

El Cuarto Depósito de aguas de Madrid

II

Suspendimos nuestro anterior artículo¹, al estudiar la estabilidad elástica de los arcos de la cubierta. Vamos brevemente a comprobar este extremo, así como el del pandeo. Y pasaremos en seguida a completar la descripción del proyecto, para amenizar un poco este modesto trabajo.

De los dos arcos (figuras 1.^a y 2.^a), haremos objeto de nuestra simpatía al de mayor luz, ya que los espesores y cuantías son iguales en ambos, y es el que más interés ofrece ante el pandeo.

Por tratarse de un funicular sin cargas móviles, la temperatura será la única causa originaria de momentos flectores, porque en la operación del vertido de tierras sobre el forjado de la cubierta, realizada por tongadas de 5 a 10 centímetros, y por poca precaución que se tome, los momentos por esta causa no serán de temer. A que se realice esta operación en debidas condiciones, siendo una verdadera garantía, contribuye la forma de la cubierta, porque sobre ella no podrá existir más procedimiento de vertido que el de los cestos, puesto que los nervios exteriores impedirán hasta el empleo de carretillas. Así es, que veamos lo que nos dice la temperatura.

Temperatura.—No vamos a resolver las tres ecuaciones de las deformaciones que nos dan X , Y y m , debidas a la temperatura.

Basta con considerar el arco parabólico de igual luz y flecha, que evidentemente, y para esa causa, produciría esfuerzos sensiblemente iguales a los de aquél, siendo desde luego completamente despreciable la diferencia que pudiese existir. Supondremos también, para abreviar, lo cual tampoco originará variaciones dignas de tenerse en cuenta, que

$$I = \frac{I_0}{\cos \alpha} \quad \omega = \frac{\omega_0}{\cos \alpha}$$

En este caso el esfuerzo producido por la temperatura actúa en el tercio de la flecha, a partir de la clave, y vale

$$X = \frac{45EI_0}{4f^2 + 45\rho^2} \quad [1]$$

el momento en los arranques será

$$M = \frac{2}{3} FX$$

y en la clave:

$$M = \frac{1}{3} FX$$

EI_0 es el total de la sección en la clave producido por el hormigón y las armaduras. Expresado todo en centímetros:

$$I_h = \frac{I}{12} 100 \times 8000 = 66\,600$$

$$I_\alpha = 2 \times 15 \times 7,8 \times 8^2 = 15\,000 \text{ (5 hierros de 14 mm dan una sección de 7,8 cm}^2\text{)}$$

$$EI = E_h I_h + E_\alpha I_\alpha = 150\,000 \times 66\,600 + 2\,250\,000 \times 15\,000 = 4,38 \times 10^{10}$$

$$\lambda = 0,000011 \times 20^\circ = 0,00022$$

Se admite una variación de 20° , suficiente, pues, en realidad, las tierras preservarán al arco de mayores variaciones.

$$\rho^2 = \frac{I}{\omega} = \frac{66\,600 + 15\,000}{2\,000 + 234} = 34,80 \text{ cm}^2$$

$$f = 331 \text{ cm.}$$

Sustituyendo en [1]

$$X = 980 \text{ kg.}$$

El momento en la clave:

$$M_c = 980 \times 1,1 = 1\,086 \text{ m} \times \text{kg.}$$

Que produce una excentricidad de

$$e = \frac{1\,078}{78\,528 + 980} = 0,013 \text{ m.}$$

(En el artículo anterior vimos que 78,528 kg era el empuje en la clave.)

La excentricidad unitaria

$$\Sigma = \frac{e}{p} = \frac{1}{15,3}$$

La cuantía q de la sección en la clave:

$$q = \frac{7,8}{2\,000} = 0,0039$$

Estando, como es natural, en un régimen de compresiones dada la pequeñez de la excentricidad, la tabla XI del libro de Zafra, y una carga aparente unitaria de

$$\frac{79\,508}{2\,000} = 39,75 \text{ kg/cm}^2$$

nos determina la carga máxima hormigón n'

$$n' = 45 \times \frac{39,75}{37,5} = 47 \text{ kg/cm}^2$$

Las armaduras trabajan a 15 veces ese valor

$$n_\alpha = 705 \text{ kg/cm}^2$$

Es decir, que el arco, por ser la clave donde el trabajo es máximo, se encuentra en inmejorables condiciones de estabilidad elástica.

En los arranques, siguiendo idéntico procedimiento, los valores que se obtienen para n' y n_α son menores: $n' = 41 \text{ kg/cm}^2$; $n_\alpha = 615 \text{ kg/cm}^2$.

Pandeo.—La conocida fórmula de Euler, comprobada por nosotros para su aplicación directa en el arco de prueba del que más adelante haremos mención,

$$F = \frac{k\pi^2 EI}{l^2}$$

presenta el coeficiente K que define el grado de libertad de los apoyos del arco, que oscila entre los valores de $1/2$ a 4 . El coeficiente $K = 4$ se emplea en el caso de empotramiento perfecto de las secciones ex-

¹ REVISTA del 1.º de abril, página 139.

tremas. No dudamos en emplear este coeficiente, a sabiendas que para nuestro caso es todavía insuficiente, pero nos conformamos con él para poder dis-

