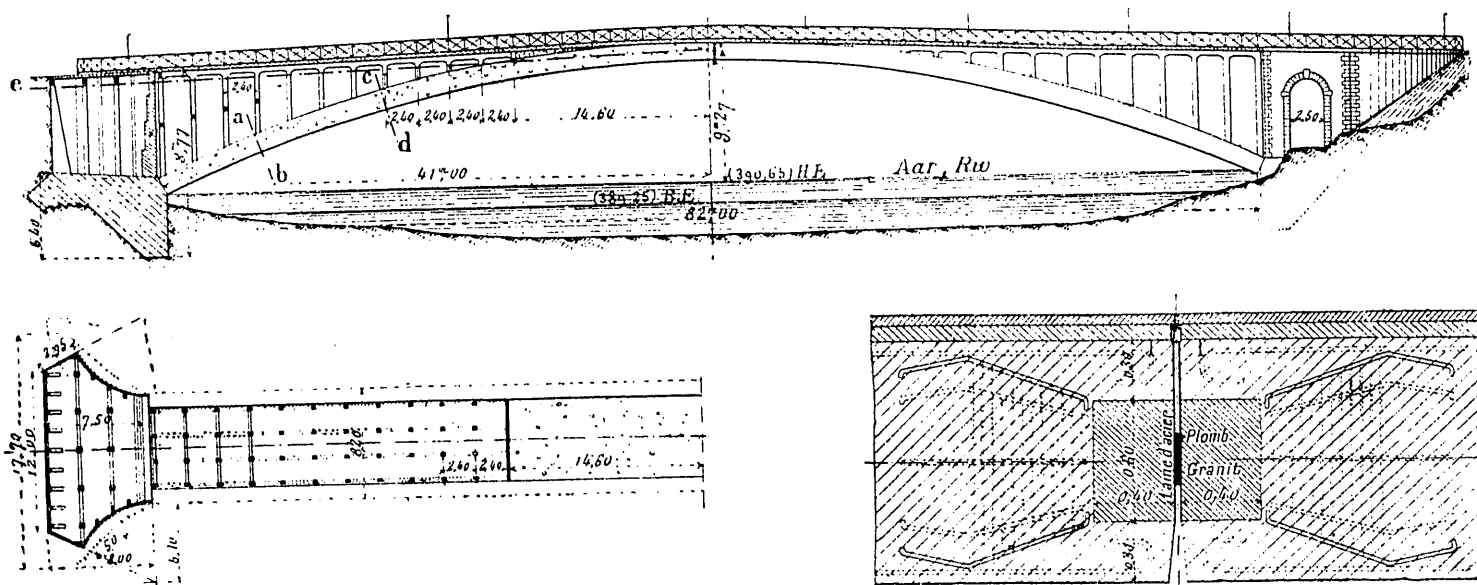
SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Puente de cemento armado sobre el Aar, en Olten (Suiza).

La ciudad de Olten, situada sobre el Aar, entre Soleure y Aaran, en el cantón de Soleure, posee un puente de cemento armado, inaugurado el 9 de Abril de 1914, cuya gran longitud, y, sobre todo, el gran rebajamiento de su arco, justifican una descripción detallada, tal como la hace M. A. C. en *Le Génie Civil*, y de la cual es un resumen la presente nota. El nuevo puente, situado 800 metros agua abajo del puente de hierro que une la

arco de 82 metros de longitud, con flecha de 9,27 metros, ó sea un rebajamiento de $\frac{1}{8},8$; la longitud total de la obra es de 97,20 metros. Gracias á esta pequeña flecha, la pendiente de la calzada, cuyas cotas en los extremos estaban impuestas por las de los caminos que bordean cada orilla del Aar, está limitada á un 3 por 100 por cada lado del puente. La anchura del tablero es de 8 metros, de los que 5 corresponden á la calzada. Las cargas previstas sobre ésta son de 350 kilogramos por metro cuadrado y de 500 también por metro cuadrado sobre las aceras, como cargas inmóviles, y de un carretón de 12 toneladas (de dos ejes espaciados 3 metros) como carga móvil.



Figs. 1.^a á 3.^a

estación con la ciudad, sirve á unos barrios exteriores, que cuentan todavía con pocos edificios, pero en los que se establecerán industrias muy pronto, tanto á causa de esta nueva facilidad de comunicación entre las dos orillas, cuanto por la terminación próxima del nuevo túnel del Hauenstein que mejora la línea de Basilea á Olten, y, en fin, por la construcción de una gran fábrica hidroeléctrica, agua abajo del puente.

