

“La construcción del dique seco de Cádiz”

José Entrecanales Ibarra

Revista de Obras Públicas vol. 78, nº 2.561,
noviembre de 1930, pp. 497-503

vol. 78, nº 2.562, diciembre de 1930, pp. 517-530

vol. 78, nº 2.563, diciembre de 1930, pp. 537-547

La construcción del dique seco de Cádiz

La situación estratégica de la Bahía de Cádiz respecto a las rutas del Estrecho de Gibraltar y a las de Suramérica y Centroamérica, aconsejó al Gobierno español el año 1925 la apertura de un concurso internacional para el proyecto y la ejecución en dicho puerto de un dique seco de carena para buques de hasta 30 000 toneladas de registro, al que concurrirían varias Casas nacionales y extranjeras, adjudicándose la obra al Banco de Bilbao en nombre de dos Sociedades, la General de Obras y Construcciones, ejecutora de los dragados y terraplenes, y la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, que construye, secundada por D. Manuel Távora y el firmante de este artículo, la parte de hormigones y hormigones armados.

Tratan estas notas de describir ligeramente el proyecto, el procedimiento de construcción seguido y las consecuencias que hasta la fecha se deducen del mismo, dividiéndose, como consecuencia, en tres partes, que podrían titularse: Lo que se pensaba hacer, Lo que se ha hecho hasta la fecha y Lo que se piensa hacer ahora.

Descripción del proyecto ¹

Como no se podía conocer perfectamente la posibilidad de agotar el cuenco y las condiciones de impermeabilidad del terreno, que evidentemente influían sobre las dimensiones y forma de la sección transversal del dique, los concursantes hubieron de presentar proyectos para los casos límites de que al achicar el dique se ejerciese sobre su solera una subpresión nula o la subpresión total, debiendo comenzarse la construcción acometiendo la solución de subpresión nula y deduciendo la conveniencia de otras soluciones en vista de los resultados del intento de agotar el cuenco ataguado, o de lo observado en los productos procedentes del dragado.

Se comenzó de esta forma la construcción de las obras, y al cabo de algún tiempo se demostró claramente, por los productos obtenidos de la excavación, según informe emitido por una Comisión oficial nombrada al objeto y constituída por los Sres. D. Enrique Martínez, D. Bernardo Calvet y D. Alfonso Peña, que la subpresión había de existir prácticamente en todo el valor de la carga de agua, y que a estas condiciones era necesario acomodar el proyecto que había de construirse, que presupone, en esencia, la construcción de la estructura general del dique de carena por cajones de hormigón armado en forma de U, resultantes de cortar el dique por secciones normales a su eje longitudinal, construídos en seco, fondeados en el cuenco previamente dragado, rellenos de hormigón ciclópeo en la parte de la solera del dique y de arena en la parte de los cajeros, y soldados entre sí

¹ Véase el artículo publicado en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 1.º de julio de 1926, por D. Eugenio Ribera, autor del proyecto en unión de los ingenieros Sres. D. Vicente Morales, D. Juan Botín, D. Andrés Herrero, D. Juan Noreña, D. Guillermo Serra-Andréu y D. Eduardo Torroja, éste especialmente de la parte de los cálculos justificativos de los cajones de hormigón armado.

para conseguir la necesaria impermeabilidad. Alrededor de los cajones va previsto un relleno general de productos de dragado, a consecuencia de que el dique ha de construirse en terrenos ganados al mar, y en el último cajón se prevé el umbral del barco-puerta, situándose la instalación de agotamiento en un cajón especial de hormigón armado, separado del dique y comunicado con él por un tubo-acueducto.

Las dimensiones generales de la obra (fig. 1.^a), son:

Longitud total	245	m
Anchura útil	38	m
Calado sobre tinos en pleamar viva	10,50	m

estando prevista en el proyecto la construcción de este dique por ocho cajones de aproximadamente 30 m de anchura, medida en el sentido longitudinal.

La forma de la sección transversal del dique seco, como se observa en las figuras, presenta dos zarpas exteriores bajo los muros cajeros, sobre las que carga el terraplén de relleno que rodea al dique, para sumar su peso al del conjunto de las fábricas, permitiendo así reducir la masa de las mismas, que, de no estar envueltas por terraplenes, flotarían un día de pleamar equinoccial al achicar el dique después de cerrarlo con el barco-puerta. Ello determina que el ancho total de dicha sección transversal sea de 53 m, habiéndose adoptado para espesor total de la solera el de 4,80 m.

Este espesor, relativamente débil, dadas las características del dique y la necesidad de resistir la subpresión total, obligó a proyectar una solera fuertemente armada, y, por otra parte, el fondeo de los cajones, su transporte y su ulterior relleno en seco, exigió la construcción de mamparos estancos para poder achicar parcialmente uno o varios de los compartimientos, con el fin de realizar el relleno, también parcialmente, una vez fondeados los cajones en su emplazamiento definitivo. Los cajones previstos son, pues, en realidad, cajones de doble fondo con mamparos transversales al eje del dique, que constituyen las cuadernas de los cajones y que son las almas de las vigas de la solera (fig. 1.^a), cuyas cabezas están precisamente formadas por los dos forjados, inferior y superior, de dicha solera.

Independientemente de estos tabiques existe uno general bajo los tinos, que divide los compartimientos determinados por las cuadernas en dos partes iguales.

Los ataques de los hormigones por la descomposición del cemento portland en las aguas de la bahía de Cádiz, observados en obras anteriormente construídas en dicho puerto, aconsejaron en este caso construir los cajones de hormigón de cemento fundido, de 300 kg/m³, y como consecuencia del empleo de dicho cemento, para aprovechar su alto coeficiente de resistencia y para conseguir un pequeño calado de los cajones en el momento de su flotación, se adoptaron secciones de poco espesor, muy armadas, de aproximadamente 400 kilogramos de hierro por metro cúbico y con cargas en el hormigón de hasta 90 kg/cm² a la compresión en el momento del fondeo, cuando las presiones del agua actuasen sobre los forjados

