

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.

El puente del Risorgimento, sobre el Tiber, en Roma.

Á la construcción de este puente del Risorgimento (Resurgimiento nacional), el mayor puente de cemento armado de un solo arco construido hasta la fecha, dedica Mr. Louis Guesnel, Ingeniero de construcciones civiles, en los *Annales des Ponts et Chaussées* (primer número del año corriente), un extenso artículo que extractamos en el presente.

En Mayo de 1909 la Junta de las Exposiciones de Roma para 1911 había estudiado un proyecto de puente de madera destinado únicamente á reunir las dos Exposiciones, artística y etnográfica y que debía demolerse después de su cierre. Ahora bien, en el sitio en que se colocaba este puente, más allá de la vía Flaminia, enfrente de la plaza de Armas, disponía el nuevo plano de Roma la construcción futura de un puente de mampostería, el que, sin embargo, no se pensaba hacer en seguida por falta de tiempo y de crédito necesarios.

podría acabarse en tiempo hábil para servir durante la Exposición.

Ahora bien, Mr. Bentivegna indicaba un puente de tres tramos, cuando Mr. Porcheddu, representante en Italia de la casa Hennebique, propuso un arco único de 100 metros, con una flecha de 10, comprometiéndose, por otra parte, á establecer á sus expensas una obra provisional de madera si el puente de cemento armado no se concluía en el tiempo deseado. El precio, á tanto alzado, se fijó en liras 1.250.000. Los cálculos de estabilidad de la obra se hicieron por la casa Hennebique.

Descripción de la obra.—El puente tiene un solo arco, de intradós circular de 100 metros de cuerda y de 10 metros de flecha (figs. 1.ª á 8.ª). Los tímpanos exteriores, enlazados en cuerno de vaca á la bóveda, tienen una flecha reducida á 8 metros. Este arco está constituido por una bóveda continua que sigue en cada estribo 24 metros en el sentido de la profundidad, y mide así 148 metros de longitud total, sin ninguna solución de continuidad. Esta bóveda tiene 0,20 metros de espesor en la clave y 0,50 metros en los arranques; está unida al tablero por unos tím-

