

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

27 DE OCTUBRE DE 1904

## SUMARIO

	<u>Páginas.</u>
Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras públicas. . . . .	613
Información . . . . .	616
Canal de Aragón y Cataluña . . . . .	357
Berlín . . . . .	363
Ferrocarril secundario de Zafra á Burguillos (Badajoz) . . . . .	366
Bibliografía. . . . .	666
Noticias industriales y Personal de Obras públicas. . . . .	619

## CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

### El puente del Sosa.

En los primeros días de Septiembre se ha terminado el puente que ha de sostener los grandes tubos de 3,80 m. de diámetro que servirán, formando un sifón, para que los 35 m.<sup>3</sup> por segun-

su coste total se acercará á 2 millones de pesetas. La obra está, prácticamente, dividida en dos partes: una formada por el puente del Sosa, el pontón de Ribabona y las cabezas del sifón, que se hace directamente por administración y otra constituida por los tubos, cuyo proyecto y construcción han sido objeto de un concurso internacional adjudicado á los Sres. Ribera, Rouna y Durán.

Las obras que podríamos llamar infraestructura del sifón, constituidas por el puente y el pontón, están ya terminadas, y sin perjuicio de dar cuenta más adelante de las que se ejecutan, vamos á ocuparnos de las del puente, en las que concurren circunstancias dignas de ser conocidas.

*Dimensiones generales del puente.*—Tiene éste una longitud total de 183 m., repartida en un tramo central de cinco arcos, de intradós elíptico, de 15 m. de luz y 5 de flecha, separados por dos grandes estribos de muros de acompañamiento, en los que hay dos series de arcos de 3 m.; una de seis arcos en la margen derecha y otra de cuatro en la izquierda. Tiene la obra 11 m. de anchura, salvo en los estribos, en los que se ensancha hasta 13,50 m., y una altura, desde el enrase de cimientos hasta la cornisa general, que indica el asiento de los tubos, de 6,65 m. La total hasta el enrase superior de las tuberías es 12 m. próximamente.

*Material empleado.*—Se pensó primeramente en ejecutar la obra de piedra, y con este fin se comenzó el acopio de materiales, pero dificultades de tiempo y de costo, originadas por la distancia á que está la cantera y por sus malas condiciones de explotación, aconsejaron el cambio y se decidió construirla casi total-



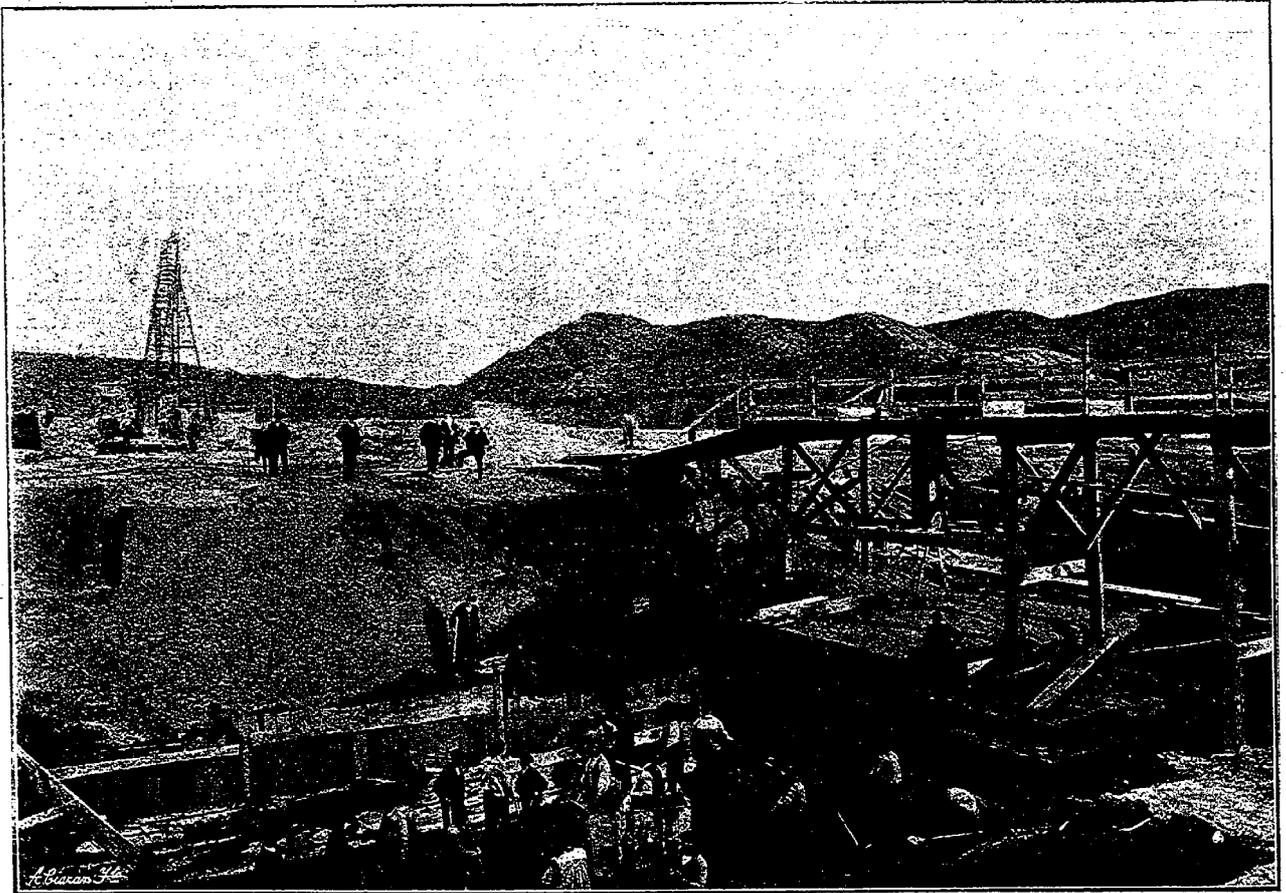
do que forman la dotación del Canal de Aragón y Cataluña salvan las profundas depresiones del río Sosa y del contiguo barranco de Ribabona.