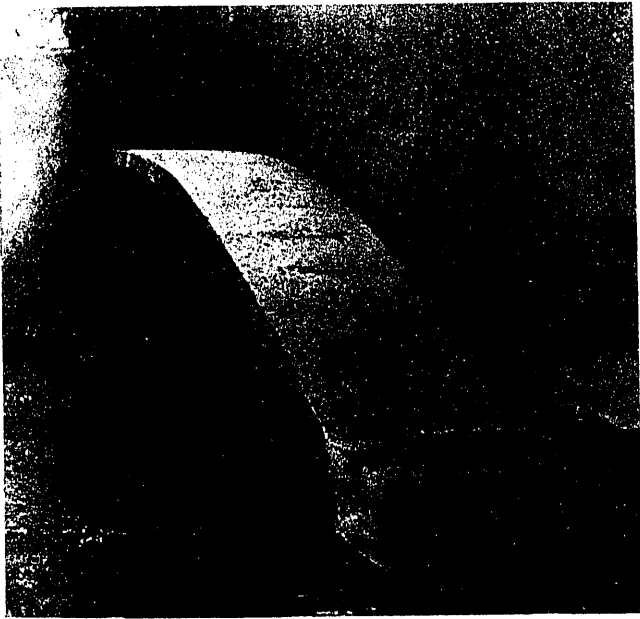


Fig. 4.ª Arco de prueba construido en el depósito de Oviedo

poner de un buen margen de seguridad. En efecto, la anterior expresión se emplea para el caso que, como en los pies derechos, se encuentra la pieza comprendida entre empotramientos, en completa libertad, sin que existan elementos intermedios de arriostamiento que dificulten el pandeo. Este no es, ni muchísimo menos, nuestro caso. Los arcos arrancan juntos, a tope de un empotramiento perfectísimo, como es su empalme con el anillo resistente, y van separándose hasta el otro apoyo, que son las pilas semiestribos, que si bien el empotramiento no es tan perfecto como el anterior, puede realizarse en las suficientes buenas condiciones para que pueda considerarse como un empotramiento. Pero estos dos arcos van sólidamente enlazados por un forjado de ocho centímetros de espesor, para las pequeñas separaciones de dos arcos contiguos de 0 a 2,14 metros. Evidentemente, este arriostamiento tan eficaz es un impedimento del pandeo, y mucho más si se tiene en cuenta que ese forjado no solamente se va a limitar al enlace simple de los arcos, sino que tiene que absorber él mismo, por presentar la misma curvatura que aqué-

llos y ser aptos para el trabajo como bóveda, una buena parte de la sobrecarga total, encomendada a los arcos solamente. Esto, que racionalmente debe suceder, he tenido ocasión de comprobarlo prácticamente, experimentando un arco de prueba que construí al proyectar el depósito de Oviedo.

Obsérvese la fotografía (fig. 4.ª) obtenida para este artículo del arco en cuestión, que aparece en el tercer depósito de aguas, y que en consideración a su buen comportamiento se le perdonó la vida, aunque no sabemos si preferiría la piqueta inclemente a estar eternamente sumergido en las aguas escalofrantes de nuestro abastecimiento... Las características de este arco son: forma parabólica; luz, 20 metros; espesor en los arranques, 18 centímetros, y en la clave, 14 centímetros; ancho del arco, 1 metro, armado simétricamente con un total de 18 barras de 10 milímetros. Resistió (funicularmente) perfectamente la carga que le correspondía como integrante de la cubierta del depósito cuarto de Oviedo, sensiblemente 1 500 kg/m l; y, sin embargo, era tan sensible a los pesos aislados y dinámicos, tan pequeños como el de una persona, que se podía, con cierta habilidad, procurando producir efectos de resonancia, obtener en él oscilaciones apreciadas a simple vista. En cambio, en los arcos de idénticas características de la cubierta construída, y empleando mayores pesos, es materialmente imposible obtener estos resultados, y eso que el ancho de ellos es sólo de 70 centímetros en lugar de 1 metro, como en el de prueba.

Por todo lo expuesto se desprende que el valor 4 del coeficiente de la fórmula de Fuller es evidente-

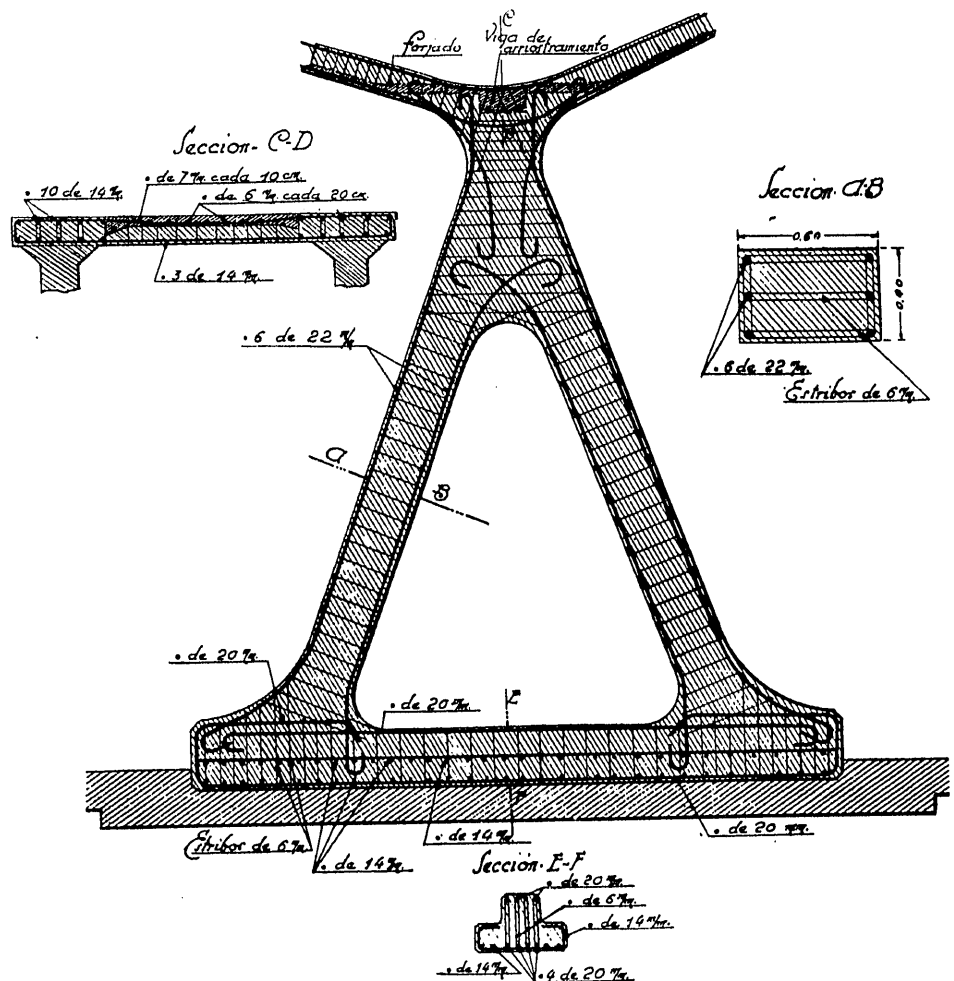


Fig. 5.ª Pila semiestribo. Corte transversal y secciones

mente reducido para nuestro caso. Sin embargo, lo aceptamos, pues todo ello va en mayores garantías de seguridad de la obra, y podrá amparar con ampli-