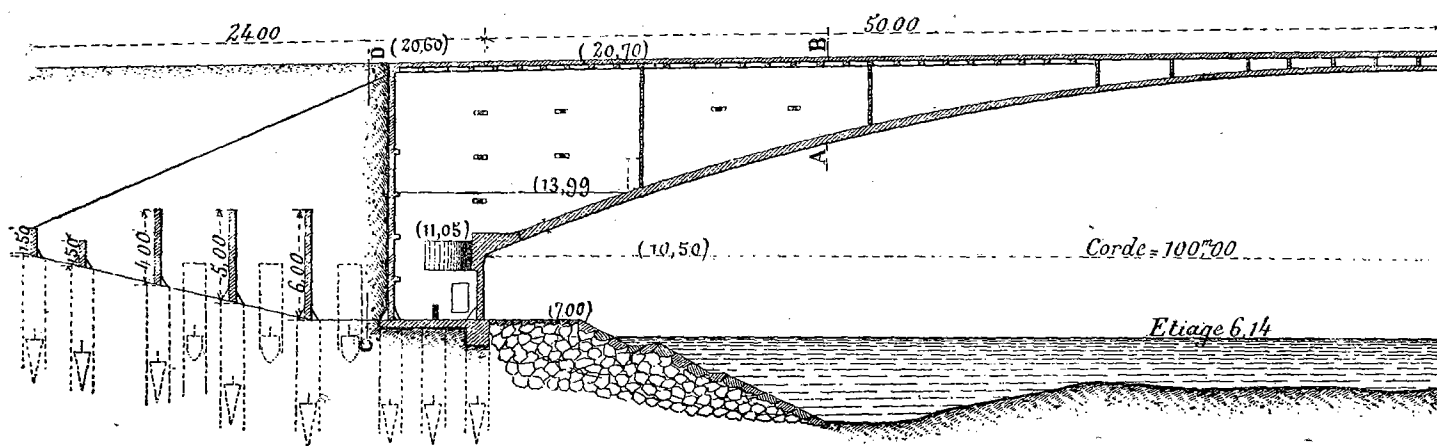


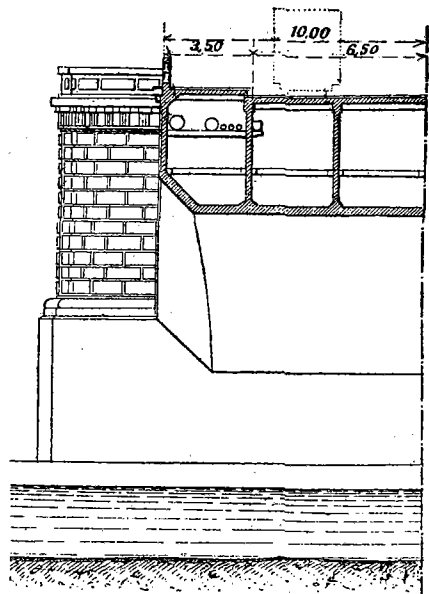
Fig. 1.ª

Sin embargo, el puente de madera, aunque provisional, tenía que costar bastante caro, porque las crecidas del Tiber no permitían contentarse con una construcción ligera. Resolvió la dificultad una feliz iniciativa de Mr. Rosario Bentivegna, Ingeniero, Consejero de Obras públicas de la ciudad de Roma, merced á la cual se decidió construir un puente definitivo que, haciéndole de cemento armado,

panos ó paredes verticales longitudinales no agujereados, en número de siete, que tienen cada una 0,20 metros de espesor en toda la longitud de la obra. Estas paredes están enriestradas entre sí por medio de diversos diafragmas delgados transversales.

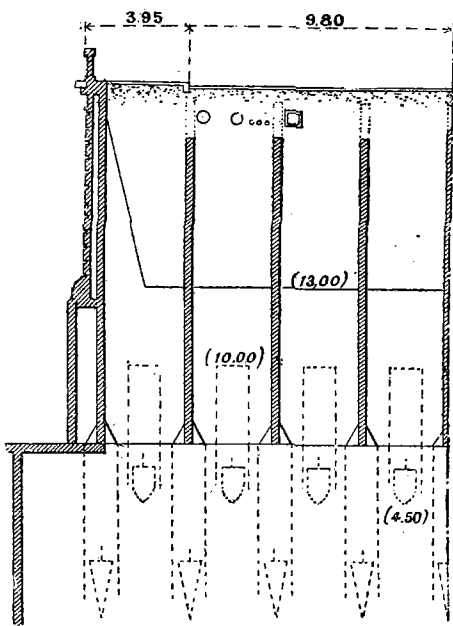
La anchura del puente es de 20 metros, ó sean 19,20 entre parapetos, cuyos 13 metros están reservados á la

calzada y 3,10 á cada una de las aceras (fig. 2.^a). Para facilitar los accesos, se ha aumentado hasta 26,50 metros la anchura del puente en sus extremidades (fig. 3.^a). La calzada está dispuesta ligeramente en vertiente á uno y otro

Fig. 2.^a

lado, con pendientes de 1,77 por 100 más allá de la parte central, que es sensiblemente horizontal en una longitud de 12 metros.

Cada estribo ocupa en plano una superficie de más de 600 metros cuadrados, y está constituido por un cajón sin fondo dividido en varios compartimientos limitados por muros longitudinales de 0,30 metros de espesor, que son

Fig. 3.^a

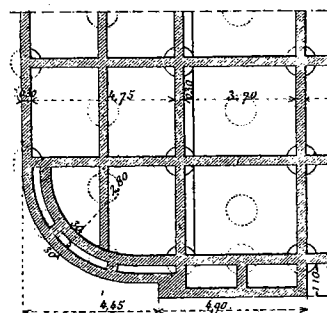
las prolongaciones de los tímpanos, y por tabiques transversales que los unen constituyendo un verdadero monolito celular (fig. 4.^a). La característica de estos estribos es, pues, que no descansan, como es de uso corriente, sobre una meseta de cimentación, sino que los muros longitudinales y transversales están soportados en su cruce sobre pilares, sistema Compressol, á los cuales están unidos por armaduras constituidas por aceros redondos que penetran profundamente en los pilares y en los tabiques.