Constituye este núcleo la obra más importante del canal, y

mente de hormigón. De esta fábrica son los cimientos y toda la elevación, exceptuando los muros de acompañamiento y las pilas de los arcos de aligeramiento. Se han empleado cerca de 10.000 m.<sup>3</sup> de hormigón, de distintas dosificaciones.

Este cambio ha permitido una gran rapidez, puesto que obra tan considerable se ha ejecutado en once meses (1) y una no despreciable economía. Baste decir sobre este punto, que la tonelada de piedra costaba 10 pesetas de transporte y el metro

los encofrados. Aquí se han suprimido casi totalmente. El encofrado se ha formado por placas armadas de 0,08 m. de espesor y de varias dimensiones superficiales que por medio de estribos ó anclas han quedado empotradas en la masa total. Se ha con-



cúbico de mampostería, puesto en obra, salía á unas 36 pesetas, mientras que la misma unidad del mejor hormigón empleado en bóvedas, fabricado con cemento Vicat, á 225 kilogramos por metro cúbico de hormigón apisonado, no ha llegado á 35 pesetas; esto es, la peor fábrica de piedra, más cara que el mejor hormigón.

Este resultado se ha conseguido por varias circunstancias. El material de hormigones se encuentra, de excelente calidad, en el emplazamiento mismo de la obra, y una organización minuciosa del trabajo ha permitido lavar y clasificarlo en lavaderos que aprovechaban el agua extraída por las bombas durante las cimentaciones. Estos lavaderos, que eran una de las curiosidades de la obra, producían diariamente 100 metros cúbicos de grava, gravilla y arena, próximamente en partes iguales, á muy bajo precio y de magnífica clase. Los talleres de fabricación de hormigón, convenientemente organizados, podían producir, con dos hormigoneras verticales, de 100 á 120 m.<sup>3</sup> diarios, y se ha llegado á ejecutar en dieciocho horas una de las bóvedas principales, que cubica 212 m.<sup>3</sup>, á pesar de las trabas y dificultades que la construcción sobre cimbras supone.

No permite la extensión de un artículo informativo mayores detalles sobre este interesante punto, pero si nos ocuparemos, antes de terminar lo relativo á materiales, de una particularidad de la obra. Sabido es que uno de los elementos que más gravan el coste y la mano de obra de las fábricas de hormigón son

seguido, á más de la economía consiguiente, una regularidad y buen aspecto de las superficies vistas que facilita extraordinariamente su terminación definitiva. También se han moldeado en taller muchas de las piezas molduradas empleadas (1).

*Disposiciones arquitectónicas.*—Como se trata de la obra más importante del canal, particularizada por los dos grandes tubos de hormigón armado, que serán los mayores, contruidos hasta el día, y con fácil acceso desde el ferrocarril de Zaragoza á Barcelona, se ha considerado conveniente ornamentarla, muy sobriamente sí, pero lo bastante para quitarle la monotonía y pesadez de que, en general, adolecen los puentes-sifones. Este objetivo se facilitaba por el material empleado, cuya adaptabilidad y flexibilidad de forma ha permitido realizarlo por muy poco dinero.

Con el fin de armonizar el conjunto, se ha proyectado una forma especial de envolvente para los tubos.

Se ha tratado de conseguir una clara diferenciación entre los tubos y el puente, los dos elementos esenciales, y en el segundo se ha separado enérgicamente el tramo central de los accesorios por los estribos, realizados con los escudos de Aragón y Cataluña y además por el aspecto de la fábrica, puesto que mien-

(1) La insignificante cantidad de obra hecha antes de Octubre de 1903 no merece tenerse en cuenta, pues aunque hubiera estado sin hacer no se hubiera modificado el plazo.

(1) En el número de la REVISTA de 15 de Septiembre último, dice el distinguido Ingeniero Ribera, al describir el puente de San Sebastián, que «no cree se hayan empleado hasta dicha obra las piezas, moldurajes y revestimientos de hormigón hechos en taller, para puentes». Algunos meses antes de comenzar las obras del puente del Urumea se habían ya colocado en el de Sosa placas y sillares moldeados, y anteriormente se habían usado en el de Soissons, construido por la casa Hennebique (Véase: *Géométrie Civile*, XLIV, n.º 17, y *Annales de Ponts et Chaussées*, 19.3.3.º).

tras el tramo principal acusa claramente al exterior que es de hormigón, los acompañamientos son, ó aparentan ser, de piedra. Detallando más, las bóvedas se separan de los timpanos porque éstos están enfoscados á la tirolera y la archivolta es lisa y de tono más claro, y por una robusta moldura que corre continua todo el puente significando la solidaridad que da á unos arcos con otros la naturaleza del material empleado.

Á los tajamares se les ha dado un perfil circular que armoniza con las curvas dominantes en toda la obra.

**Bóvedas.**—La carga á que están sometidas las bóvedas del puente del Sosa es completamente excepcional. La sobrecarga por m.<sup>2</sup> de planta tiene, reducida á hormigón, una altura de 2,48 metros y posa unas seis toneladas (unas doce veces más que la ordinaria). En estas condiciones, el estudio del perfil exigía una especial atención.