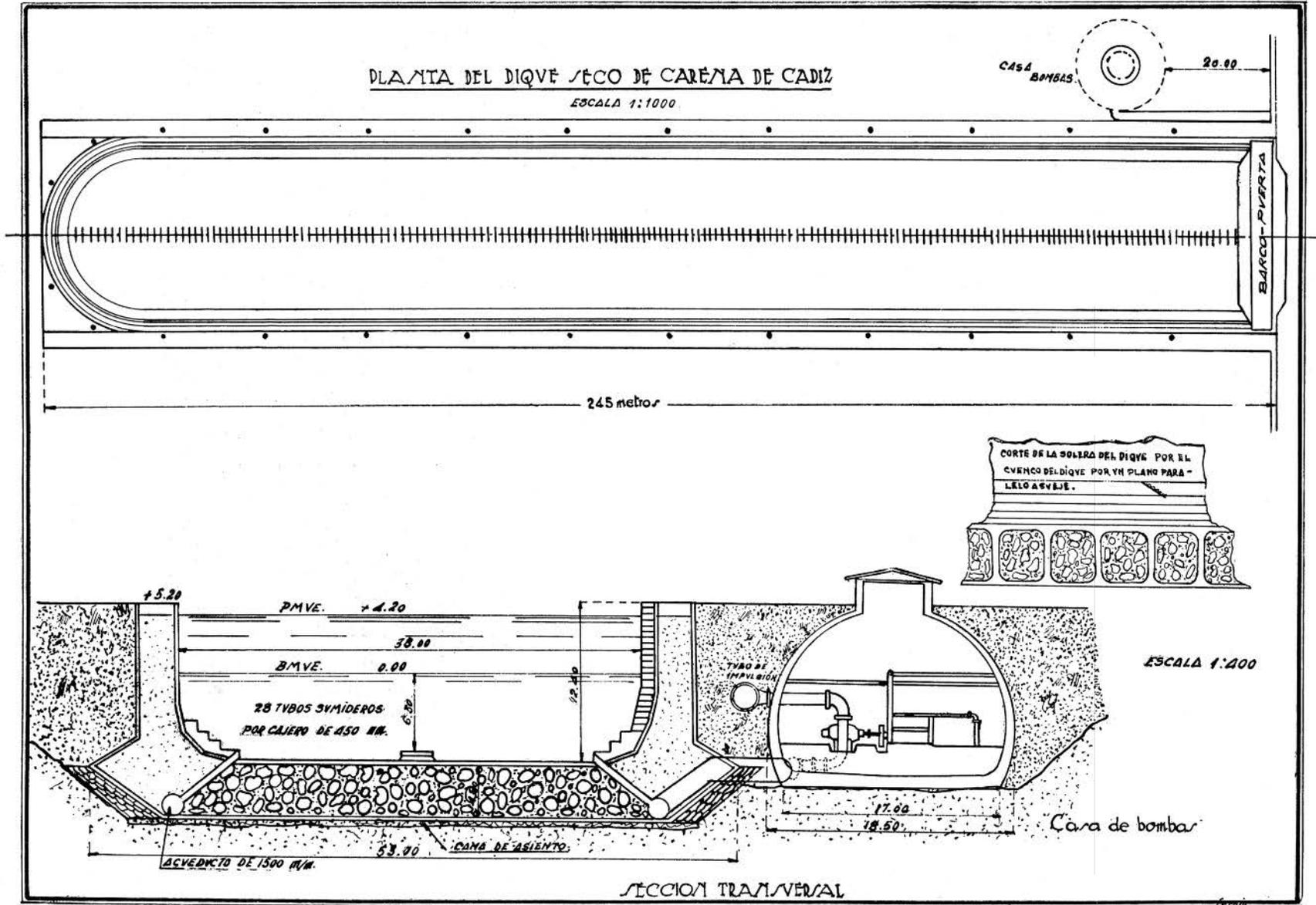


Fig. 1ª

superior e inferior y las paredes del compartimiento agotado para proceder a su relleno.

Según se deduce de las cargas obtenidas en los ensayos verificados, parece posible aceptar sin inconveniente esta elevada carga de trabajo, que existe tan

que produce, evidentemente, una reducción muy grande de las cargas de compresión previstas con arreglo al cálculo ordinario de que el hormigón no resiste a tracción.

El relleno de los cajones se preveía con hormigón ciclópeo de cemento portland, visto que este cemento no había de estar en contacto con el agua del mar, por hacerse dicho relleno en seco, y actuando en los cálculos de la solera únicamente por su peso para aliviar las flexiones hacia arriba producidas por la subpresión cuando se achique el dique.

La sección transversal del dique se calculó obteniendo su curva de presiones, y en los dos casos extremos de solera infinitamente rígida, con las siguientes hipótesis:

- 1.^a Dique lleno, sin empuje de tierras sobre los muros cajeros.
- 2.^a Dique lleno, con empuje de tierras sobre los muros cajeros.
- 3.^a Dique vacío, sin empuje de tierras sobre los muros cajeros.
- 4.^a Dique vacío, con empuje de tierras sobre los muros cajeros.

5.^a Dique vacío, con buque sobre tres líneas de picaderos (quilla y pantoques) y empuje de tierras sobre los muros.

Y estudiando también el caso de una deformabili-

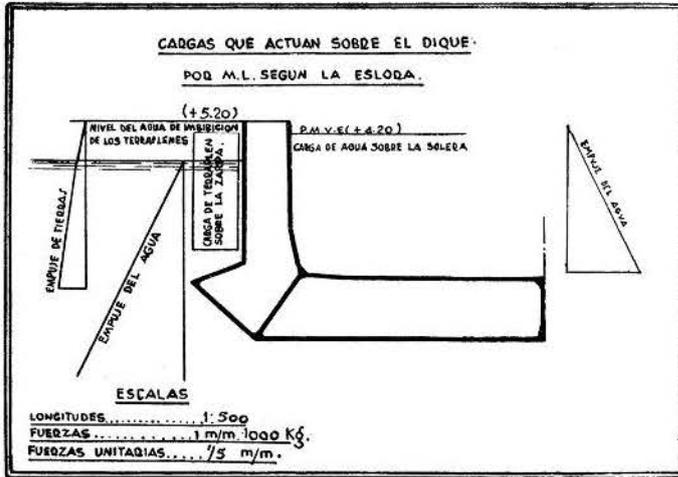


Fig. 2.^a

sólo en el momento del fondeo de los cajones, y más si se tiene en cuenta que los forjados planos trabajan con un elevado coeficiente de seguridad al calcularse con los métodos comunes, y además el cemento fun-

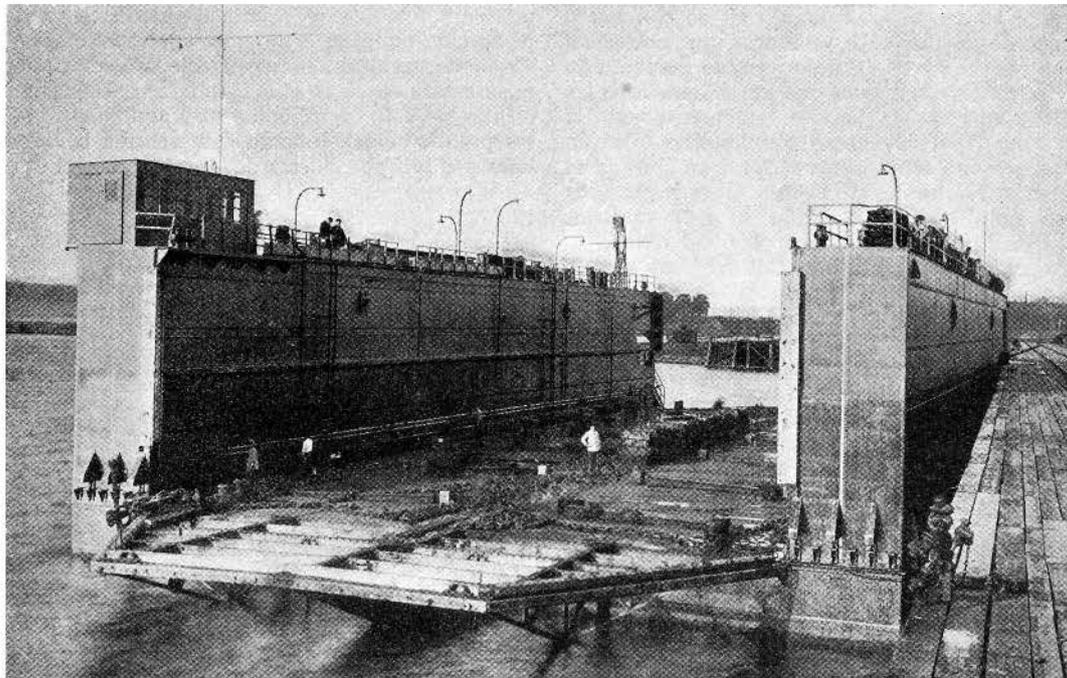


Fig. 3.^a El dique flotante antes de ser preparado para la construcción de los cajones, desembarazándole de cadenas, bitas, tinos, cuñas de pantoques, etc., y antes de montar sobre los cajeros la grúa y el pórtico que se han empleado en las obras

dido presenta una constancia del coeficiente de elasticidad que durante una extensión muy considerable de la curva de cargas determina que los hormigones de cemento fundido resistan bien a tracción en la parte extendida y con coeficientes muy elevados, lo

dad del terreno únicamente en los casos límites de coeficientes de balasto de 10 kg/cm³ y de 100 kg/cm³, para abordar entre estos casos extremos todas las condiciones que el cuenco dragado pudiera presentar, y en las hipótesis siguientes:

