

por es debido á su vaporización por el vapor de agua á alta temperatura, es recomendable no hacer uso más que de aceites minerales de buena calidad.—O.

BÓVEDAS DE HORMIGÓN ARMADO

Acta de las pruebas que se ejecutaron en Gijón con unas bóvedas de hormigón armado, sistema Ribera, destinadas á cubrir el nuevo depósito de aguas de 20.000 metros cúbicos para dicha villa (1).

Invitados por el Ingeniero de Caminos D. Mariano Luiña, en representación del Ingeniero y constructor D. José Eugenio Ribera, á presenciar las pruebas de unas bóvedas de hormigón armado, sistema Ribera, destinadas á cubrir el nuevo depósito de Gijón, cuyas obras tiene contratadas el Sr. Ribera, los que suscriben

D. Rafael Martín, Ingeniero Jefe de Caminos, Canales y Puertos de la provincia de Oviedo,

D. Luis Bellido, Arquitecto municipal de Gijón, encargado de las obras del depósito,

D. Luis Justo, Ingeniero primero de Caminos,

D. Enrique Galán, Ingeniero primero de Caminos,

D. Alejandro Olano, Ingeniero de Caminos,

D. Delfín Fernández Vega, Ingeniero de Caminos,

D. Manuel Sanz Garrido, Ingeniero de Caminos,

D. Agapito Lizarralde, Ingeniero de Caminos,

D. Gabriel Pérez de la Sala, Ingeniero de Caminos,

D. Víctor García de Castro, Ingeniero de Caminos,

D. José Graño, Ingeniero de Caminos,

D. Eduardo de Castro, Ingeniero de Caminos,

D. Antero Suárez Coronas, Ingeniero de Caminos,

D. Jesús Goicoechea, Ingeniero de Caminos,

D. Andrés Morán, Ingeniero de Caminos,

D. Pedro Diz Tirado, Ingeniero de Caminos,

D. Felipe Rivero, Ingeniero de Caminos,

D. Tranquilino Frasieri, Ingeniero de Caminos,

D. Bonifacio Díaz Caneja, Ingeniero de Caminos,

D. Antonio González Irún, Ingeniero militar,

D. Agustín Bourcoud, Ingeniero Director de la fábrica de productos químicos del Aboño,

D. Miguel García de la Cruz, Arquitecto,

D. Bonifacio Echevarría, Ayudante de Obras públicas, encargado de la inspección de las obras en el depósito,

han redactado la presente acta, que firman, para satisfacción de los Ingenieros Sres. Ribera y Luiña, á los efectos que estimen oportunos.

Descripción de las bóvedas.

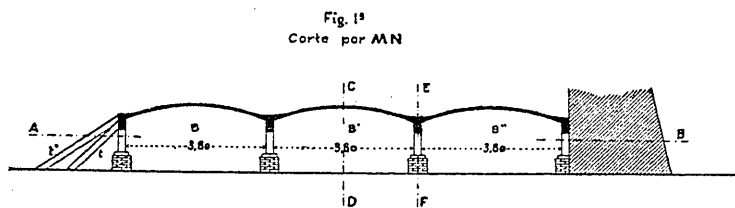
Sobre la rasante del nuevo depósito y en uno de los ángulos de éste, se han construido tres bóvedas. Están apoyadas sobre cuatro vigas que insisten sobre ocho pilares situados á 4 m. de eje á eje en ambos sentidos. Las bases de los pilares se apoyan sobre sendos pilarotes de fábrica cimentados en roca.

Los pilares tienen 0,20 x 0,20 m. de escuadría y están armados con cuatro barras de 15 mm. Insisten sobre los pilarotes por intermedio de unas zapatas de 0,40 x 0,40 m. y 0,10 m. de espesor. Las vigas son cuatro y paralelas. Tienen 0,20 x 0,80 m. de escuadría. Insisten sobre cada dos pilares, resultando para ellas una luz de 3,80 m. Están armadas con dos barras de 34 milímetros y dos de compresión de 12 mm. Los arriostramientos son del sistema Ribera.

