

# El dique de carena de Cádiz

Por Real decreto de 4 de junio se ha resuelto el referido Concurso celebrado para los proyectos y construcción del mayor dique seco de carena que habrá en España, pues tendrá capacidad para buques de 235 m de eslora, 32 m de manga y 9,30 de calado.

Se construirá en el puerto de Cádiz y se ha adjudicado al Banco de Bilbao, en representación de las Sociedades Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles y Sociedad General de Obras y Construcciones, con arreglo a los proyectos suscritos por los ingenieros D. J. Eugenio Ribera y D. Vicente Morales, presidente y director-gerente, respectivamente, de cada una de aquellas Sociedades.

Las obras se realizarán a riesgo y ventura por los presupuestos de cada una de las tres soluciones presentadas: de 8 712 778 pesetas para el caso de subpresión nula, de 15 183 886 para el caso de subpresión media y de 19 291 291 pesetas para el caso de subpresión total.

Estas cifras difieren en ocho millones, en algunos casos, de los presupuestos presentados por otros constructores de mundial reputación; no es, pues, extraño que tan considerables diferencias hayan dado lugar a comentarios que me impulsan, como coautor del proyecto elegido, a justificarlas ante mis habituales lectores de la REVISTA.

Así evito las continuas explicaciones que de mí so-

licitan, a la par que evidencio que los ingenieros españoles que hemos colaborado en ese trabajo no apelamos a fantásticos atrevimientos constructivos, sino a un concienzudo estudio técnico contrastado por nuestra propia experiencia, que nos condujo a soluciones racionales y seguras, las que, al suprimir los riesgos, consienten modestas utilidades.

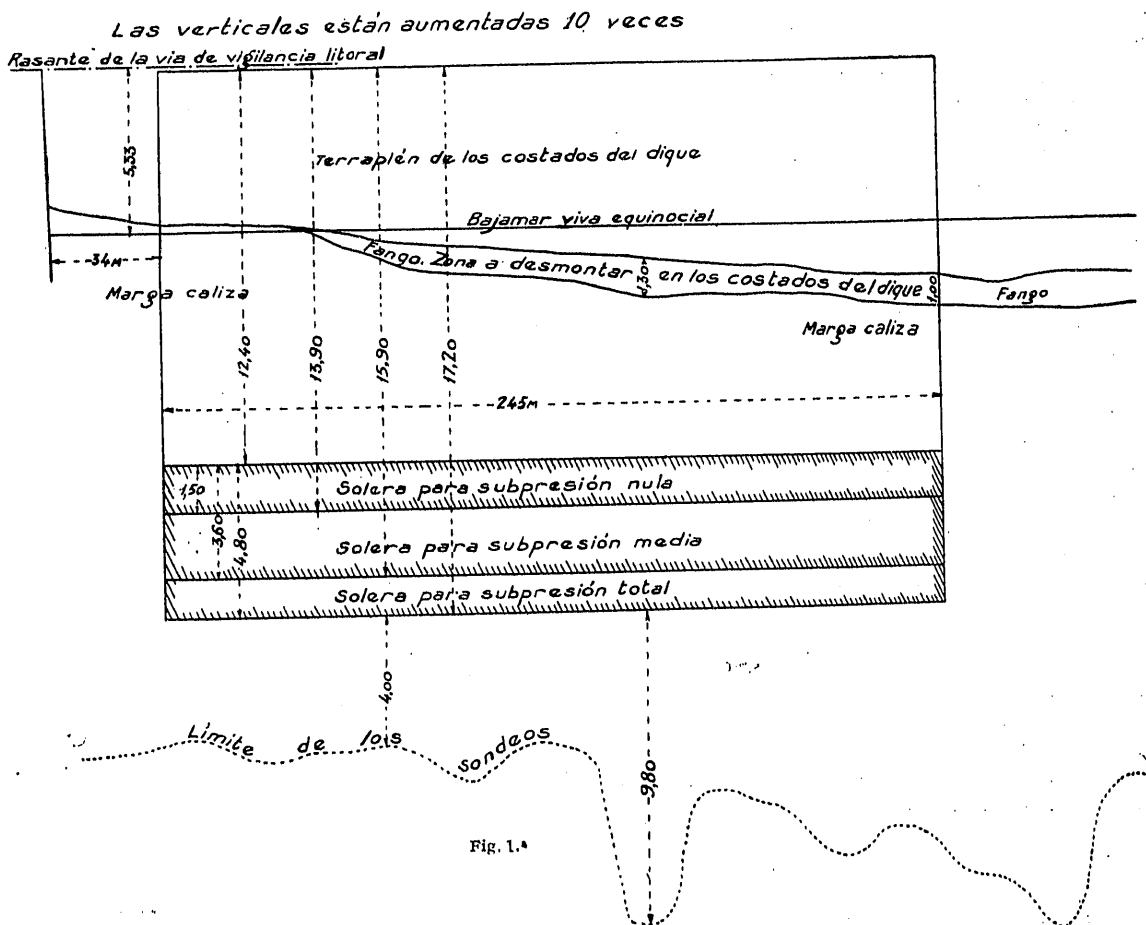
Suele la gente, y aun muchas personas ilustradas, dejarse alucinar por las firmas extranjeras, cuya autoridad y juicios se consideran dogmáticos, en cuanto se atribuyen a un *Monsieur* de ultra Pirineo y más quizá a un *Herr Doctor* de ultra Rhin.