Resulta de esta disposición que las tierras de relleno de los estribos descansan directamente sobre el suelo.

Los compartimientos ó células más aproximadas al río no llevan ningún relleno, con objeto de reducir la carga del suelo en las caras anteriores de los estribos. Estas células están además provistas de unos vanos interiores que permiten pasar de una á otra á fin de permitir el examen de la obra; la misma precaución se ha tomado también para los tabiques transversales que enriostan los tímpanos.

Mientras que el espesor útil en la clave no es más que de 40 centímetros, el espesor total es de 85; comprende además el espesor de 20 centímetros de la bóveda de intradós, la de la calzada que es también de 20 centímetros y el vacío de 45 centímetros de altura de las células en este punto. Esta altura llega á 1,15 metros en el sitio ocupado por las aceras.

Más allá de la parte central, á derecha é izquierda de la clave, la calzada está constituida por un forjado de 15 centímetros de espesor, mantenido por armadura de 0,18 por 0,21 metros, apoyándose sobre los tímpanos longitudinales. El pavimento está formado por cuadros de asfalto y de cemento fuertemente comprimidos, que tienen 6 centímetros de espesor para la calzada, y 3 centímetros para las aceras.

Fig. 4.^a

Sobre la calzada se han establecido dos vías de separación normal de 1,50 metros para un tranvía eléctrico, con carriles especiales de acero, de 9 centímetros de altura, provistos de conductores de vuelta de cobre. Bajos las aceras se ha colocado un cierto número de cañerías de agua y de gas (fig. 2.^a), así como cables eléctricos de 10.000 voltios.

La decoración de la obra es muy sobria; una cornisa corre sobre toda la longitud de los tímpanos; unas ménsulas alternan con unos medallones (fig. 8.^a); el conjunto se ha ejecutado con placas de piedra artificial imitando á la piedra calcárea llamada travertín.

Cimentación de los estribos por compresión mecánica del suelo.—Los sondeos realizados por la Sociedad Porcheddu mostraron que el terreno se componía casi exclusivamente de arenas arcillosas y de arcillas limosas, cuya resistencia decrecía á medida que se descendía hasta llegar, en ciertas profundidades, á una fluidez fangosa.

Estos resultados condujeron á sustituir las fundaciones por pilotes de 14 metros de longitud que se había previsto por la cimentación, sistema Compressol, consistente en la compresión del suelo por la impulsión de las tierras por la acción de un mazo, y el relleno de la excavación así creada con hormigón.

Se hincaron así 72 pilotes, de una altura máxima de

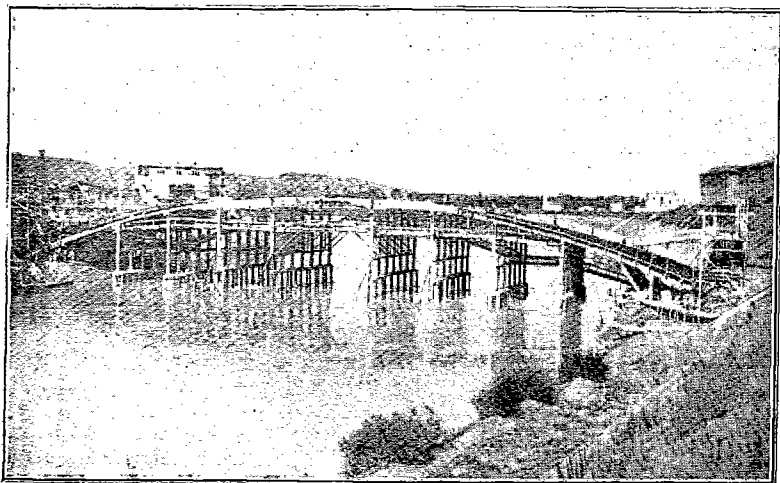
7 metros, nivelados á cotas que variaban de (+ 7,50 metros) á (+ 10,50 metros), según el plano inclinado del fondo de la excavación.