Descripción general del puente.—Habiendo decidido el Gobierno cantonal de Soleure no disminuir el desagüe con ninguna pila intermedia, confió el estudio y la construcción del puente á M. Froté, Ingeniero de Zurich, autor de importantes obras de cemento armado. El proyecto de éste comprendía (fig. 1.^a) un

La armadura del puente está constituida por una bóveda de 6 metros de anchura y de espesor variable: 1,30 metros en los arranques, 1,55 en los riñones, 1,20 en la clave. Esta bóveda soporta al tablero, directamente en su tercio medio y en los otros dos tercios, por medio de ligeras columnillas unidas, en su vértice, por nervios longitudinales sosteniendo al tablero y á las aceras. Se ha reducido así al minimum el peso del puente, con objeto de evitar asentamientos de los estribos que están fundados sobre terrenos de aluvión; y efectivamente no se ha producido ninguno.

Además, para evitar las grietas en la bóveda, ésta se ha articulado en la clave y en los arranques.

Cálculo de la bóveda.—Como tiene tres articulaciones, el arco está estáticamente determinado, puesto que la curva de las presiones pasa siempre por estos tres puntos. Para reducir la superficie de las secciones á un minimum, la forma del arco se ha escogido de manera que su eje corresponde á la curva de las presiones del peso muerto. El empuje en la clave, resultante de este peso muerto, se ha obtenido por medio de la ecuación de los momentos de cada semibóveda con relación á la articulación de los arranques. Los momentos de las presiones, con relación á los núcleos de las diferentes secciones correspondientes, se han calcu-

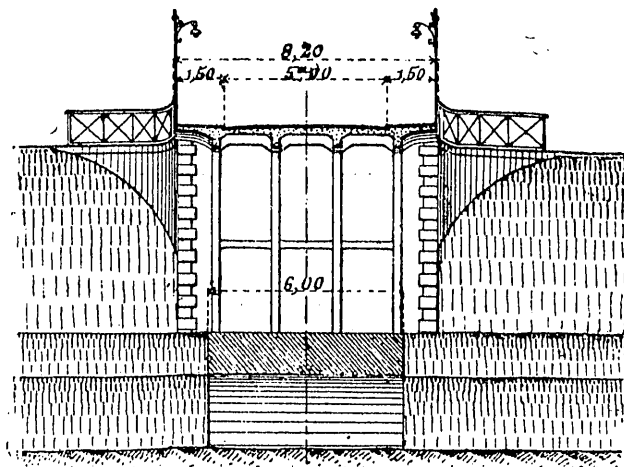


Fig. 4.ª

lado con ayuda de dicho empuje, comenzando en la clave; estos momentos, divididos por el momento de resistencia de la sección, representan los esfuerzos extremos, en el extradós y en el intradós.

La bóveda está dividida en 17 dovelas ficticias, cuyo peso varía de 22 á 83 toneladas. Se ha calculado el momento del peso de cada una de estas claves con relación á cada sección. Dividiendo por la flecha de la bóveda (9,27 metros) el momento M_n , relativo á la articulación del arranque, se ha obtenido el empuje horizontal H , y dividiendo por este empuje H los momentos de las diferentes dovelas, se han obtenido las ordenadas y de la curva

Con relación á una abscisa horizontal, las ordenadas de la línea de influencia están limitadas por tres rectas que forman una línea quebrada. El principio y el fin de la línea de influencia se determina por las proyecciones verticales de los arranques sobre la abscisa, siendo nulos los momentos en los arranques. Los dos ángulos de esta línea se encuentran: el uno sobre una vertical que pasa por la clave, el otro sobre una vertical que pasa por el núcleo de la sección de que se trate. La proyección vertical de la intersección de la recta que une el arranque á la clave de la semibóveda que no contiene la sección considerada y de la recta que une el otro arranque con el núcleo de la sección, da el punto de intersección de la línea de influencia con el eje de las abscisas (punto límite de las sobrecargas). A partir de este punto las sobrecargas, á un lado dan momentos negativos y al otro momentos positivos.

Por medio de la línea de influencia se obtienen directamente los máximos de estos momentos positivos y negativos, buscando las dos posiciones más favorables de las sobrecargas. Como para el peso muerto, los esfuerzos extremos en el extradós y en el intradós se calculan por medio de estos momentos.

En la clave, el empuje debido á las sobrecargas máximas previstas llega á 254 toneladas, que, añadidas al empuje H del peso muerto, dan un total de 2.600 toneladas. Este empuje, dividido por la sección de la bóveda, representa una compresión de 35 kilogramos por centímetro cuadrado en el arranque (36 kilogramos en la clave).

El autor inserta un cuadro en que se indican los esfuerzos máximos calculados para un cierto número de secciones, según el método indicado.