- 1.^a Dique vacío, sin empuje de tierras sobre los muros cajeros. Coeficiente de balasto: 10 kg/cm².
- 2.^a Dique con buque sobre tres líneas de picaderos sin empuje de tierras sobre los muros cajeros. Coeficiente de balasto: 10 kg/cm².
- 3.^a Dique vacío sin empuje de tierras sobre los muros cajeros. Coeficiente de balasto: 100 kg/cm².
- 4.^a Dique con barco sobre tres picaderos. Coeficiente de balasto: 100 kg/cm².

Las cinco primeras hipótesis abarcan todas las que pueden presentarse prácticamente con el supuesto

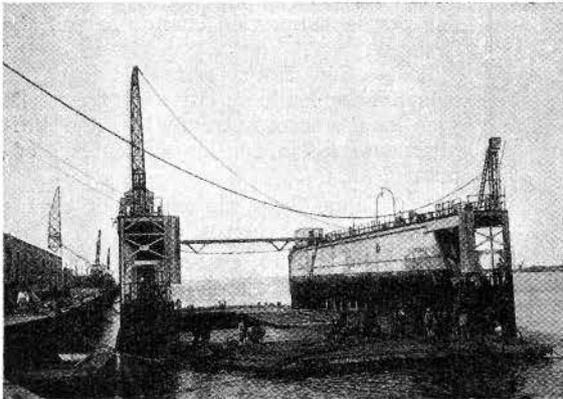


Fig. 4.^a Prueba del dique flotante atracado al muelle del Depósito Franco de Cádiz, después de preparado para la construcción de cajones

de solera infinitamente rígida, es decir, con repartición uniforme de presiones sobre el terreno, pues faltan únicamente las correspondientes a dique con barco sin presión de tierras sobre los muros, que no se han tenido en cuenta porque disminuyen las flexiones en la parte central de la solera, que son en este caso las máximas; y en cuanto a las que tienen en cuenta la deformabilidad del conjunto, comprenden también todas las posibles más desfavorables, ya que en el caso de existir empujes de tierras sobre los cajeros se alivian notablemente también en este caso los esfuerzos en la zona central del plan del dique.

Las excavaciones practicadas con draga de rosario han confirmado lo aproximado a la realidad de dichas hipótesis, puesto que el aspecto general de las mismas es el de lajas calizas, porosas y permeables, de pequeña potencia, que se presentan buzando hacia el mar y que dejan entre sí grandes espesores de arena, a veces con un pequeño légame arcilloso, siendo, por tanto, muy diferente la manera de reaccionar y, por consiguiente, el coeficiente de balasto del terreno ante las cargas que el dique ha de ejercer sobre él en los diferentes puntos de la planta de apoyo de la solera.

En los diferentes casos ha sido comprobada la sección con el método de la curva de presiones, aplicado a los diques secos por Brenecke, y siguiendo el desarrollo del estudio de Zafra sobre la viga directamente flotante, cuando se ha tenido en cuenta la deformabilidad de la solera y el coeficiente de balasto de las tierras.

La suposición de considerar el relleno de los cajones únicamente actuando por su peso, es, evidentemente, más desfavorable que la realidad, ya que puede contarse con alguna trabazón entre dicho relleno y los cajones; pero es, sin embargo, muy prudente, puesto que dicha soldadura no puede resultar nunca

muy perfecta, dada la diferente edad de los dos hormigones y la tan diferente calidad del hormigón armado rico de cemento fundido y del hormigón ciclópeo de relleno.

Los cajones llevan cada uno en ambos lados un trozo de acueducto que constituyen por soldadura los dos acueductos generales del dique, que a su vez se comunican con el cuenco por los sumideros y entre sí, cerca de la cabeza de entrada, por un acueducto transversal que lo comunica con la Casa de Bombas, cajón, como antes se dice, exterior al dique y sumergido en los terraplenes de relleno que lo rodean.

El cajón del fondo del dique, es decir, el más próximo a tierra, lleva también unida su bóveda de cierre, de hormigón de cemento fundido, que contiene los terraplenes resistiendo como una presa en arco empotrada en los muros cajeros, y el de la cabeza de entrada, el quicio del barco-puerta, que ha de construirse por la Factoría de Matagorda de la Sociedad Española de Construcción Naval, según el proyecto presentado por esta entidad dentro del general que sirvió de base a la adjudicación.

Consecuencias de la ejecución

La ejecución de este proyecto planteó desde un principio la necesidad de construir los cajones, de dimensiones verdaderamente extraordinarias, que era necesario emplear, y antes que los demás el destinado a albergar la instalación de agotamiento, que, aunque menor que los otros, presentaba por su forma esférica dificultades de ejecución de bastante importancia. El tener que construir ese cajón antes que los otros era debido a que, como el procedimiento de adjudicación obligaba a intentar agotar el cuenco previamente, resultaba indispensable la construcción del mismo para alojar en él la instalación de agotamiento e intentar éste; pero, como más arriba se ha dicho, los productos del dragado demostraron la imposibilidad y el peligro evidente de intentar ese agotamiento,

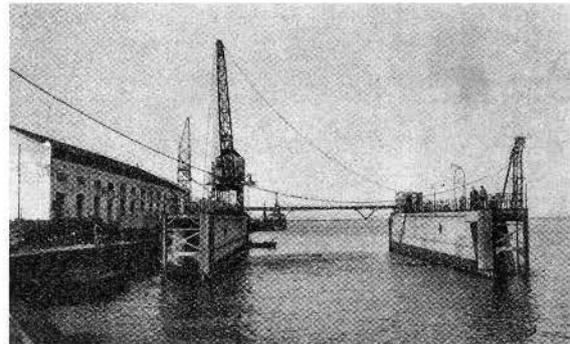


Fig. 5.^a El dique flotante sumergiéndose

y por ello, después de haberse construido dicho cajón, se pasó desde luego a la adopción de la hipótesis de subpresión total y a la construcción, por tanto, de los grandes cajones, con las consiguientes dificultades, determinadas principalmente por su tamaño.

Para simplificar en lo posible la construcción de los cajones y hacerlos en el momento de su botadura más fácilmente manejables y más equilibrados, adopté desde un principio la idea de construir únicamente los fondos, es decir, la solera del dique defini-

tivo, para recrecerlos construyendo los cajeros a flote, solución posible a causa de que, como antes se dice, los cajones son de doble fondo por todo su contorno.