Se tuvo que echar en diversas ocasiones en los pozos, á medida que se perforaban, arcilla terrosa á fin de evitar la entrada del agua; ésta, impulsada lateralmente por la caída del mazo perforador, constituía una pared delgada plástica, pero resistente gracias á su fuer compresión, obteniéndose así una impermeabilidad suficiente.

Se procedió en seguida, después de la ejecución del relleno, y en cada una de las 24 células que comprende cada estribo, á realizar una nueva aplicación del sistema Compressol, á través del terraplén, á fin de obtener para éste una densidad más considerable y una adherencia completa á las paredes de los estribos. Los pilares de esta segunda serie tienen una altura de 5,50 metros próximamente y están nivelados á la cota (+ 10 metros), de tal manera, que penetran de 2,50 á 4,50 metros en el suelo no excavado, pero ya comprimido por las primeras perforaciones.

Estos 24 pilares complementarios unen el suelo ya comprimido al terraplén interior de los estribos, y éste forma bloque con las paredes. Así la ligazón del arco á los estribos se continúa por la de los estribos al suelo subyacente. Cada pilar ha exigido, por término medio, para la perforación y el relleno, treinta horas de trabajo.

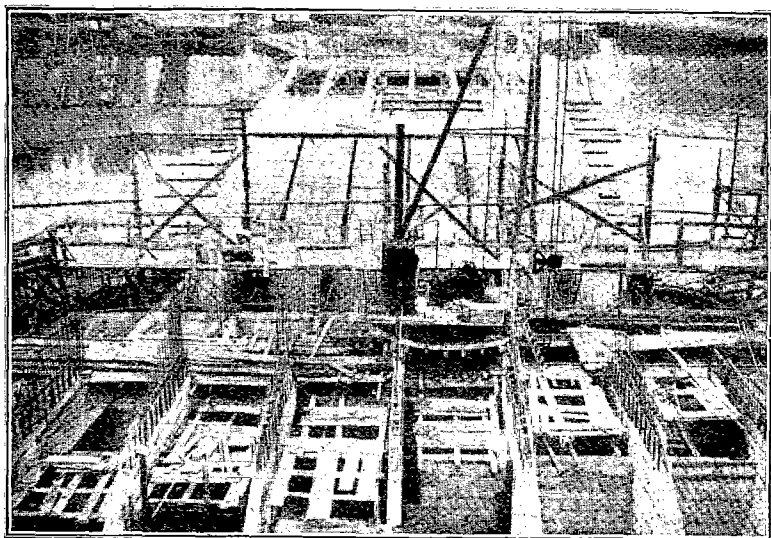
Ataguía para proteger las cimentaciones de los estribos. Una ataguía de protección, constituida con la ayuda de pilotes unidos, de cemento armado, se estableció para poner las cimentaciones al abrigo de los hundimientos. Estos pilotes se hincaron por inyección del agua bajo presión de dos atmósferas en el tubo dispuesto á este efecto en el eje de cada uno de ellos; se necesitaron por lo menos tres horas para hincar los pilotes más largos. Se hincaron así sobre la orilla derecha 130 pilotes de 35×35 centímetros y de 8 á 9 metros de longitud.

Fig. 5.^a

Fué inútil construir una obra del mismo tipo en la orilla izquierda, porque existía en este punto un antiguo dique en bastante buen estado.

Estacadas para el cimbrado de cemento armado.—El régimen muy variable del Tíber ha constituido una seria dificultad para el establecimiento de los andamiajes y de las cimbras, porque las inundaciones de este río son frecuentes desde el principio del otoño hasta la mitad de la primavera, y las crecidas llegan á 6 ó á 8 metros sobre el estiaje.