Las bóvedas se apoyan sobre las vigas. Su luz es de 3,80 m. Tienen 0,06 de espesor en la clave y 0,12 m. en los arranques, y están armadas en el intradós y en el trasdós con tres barras por metro de 10 mm. En sentido de las generatrices hay unas barras de dirección de 7 mm., situadas á 0,40 m. de eje á eje y enlazadas á las anteriores por alambres.

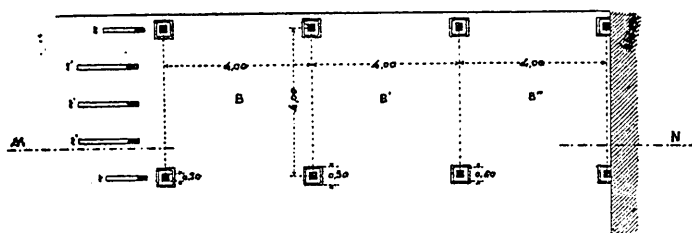
Las bóvedas están rebajadas al $\frac{1}{10}$. Su flecha es 0,38 m.

En las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se dibujan un corte vertical



por MN y dos plantas secciones por AB y CD. Se dibujan asimismo las secciones GH y KL por la clave de una bóveda y por

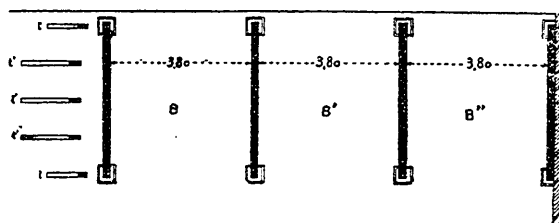
Fig. 2ª
Corte por AB



el eje de una viga. Por último, también se dibuja un alzado lateral.

Como se ve en las figuras, la bóveda B' está adosada á uno

Fig. 3ª

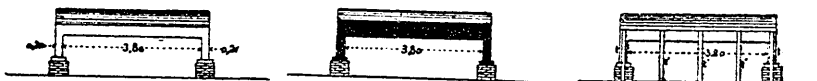


de los muros, el Oeste del depósito, y este muro contrarresta perfectamente el empuje. La bóveda B tiene su empuje contrarrestado por las tornapuntas de madera t y t' que se indican en las figuras.

Fig. 4ª
Corte por CD

Fig. 5ª
Corte por EF

Fig. 6ª



El hormigón de los pilares, vigas y bóvedas se compuso mezclando 1.000 litros de gravilla de la playa de Aryebal, 200 litros de arena fina y 250 kilogramos de cemento Portland de Tudela-Veguín.

Carga y medida de las deformaciones.

La carga se ha hecho con sacos de cemento Portland de 50 kilogramos de peso, lo cual permitió calcular con precisión en cada momento la carga que actuaba sobre las bóvedas.

(1) Aunque estas pruebas no son recientes, copiamos hoy esta acta como base de un artículo sobre esta materia que publicaremos en el próximo número.

Para medir las flechas se emplearon aparatos Richard, que amplifican en la relación de 1 al 5 y están ya graduados de tal modo que los números grabados en la placa metálica de lecturas indican milímetros de descenso.

En las pruebas del día 18 se colocó uno de los aparatos en la clave de la bóveda B'; otro en el punto situado al 1/4 de la luz; y el tercero en el centro de la tercera viga que sirve de apoyo á las bóvedas B' y B''.

En las pruebas de los días 20 y 27 se quitó el aparato que estaba situado al 1/4 de la luz en la bóveda B' y se colocó en la clave de la bóveda B''.

Pruebas del día 18 de Noviembre de 1902.

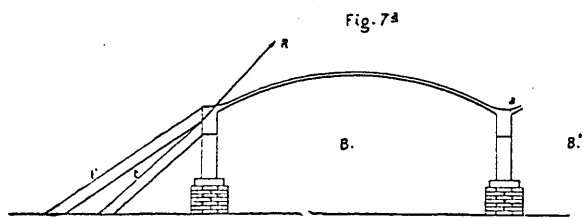
Colocados en sus sitios y en cero los aparatos amplificadores, se empezó á cargar uniformemente las tres bóvedas, obteniéndose las siguientes flechas:

	En la clave (B'). Milímetros.	En el 1/4 de la luz. Milímetros.	En el centro de la viga. Milímetros.
Sobrecarga uniformemente repartida de 400 kilogramos por m. ² (carga de cálculo)..	1,50	0,50	»
Idem id. de 600 kilogramos por m. ² (vez y media la normal).....	3	1,70	0,50
Idem id. de 750 kilogramos por m. ²	8	2	1
Idem id. de 820 kilogramos por m. ²	14	3,20	1,60
Idem id. de 950 kilogramos por m. ²	20	14	2

Al llegar á esta sobrecarga se hizo noche y se suspendió la operación.