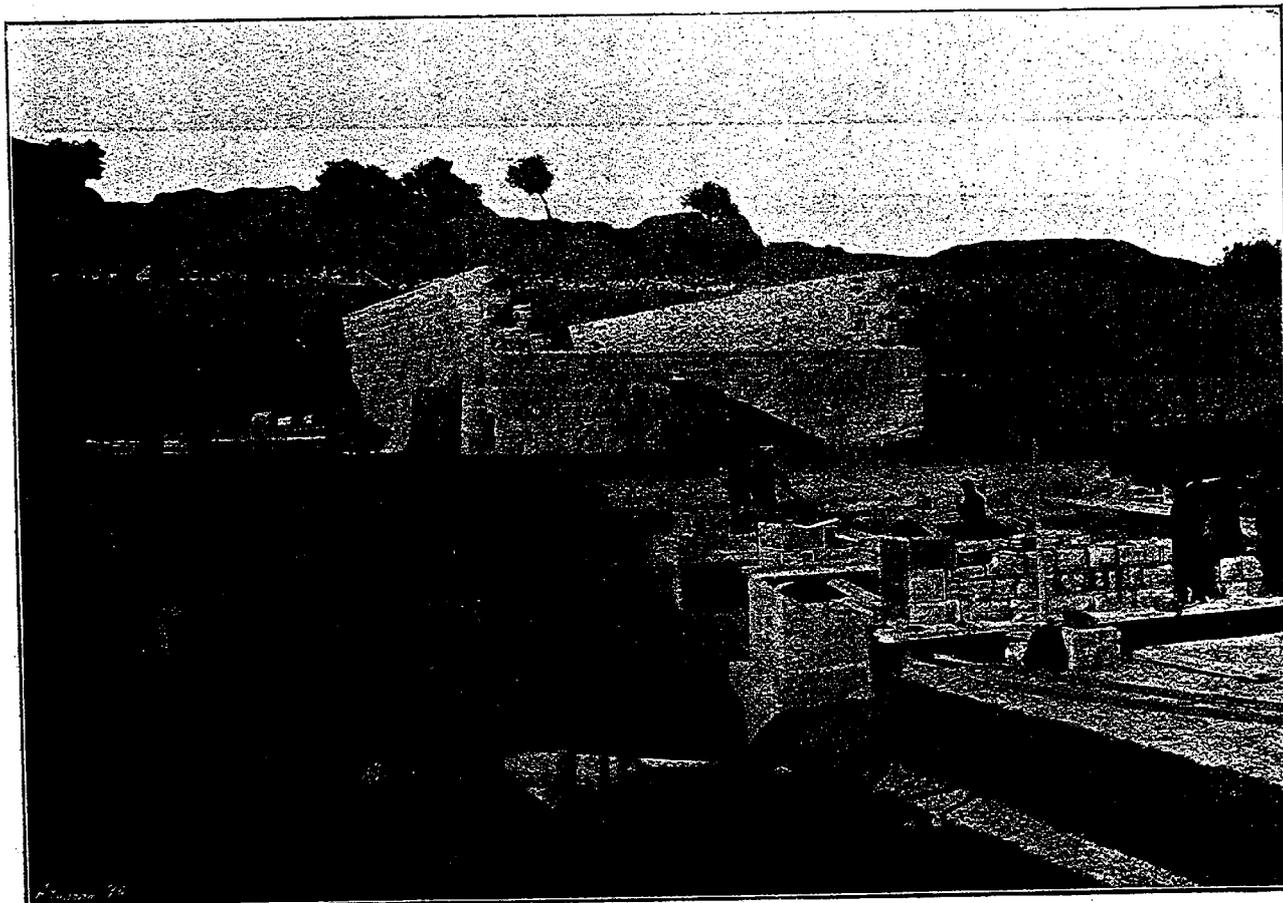
Aplicar á la determinación de las dimensiones de la bóveda los métodos en uso, con cualquiera de las fórmulas empíricas corrientes, no podía conducir á buen resultado, puesto que, deducidas como términos medios de obras construidas, no son aplicables más que á casos semejantes, y éste no lo es. El procedimiento racional consiste en dibujar un perfil aproximado de toda la obra con sus cargas y dimensiones, lo que puede hacerse *à priori* con exactitud suficiente, y construir un funicular de las fuerzas en acción que tenga la misma luz y flecha de la obra que se trata de proyectar. Si para eje de la bóveda se toma una línea que se aparte poco de éste funicular y se dan espesores relacionados con el trabajo á que se quiera someter el material, es

un mínimo de 1,15 en la parte media, esto es, en aquélla en que por apartarse menos la curva del eje, se reparte mejor la presión y se necesita menor sección resistente. Así, el eje de la bóveda, que es su característica y no la curva de intradós, es un arco carpanel de 14,50 metros de luz y 2,89 de flecha, ó sea un rebajamiento de  $\frac{1}{5}$ . Las bóvedas de los aligeramientos tienen perfil análogo (0,69 — 0,66 y 0,52 respectivamente) y su eje es la parábola  $y^2 = 2 \times 1,19 x$ .

El método de Méry, ordinariamente aplicado para comprobar la estabilidad de las bóvedas, está aún en peores condiciones que las fórmulas empíricas de espesores, puesto que se funda en los experimentos de Boistard, hechos sobre bóvedas de muy pequeña luz, construidas sin mortero, y, por tanto, no puede dar, y no da, resultados que se aproximen á la verdad cuando se aplica á las bóvedas hechas de hormigón, ó simplemente con mortero de cemento, que funcionan como arcos metálicos empotrados según han demostrado muy numerosos experimentos modernos y especialmente el arco de ensayos de Souppes.

Es perfectamente lógico aplicar á las bóvedas la misma teoría de los arcos metálicos, y esto ha hecho Résal, extendiéndola y dándola forma práctica. Este método es el que se ha seguido en la comprobación, y el que debe seguirse siempre, puesto que es mucho más exacto que el de Méry, y tiene muy poco más trabajo.