Para conseguir la seguridad de la obra, se construyeron de cemento armado las ocho estacadas de la armadura principal del andamiaje. Hincáronse ocho grupos de pilotes en el lecho del río con la ayuda de un martinete de vapor colocado sobre un pontón. Cada pila así constituida comprendía 16 pilotes, cuyas puntas, provistas de tornillos especiales, estaban destinadas á fijarlos con mayor fuerza en el fondo arenoso del río. A estos pilotes se les

Fig. 6.^a

colocó en su parte superior una armadura que constituía la estacada y se reunieron las estacadas entre sí por una viga resistente, aunque ligera, á fin de oponer á las aguas la menor superficie posible.

Sobre esta armadura de cemento armado se colocaron transversalmente unas piezas de madera, á las que se fijaron en seguida unas tablas de madera. Las vigas transversales estaban fijadas sobre cuñas de regulación (fig. 5.^a).

Un accidente, que hubiera podido tener muy graves consecuencias, vino á probar cuán prudente había sido establecer con tanta solidez los puntos de apoyo de las cimbras. El 29 de Diciembre de 1910, al descender por el río un vapor de la Sociedad de Navegación fluvial, la violencia de la corriente le proyectó con fuerza contra la parte anterior de una estacada central. Varios pilotes se rompieron por el choque y el barco se fué á pique casi inmediatamente. Ahora bien, en esta época, la bóveda no estaba construída todavía más que en una mitad y solamente desde hacía algunos días; toda la carga pesaba por lo tanto sobre la cimbra y sobre sus soportes. Aunque la pila se rompió así por su base y quedó al aire más de 3 metros (fig. 7.^a), no se produjo ningún movimiento ni se manifestó ninguna huella de fatiga.

Después del descimbramiento de la obra se han arrancado sin dificultad todos los pilotes de cemento armado de la estacada. La extracción se hizo por medio del martinete colocado sobre un barco como para la hincá; se daban primero algunos golpes con un martillo de 250 kilogramos, se balanceaba después el pilote, moviendo alternativamente la cabeza á derecha é izquierda, á fin de desarraigarle, y se ataba acto continuo el pilote con una cadena que se unía á una segunda cadena, que se arrollaba sobre el torno de vapor del martinete; por medio de este último se levantaba el pilote.

Ejecución de las obras.—Numerosas dificultades surgieron en la ejecución de las obras á causa de la naturale-

za del terreno, del régimen de las aguas del río, de los abastecimientos de los materiales, del plazo extremadamente corto y de diversas condiciones locales.

En el transcurso de las obras, es decir, en quince meses, se registraron, en efecto, setenta y siete días de crecida, durante los cuales las aguas del Tíber, que en el estiaje están en la cota (+ 6,14), sobrepasaron el nivel (+ 7,50). Las crecidas variaron de (+ 9,42) á (+ 12) y la máxima sobrepasó la (+ 13). La existencia del dique permitió no establecer ataguía de protección en la orilla izquierda, como ya hemos dicho, y esto fué una circunstancia muy feliz á causa de la permeabilidad del fondo, de donde brotaba el agua como de un manantial.

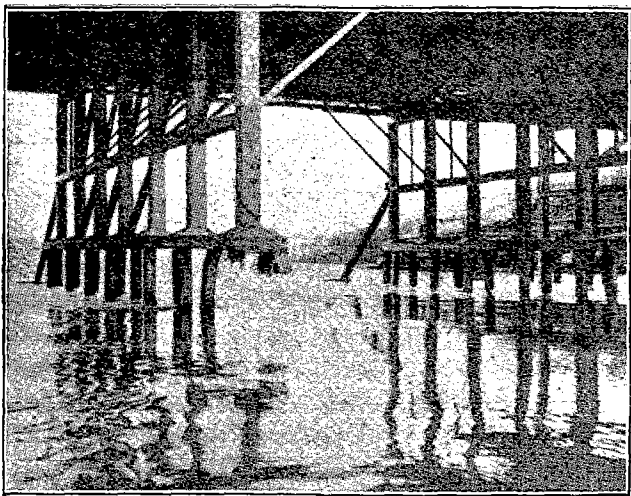


Fig. 7.^a

La instalación mecánica y eléctrica muy completa comprendía, además de los martinets de vapor provistos de un motor de 40 caballos para la hincada de los pilotes, un elevador para los escombros en trincheras estrechas, unas bombas para la elevación del agua necesaria para la hincada de los pilotes por inyección de agua, las máquinas-herra-