En la junta de arranque de la bóveda y en la parte del trasdós se inició con la última carga del cuadro una grieta de 0m,06 de profundidad y de muy pequeño espesor, que corría á todo lo largo de la bóveda. Esta grieta se indica con la letra *a* en la figura 7.

Reconocidas las bóvedas el día 19, se observó lo siguiente: El empuje de la bóveda B es casi horizontal, y como las tornapuntas *t* y *t'*, que se habían puesto para equilibrarlo, no pueden colocarse en la misma dirección de aquel empuje, la resultante tomó una dirección parecida á la R de la figura 7; como conse-



cuencia de esto, los pilares *p* y *p'* fueron levantados casi en vilo, y se rompieron sus zapatas, tomando aquéllos la inclinación que se representa en el dibujo.

Quitada la carga, volvió la bóveda á su posición primitiva, quedando, sin embargo, en la clave la flecha permanente de 5 milímetros.

Pruebas del día 20 de Noviembre de 1902.

Colocados de nuevo los aparatos Richard en los mismos sitios que el día 18 y en cero, se cargó cemento hasta llegar á la

carga uniforme de cálculo sobre todas las bóvedas, obteniendo las siguientes flechas:

	En la clave (B'). Milímetros.	En el 1/4 de la luz. Milímetros.	En la viga. Milímetros.
Sobrecarga de 400 kilogramos por m. ²	3	2	0,2

Con esta carga normal se notó que el efecto explicado anteriormente sobre los pilares extremos aumentaba lentamente y que no disminuía cargando la viga extrema. Por esto se desistió de cargar más la bóveda B y se cargaron en lo sucesivo las B' y B'', decidiendo aumentar la carga sobre esta última para provocar la rotura.

Se quitó entonces el aparato que estaba colocado al 1/4 de la luz en la bóveda B' y se situó en la clave de la bóveda B''.

Cuando la carga llegó á 600 kilogramos por metro cuadrado en las bóvedas B' y B'', las flechas eran las siguientes:

	En la clave (B'). Milímetros.	En la clave (B''). Milímetros.	En la viga. Milímetros.
Sobrecarga de 600 kilogramos por m. ²	3,50	3,50	1

Á medida que se iba cargando la bóveda B'' subían las claves de las otras bóvedas B y B' llegando á desaparecer la flecha. Este movimiento ascensional era menos sensible en la bóveda B que en la B', pero no dejaba de contribuir, como era de esperar, á que continuase el movimiento de los pilares extremos.

Después de llegar la clave B' á su posición primitiva, ó sea al acero, se limitó la observación á la clave de la bóveda B'' y á la viga que separa estas dos bóvedas.

Las flechas registradas en esta fase de la carga son las siguientes:

	En la clave B'' Milímetros.	En la viga. Milímetros.
Sobrecarga de 900 km. por m. ² (2 1/2 veces la normal) sobre la bóveda B''.....	4,0	1,0
Sobrecarga de 1.200 km. por m. ² (triple de la normal).....	10,0	1,6
Sobrecarga de 1.600 km. por m. ² (cuádruple de la normal).....	16,0	1,7
Sobrecarga de 1.750 km. por m. ² (4.375 veces la normal).....	20,0	1,8

Al llegar á esta carga el espesor de los sacos de cemento sobre la bóveda B'' era ya muy considerable y no había señales de que ésta se rompiese. En este momento se hubo también de suspender la operación por haberse hecho de noche.

Examinadas las bóvedas el día 21, se notó que la bóveda B'' se había desconchado un poco hacia el trasdós del arranque próximo del muro y que se habían producido dos grietas finísimas en el sitio que se desconcho y en el arranque opuesto.