Como estudio se han aplicado simultáneamente los dos métodos, y el de Méry ha dado resultados absurdos, muy curiosos, que sería muy largo detallar. El método de Résal ha dado, para

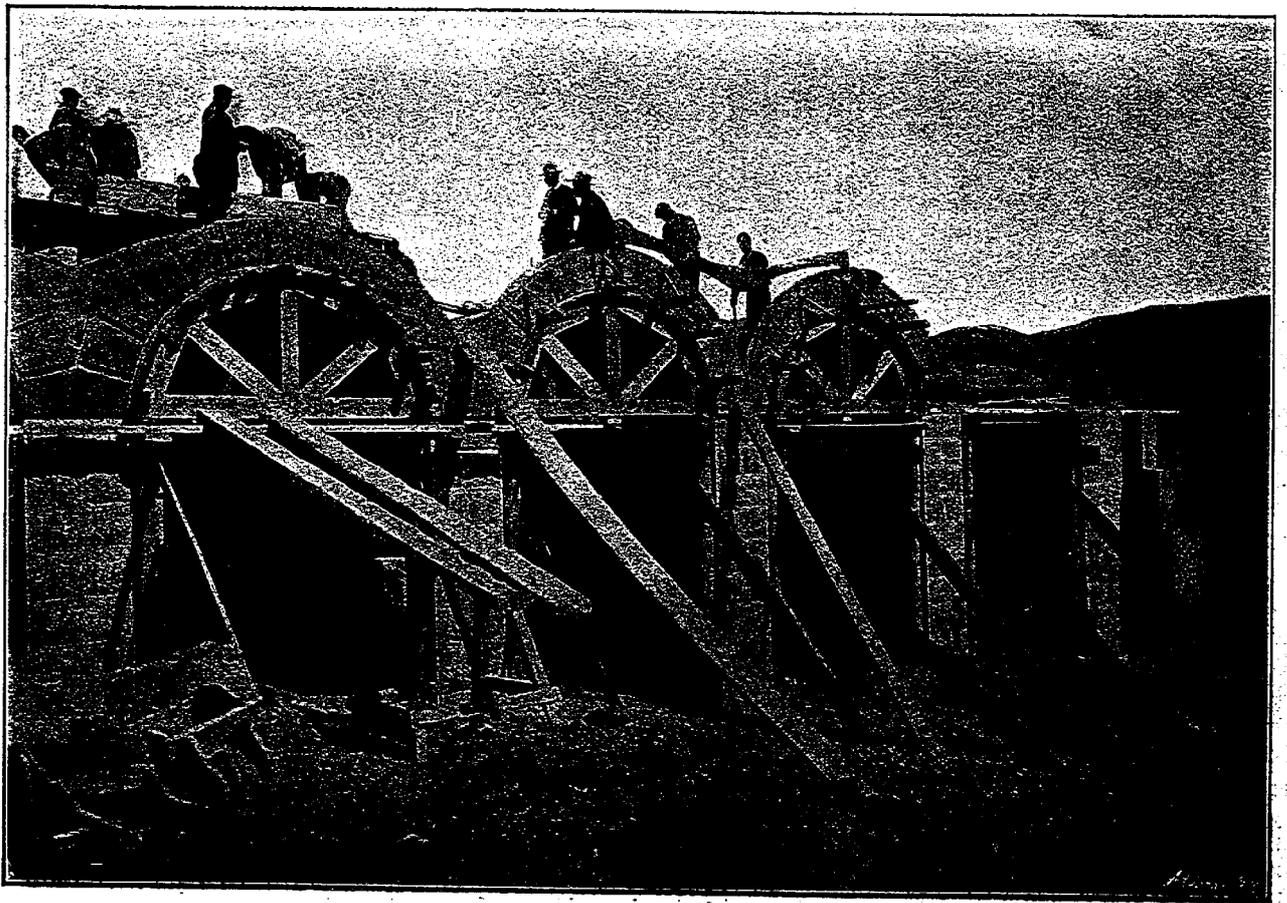
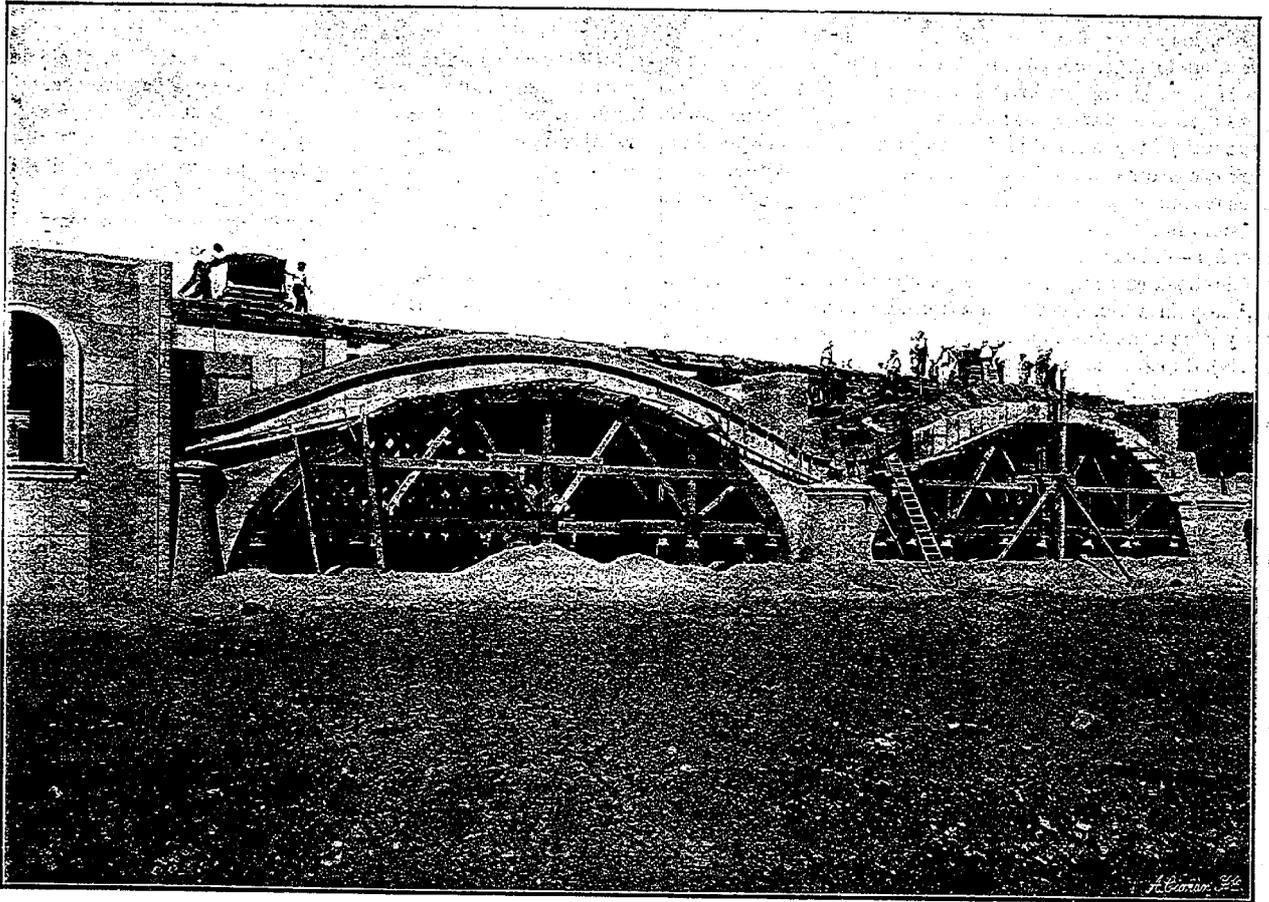