En vista de ello, comparé los procedimientos más comúnmente utilizables para la construcción de los ocho cajones previstos en el proyecto, estudiando el empleo de un cuenco dragado en las orillas de la bahía de Cádiz, según sistema primeramente adoptado para la construcción de los cajones de los muelles holandeses, y estudiando también la ejecución de los cajones en un varadero, viéndome obligado a desear el primer procedimiento por la imposibilidad de mantener sin unos grandes gastos de agotamiento un cuenco impermeable en la bahía de Cádiz, por el carácter de los fangos, muy flúidos, que constituyen sus orillas; y en cuanto al procedimiento de utilizar un varadero, tuve también que abandonarlo por su gran coste, determinado por la mala calidad del cemento antes indicada, y además por la posibilidad de asentos de las diferentes anguilas en que habría de sustentarse el cajón, dada la superficie de planta, que determinarían en él esfuerzos considerabilísimos muy difíciles de estudiar y de contrarrestar, a causa del relativo poco puntal de la eslora ante las dimensiones de la planta del cajón y como consecuencia del relativo pequeño momento de inercia de estos cajones en relación con sus dimensiones exteriores, si se les compara con otros cajones de muelles o de diques de

des que habría de presentar dicha operación, siempre algo delicada en todos los casos, y más con estructuras como la que nos ocupa, de peso por metro lineal mucho mayor que el de los cascos de embarcaciones.

Por otra parte, la necesidad de botar el cajón en el sentido de su eslora, que es la manga exterior del dique definitivo, para disminuir los esfuerzos que en él pudiesen producir los asentos de las diferentes anguilas, llevaba consigo que el cajón tuviese que llevar bastante recreadas sus paredes del lado del mar, puesto que por la pendiente de la grada habría en la botadura de embarcar agua por la borda de fuera, de no poner un alza provisional de bastante altura, desequilibrando, por tanto, el cajón si se recrecía sólo un cajero, o cargando la solera con momentos flectores importantes en la parte central de la misma, si para evitar ese desequilibrio se recrecían ambos cajeros, con el consiguiente aumento de las dificultades de la botadura por el del tonelaje del cajón en el momento de la misma. Este inconveniente de embarcar agua en las botaduras habría podido evitarse también con el empleo de una cama triangular o cuña de botadura, análoga a la empleada, por ejemplo, para los cajones del dique del Musel; pero en cambio de que esto permite botar el cajón en posición horizontal, se precisa que en el extremo o cantil de la grada exista en el momento de la operación un calado igual al del cajón más la altura de

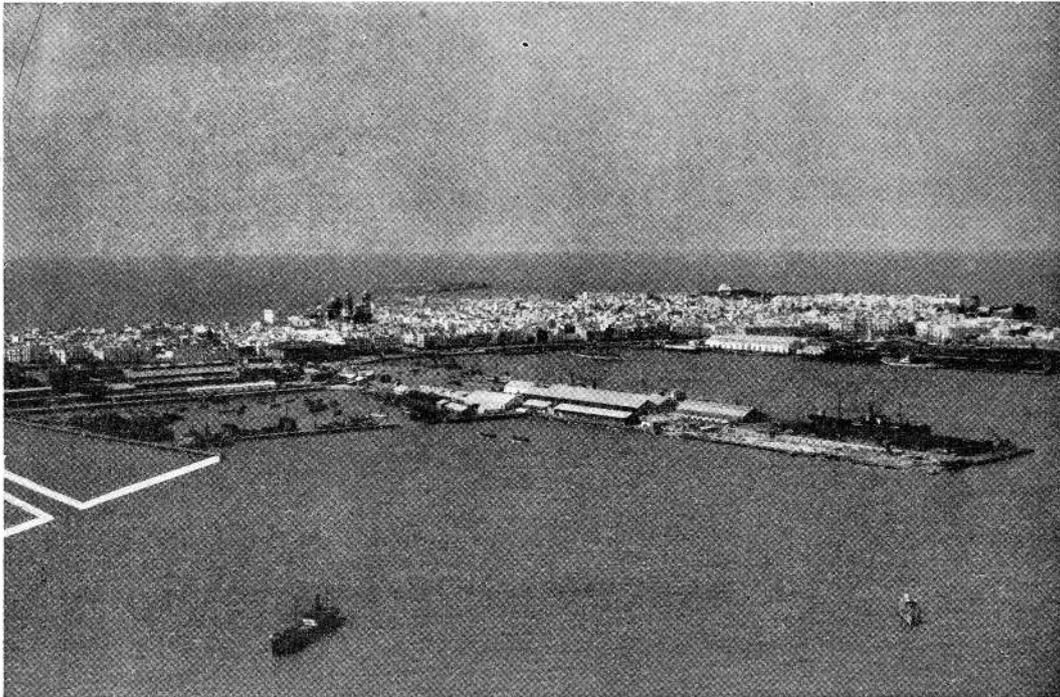


Fig. 7.ª Vista general de Cádiz, desde avión. Se indica a la izquierda, en primer término, la posición que ha de ocupar el dique seco, en construcción. En una de las entradas a la dársena de embarcaciones menores se ve el cajón semiesférico de la Casa de Bombas del dique, y al fondo, la dársena de Moret, con las instalaciones para la construcción de cajones de hormigón armado

abrigo, como los empleados, por ejemplo, en Rotterdam, Cherburgo, Huelva, Gijón, Barcelona, etc.

El tonelaje del cajón, que con las dimensiones primeramente previstas en el proyecto habría de ser, botando únicamente la solera, de aproximadamente 6 000 toneladas en botadura, da idea de las dificultades

de la cama triangular, o sea, para una pendiente de grada de 10 por 100, que nunca debería sobrepasarse, una profundidad total de $4 + 53 \times 10$ por 100 = 9,30, que aun realizando las botaduras en el repunte de las menores pleameres vivas, de 3,06 m de carrera y de 3,60 m de cota sobre la bajamar viva

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

equinoccial, exigía, por tanto, el cimentar el cantil a un calado mínimo de $9,30 - 3,60 = 5,70$ m bajo bajamar, con un coste elevado de construcción del varadero, ya que no existe en la bahía de Cádiz ninguna grada de las características necesarias que pudiera utilizarse.

Este dique flotante está desde mayo de 1929 atracado al extremo Sur del muelle del Depósito Franco y amarrado sencillamente con cabos y cadenas a tierra y a muertos previamente situados en la dársena, y para el servicio del armado, encofrado y hormigonado de cajones que en él se realiza, ocupan las ins-