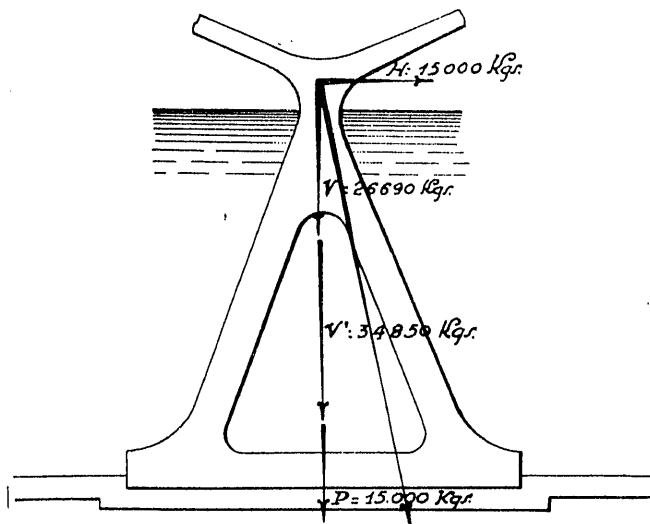


Fig. 6.ª Estabilidad de una pila para una diferencia de empujes de 15 000 kilogramos. Presión máxima sobre el terreno: 1,53 kg : cm²

tud pequeños descentramientos de los esfuerzos. Obtenemos el valor total del producto EI .

Se acepta para $E = 150,000$ kg/cm², que es el correspondiente a las cargas corrientemente admitidas, como las obtenidas por nosotros. Y para $E = 225 \times 10^4$ kg/cm².

Tendremos:

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = \frac{1}{12} 100 \times 25^3 = 130,000 \text{ cm}^4$$

$$I = 2 \times 15 \times 7,8 \times 10^2 = 23 400 \text{ cm}^4$$

$$E_h I_h = 150 000 \times 130 000 = 1,95 \times 10^{10}$$

$$E_\alpha I_\alpha = 225 \times 10^4 \times 23 400 = 5,265 \times 10^{10}$$

$$EI = E_h I_h + E_\alpha I_\alpha = 7,215 \times 10^{10}$$

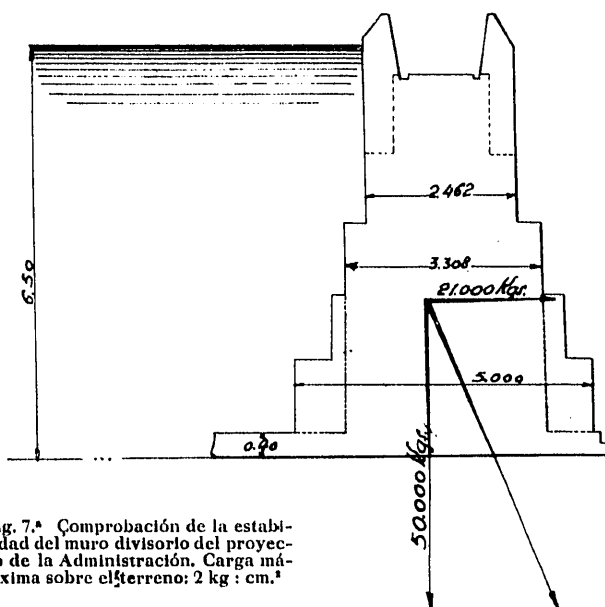


Fig. 7.ª Comprobación de la estabilidad del muro divisorio del proyecto de la Administración. Carga máxima sobre el terreno: 2 kg : cm²

Y la compresión de pandeo será:

$$\frac{4 \times 3,14^2 \times 7,215 \times 10^{10}}{3 400^2} = 250 000 \text{ kg}$$

mucho mayor que la encontrada de 80 000 kg, existiendo, por consiguiente, un coeficiente de seguridad de 3,12, que lo consideramos perfectamente aceptable.

Y con esto damos por terminado todo cuanto se refiere a la comprobación del trabajo elástico de la cubierta, pues los demás elementos, como viguetas y forjado, no merecen comentario alguno.

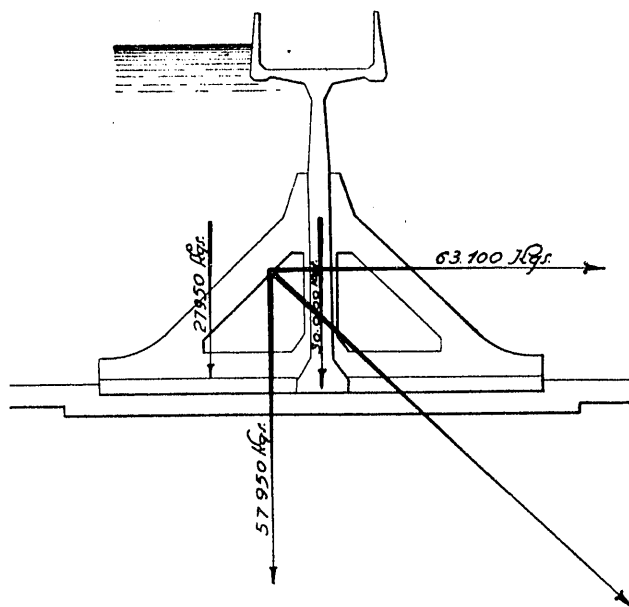


Fig. 8.ª Estabilidad del tabique divisorio (un compartimiento lleno y el contiguo vacío). Presión máxima sobre el terreno: 1,45 kg : cm²

Respecto a la presión máxima del contrafuerte de cada arco, sobre el terreno, un cálculo elemental haría ver que aquella es inferior a 2 kg/cm², que es la admitida por el Canal de Isabel II.

La cubierta se interrumpe radialmente por juntas

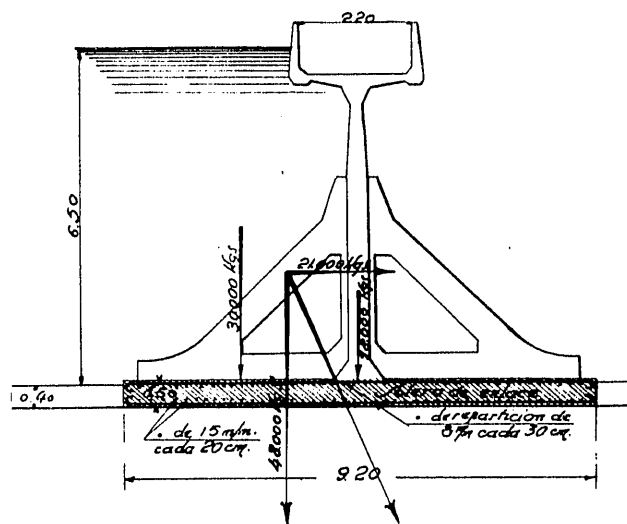


Fig. 9.ª Comprobación de la estabilidad del tabique divisorio con solera de enlace. Carga máxima sobre el terreno: 0,54 kg : cm²

de dilatación como máximo cada ocho contrafuertes (véanse fig. 2.ª del artículo anterior y 1.ª de éste).