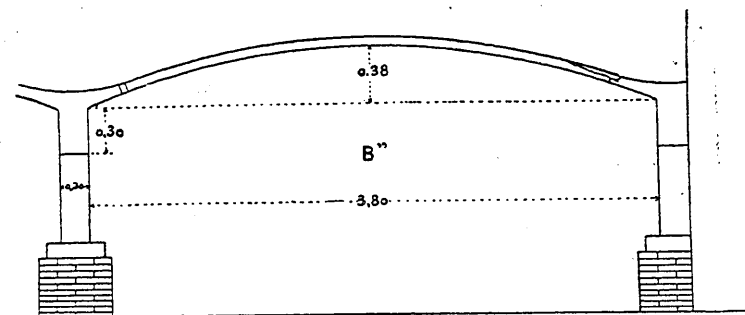
En la figura 8 se indican en croquis dichas grietas.

Pruebas del 27 de Noviembre de 1902.

Para hacer concluyente la experiencia de rotura y evitar que ésta pudiera atribuirse al movimiento de los pilares extremos ya explicado más arriba, los Ingenieros que presenciaron las pruebas anteriores acordaron prescindir de la bóveda B y cargar

solamente las B' y B''. Al efecto, el Sr. Luiña ordenó la construcción de un estribo de mampostería hidráulica hecha con mortero de cemento Portland.

Fig. 8ª



La figura siguiente representa la disposición que se dió á dicho estribo. Se compone de dos contrafuertes de 1,00 m. de anchura, situados enfrente de los pilares, que separan las bóvedas B y B' y enlazados por un muro de 0,80 m. de espesor paralelo á la viga que insiste sobre dichos pilares. Los contrafuertes tienen en la base 1,50 m. y 0,80 m, en la coronación que enrasa con el intradós de la bóveda B. Las coronaciones de estos contrafuertes y el muro que los enlaza sirven de apoyo á otro muro de 0,80 m. de espesor y 1,00 m. de altura construido sobre la bóveda B, y hace el papel de contrapeso para destruir ó aminorar la componente horizontal del empuje de la bóveda B. El ta-

Fig. 9ª
Corte por CH



Fig. 10ª
Corte por IJ

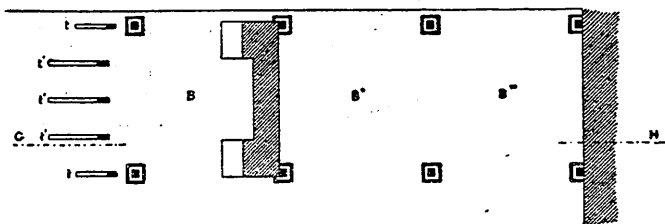
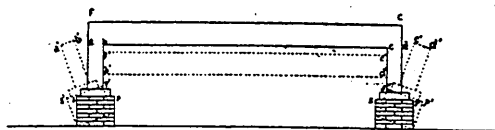


Fig. 11ª



lud de los contrafuertes es muy pronunciado y la construcción se ha hecho por hiladas inclinadas. El todo está cimentado en roca.

También se ordenó rellenar de piedra los espacios que quedaba debajo de las bóvedas B' y B'' para que, una una vez producida la rotura, no descendiese el conjunto hasta el suelo, en lo cual podía haber peligro para los operarios que estaban sobre las bóvedas cargando los sacos de cemento.

Tomadas todas estas medidas y precauciones, procedióse el día 27 á la prueba definitiva de la rotura.

Colocados los aparatos Richard en las claves de las bóvedas B' y B'' y en el centro de la viga que las separa, para lo cual se dejó en el macizo de relleno los espacios necesarios, se cargaron de nuevo las bóvedas B' y B'', obteniendo las siguientes flechas:

	En la clave (B'). Milímetros.	En la clave (B''). Milímetros.	En la viga. Milímetros.
Con 400 km. de sobrecarga por m. ² .	0,4	0,4	0,6
Con 600 km. de idem por m. ²	2,9	2,0	1,0
Con 800 km. de idem por m. ²	3,0	3,2	1,6
Con 1.200 km. de idem por m. ²	4,0	4,5	2,5
Con 1.600 km. de idem por m. ²	7,0	8,0	4,3

Agotados con esta carga más de cinco vagones de cemento que se tenían preparados para las pruebas, y no presentándose señales de rotura en las bóvedas á pesar de las grietas que se habían formado en los días anteriores y de lo fatigadas que ya estaban con tan repetidas pruebas, se decidió proseguir la operación cargando la bóveda B'' con los sacos que se descargaban de la B'.