Resulta de él que la compresión de las fibras más cargadas llega á 47,9 kilogramos por centímetro cuadrado; según el cuadro completo publicado en una nota descriptiva detallada consagrada á este puente por el *Bulletin de la Suisse Romande*, la de las menos cargadas es de 12,2 kilogramos; no hay, pues, jamás esfuerzo de extensión, lo que habría permitido suprimir toda armadura en la bóveda. Se han empleado, sin embargo, estas armaduras, y la primera revista citada las explica detalladamente.

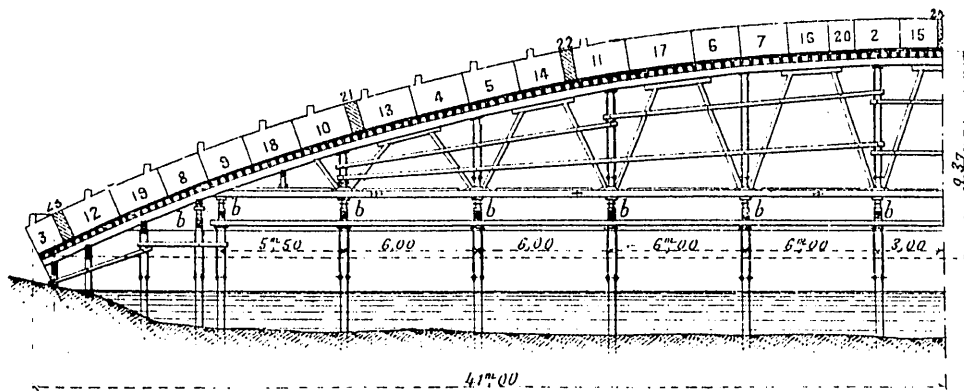


Fig. 5.ª

de las presiones con relación á la tangente horizontal en el vértice de la bóveda.

El momento M_n es de 21.763,6 toneladas por metro.

El empuje H es, pues, de $\frac{21.763,6}{9,27} = 2.346$ toneladas.

Los esfuerzos producidos por las sobrecargas se han determinado, para cada una de las secciones, por medio de las líneas de influencia de los momentos de los núcleos, establecidos gráficamente para una sobrecarga de una tonelada circulando sobre el puente.

La presión del viento que se ejerce sobre una superficie de 180 metros cuadrados, á 250 kilogramos por metro cuadrado, representa un esfuerzo de 45 toneladas, ó, con relación á la superficie plana del arco, 350 kilogramos por metro cuadrado: es el mismo esfuerzo que el de la sobrecarga admitida para el cálculo del puente.

Articulaciones.—Las articulaciones de las bóvedas en los arranques y en la clave, están constituidas (fig. 3.ª), no por rótulas, demasiado costosas, sino por simples láminas de acero, sujetas entre dos cojinetes de granito incrustados en el hormigón.

Como la anchura de la bóveda es de 6 metros, se han necesitado 12 láminas de acero de $0,50 \times 0,25$ metros (y 25 milímetros de espesor) para guarnecerla enteramente; estas láminas están protegidas contra la humedad por un palastro plegado. Las dimensiones de los cojinetes son de 50 centímetros de longitud, 60 de altura y 40 de anchura.

El esfuerzo de compresión máxima en estas articulaciones no llega á 200 kilogramos por centímetro cuadrado, ó sea, próximamente, la decima parte de la resistencia del granito empleado.

Construcción del puente.—La construcción se ha hecho sobre andamiajes de madera (figuras 5.^a y 6.^a) protegidos contra las crecidas del Aar por pilotes rompehielos. Unos puntales aumentan su estabilidad, tanto agua arriba como agua abajo. En fin, las cimbras descansan sobre 48 cajas de arena *b*, de palastro, de grandes dimensiones. La bóveda (700 metros) fué hormigonada por dovelas separadas, en un orden bastante complejo, como lo indican los números inscritos en la figura 5.^a, partiendo de la clave y terminando por intervalos de 60 centímetros (numerados de 21 á 24) alojados entre las dovelas propiamente dichas. Estas podían, por lo tanto, fraguar separadamente y la contracción de la bóveda se reducía al minimum. Gracias á esta división y á la resistencia de las cimbras, la bóveda no ha tenido ninguna grieta en el momento del descimbramiento.