Y por lo mismo que soy el primero en rendir pleitesía y en enaltecer cumplidamente a las grandes figuras de la ciencia extranjera, como lo estoy demostrando constantemente en mis artículos y en mis libros, seáme permitido demostrar, una vez más, que en España también discurrimos, y a veces con acierto, con sinceridad y sin excesivas codicias.

Para ello preciso apuntar algunos antecedentes.

Se acordó por la Superioridad situar el nuevo dique en un terreno (fig. 1.<sup>a</sup>) compuesto por una capa de fango, sobre otra de marga caliza.

Los numerosos sondeos practicados por la Junta de Obras del puerto atestiguan la suficiente dureza de aquella roca, capaz de resistir presiones muy superiores a las que el dique pueda producirle; pero aun



hoy día, se desconoce la permeabilidad de aquel suelo, y, por ende, la subpresión que ha de actuar en la solera, que, a mi juicio, es la clave del problema.

En las primeras bases del Concurso nada se prescribía ni aconsejaba sobre este punto fundamental, lo que obligó a los concursantes a fijar arbitrariamente las hipótesis del cálculo, que tanto influyen en un dique, sobre todo en el espesor y resistencia de la solera.

Se presentaron cinco proyectos: cuatro de ellos *suspusieron* que aquel terreno podía ser impermeable y que procedía el sistema de agotamiento, y admitieron sus autores que la subpresión no debía ser considerable, por lo que bastaba dar a la solera del dique espesores comprendidos entre 0,80 m y 5 m, uno de ellos de hormigón armado.

En cambio, mi distinguido colega el ingeniero de Minas, D. Vicente Morales, director de la Sociedad General de Obras y Construcciones, especializada en obras de puertos, entre los que ha construido los de Cádiz y Lisboa, con cuya entidad se asoció para esta obra la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles que presido, coincidió conmigo en que, si bien parecía a primera vista que la solución de agotamientos, mediante ataguías con tablestacas metálicas, era la más indicada, debíamos antes de decidirnos por este procedimiento clásico de agotamientos, *siempre aleatorio*, estudiar muy detenidamente lo ocurrido en los demás diques del mundo.

No queríamos exponer a nuestras Sociedades a una aventura de varios millones.

La razón de esta supuesta timidez que se nos achacó como poco justificada, es, sin embargo, fundamental.

Ambas Compañías están en España establecidas; en un contrato de esta clase, que desde el primer momento consideramos que debía ser a riesgo y ventura, no sólo íbamos a responder con una fianza de un millón de pesetas, sino con todo el capital de nuestras dos Sociedades, que suman ocho millones (según prescribe el art. 65 del Pliego de Condiciones generales), y lo que vale aun más, con nuestro crédito profesional y económico vinculado en España y adquirido en treinta años de incesante lucha.

Las casas extranjeras, en cambio, por muy respetables que sean, sólo respondían con la fianza, cuyo importe podían recuperar fácilmente en las ataguías y agotamiento, y aunque fracasaran, lo peor que podía ocurrirles es perder aquélla, ya amortizada con los beneficios, pues su alejamiento de nuestro país, por la rescisión consiguiente al fracaso constructivo, no implicaba para ellas ni la ruina, ni siquiera perjuicio sensible.