Estas juntas consisten en colocar independiente-mente dos arcos a tope, y el espacio entre ellos, de 2 centímetros, relleno de una mezcla de asfalto y betún. Estos arcos tienen un ancho de 60 centímetros, en lugar de 1 metro, y por lo tanto el contrafuerte correspondiente de 1,25 metros.

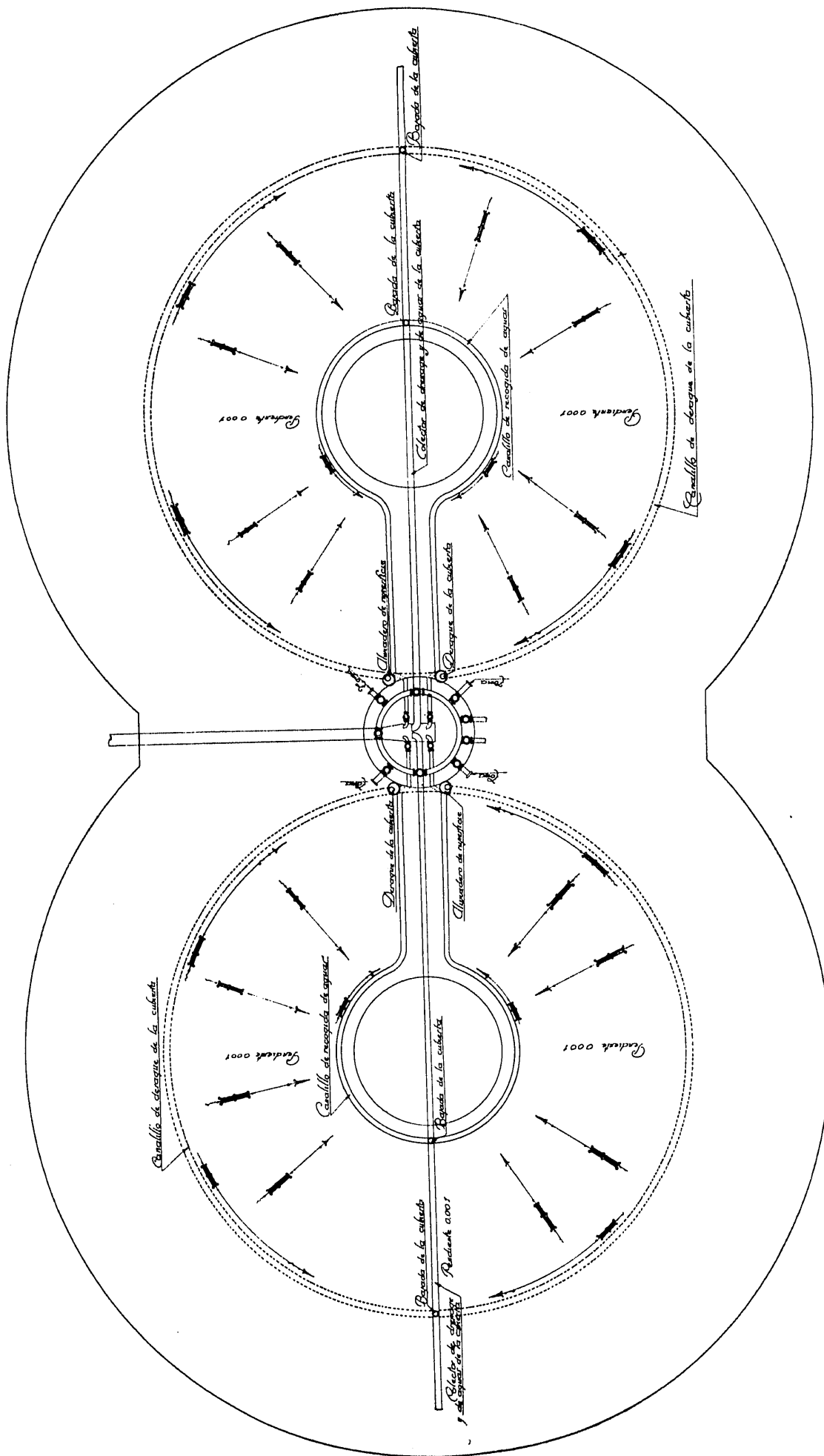


Fig. 10. Planta general de desagües

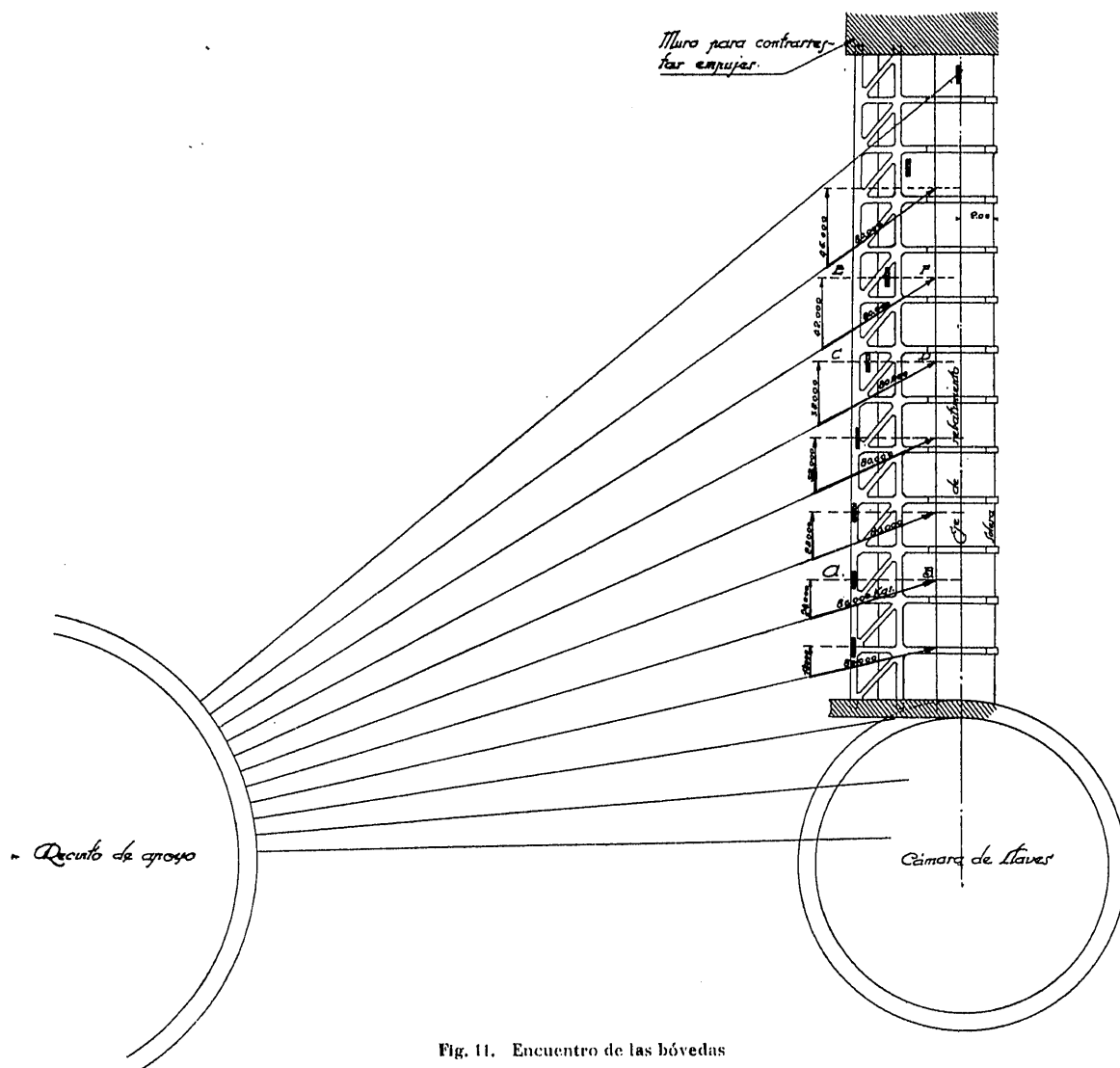


Fig. 11. Encuentro de las bóvedas

En el proyecto presentado los arcos van articulados en la clave (figuras 1.^a y 3.^a), con el objeto de centrar mejor la curva de presiones y disminuir los efectos producidos por la temperatura. Como ya se dijo en mi artículo de 1.º de marzo, esta articulación representa una pequeña garantía, que en esta clase de arcos,