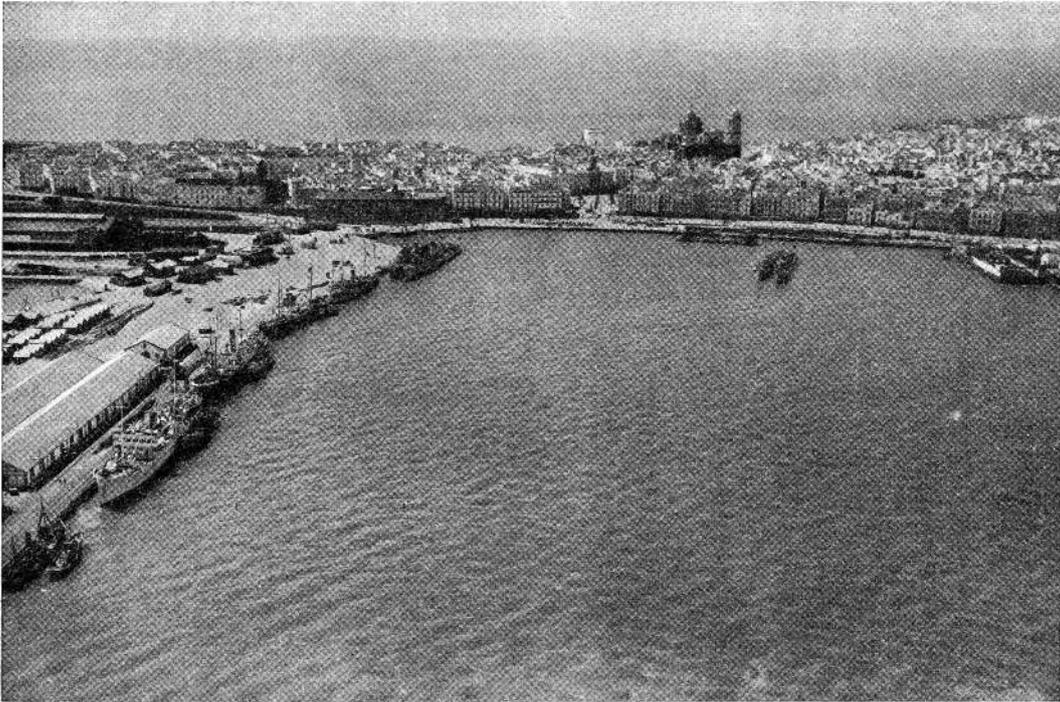


Fig. 8.^a Vista de la dársena de Moret. A la derecha, en el extremo Sur del muelle del Depósito Franco, el dique flotante y las instalaciones para la construcción de cajones de hormigón armado, y abarloado al muelle, frente a la Catedral y detrás de los dos destructores amarrados a la boya, uno de los cajones, a flote

En vista de ello, adopté el procedimiento de construcción de los cajones en dique flotante; pero ante la imposibilidad de encontrar un medio auxiliar de esta índole que permitiese botar cajones de la planta de 30×53 m prevista en el proyecto, ya que no podría hallarse una manga tan grande para una eslora tan corta en un dique flotante normal construído para carenar barcos, reduje el ancho de los cajones en el sentido del eje del dique a 17 m, aumentando, por tanto, el número de cajones primeramente previsto, de 8 a 14, y con ello el de juntas o soldaduras de los diferentes cajones entre sí.

Después de una rebusca bastante trabajosa se adquirió por la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Cíviles un semidique de 50 m de eslora de pontón, 65 m de eslora total entre extremos de las plataformas voladas y 18 m de manga útil interior entre cajeros (fig. 3.^a), que ha sido el utilizado, hasta la fecha con éxito, para la construcción de los cajones, que en el momento de su botadura tienen, aproximadamente, 3 000 toneladas de desplazamiento y dimensiones, como más arriba se ha dicho, de 53×17 metros de planta y 6,50 m de puntal en el momento de flotar.

talaciones accesorias que se indican en la figura 6.^a una superficie de 5 650 m², realmente insuficiente si se tiene en cuenta que al comienzo de la construcción de cada cajón se vienen colocando en una semana, es decir, seis días de trabajo, y en un tajo de obra de tan reducida extensión, más de 250 toneladas de armaduras en redondos de 30 mm de diámetro máximo, con arreglo a más de 100 tipos de barras diferentes, lo que exige tener bien organizado e inventariado el almacén de barras dobladas, que ocupa una gran parte del terreno preciso, que, por otra parte, está muy disminuído por el área imprescindible para los acopios, tanto de gravas y arenas como por la correspondiente al almacén de cemento.

La fotografía de la figura 3.^a muestra al dique flotante preparado para carenar embarcaciones, con tinos, cuñas de pantoques, instalación de aire a presión, etc., y las 4.^a y 5.^a, una vez suprimidos esos accesorios, preparado ya para el hormigonado de cajones y realizando las pruebas verificadas en Cádiz en mayo de 1929, antes de comenzar su utilización.

En próximos artículos se hablará de lo realizado hasta la fecha y de las consecuencias que de ello se deducen.

José ENTRECANALES IBARRA
Ingeniero de Caminos

La construcción del dique seco de Cádiz¹

II

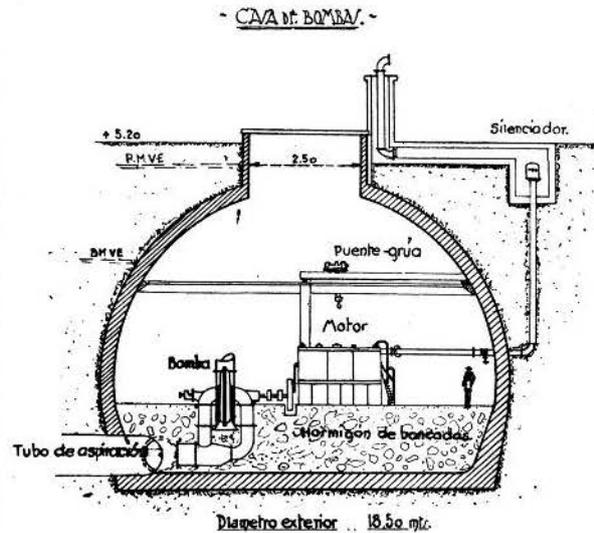
Construcción de los cajones

Al acometer la construcción de los cajones, era necesario construir primeramente el destinado a ser Casa de Bombas del dique, segmento hueco de esfera algo mayor de su mitad y, por tanto, de aspecto bulbiforme, con un gollete de entrada en la parte alta que, como se observa en la figura 1.^a del artículo anterior, se prevé para el acceso a la Casa de Bombas desde los terraplenes del dique, habiéndose adoptado esta forma de cajón poco común con objeto de disminuir su flotabilidad por el estrechamiento superior de su volumen, sumergiéndolo, sin embargo, considerablemente en los terraplenes para disminuir la altura de aspiración de la instalación de agotamiento y reduciendo, además, con el estrechamiento del gollete el coste del techo de la Casa de Bombas, que habría que proyectar, evidentemente, para la sobrecarga considerable actuante sobre los terraplenes de servicio del dique.

Éllo ha traído como consecuencia un coste mayor de encofrado y hormigón por unidad ejecutada, a causa de la forma esférica del bloque; pero su presupuesto total resulta menor que el de un cajón o una casa de bombas del tipo paralelepípedo ordinario.

Este monolito se encuentra actualmente comple-

tamente terminado, como se ve en la fotografía de la figura 11 que acompaña a esta Nota, y pendiente de



la preparación en él de las bancadas de hormigón en masa para la instalación de agotamiento, que presenta las características que a continuación se indican:

¹ Véase el número anterior, página 417.