Esta desigualdad evidente a favor de las casas extranjeras, merece tenerse muy en cuenta en futuros Concursos, en los que, por un concepto demasiado caballeresco de nuestros Gobiernos, se abre la puerta a los constructores y fabricantes de todos los países, que vienen a ofrecer sus trabajos, sin más garantía que su fianza, siendo así que las casas españolas ofrecen siempre las garantías *supletorias* de todo su capital y de su crédito. Es notoriamente injusta tal desigualdad, que nos obliga a los españoles a un prudente comedimiento en nuestras proposiciones, por correr mayores riesgos.

Las anteriores digresiones justifican en gran parte nuestro primer proyecto.

El estudio de los ruidosos accidentes ocurridos en

diques de carena análogos, por no haber dado la importancia debida a las posibles subpresiones de la solera; la visita que hice a ese efecto a los grandes diques en construcción en Francia e Inglaterra (1) confirmaron mi natural preocupación a aquel respecto, que vino a robustecer el resultado de los experimentos de permeabilidad que efectuamos en los Laboratorios de la Constructora Naval en Cádiz y en el de nuestra Escuela de Madrid, con los testigos de la roca obtenidos en los sondeos.

Ante el peligro de las contingencias de un agotamiento casi gigantesco, por la extensión del vaso, de 15 000 m<sup>2</sup>, que podía arrastrar nuestra ruina y descrédito; ante la obligación legal, que creemos obligatoria e ineludible, de presentar una solución sincera a riesgo y ventura, y sin el temor de un fracaso, que hubiese alcanzado a toda la técnica española, preferimos suprimir el espinoso y arriesgado problema de los agotamientos.

Para ello, disponemos de un poderoso material de dragado: draga chupadora para arenas, fuerte draga de rosario para fangos y rocas blandas, romperrocas para rocas duras, campana neumática para cimientos delicados. Con este material, que ha trabajado ya en el puerto de Cádiz, escavaremos el vaso, preparándolo para recibir unos cajones con fondo, flotables y de hormigón armado (fig. 2.ª).

El dique estará formado por 8 cajones de este tipo, que tienen la forma en U de todos los diques y aligerados interiormente por un sistema de 7 células rectangulares que pasan de muro a muro a través de la solera, y quedan, por tanto, reducidos a dos paramentos, interior y exterior del macizo que ha de formar el dique; estas células se arriostrian por 8 tabiques de arriostramiento a 4 m, que se unen a las losas o paredes por medio de robustos cartabones, suficientes para conseguir la completa rigidez de la estructura.

En sus partes laterales llevan los cajones, en toda su longitud, 2 zarpas de 4 m que sirven para soportar el terraplén que sobre ellos actúa y equilibrar con su peso y el peso propio del dique el empuje de la subpresión.

Para reducir el peso de la estructura de estos cajones, y, por tanto, obtener su menor calado de flotación, que a su vez permita un más fácil lanzamiento, se propone para su estructura el empleo de cementos de alta resistencia o fundidos; no sólo obtendremos así un más rápido endurecimiento, sino que podemos someter el hormigón a un trabajo de 100 kilogramos por centímetro cuadrado, para la dosificación de 300 kg con la composición granulométrica de arena y gravilla más favorable.

Pareciéndonos imposible determinar *a priori* la importancia de las subpresiones, que entendemos hay que suprimir o resistir, hemos proyectado la solera para la *subpresión total*, con lo que el dique quedará garantido contra toda flexión y agrietamiento de su solera (2).

Los cajones se construirán en un varadero a media

(1) En la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 15 de diciembre de 1944 dediqué un artículo al nuevo dique del Havre, uno de los mayores y más costosos del mundo.

(2) Todos los cálculos de este dique han sido hechos por el ingeniero de la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, D. Eduardo Torroja, al que he rogado que dé cuenta de ellos a los lectores de esta REVISTA, como lo hará en breve.

marea, *utilizando la gran carrera de marea de 4,20 metros* que hay en Cádiz, y flotarán con sólo agotar el agua del interior de las células, bastando luego, para el fondeo, llenar con agua cuatro de las 7 células que forman cada cajón.

La estabilidad de los cajones durante toda la maniobra está comprobada por los métodos de la arquitectura naval para barcos con flotaciones internas.

Una vez fondeados los cajones se agotarán, macizándose las células sucesivamente con hormigón hasta ciclópeo, con lo que quedará así terminado el dique.