conforme a la opinión autorizada de Peña, puede suprimirse.

Por otra parte, la supresión de dicha articulación aporta una economía de 40 000 pesetas.

La pila semiestribo, como puede verse en la figura 5.^a, se proyecta de una solidez que hace innecesaria

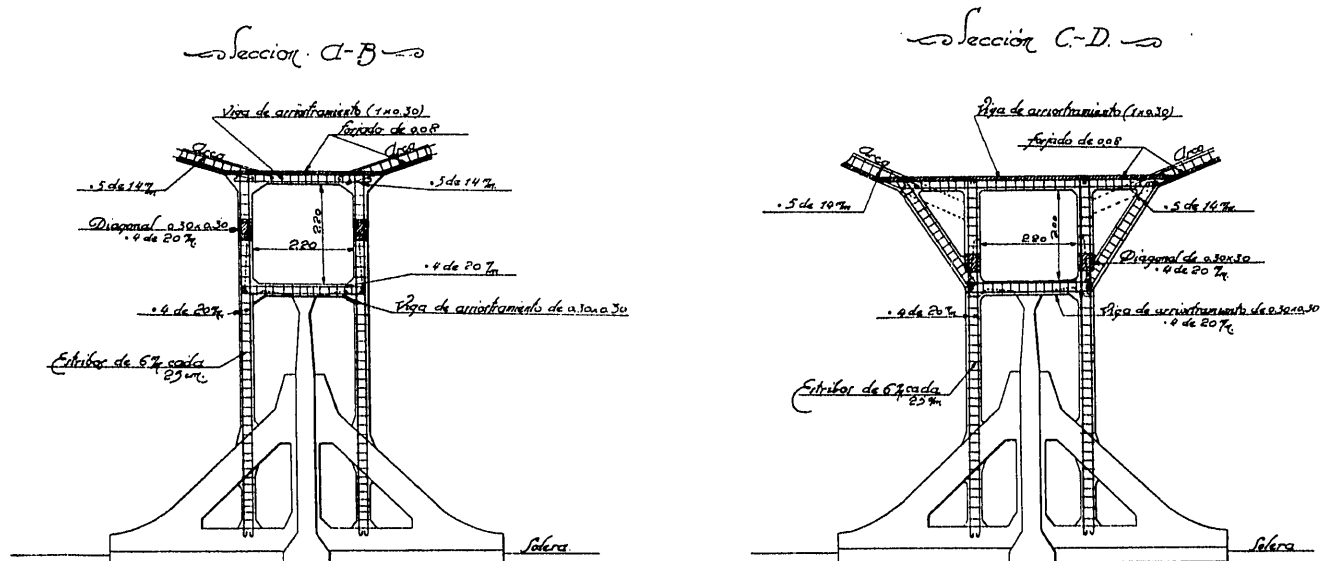


Fig. 12. Cortes por AB y CD

toda comprobación. Solamente, y para una completa tranquilidad de ánimo, se comprueba gráficamente (fig. 6.^a) su estabilidad para una diferencia de em-

causar algún recelo (claro está que a primera vista), y éstos son: los tabiques cilíndricos de recinto, la cubierta y los tabiques divisorios. Desvanecidas total-