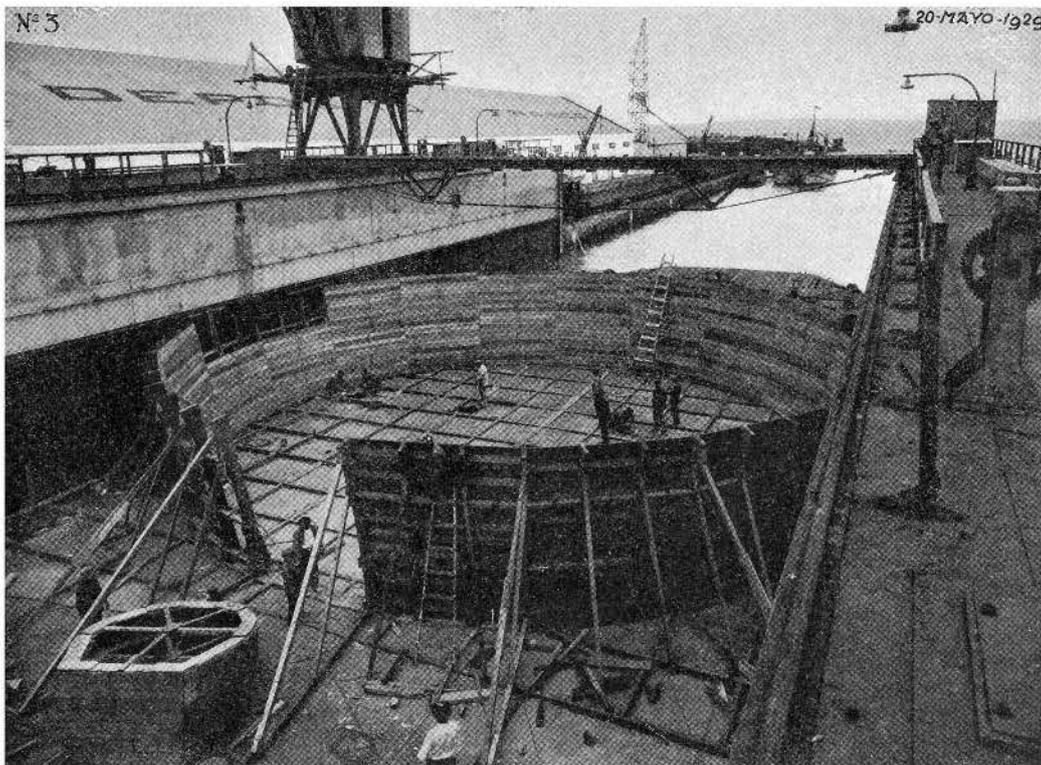


Fig. 2.ª El encofrado de la Casa de Bombas, visto desde uno de los cajones del dique flotante. En primer término, el molde interior del tubo de aspiración

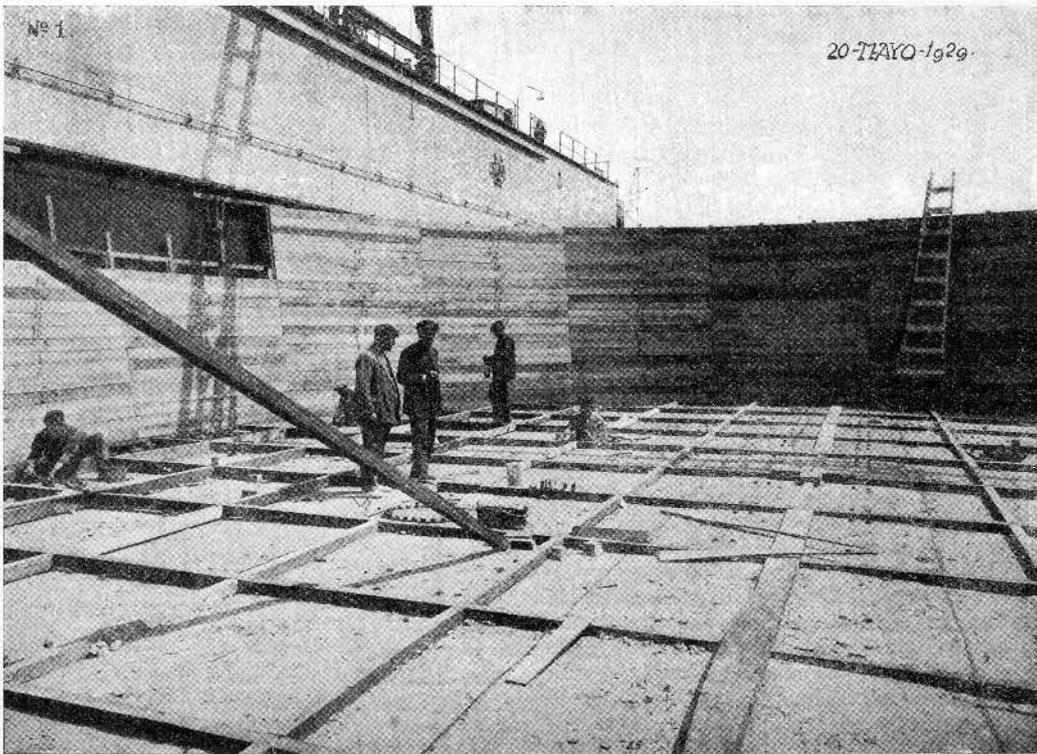


Fig. 3.ª Preparación de la cuadrícula de rastreles sobre el plan del dique flotante para el encofrado de la Casa de Bombas

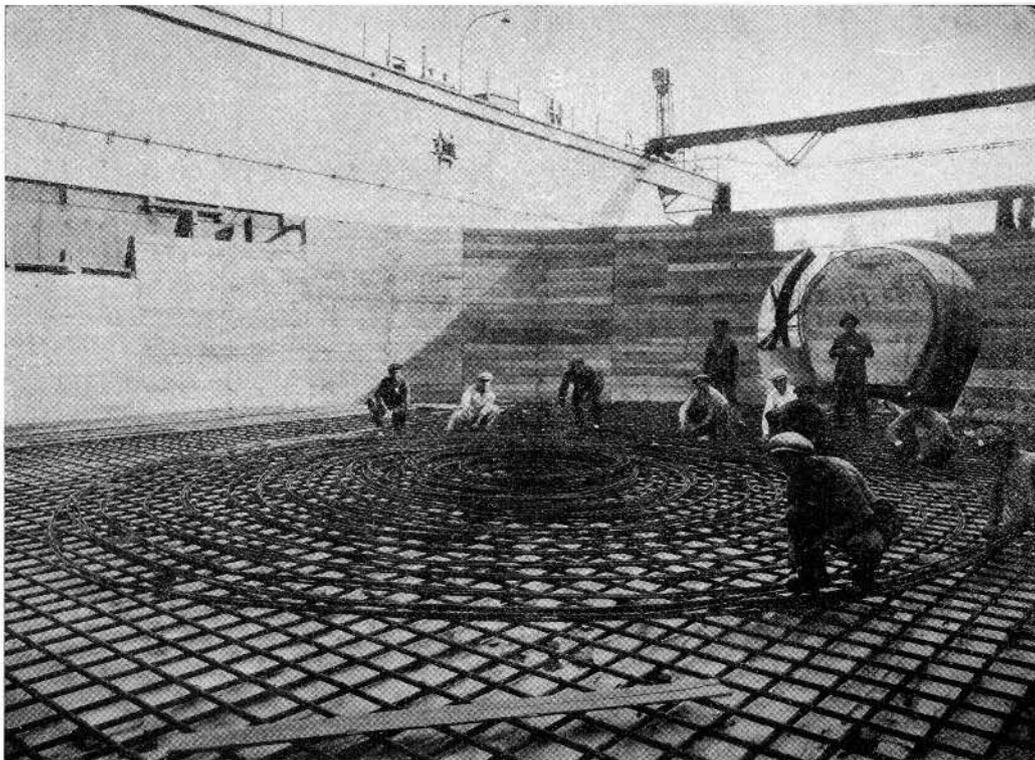


Fig. 4.ª Montaje de la armadura inferior del fondo del cajón de la Casa de Bombas

Cuatro bombas centrífugas «Levant», patente Herro-Egaña, para ser accionadas por acoplamiento directo por motores Diesel. Las bombas son de eje horizontal, tipo de doble aspiración, con turbina impulsora de bronce fosforoso, de las características siguientes:

Gasto.....	1 625 litros
Altura manométrica total..	11 metros
Velocidad.....	215 r. p. m.

y están movidas por cuatro motores Diesel de cuatro tiempos y simple efecto vertical, de seis cilindros sin compresor, dispuestos para funcionar con aceites pesados y desarrollando cada motor, a la presión de 760 mm, una potencia normal de 390 CV efectivos, a 250 revoluciones por minuto.

igualmente todas las estructuras que se encuentran en contacto con el agua), después del fondeo de dicho cajón.