El buen asiento de los cajones se asegura igualando previamente el fondo con nuestra campana neumática, por medio de sacos de arena, que pueden luego consolidarse con inyecciones de cemento a través de la solera; las juntas entre un cajón y otro se rellenarán de hormigón en los dos tercios de su altura, con lo que puede agotarse el dique y rellenarse el último

tercio de las juntas con capas de hormigón muy rico, alternadas con otras de tela asfáltica, operación que podrá facilitarse, si fuera necesario, con la citada campana neumática y con inyecciones de cemento.

Podría haberse proyectado el dique, como se hizo en el del Havre, con un solo cajón que comprendiera toda su área; pero esta solución, aparte de sus dificultades de ejecución y fondeo, no presenta ventajas especiales, *ya que las juntas en sentido transversal pueden ser perfectamente estancas, como ya se ha comprobado en otros diques y en los cajones para túneles bajo los ríos.*

Con estos cajones *suprimimos el problema tan aleatorio de los agotamientos*, que habría que mantener, no sólo para la ejecución de la solera y cimientos de los muros de recinto y exclusiva, sino para la total construcción del dique.

Pero además su estructura de hormigón armado,

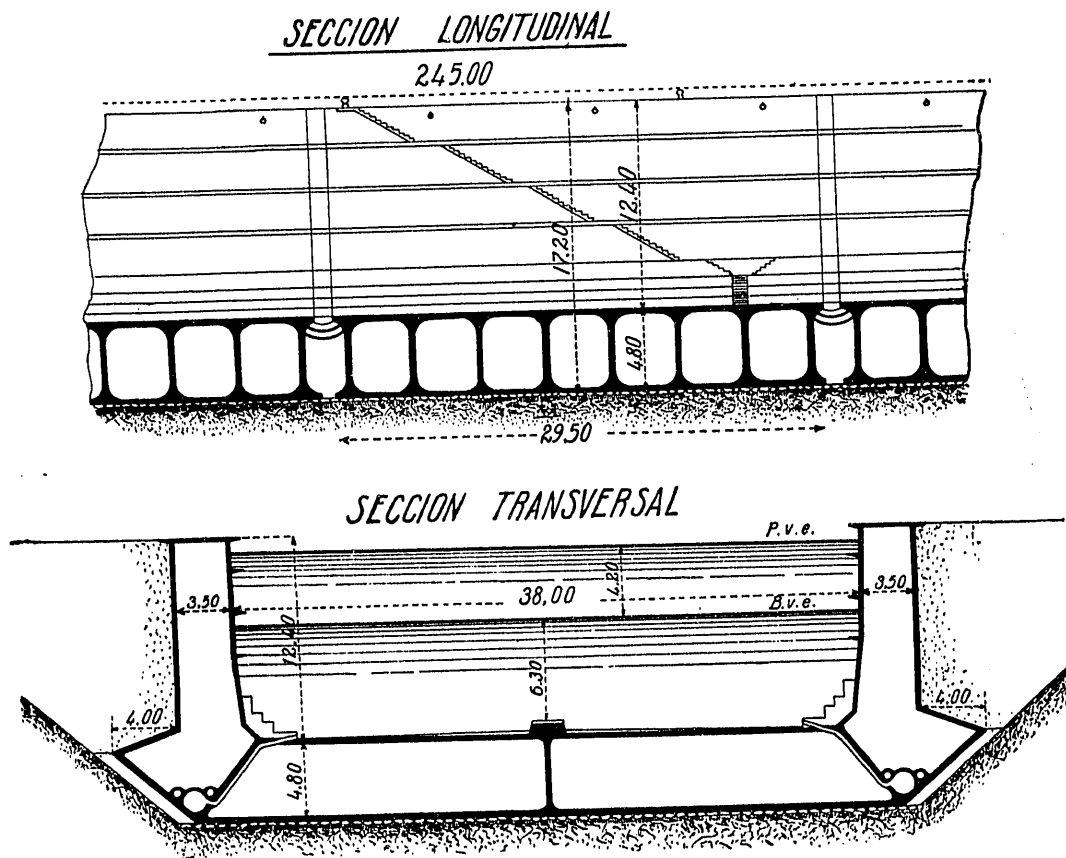


Fig. 2.ª

con cementos fundidos o de alta resistencia, consigue otra ventaja: la de que no sólo no ofrece peligro de ser rápidamente destruída por el agua del mar, sino que, por el contrario, dicha estructura acoraza, por decirlo así, todo el monolito que constituye el dique, defendiéndolo contra la posible descomposición del cemento, que tanto preocupa hoy día a los ingenieros de puertos.