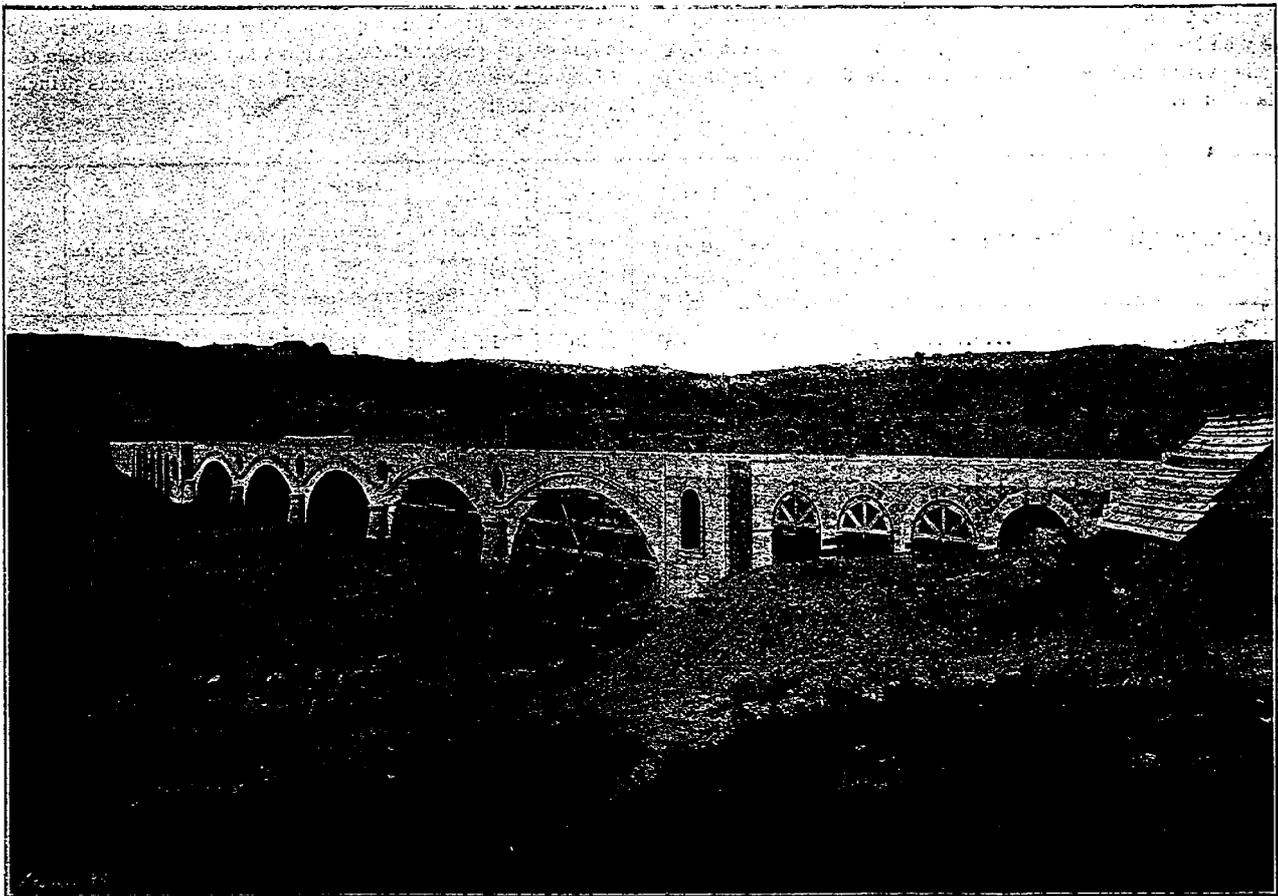
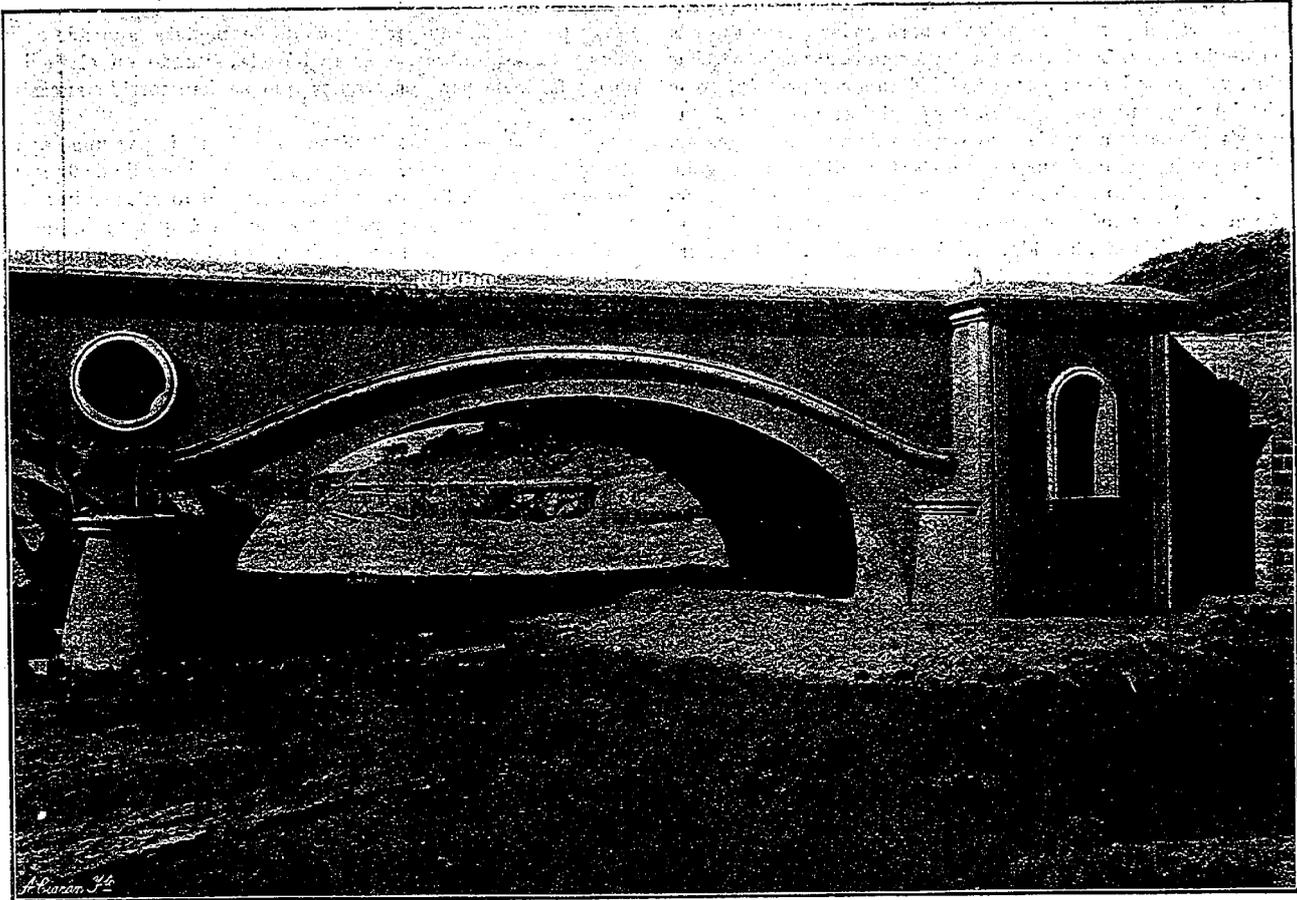
evidente que la curva de presiones no se apartará mucho del eje y que el trabajo por cm.<sup>2</sup> será, muy aproximadamente, el fijado de antemano.