Este cajón, una vez terminado, tiene, aproximadamente, unas 1 600 t de desplazamiento, sin contar el hormigón de cimiento de los motores, actualmente sin construir, y fué botado con un puntal de sólo 6 m y un desplazamiento de 1 000 toneladas, para reducir el tiempo de ocupación del dique flotante y disminuir asimismo las flexiones que éste habría de sufrir durante la construcción del cajón, que por su reducida planta, comparada con la del dique, actuaba en la parte central de éste como una carga aislada.

Esta primera botadura así facilitada resultó un ensayo que sirvió para adiestrar al personal en el manejo y lastrado del dique, para evitar sus defor-

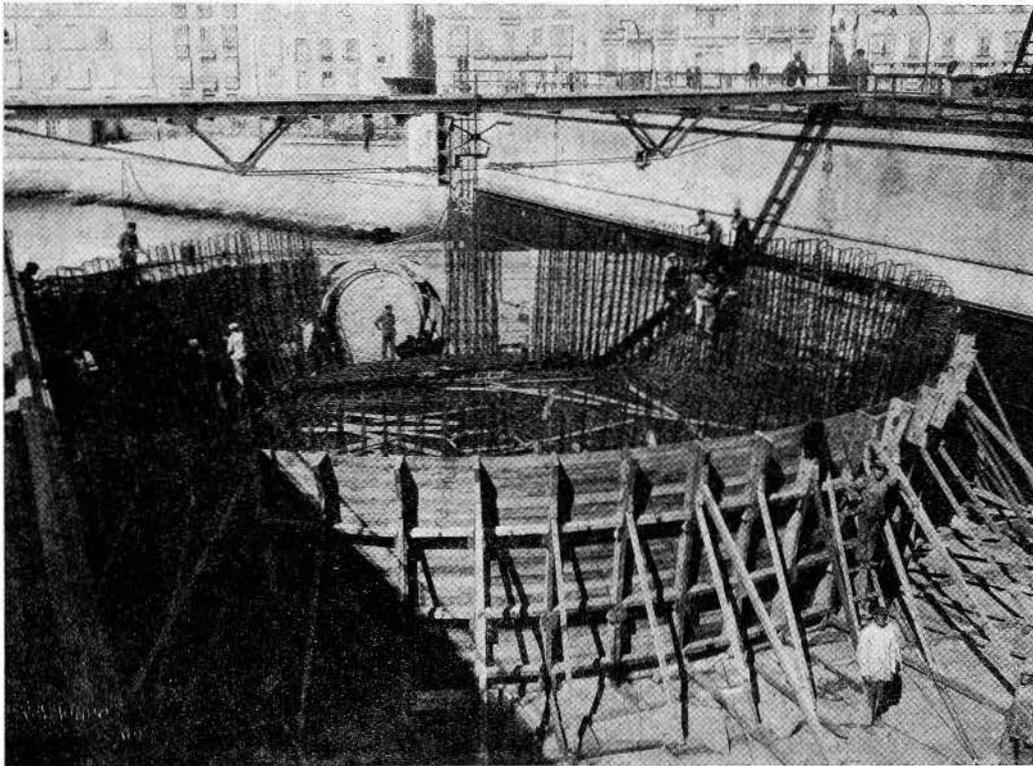


Fig. 5.ª Terminación del montaje de la armadura del cajón de la Casa de Bombas

El tubo de aspiración, de 2,20 m de diámetro útil, desaguará en las bombas un caudal de 10,5 m³/s, aproximadamente, en régimen normal, y tanto las cifras de caudales y velocidades, como la circunstancia de estar toda la instalación sumergida en terraplenes a bastante profundidad bajo las bajamares, ha obligado a prever compuertas y válvulas de retención, tanto del lado de la aspiración como del de la impulsión, que ha de hacerse por un tubo paralelo al dique, que saldrá de la Casa de Bombas por encima de la bajamar, para desembocar en el mar al lado izquierdo de la cabeza de entrada.

Como se indica en el plano de la figura 1.ª, dicha maquinaria tiene cimentaciones importantes de hormigón en masa de cemento portland, que han de construirse dentro del cajón de hormigón armado de cemento fundido (de cuyo material se componen

maciones, preparándolo para las otras botaduras, que habrán de ser más difíciles y delicadas.

El hormigonado de la Casa de Bombas se hizo sobre una cama de arena revestida por una capa de mortero que para todos los cajones se ha construído sobre el plan del dique flotante, para envolver las pequeñas irregularidades determinadas por las cabezas de tornillos o remaches de la cubierta del dique flotante y para asegurar asimismo por su permeabilidad, y a pesar de la gran superficie de apoyo del cajón, la acción de la subpresión que garantiza la fácil flotabilidad del bloque y evite que pueda quedar adherido al dique, en el momento de la botadura.

Una vez botada la Casa de Bombas, se transportó el cajón a la dársena de embarcaciones menores del puerto de Cádiz, donde ha sido recrecido y terminado hasta su estado actual.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Las fotografías de las figuras 2.^a á 11 que se unen a esta Nota dan clara idea de las tres fases principales de la marcha de la construcción: 1.^a, preparación

cular de 17 m de diámetro, sometida a la subpresión de 14,5 t/m² producida por la carga del agua de imbibición de los terraplenes que han de rodear al dique

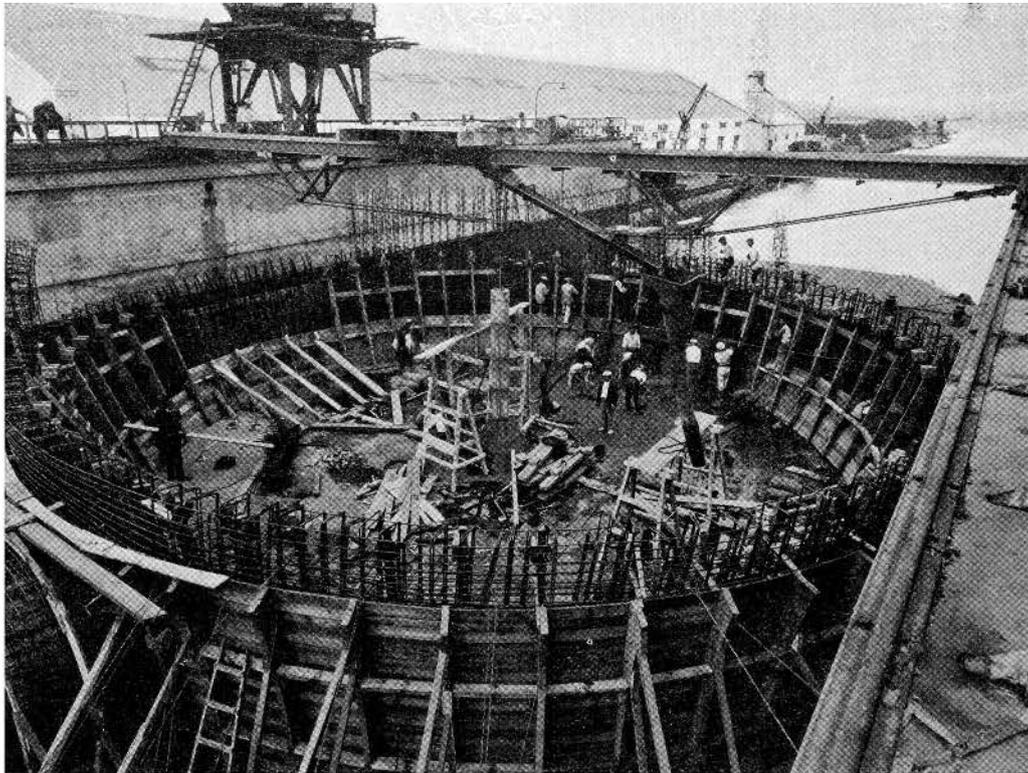


Fig. 6.ª Hormigonado de la Casa de Bombas. En el centro, la columna de apoyo del puente-grúa de servicio de la instalación de agotamiento