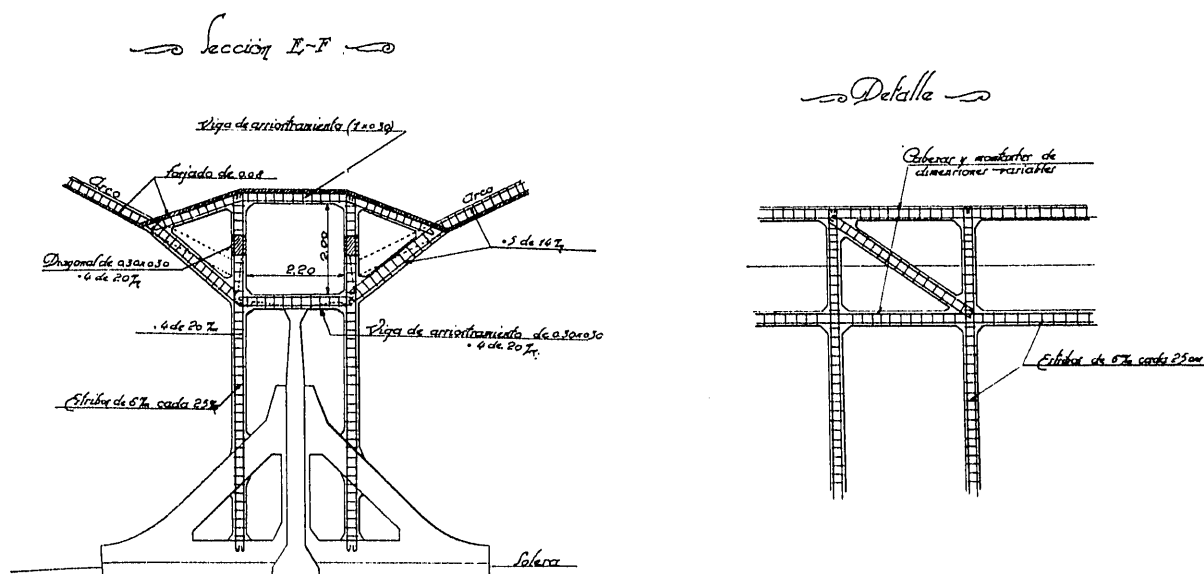


Fig. 13. Corte por EF y detalle

puje de los arcos de quince toneladas, correspondiendo una compresión máxima del terreno del orden de $1,50 \text{ kg/cm}^2$. Obsérvese en la figura el arriostramiento

mente las dudas en los primeros, podemos comprobar los tabiques divisorios.

Tabiques divisorios.—Los muros o tabiques divisorios en los depósitos de agua sirven, como es natural, para poder disponer de dos o más compartimientos en el depósito general. Cuando de dos contiguos uno está vacío y el otro lleno de agua, el muro divisorio debe estar construido para resistir su empuje. Generalmente se emplean muros de gravedad,

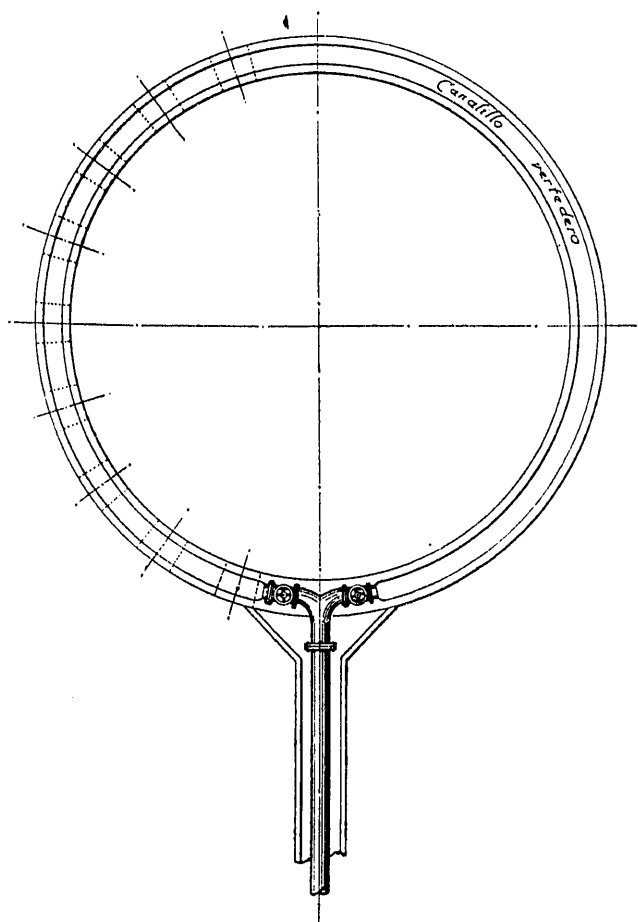


Fig. 14. Vertedero anular en un rectito resistente

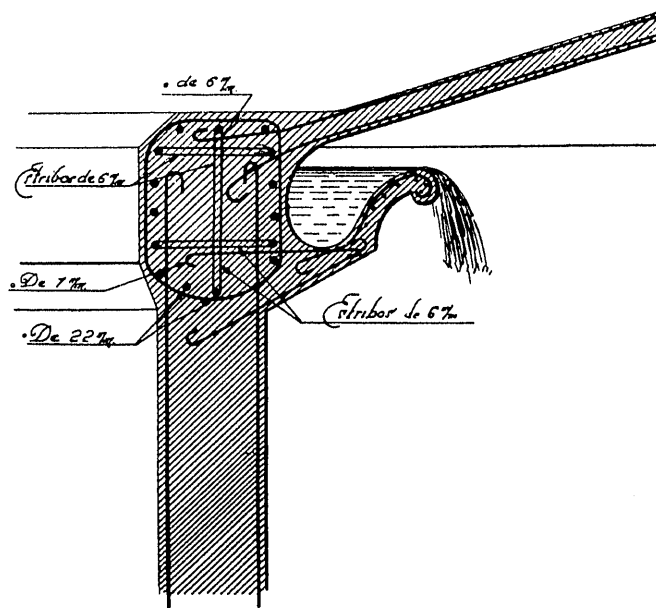


Fig. 15. Detalle del Canalillo

simétricos, como es lógico, puesto que el empuje puede obrar, indistintamente, en uno u otro paramento.

No hay razón para que no se establezcan de hormigón armado, pudiendo, como pueden, resultar más económicos y más en armonía con las disposiciones constructivas del año en que se vive. Tres clases de estabilidad es preciso comprobar en un tabique.

to superior que enlaza las cabezas de las pilas. De todos los elementos que integran la nueva solución de depósito circular, tres son los que pueden

Empuje del agua en ambos, 21 000 kg/m l.
Coeficiente de rozamiento del hormigón sobre las
tierras, 0,50.