El primer pilote de la ataguía de protección se moldeó el 18 de Diciembre de 1909 y se hincó el 4 de Marzo. Toda la ataguía se acabó á fines de Junio. Los andamiajes de cemento armado de la cimbra se terminaron á fines de Agosto; la cimbra y las cajas del intradós á fines de Septiembre.

Los pilares auxiliares se comenzaron el 20 de Septiembre y se terminaron el 11 de Octubre en la orilla derecha, comenzándose los de la orilla izquierda el 20 de Octubre para terminarse el 7 de Diciembre. El hormigonado de los estribos se comenzó el 27 de Julio, el de la bóveda el 9 de Octubre, terminándose el de la calzada el 7 de Febrero de 1911 y el de las aceras el 25 del mismo mes.

En Marzo se acabaron las obras accesorias: pavimento de la calzada, barandillas y decorado. La operación de descimbrar empezó á principios de Abril y se acabó el 11; se hizo con mucha facilidad por el descenso progresivo y sucesivo de las cuñas de las cimbras de madera.

El 17 de Abril se realizó un ensayo de carga móvil haciendo pasar rodillos de vapor á fin de verificar la solidez del puente que debía atravesarse el 21 por la comitiva oficial de inauguración de la Exposición.

La duración total de la construcción del puente, desde el principio de la cimentación hasta su terminación completa, ha sido, pues, de quince meses si se atiende á las fechas de comienzo y de conclusión; ha sido en realidad de menos de trece meses (trescientos ochenta días de trabajo), á pesar de las dificultades considerables de la cimentación, y no obstante los períodos de lluvias incesantes, de frío y de las crecidas violentas del Tíber.

Pruebas.—Las pruebas del puente se verificaron del 8 al 11 de Mayo de 1911. El pliego de condiciones fijaba como flecha máxima en la clave para una superficie libre de 500 kilogramos por metro cuadrado sobre toda superficie de la obra, el $\frac{1}{1500}$ de la luz, ó sea 0,0667 metros.

Bajo una sobrecarga real de 600 kilogramos por metro cuadrado se hizo constar que la flecha máxima en la clave