Por este método se ha venido á adoptar una bóveda que tiene 1,28 metros de espesor en la clave, 1,52 m. en los arranques y

las bóvedas principales, un trabajo máximo á la compresión de 14 kgs. por cm.<sup>2</sup>; no hay tensiones.

**Cimbras.**—El peso extraordinario de la bóveda exigía una cimbra robusta y muy rígida. Se ha calculado siguiendo los principios aplicados por el eminente Ingeniero Fejourné á las de los





grandes arcos de Castalet, Lavaur y Antoinette, modificando la estructura radial por él preconizado para poder adaptarse á la forma del intradós. La cimbra estaba formada por ocho cerchas iguales, y como todas las piezas trabajaban á compresión, no se han hecho cortes ni ensambladuras especiales, colocándose las piezas simplemente apoyadas, con chapas de zinc interpuestas, reunidas por pasadores que apretaban dos palastros en cada unión. Los resultados no han podido ser más satisfactorios puesto que el descenso sobre cimbra, con una carga de 500 toneladas, peso de la bóveda, ha sido, por término medio, de 8 milímetros, movimiento puramente elástico de la madera.

Cada cercha tenía cinco puntos de apoyo y se han empleado cajas de arena.

*Sistema de construcción de las bóvedas.*—Las dos primeras bóvedas construídas, hechas casi simultáneamente, se comenzaron por arranques á cerrar en la clave. Cuando se llegaba con el hormigón á los tercios de la bóveda se observó una ligerísima grieta en el trasdós, en los arranques, producida por el pequeño movimiento natural en la cimbra, seguido por el hormigón, aún fresco. Este incidente no ha tenido consecuencias de ninguna especie, como ha demostrado el exacto registro de los movimientos de las bóvedas sobre las cimbras y en el descimbramiento, que se ha hecho sin descenso apreciable, aunque se han empleado aparatos que amplificaban veinte veces los movimientos; pero se quiso evitarlo en las bóvedas sucesivas y se ha conseguido aplicando, hasta donde lo permite el material, el procedimiento por trozos ó con varias claves, modernamente seguido en los grandes arcos. Para ello se dispusieron tapialetes ó encofrados, colocados según la dirección de las juntas hipotéticas á 4,12 metros á ambos lados de la clave, y se comenzaba por echar el hormigón á partir de estos aguantes. La operación se empezaba por la tarde, se hacían unos 50 m<sup>3</sup> (120 toneladas) y la cimbra con esta carga, durante la noche hacia su asiento. Á la mañana siguiente se seguía avanzando hacia la clave y simultáneamente se construía la parte de arranques. En cierto estado de avanzamiento se quitaban las partes de los tapialetes inmediatos á las boquillas y se cerraba simultáneamente en la clave y en los tercios en dos fajas de dos metros de anchura. Á la mañana siguiente se terminaba la bóveda. No se ha producido grieta alguna.

El hormigón se llevaba á la bóveda desde el taller en vagones que circulaban por un puente de madera apoyado en las pilas y en las cimbras ó en la bóveda, situado en el eje de la obra y formado por dos tramos que se han corrido sucesivamente.

*Cimientos.*—El lecho del Sosa está formado por una capa de grava y arena gruesa hasta una profundidad media de 9 metros; después se encuentran delgadas capas de arenisca alternadas con bancos de arcilla hasta los 20 metros á que se ha llegado con los numerosos sondeos hechos. Los cimientos se han hecho de hormigón con una profundidad de 4 metros en las pilas y 6 en los estribos. Las presiones máximas sobre el terreno por cm.<sup>2</sup> son de 4,14 y 4,25 kilogramos respectivamente, que pueden ser perfectamente resistidos por las gravas compactas. Se ha bajado lo preciso para repartir y disminuir la presión y para anular el peligro de socavación, que no es de temer á 4 metros, puesto que se trata de una rambla, cuyas avenidas de 1,50 metros de altura máxima duran cuarenta y ocho horas cuando más, y no producen socavaciones apreciables.

*Fábricas.*—No ha sido posible, por falta de elementos y de tiempo, hacer una dosificación sistemática de los hormigones en función de la composición granulométrica de la arena y de los resultados que hubieran dado series metódicas de ensayos. Ha habido que limitarse á dosificar por comparación con obras análogas, teniendo en cuenta las resistencias de ciertos hormigones que podrían tomarse como tipos y el empleo que del material se había de hacer.

Sobre estas bases (1) se han hecho las dosificaciones del cuadro siguiente. Debe observarse, que las resistencias á la compresión que se señalan al centímetro cuadrado están tomadas de un cuadro de Candlot para hormigones de composición semejante; resultan de ensayos de laboratorio y es seguro que en obra serán menores. También debe tenerse en cuenta, que los ensayos están hechos con verdaderos portlands y, por tanto, esto es una nueva razón para aminorar las resistencias señaladas á los hormigones hechos con cementos naturales. Dichas cifras no se estampán más que como términos de comparación y sin que se quiera significar con ellas las resistencias de la obra.

Los cementos empleados tienen las características principales siguientes:

Clase del hormigón.	Clase del cemento.	Composición del m. <sup>3</sup> de hormigón apisonado.				Relación de los volúmenes de mortero y grava.	Resistencia á la compresión por cm. <sup>2</sup> á los veintiocho días, del hormigón tipo.	Lugar de empleo.
		Cemento.	Arena.	Grava.	Agua (media).			
		Kilogramos.	Litros.	Litros.	Litros.			
1. <sup>a</sup>	Vicat.....	225	500	880	105	1 : 2	140	Bóvedas.
2. <sup>a</sup>	Idem.....	200	444	580	105	1 : 2,25	120	Estribos, pilas, muretas de los timpanos.
3. <sup>a</sup>	Pulpo obscuro..	150	600	765	108	1 : 1,50	100	Cimientos.
4. <sup>a</sup>	Calaf.....	100	444	880	90	1 : 2,40	50	Relleno de timpanos.
5. <sup>a</sup>	Vicat.....	300	330	780	100	1 : 2,50	170	Placas, moldeos.

MARCA DEL CEMENTO	CLASE	RESIDUOS EN EL TAMIZ			Polvo fino.	Densidad aparente.	Resistencia á la tracción á los 28 días. Mortero normal 1 : 3.	Precio de la tonelada al pie de obra. Pesetas.
		De 224 mallas.	De 900 mallas.	De 4.900 mallas.				
Anguera-Calaf.....	Natural rápido.	13,45	19,65	28,90	71,10	0,74	9,22	30,35
Butsems y Fradera, Pulpo obscuro...	Natural lento..	0,04	1,17	21,07	78,93	0,98	16,70	63,20
Pa.rin de Lafargue, Vicat artificial...	Artificial lento.	0,00	1,50	22,60	77,40	1,20	25	110,19

(1) El fundamento de las dosificaciones adoptadas son cuadros de ensayos y dosificaciones de distintos puentes que sería enojoso detallar y que pueden verse en Candlot, *Ciments et chaux hydrauliques*; Vacchelli, «Construcciones de hormigón y de cemento armado» traducido por D. José Cebada, y en diversos números de *Génie Civil* y *REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS*.

Coste. —El puente ha costado, hasta la cama de apoyo de los tubos del sifón, 450.000 pesetas, lo que da para el metro superficial de proyección horizontal 225 pesetas, próximamente. En este precio están comprendidas todas las obras de cimentación y elevación, agotamientos, etc. No figura el personal técnico (un Ingeniero y un Ayudante).