En esta nueva operación se repitió el fenómeno señalado anteriormente, que confirma la perfecta elasticidad de estas construcciones. Á medida que descendía la clave de la bóveda B'' subía la de la bóveda B', llegando á tomar la posición primitiva y subiendo aún 11 mm. sobre dicha posición.

Las flechas observadas son las siguientes:

	En la clave (B'). Milímetros.	En la clave (B''). Milímetros.	En la viga. Milímetros.
Bóveda B' con 1.225 km. por m. ² ...	»	18,0	4,5
Idem B'' con 1.975 km. por m. ² ...			
Idem B' con 1.057 km. por m. ² ...	11,0	31,0	4,8
Idem B'' con 2.143 km. por m. ² ...			
Idem B' con 1.007 km. por m. ² ...	(?)	35,0	(?)
Idem B'' con 2.193 km. por m. ² ...			

Con esta última carga, la bóveda B'' tenía 5,5 veces la carga



normal, y la B' 2,5 veces dicha carga. La relación de disimetría

por decirlo así, entre las cargas era de $\frac{5,5}{2,2} = 2,2$. En este momento, y de repente, se desplomaron las dos bóvedas, viniendo á insistir, con su enorme sobrecarga, sobre los muros de pireda previamente colocados debajo.

Pero observando los efectos de la rotura y la posición de los diferentes elementos, puede decirse que dicha rotura no se efectuó porque hubiesen cedido las bóvedas ni la viga que las sostiene, sino por el movimiento de los pilares que sostenían esta viga.

En la figura siguiente se representa el estado en que quedaron los pilares, viga y bóvedas después de la rotura.

Examinando esta figura, parece deducirse que la causa de lo ocurrido se debe achacar á la flecha tomada por la viga y á la poca entrega de ésta, 0,20 m. en los pilares. Al doblarse aquella, debió ejercer empujes de dentro á fuera sobre las cabezas de los pilares, y desplomándose éstos se separaron de la viga, dejándola sin apoyo y descendiendo con toda la carga que soportaba.

No es verosímil que las cosas hayan pasado según se acaba de exponer, porque en todas las pruebas se ha notado que las flechas tomadas por la viga eran siempre pequeñísimas, pareciendo ser lo característico de aquéllas la gran rigidez de ésta.

Para hallar la causa de lo ocurrido conviene estudiar detenidamente todos los detalles y partir de que debió tener mucha importancia en el fenómeno la disimetría de la carga sobre las bóvedas.

En las figuras siguientes se dibuja un detalle del pilar y la viga correspondiente: el pilar separado de la viga, un alzado del mismo después de la rotura y una perspectiva.

Del examen de las dos últimas figuras se deduce que las dos

lar. Bajo la acción de esta fuerza, las barras *a* se separaron de las otras dos *a'* del pilar, y se doblaron, arrancando un trozo de hormigón en forma de cuña.

Las barras de las vigas descendieron por la grieta *st* y descendió el conjunto, volcando los pilares hacia afuera. Claro es que la pequeña flecha tomada por la viga contribuyó al vuelco de los pilares; pero no debe atribuirse á ella sino una parte secundaria en el fenómeno.

Tampoco puede atribuirse importancia al hecho de apoyarse las barras de la viga sobre el pilar simplemente, sin placa que reparta la presión sobre toda la superficie, pues se conserva la huella de la barra *b* sobre el pilar, y el hormigón en esta parte está en excelente estado, sin haber sufrido aplastamiento alguno.