En los dos casos tenemos que:

$$48\,000 \times 0,50 > 21\,000$$

Es decir, que los dos sistemas se encuentran en
iguales condiciones de seguridad al deslizamiento,

moderadas. Es decir, que puede servir la misma so-
lera del depósito, con sólo aumentarla 10 centíme-
tros, esmerándose algo más en esa zona para obtener
una buena composición.

Queda demostrado, por lo tanto, que los elementos
integrantes del depósito, que podría llamárseles *atre-
vidos*, son realmente merecedores de esa flor, puesto
que de ellos sólo satisfacciones puede esperarse...

Encuentro de las superficies tóricas.—El encuentro
de las superficies tóricas, en la unión de los dos depó-
sitos circulares, no ofrece ninguna dificultad, y se rea-
liza en inmejorables condiciones de seguridad en la
forma indicada en los dibujos (figuras 11, 12 y 13).
Todo consiste en llevar los arcos simétricos con rela-
ción al eje de unión a elementos resistentes, como son
el pasillo del depósito, y a la cabeza de una viga trian-
gulada con altura suficiente que permita el paso de las

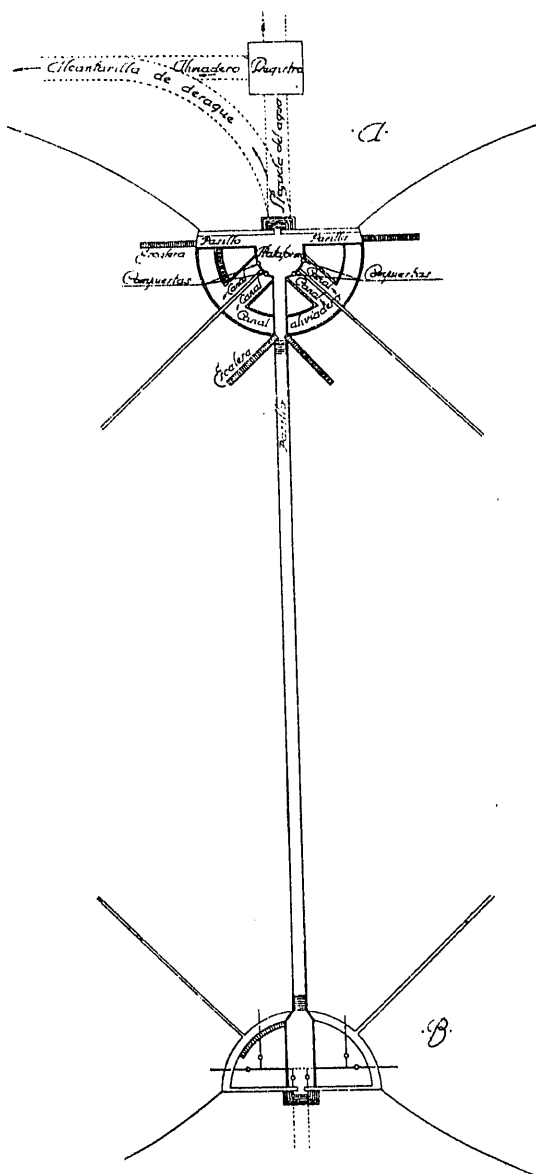


Fig. 19. Disposición de la entrada de agua, A, y del desagüe, B

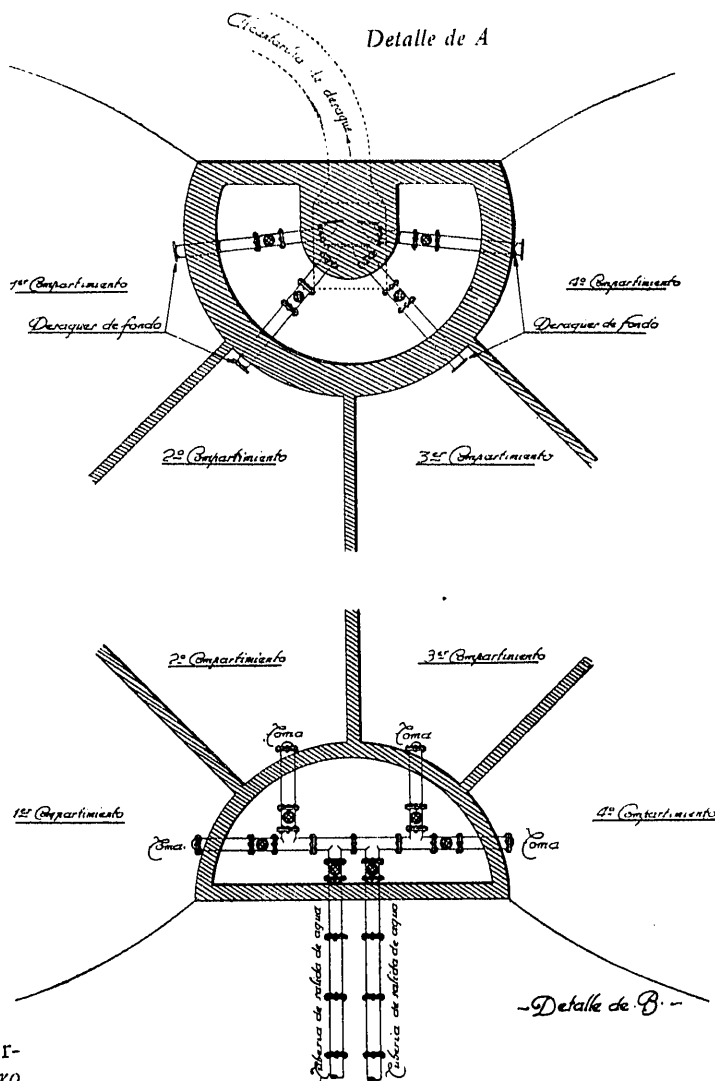


Fig. 20. Detalles de A y B

pero con la gran ventaja a favor del tabique de hor-
migón armado que la carga sobre el terreno es *cuatro
veces menor* que en el de gravedad, como se comprueba
en los cálculos gráficos correspondientes; lo cual,
dicho con más claridad, quiere decir que ofrece más
*seguridades ante posibles asientos o flojidades del te-
rreno que su rival.*

Respecto a la solera de enlace o forjado de arrios-
tramiento de los contrafuertes, calculando como losa
que salva la luz entre ellos, se comprueba que con
un espesor de 50 centímetros, armada simétricamente
con barras de 15 milímetros cada 20 centímetros,
para precaverse del cambio de sentido de los esfuer-
zos, el hormigón y el acero trabajan a cargas muy

personas. Todos estos esfuerzos tienen una componente
longitudinal, que desde luego puede ser totalmente ab-
sorbida por las dos vigas en cuestión. Sin embargo, para
que todo sean garantías en esta obra, al final del pasillo
se establecerán los muros a los que se refiere la suma
de todas las componentes paralelas al pasillo del empu-
je de los arcos. Se observará en los planos (fig. 13) que
las cabezas superiores de las vigas son de dimensiones
variables, dependientes de los empujes correspon-

de cámara de maniobras, única. La entrada del agua se realiza como en II, y debajo se emplaza la cámara de llaves, en la forma detallada en los dibujos (figuras 22 y 23), para toda clase de salida de las aguas.