No es fácil comparar costes de puentes, puesto que tiene una

gran influencia en el total, multitud de causas, como la luz de los arcos, el sistema de cimentación y otros que hacen, en general, de cada obra un caso particular. Sin embargo, la reunión de muchos datos da idea de un precio medio, y por esto se inserta á continuación un cuadro en el que figuran los costes por metro superficial de proyección horizontal de gran número de puentes en las circunstancias más variadas.

Dimensiones principales, destino y coste por m.<sup>2</sup> de planta de varios puentes.

DESIGNACIÓN DE LA OBRA	Dimensiones principales			Número de los arcos principales.	Destino del puente.	Sistema de cimentación.	Coste por m. <sup>2</sup> de planta.		OBSERVACIONES
	Luz de los arcos principales.	Flecha.	Ancho.				de planta.	Franco.	
Puente del ferrocarril de circunvalación (París).....	34,50	4,60	15,90	5	Vía férrea.....	Pilotaje.....	746		
Idem de Bersey.....	29	8	20	5	Idem ordinaria.	Hormigón sumergido	315		
Idem de Austerlitz.....	32,29	4,67	18	5	Idem.....	Pilotaje.....	304		
Idem Luis Felipe.....	32	8,25	16	3	"	Hormigón sumergido	360		
Idem de Doubles.....	31	3,10	16	1	"	Antiguos cimientos	750		
Idem Petit Pont.....	31,75	3,15	21	1	"	Idem.....	578		
Idem San Miguel.....	17,20	6,68	31	3	"	Hormigón sumergido	309		
Idem Bonicaud.....	40	5	8,35	5	"	Idem.....	234		
Idem Munden-King.....	50	5	7,10	1	"	"	238		Hormigón en masa.—Articulaciones.
Idem Inzighofen.....	43	4,61	3,80	1	"	"	201		Idem.
Idem Coulonvrenière.....	40	5,55	18	1	"	"	365		Idem.
Idem sobre el Enz-Hofen.....	28	2,80	3,90	1	Vía ordinaria..	Hormigón con agotamientos.....	172		Hormigón articulado.
Idem sobre el Enz-Wildbad.....	15,60	3,25	6,94	1	Idem.....	Idem.....	112		Idem.
Idem sobre el Glat Neuneck.....	17	3	5,50	1	Idem.....	Idem.....	79		Idem.
Idem sobre el Murr-Marbach.....	32	2,10	6,20	1	Idem.....	Idem.....	131		Idem.
Idem Soisons.....	24,50	2,50	14	3	Idem ordinaria y tranvía de vapor.....	Pilotes de hormigón armado.....	190		Hormigón armado.
Idem Nymphsburg.....	17,30	1,85	10	1	Idem ordinaria.	Hormigón en seco...	175		Idem.
Idem sobre el canal de Oberland.....	26,30	6,40	4,30	1	Idem.....	Idem.....	244		Idem.
Puente-caval de Onigo.....	19	3,90	10	1	Canal.....	Idem.....	133		Idem.
Idem Detroit (Michigan).....	15,24	2,59	30,50	1	Vía férrea.....	Idem.....	190		Idem.
Idem Franklin.....	18,30	3,35	9,80	1	Idem ordinaria	Idem.....	150		Idem.
Idem Paterson.....	26,90	2,89	13,85	3	Idem.....	"	243		Idem.
Idem Jacaguas (Puerto Rico).....	36,57	3,66	5,49	3	Idem.....	"	410		Idem.
Idem Guayo (idem).....	21,34	2,29	5,49	3	Idem.....	"	270		Idem.
Idem Sarajero (Rusia).....	25,36	2,53	"	1	Idem.....	"	280		Idem.
Idem Chatellerault.....	50 y 40	4,8 y 4	8	3	Idem.....	"	162		Idem.
Idem de Golbarde.....	30	4	4	1	Idem.....	"	202		Idem.—El arco solo.
Idem del Urumea.....	21	2,18	20	3	Idem.....	Pilotes de hormigón armado.....	162		Idem.—Se descuentan 183.994 pesetas, importe de obeliscos, farolas, etc.
Idem del Sosa.....	15	5	11	5	Puente sifón...	Hormigón con agotamientos.....	135		Hormigón en masa.

De todos los puentes incluidos en el cuadro anterior, y podría aumentarse mucho su número con el mismo resultado, ninguno está sometido, ni con mucho, á cargas tan enormes como las aguantadas por el puente del Sosa; y, sin embargo, no hay más que dos, sobre el Enz y sobre el Glat, que hayan costado menos por metro superficial de planta. Estos dos puentes, construidos por Leibbrand, á más de estar trazados con una gran economía en obras accesorias y de no tener ornamentación, tienen tres articulaciones; y sabido es que la mayor precisión de cálculo que esta disposición permite da como resultado un mejor aprovechamiento del material y la economía consiguiente. En el Sosa no podía aplicarse este sistema, porque los movimientos que las bóvedas articuladas hacen, por las variaciones de temperatura, que en un puente ordinario no tienen importancia, aquí hubieran producido la dislocación de los tubos del sifón.

Resulta, por consiguiente, que es lícito afirmar que el puente del Sosa es el más económico de cuantos puentes importantes se han construído de fábrica, y que ni el hormigón armado hubiera dado aquí un precio más bajo. No debe olvidarse que se ha

construído totalmente por administración, lo que constituye un buen argumento contra los detractores del sistema.

RAFAEL L. SANDINO.

BERLIN

Después de lo que escribí para justificar el hecho de no haber remitido á tiempo mi carta de Colonia, resulta más difícil aún justificar ésta, y el gran retraso con que la envío. Es un hecho que la escribí, no sé yo mismo bien por qué, y que no la envié por las mismas razones que me disuadieron de remitir la de Colonia.

\*\*

Desde Colonia á Berlin he tardado más de una semana, porque he tenido que detenerme en Wetzlar, pequeña población