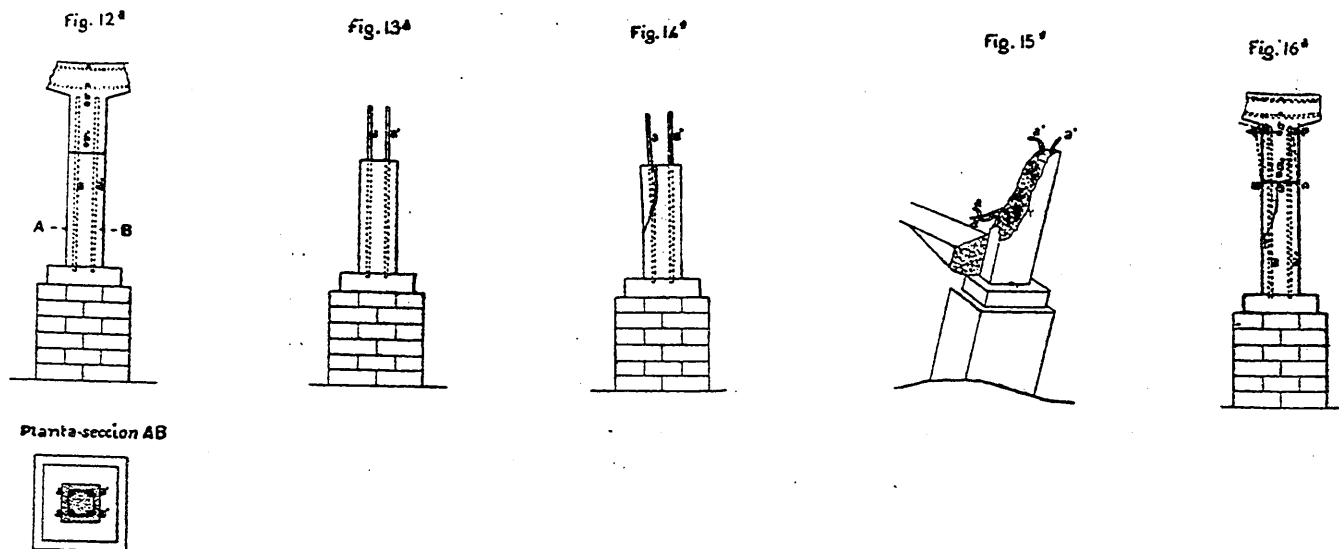
Es, pues, indudable que la causa de lo ocurrido fué el haber cargado al final las bóvedas de una manera disimétrica y que si hubiera habido cemento suficiente para seguir cargándolas uniformemente, no se romperían seguramente hasta llegar á la carga ocho ó diez veces mayor que la normal.

El muro estribo no presenta señales de desagregación y ha quedado en pie, como igualmente la bóveda *B*.

Gijón 7 de Diciembre de 1903.—Siguen las firmas.

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA AUTOGENA DE LOS METALES

M. Dumesnil presentó hace algún tiempo ante la Sociedad de Ingenieros civiles de Francia una comunicación muy interesante sobre el asunto que encabeza estas líneas.



barras del pilar próximas á la bóveda *B''* han quedado intactas y las otras dos barras, que son las más próximas á la bóveda *B'*, se han separado de las anteriores rompiendo las ataduras que á ellas las enlazaban, doblándose en ángulo recto y arrancando del pilar por tracción y tronchamiento una parte de hormigón en forma de cuña, que es la que envolvía dichas barras.

La viga ha quedado intacta en casi toda su longitud; solamente en los extremos, en su unión con los pilares, se ha desprendido el hormigón, dejando al descubierto la armadura.

De todo esto resulta que las cosas debieron pasar de la manera siguiente:

Como el empuje de la bóveda *B''* superó muchísimo al de la *B'*, la viga *m n p q* que las separa, se fué inclinando hacia *m n p' q'*, llegando á transmitir la barra superior *b* de la viga un esfuerzo horizontal, en sentido de la flecha, á las barras *a* del pi-

Recuerda el autor que la soldadura autógena ha sido importada en Francia para el plomo, por el químico Kuhlmann, hace próximamente sesenta años; se sabe que la temperatura necesaria se obtiene por medio de un dardo alimentado por aire é hidrógeno. Pero esta temperatura, suficiente para el plomo, no lo es para el hierro, el acero y el cobre y de aquí la necesidad de procedimientos especiales, tales como el arco eléctrico ó los sopletes oxhídrico y oxiacetilénico.

En estos dos últimos casos, el agente necesario al trabajo es el gas oxígeno. Este se produce industrialmente por diversos procedimientos: los procedimientos electrolíticos, puramente químicos ó por fraccionamiento del aire líquido.

La soldadura eléctrica apenas se ha desarrollado en la industria, en razón al precio elevado de la instalación y á las dificultades de aplicación.