Y por hoy basta, deseando que el lector benévolo vea con simpatía este trabajo, en el que hemos puesto todos nuestros pobres conocimientos, pero que tiene el merecimiento de haber puesto en él toda nuestra buena voluntad.

I. SÁNCHEZ DEL RIO
Ingeniero de Caminos

Orientaciones sanitarias

La situación de la Ingeniería Sanitaria en España es, en los actuales momentos, de preparación para una acción intensa que es de suponer y esperar que una vez que se haya orientado definitivamente en un sentido u otro, deje el paso relativamente lento que ahora tiene para imprimir la más rápida aceleración en el avance sanitario.

El vigente Estatuto Municipal de 8 de marzo de 1924, al ensanchar la esfera de privativa competencia municipal y permitir recursos adecuados, ha contribuido al resurgimiento sanitario iniciado en las ciudades españolas que en estos últimos años han construido bastantes abastecimientos de aguas y alcantarillados, sobre todo desde la creación del Banco de Crédito Local, que ha permitido la obtención de empréstitos conducentes a la realización de obras municipales de todas clases; pero el problema, si bien mejora, no se resuelve con la ejecución de obras parciales, la mayor parte de las veces acometidas sin sujeción a plan general ninguno, y casi siempre con vistas a las necesidades del momento; y es que la solución de conjunto, única que puede lograr el éxito apetecido, escapa a la capacidad técnica y financiera de la mayor parte de las Municipalidades, y como únicamente con un nivel cultural medio de un país muy elevado (que hiciera que todos los ciudadanos se dieran cuenta exacta de la importancia que tiene el disponer de un programa completo de mejoras y de su ejecución en momento oportuno) se conseguiría el ideal, se llega, al no existir éste, a la consecuencia de que en la ejecución de las obras de ensanche y reforma de poblaciones, abastecimiento de aguas, alcantarillado, depuración de aguas, saneamiento de todas clases de establecimientos sanitarios, reine un desorden que sobre conducir a malgastar muchas veces el dinero invertido en obras de poca utilidad, o incompatibles con otra de ejecución posterior, dejan siempre latente algún motivo de infección y causen el desánimo en el vecindario al no llegar a ver los resultados prácticos anunciados antes de la ejecución de las obras.

Comprendiendo esto, presenté hace más de un año al Gobierno un proyecto de organismo autónomo que, con la denominación de Patronato Nacional de Obras sanitarias de la Nación, tratase de seguir la inspiración que guió a la nación hermana, la República Argentina, para solucionar (en la forma que lo viene haciendo desde el año en que comenzó a funcionar el Directorio de Obras Sanitarias de aquella República) el interesante problema del saneamiento de las aglomeraciones urbanas y rurales. La misión que se pretende que tenga este organismo es la de convocar concursos para la formación de planes periódicos de ejecución de obras en vista de la urgen-

cia sanitaria de las que se soliciten y de la ayuda económica que los pueblos ofrezcan para su realización, sujetándose para ello a unas normas previamente señaladas; inspeccionar la ejecución de todas las obras, tanto en su aspecto técnico como en el sanitario, y, por último, vigilar la explotación de los servicios creados a fin de que éstos se ajusten a las normas técnicas sanitarias que se dicten por dicho organismo y a las reglas financieras de esta explotación.

Ignoro la suerte que esta propuesta correrá, aunque me temo que en las actuales circunstancias su oportunidad no sea grande, y a pesar del favorable ambiente con que fué recibida en la Dirección General de Sanidad no logre salir de un proyecto más de los muchos que abundan en nuestra Patria; pero como entiendo que el ingeniero ha de ser dinámico por excelencia, y cuando concibe algo y las circunstancias de la vida o las impurezas de la realidad se oponen a su logro sin que esté en su mano el acelerar o activar la tramitación hasta llegar a alcanzar su propósito, no debe detenerse, sino buscar otras orientaciones que, quizá por su menor alcance sean más factibles, voy a indicar en la REVISTA algo que está pidiendo a voces que se convierta en una realidad, con objeto de que si, como según mis noticias ocurre, el Cuerpo de Caminos y su Escuela especial se han dado cuenta de la necesidad de acometer de frente el problema, se adelanten a otras iniciativas que no creo tarden en surgir para conquistar una preferencia que será muy conveniente a sus intereses.

Se ha dicho repetidas veces, y desgraciadamente con bastante fundamento, que España es un país donde se legisla mucho y bien, pero donde parece existir un placer morboso en no cumplir lo legislado. Yo soy un convencido de que esto es cierto, de que existe una especie de rebeldía colectiva que, sin obedecer a mala fe, da al traste con las mejores iniciativas legales en todos los órdenes, si no se crea al lado del cuerpo legal un organismo o persona (material o jurídica) encargada de hacer cumplir lo legislado, pero con medios coercitivos de *positiva fuerza*. Y si para alguna manifestación ciudadana está indicada la aplicación de la coerción en forma casi de disciplina militar y de tribunal de única instancia, no cabe duda que es en la sanidad pública, máxime cuando, como ocurre en nuestro país, el índice de mortalidad excede bastante del alcanzado por las poblaciones modernas y cultas higiénicamente, y cuando la cultura higiénica media de nuestra población, especialmente de la rural, es aún muy deficiente e incapaz, por tanto, de comprender en todo su valor las ventajas de los progresos sanitarios.

El art. 5.º del Reglamento de Sanidad Municipal dice textualmente: *Es obligación primordial de*