Con los precios corrientes, esta solución de dique, a riesgo y ventura, con seguridad de éxito para el Estado y para el constructor, pues que se calculó su resistencia para aguantar la subpresión total, como si el vaso llegara a ser completamente permeable, tenía un presupuesto de contrata de 23 766 656 pesetas.

Los otros cuatro proyectos presentados, todos ellos a base de construcción por agotamientos, ofrecían presupuestos comprendidos entre 21,5 y 25 millones, pero en ninguno de estos proyectos se comprometían sus autores a ejecutar el dique a riesgo y ventura, y, según nos han dicho, tampoco sus soleras estaban calculadas para resistir la subpresión total.

En todo caso, la comparación entre sus presupuestos no podía ser exacta, por cuanto las hipótesis de subpresión admitida eran diferentes.

Es como si se compararan puentes de iguales luces, pero calculados, unos para una sobrecarga de peatones, y otros para locomotoras de 100 toneladas.

En el dique de Cádiz, las diferencias pueden ser

aun más sensibles, pues obsérvese que se trata de soleras planas de 37 m de luz, que pueden estar sometidas a una subpresión de diez y seis toneladas por metro cuadrado, si la subpresión fuese total, por efecto de la permeabilidad del subsuelo.

¿Quién es capaz de fijar ese coeficiente de permeabilidad, y, sobre todo, de arrostrar la responsabilidad de sus consecuencias?

Para mí no caben hipótesis intermedias. La subpresión es nula o debe admitirse que puede ser total, pues no hay quien asegure que una filtración localizada no pueda aumentar y extenderse bajo toda la solera.

Las diferencias de coste son colosales.

Entre una solera de enrase de 0,80 m de hormigón, como suponía uno de los proyectos, que puede costar unas 800 000 pesetas, y la solera de 4,80 m de altura de cemento fundido, que necesitaba para soportar la flexión 7 500 toneladas de acero, y cuyo coste ascendía a unos diez millones de pesetas, fluctuaban todas las demás soleras proyectadas.

El estudio comparativo de esos proyectos resultó laborioso y difícilísimo, ocasionando, como era obligado, disparidades manifiestas de criterio y apreciación, que dieron lugar a discusiones apasionadas, a pesar de la altura y capacidad de los ilustres ingenieros que hubieron de intervenir.

Pero no pudo menos de resaltar la deficiencia de las primeras bases del Concurso, causante de la heterogeneidad de las soluciones, ya que cada concursante tenía derecho a admitir hipótesis diferentes y arbitrarias.

Así es que el ministro de Fomento, utilizando las facultades que le conceden esta clase de Concursos, resolvió invitar a los cinco proponentes a un nuevo Concurso, sometiendo todos los proyectos a tres hipótesis fijas: subpresión total, media y nula, y con la condición de que habían de hacerse las proposiciones a riesgo y ventura.

Uno de los concursantes, la casa Schneider, renunció a esta segunda prueba. Los demás presentaron los siguientes presupuestos:

	PRESUPUESTOS DE CONTRATA PARA SUBPRESIONES:		
	Completa	Media	Nula
Banco de Bilbao.....	19. 91. 91	12.993.315	8.71.778
Sager Woerner.....	21.691.801	18.547.450	16.611.191
Don Pío Ezcurrea.....	22.107.349	20.209.236	16.777.853
Siemens Bauunion.....	24.664.458	19.898.431	17.852.151

A nadie puede extrañar que, ante diferencias de coste tan considerables, se adjudicara la obra a la proposición del Banco de Bilbao, con el proyecto que suscribí en unión del ingeniero D. Vicente Morales.

Y ahora réstame explicar por qué no son disparatadas las economías de presupuestos que hemos con seguido.

Como hemos dicho, en previsión del fracaso de los agotamientos, preferimos utilizar nuestro material de dragado para excavar previamente el vaso. Estos dragados resultan relativamente baratos, pues incluyendo los del canal de acceso, sólo costarán 2 500 000 pesetas.

Con la piedra, y, sobre todo, con el fango proce-

dente de esos dragados, construiremos el terraplén que circundará el dique, defendiendo su perímetro exterior con un recinto de tablestacas de hormigón armado y su contorno interior con la escollera procedente de las excavaciones, o por un segundo tablestacado metálico.