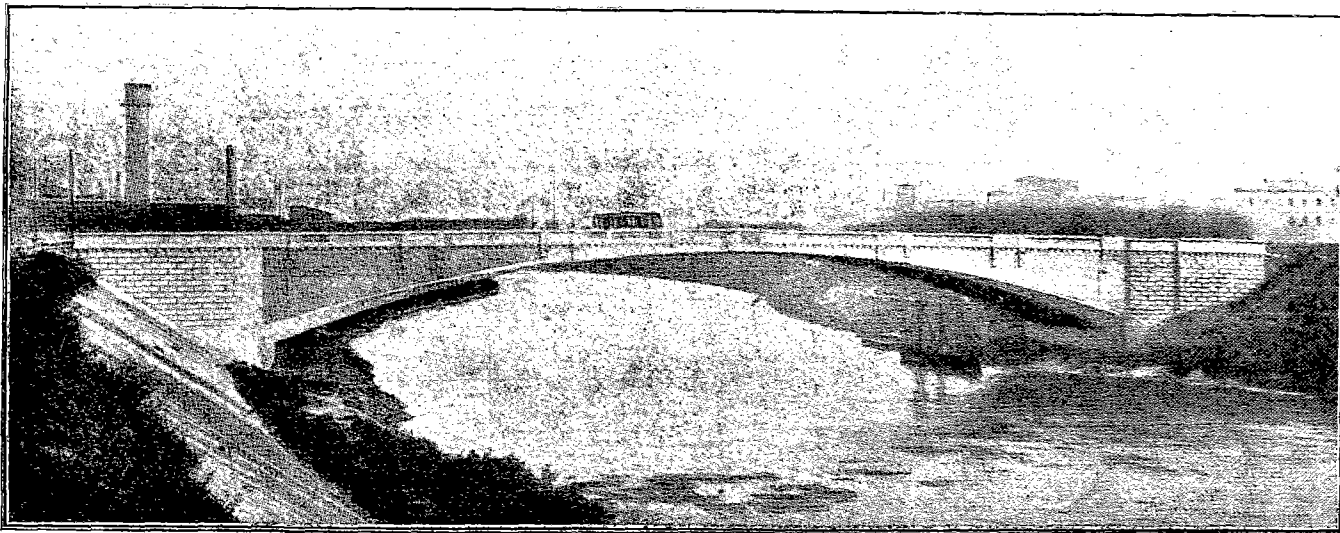


Fig. 8.^a

mientas de los carpinteros y forjadores, las máquinas lavadoras y tamizadoras para la grava y las amasadoras para la preparación del hormigón.

Rapidez en la ejecución.—Las pilas se comenzaron el 2 de Enero de 1910 y se concluyeron el 8 de Junio en la orilla derecha; en la izquierda se empezaron el 28 de Febrero y se terminaron el 17 de Julio.

era inferior á 33 milímetros. Se hizo en seguida pasar por el puente tres rodillos compresores, de frente, de 13, 16 y 17 toneladas. La flecha máxima fué inferior á 2 milímetros.

Estos ensayos se completaron, á petición de los contratistas, por pruebas de resistencia á los choques rítmicos, es decir, por ejemplo, al paso de tropas á diversos aires

acompañados por la música: paso ordinario y paso gimnástico; 990 hombres recorrieron varias veces el puente de un estribo al otro, al paso gimnástico al compás de la música. La amplitud máxima de la vibración del puente fué de 2 milímetros al paso ordinario y de 2,6 milímetros al paso gimnástico.

Esta notable resistencia á los esfuerzos rítmicos es debida á la constitución monolítica de la obra, más que á su masa, porque su peso es relativamente poco elevado: 2.100 kilogramos por metro cuadrado.

Habiéndose construido el puente á tanto alzado, al precio de 1.250.000 liras, y siendo su superficie de 2.050 metros, teniendo en cuenta los ensanches de las entradas, el precio de la obra resulta á 610 liras por metro superficial.

La enseñanza técnica en Europa ⁽¹⁾

POR

D. VICENTE MACHIMBARRENA Y D. CARLOS ORDUÑA,

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Profesores de la Escuela especial del Cuerpo.

Suiza.

La nación más privilegiada de Europa por su posición geográfica, por la sencillez de sus instituciones verdaderamente democráticas y por la apacible existencia de sus moradores, es, sin duda alguna, la república helvética. Por estas y otras circunstancias se ha llegado á instituir en Zurich la Escuela técnica más popular de Europa, el célebre *Polytechnicum*, al cual acuden, además de los nacionales, un considerable número de estudiantes de todos los países del mundo, atraídos por la justa fama de las enseñanzas que se dan en este importante centro docente.

A pesar de ser tan conocido y de las muchas referencias que por lo mismo teníamos de él, nos pareció muy oportuno visitarle en nuestro viaje.

Su importancia en la historia de las Escuelas técnicas del tipo alemán es grande por ser la primera que se creó, con la idea de bastarse á sí misma, para dar una enseñanza técnica completa con absoluta independencia de las que pueden adquirirse en otros centros superiores y hasta secundarios. La fundación data del año 1855, y desde el principio se esmeró en elegir un profesorado eminente y en dar carácter práctico á los estudios, por lo que rápidamente fué atrayéndose á gran parte de los jóvenes que antes acudían á las facultades de la antigua Universidad, y hoy cuenta cerca de 2.000 alumnos.