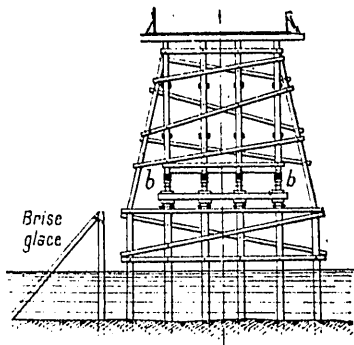


Fig. 6.^a

El hormigón estaba dosificado en la proporción de 350 kilogramos de cemento portland artificial, por 1.200 litros de grava y arena lavadas. Las pruebas de este hormigón presentaban, al cabo de veinticuatro días, una resistencia de 350 kilogramos por centímetro cuadrado á la compresión, y de 34 kilogramos por centímetro cuadrado á la extensión. Se han podido hormigonar hasta 40 metros cúbicos por día en la bóveda, á pesar de la complicación del orden adoptado para las claves.

Los estribos, parte importante del puente, están formados cada uno de un bloque muy importante (340 y 386 metros cúbicos), en el cual se han introducido cuatro celosías compuestas de cables de 30 milímetros, arriostrados por estribos de hierros redondos de 10 milímetros; se ha evitado así todo deslizamiento, á pesar de la presencia de capas de arena en el terreno de la cimentación. El espacio encima del estribo hasta el tablero ha quedado vacío; en una de las orillas, una parte de este espacio está ocupado por una bovedilla que deja libre el paso de un camino. Las presiones máximas sobre el suelo son solamente de 2 á 2,25 kilogramos por centímetro cuadrado.

La clasificación del hormigón en los estribos varía de 180 á 280 kilogramos de cemento por 1.200 litros de arena y grava; las capas de hormigón han sido apisonadas casi perpendicularmente á la curva de las presiones. Estos estribos se han construído en seco, al abrigo de ataguías de tablestacas cubiertas de arcilla. Una pared de tablestacas se ha conservado definitivamente en cada orilla, para proteger la cara anterior del estribo contra la acción de las aguas.

Las columnillas que soportan el tablero (figuras 1.^a y 4.^a), salvo en medio del puente, en que se confunde con la bóveda, tienen secciones de $0,20 \times 0,20$ á $0,40$ metros, armadas de cuatro á seis hierros de 12 milímetros, y estribos de hierro de 6 milímetros; estas armaduras están fuertemente ancladas en la bóveda y en el forjado del tablero; las columnillas vistas tienen espesores variables, de 30 á 40 centímetros para dar mejor aspecto al conjunto del puente. Las más altas hacia los arranques están arriostradas por viguetas de cemento armado. Los nervios del tablero, encima de las filas de columnillas tienen $0,20 \times 0,50$ metros y están armados de hierros de 12 milímetros, con estribos de 6 milímetros. El forjado del tablero propiamente dicho tiene 15 centímetros de espesor; está armado con hierros de 10 milímetros; las aceras, voladas, son más delgadas en sus extremos.

En los extremos del puente, hacia los estribos, el tablero está reforzado por nervios transversales de mayor sección (fig. 4.^a). La calzada es de afirmado alquitranado; las juntas de dilatación en la clave y en los estribos están cerradas por palastros encorvados y elásticos (fig. 3.^a).

Las cantidades de hormigón empleadas en esta parte del puente son de 85 metros cúbicos, próximamente, para el tablero, 48 metros cúbicos para las columnillas, 21 metros cúbicos para el relleno entre la bóveda y el tablero en el centro del puente.

En resumen: el puente ha absorbido 987 metros de cemento armado, 823 de hormigón ordinario (en los estribos) y 50 toneladas de acero. No ha habido ningún accidente durante las obras ni ninguna avería desde su terminación.

Ensayos.—Los ensayos se han efectuado con un rodillo compresor de 15 toneladas, notablemente más pesado que el carrerón previsto por el Reglamento. Las flechas no han excedido de 4 milímetros.

Precio de costo.—El costo de la obra se ha elevado á 135.000 pesetas, ó sea 173 pesetas por metro cuadrado superficial en planta; es necesario contar, próximamente, 30.000 pesetas para los andamiajes, ataguías y tablestacas, y el resto para el puente propiamente dicho, cuyo aspecto ligero conviene perfectamente á una obra de este género, que debe, exigiendo el minimum de gastos, tener una cierta elegancia sin llegar á la forma monumental.

Canal de Isabel II

por

DON RAMÓN DE AGUINAGA

Ingeniero Director.

Purificación de las aguas.

En la época en que se realizaron las obras iniciales del Canal de Isabel II, y que podemos considerar como lejana, las teorías del gran Pasteur no habían abierto todavía á la ciencia los vastos y luminosos campos de la bacteriología, y la intervención de los encargados de velar por la salubridad pública en los proyectos de abastecimiento de aguas se reducía á comprobar la composición química de las destinadas á ese servicio.

Así es que solamente en este extremo se fijaron los ilustres Ingenieros que planearon aquellas obras, y ha de decirse, en obsequio á la verdad, que no podían haber elegido agua de más