Si el terreno fuera impermeable, es evidente que la ataguía constituida por dicho malecón de fango de treinta metros de anchura, contenido sobre la roca por aquel doble recinto, es la más impermeable de las ataguías.

Recuérdese, que en el viaducto de Scorf, citado por Debaube (*Exécution des travaux*, pág. 100) y por Gaztelu, dieron excelente resultado ataguías de fango con 25 cm de grueso, comprimido entre dos tablestacados de madera.

Pero este malecón-ataguía constituye precisamente el terraplén de servicio del dique, que es una obra necesaria y utilizable para cualquier solución. El gasto que ocasionará, que es de 1 100 000 pesetas, queda, pues, en su casi totalidad, a favor de obra, pues únicamente se perderá la pequeña zona de la ataguía correspondiente a la boca de entrada, que habrá que dragar posteriormente.

En cuanto esté cerrado el malecón-ataguía, si el vaso dragado fuera realmente impermeable, no aparecerán subpresiones, y entonces será fácil y rápido vaciarlo con el tren de bombas, previamente instaladas al efecto.

Una vez agotado dicho vaso, lo que pudiera obtenerse en pocas horas, se podrá comprobar exactamente su permeabilidad; pero sólo entonces será posible, y sin arbitrariedad, fijar el verdadero coeficiente de subpresión a que podrá estar sometida la solera.

¿Que aquélla es nula? Miel sobre hojuelas, pues bastará revestir el vaso con una ligera camisa de hormigón sobre la roca y las paredes del fondo.

Será entonces más que suficiente una solera de un metro y unas delgadas paredes adosadas al terreno, con un coste que sólo asciende a 2,5 millones.

Pero, en cambio, y aquí considero que está el acierto de nuestro proyecto, si como suponemos se presentaran filtraciones y fuera preciso entonces preparar el dique, sobre todo, en su solera, para resistir a subpresiones que pudieran ser totales, tampoco se pierde nada de lo hecho.

Dragada la ataguía en la entrada del dique se completará el dragado de su fondo hasta la profundidad necesaria, para que la solera tenga el espesor que la subpresión exija.

Mientras tanto, en un varadero, construimos los 8 cajones de hormigón armado, que, lanzados al agua y transportados a su sitio, se fondearán en la forma que antes explicamos.

Si en lugar de rellenar las paredes de estos cajones con hormigón lo hacemos con arena, como ha sido aceptado en el muelle de Huelva, obtenemos una sensible economía, con lo que estos cajones completos y rejuntados, que constituirán el dique, propiamente dicho, sólo costarán once millones de pesetas.

Añadiendo a las cifras anteriores el gasto del barco-puerta, de las bombas y su edificio, los tinos y demás accesorios, que son también factores comunes de todas las soluciones, se comprende ahora por qué nuestra solución no es fantástica, ni siquiera atrevida.

Es racional y constructiva; compatible con todas las hipótesis de permeabilidad y de subpresión, suprimiendo a la vez todo riesgo al constructor y al Estado.

Por esto mismo, es por lo que también resulta la más económica.

Conste, por último, que en este proyecto yo no he sido más que director de una orquesta en la que, como ocurre generalmente, el mérito principal corresponde a los solistas: Vicente Morales, que aunque ingeniero de Minas lleva muchos años dirigiendo obras muy importantes, especialmente marítimas; mi joven discípulo Eduardo Torroja, que ha colaborado con

excepcional entusiasmo e inteligencia en todo el trabajo, sin olvidar a los ingenieros Juan Botín, Noreña, Herrero y Serra-Andreu, que en los proyectos de barco-puerta, bombas y en los últimos cálculos, han contribuido a perfeccionar nuestra proposición.

A ellos, pues, transmito, muy efusiva y sinceramente, el aplauso que merece este éxito de la técnica española.