El ingreso en esta Escuela ofrece algunas particularidades que la diferencian de sus similares de Alemania. Como en éstas, tienen entrada libre todos aquellos estudiantes que presentan un certificado de haber hecho los estudios secundarios en determinados establecimientos del Estado, y también son admitidos, sin otro requisito, aquellos alumnos que se hallen provistos de certificados de establecimientos extranjeros que se conceptúen como similares á los primeros por el Director de la Escuela y por el Presidente del Consejo federal; pero además pueden ingresar en esta Escuela los que, teniendo una cultura general

de cierta importancia, se someten á un examen de ingreso.

Este examen no tiene el carácter ferozmente eliminatorio de las Escuelas cerradas de Francia, de que antes hemos hablado, y lejos de ser una barrera difícil de franquear, es un recurso más que se ofrece á los que por cualquier circunstancia no hayan podido ilustrarse en determinados centros de enseñanza nacionales ó extranjeros. Por esta razón, las pruebas á que se someten los aspirantes á ingreso son muy fáciles, de tal modo, que los que posean una sólida cultura secundaria, con pocas semanas de estudio se encuentran en condiciones de presentarse á este examen, para cuya preparación los mismos Profesores del *Polytechnicum* se ponen á disposición de los alumnos. Para ingresar es preciso haber cumplido los dieciocho años, evitando de este modo la entrada en la Escuela de jóvenes precoces, que en general no dan más adelante buenos resultados y á los que perjudica el forzar su inteligencia, sometiéndola á trabajos impropios de la edad, que impide que el desarrollo físico sea completo.

El número de secciones ó facultades que actualmente tiene esta Escuela es once, muy superior á las que poseen las análogas de Alemania y Austria, lo que indica la importancia que ha adquirido el *Politechnicum*, de Zurich y lo mucho que se cuida de ir especializando las enseñanzas.

Dichas facultades son las siguientes:

- 1.^a La Escuela de Arquitectura (*Architekturschule*), donde los estudios duran siete semestres.
- 2.^a La Escuela de Ingenieros propiamente dichos ó Ingenieros constructores (*Ingenieurschule*) (camino, puentes, canales, etc.), siete semestres.
- 3.^a La Escuela de Ingenieros mecánicos (*Machinengeniurschule*), siete semestres.
- 4.^a La Escuela de Química (*Chemische Schule*), siete semestres.
- 5.^a La Escuela de Farmacia (*Pharmazeutsche Schule*), cuatro semestres.
- 6.^a La Escuela Forestal (*Fortschule*), seis semestres.
- 7.^a La Escuela de Agricultura (*Landwirtschaftliche Schule*), cinco semestres.
- 8.^a Escuela de Profesores de Ciencias físico-matemáticas (*Abteilung für Tachleusen in Mathematik und Physik*), que es á modo de una Escuela Normal superior de Ciencias exactas, ocho semestres.
- 9.^a Escuela de Profesores de Ciencias naturales (*Abteilung für Tachleusen in Naturwissenschaften*), ó sea para el estudio de la Química, la Botánica, la Zoología, la Mineralogía y la Geología, seis semestres.
10. La Escuela Militar (*Militaerschule*), que no solamente enseña á los futuros Oficiales del Ejército suizo, sino también á todos los discípulos del establecimiento y aun á oyentes no matriculados.
11. Sección de cultura general subdividida en dos:
 - a) Subsección de Filosofía y Ciencias sociales (literatura, filología, historia, economía política y estadística).
 - b) Subsección de Ciencias, Matemáticas físicas y naturales.

No se debe confundir esta última sección con las 8.^a y 9.^a, porque éstas se hallan dedicadas á personas que de un modo especial van á consagrarse en lo futuro al profesorado, mientras que la sección 11 tiene por objeto difundir la cultura general entre todos los alumnos del estableci-

(1) Véase el número anterior.