J. EUGENIO RIBERA

## Cimentación por rebajamiento del nivel de la capa acuífera

### Fundamento y origen del procedimiento

Es un fenómeno conocido que, al abrir un pozo artesiano, el plano de la capa acuífera se encorva en sus proximidades, perdiendo su nivel, que no vuelve a recobrar hasta que pasa de la zona de influencia de dicho pozo (fig. 1.<sup>a</sup>). De aquí nació la idea de rodear el lugar de una fundación con un re-

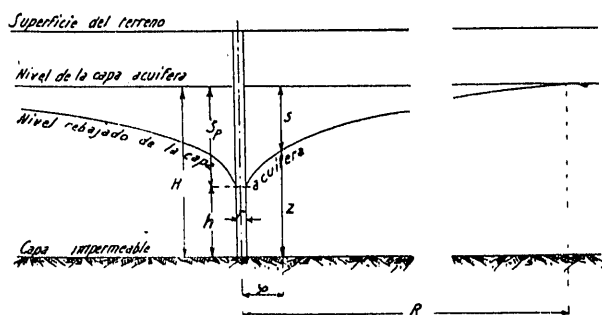


Fig. 1.<sup>a</sup>

### Descripción del sistema

Como se acaba de decir, consiste en rodear la obra (figuras 8.<sup>a</sup> y 11) con una fila de pozos metálicos, hincados hasta atravesar la capa acuífera a una profundidad conveniente. Estos pozos se unen entre sí por una o varias tuberías, y cada grupo de ellos a una bomba centrífuga, por medio de la cual se aspira el agua hasta rebajar su nivel a la profundidad necesaria. Las tuberías de expulsión van a parar a un canal de desagüe. Puestas las bombas en marcha, la capa acuífera desciende de nivel y se mantiene constante con el trabajo continuado de aquéllas.

El número y la proximidad de los pozos varía con la naturaleza del terreno, con el caudal de la capa acuífera y con el rebajamiento deseado. Con una sola fila, el descenso oscila, según la naturaleza del subsuelo, entre 3,5 y 8 m (5 m por término medio), por lo que, cuando se trata de mayores profundidades, hay que disponer varias filas, escalonadas a diferentes profundidades. En este caso suelen enlazarse los pozos de dos modos distintos: por anillos o escalones, medio que consiste en unir entre sí y a una bomba todos los pozos que tienen la misma profundidad de hinca, o en sifón invertido, uniendo cada bomba a una serie de pozos, aun cuando no pertenezcan al mismo escalón y no tengan, por tanto,

cinto de pozos, por los que una o varias bombas aspiraran el agua necesaria hasta que la capa acuífera descienda a un nivel inferior al plano de cimentación.

El túnel bajo el Spree, construido en Treptow (Berlín) durante los años de 1895 a 1899, se hizo por medio de ataguías y aire comprimido, que por entonces era el procedimiento más moderno y único posible en obra de tamaño importancia; pero resultó tan cara y fueron tan grandes las dificultades vencidas, que cuando, en 1910, hubo necesidad de atravesar nuevamente el Spree, en Inselspeicher, para construir el trozo del ferrocarril subterráneo de Berlín, comprendido entre Spittelmarkt y Alexanderplatz, la Sección de ferrocarriles de la Casa Siemens y Halske, constructora de la obra, ensayó, por primera vez en gran escala, este procedimiento de agotamiento, hasta entonces empleado sólo en obras de poca importancia. Este primer ensayo, del cual se ve un croquis en la figura 2.<sup>a</sup>, dió tan buen resultado e hizo concebir esperanzas tan fundadas, que desde entonces, convenientemente perfeccionado, es uno de los procedimientos especiales de cimentación más interesantes, usado principalmente en Alemania.

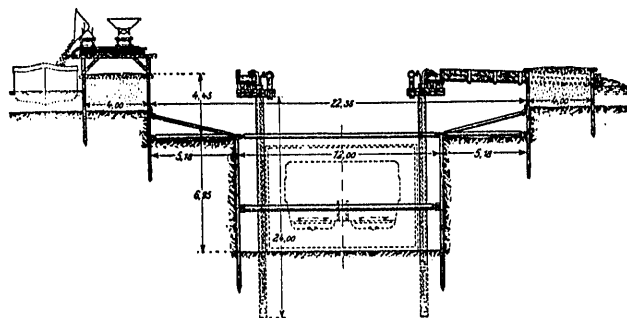


Fig. 2.<sup>a</sup> Croquis del primer ensayo de cimentación por rebajamiento del nivel de la capa acuífera ejecutado por la Casa Siemens & Halske en la construcción del metropolitano de Berlín.

igual profundidad. En la práctica se emplea en general una conexión mixta, uniendo los pozos por escalones a una bomba y los escalones entre sí con tuberías auxiliares, provistas de llaves, que, abrien-