del piso igualado y permeable de arena enrasada sobre cuadrícula de rastreles, revestida con mortero, encima del plan del dique flotante; 2.^a, montaje del en-

seco, por la existencia en cada cara de la misma de una triple armadura, la de aros y la recta en dos sentidos ortogonales, en sustitución de la radial exigida por el cálculo.

En las fotografías de las figuras 5.^a y 6.^a se ve también la columna central construida con el cajón en el dique flotante, que ha de servir de apoyo al puente-grúa de servicio de la instalación de agotamiento y que ha de sustentarse en ese pivote y en la viga de planta circular unida a las paredes del cajón que se ve en el plano de la figura 1.^a

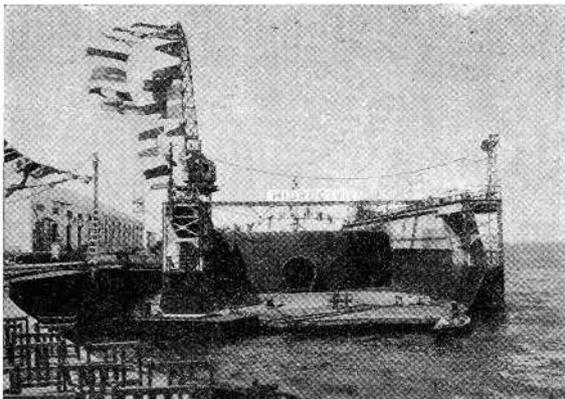


Fig. 7.ª El cajón de la Casa de Bombas preparado para botarse

cofrado y construcción del cajón hasta el puntal de 6 m, y 3.^a, botadura, remolque y recreado a flote hasta su estado actual.

Por ser este el primer cajón, y por estar aún el personal poco adiestrado, su construcción presentó dificultades, especialmente para la colocación de la armadura del fondo del cajón, calculado para el servicio definitivo de la Casa de Bombas como placa cir-

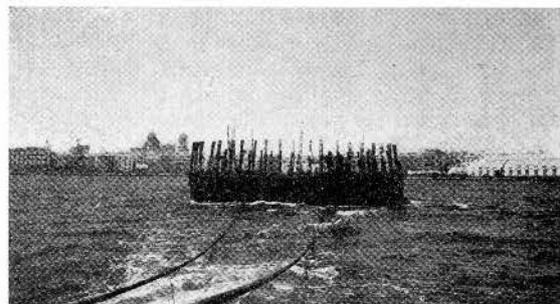


Fig. 8.ª Transporte del cajón después de su botadura

El acceso a la Casa de Bombas se prevé por el golete de entrada y por una escalera de caracol adosada al cajón — loxodrómica, en este caso — para

el descenso hasta la planta de máquinas. Ello lleva consigo que esa escalera atraviese el plano de movimiento del puente-grúa, del que será por ello

tubo y el unido al penúltimo cajón del dique es un problema constructivo relativamente fácil, que puede resolverse de manera análoga a la seguida en obras

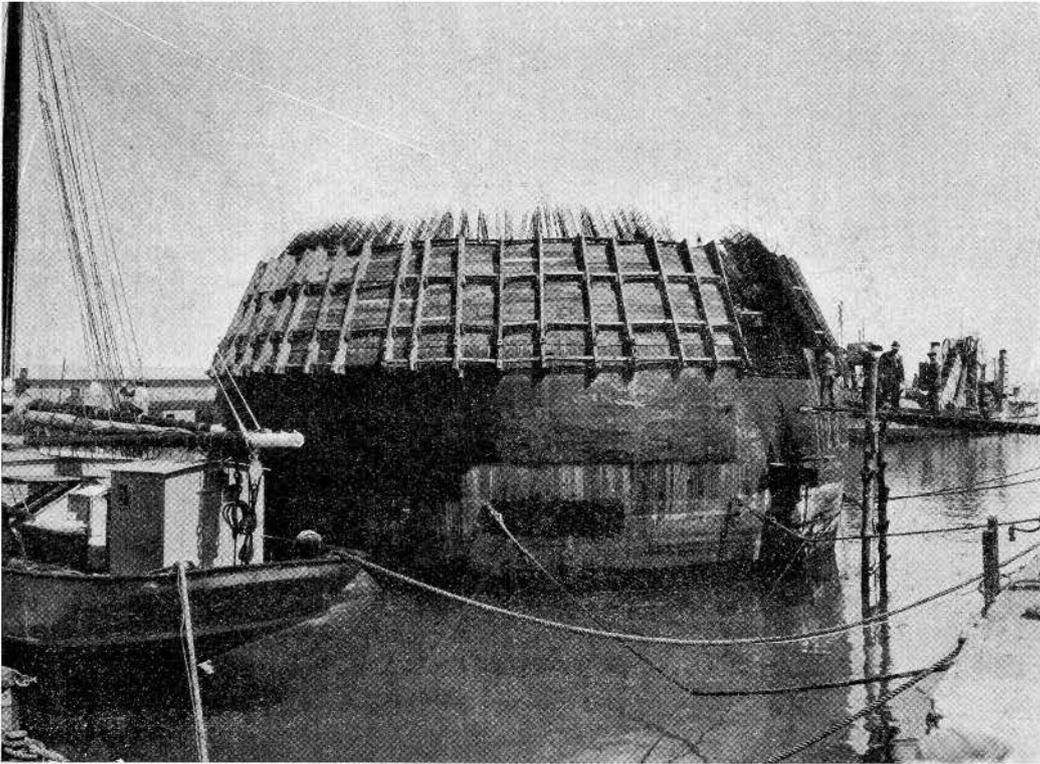


Fig. 9. Prosección del recrecido de la Casa de Bombas a flote

necesario condenar un sector que se aprovechará también para la subida hasta el nivel sobre bajamar del tubo de impulsión, que atravesando la pared del cajón esférico, saldrá después de la Casa de Bombas para desaguar en el mar.

Para realizar la inserción de la Casa de Bombas en el dique seco se proyecta construir el penúltimo cajón con un tubo-acueducto transversal que, por una de las células de la solera del dique, comunicará sus dos acueductos longitudinales, prolongándose exteriormente al cajero izquierdo del dique en una parte del tubo de aspiración. Este trozo de tubo deberá salir moldeado con el cajón al botarse en el dique flotante, y llevará tapada su única boca por una cúpula de rasilla, precaución que se sigue en todos los tubos-acueductos de todos los cajones y que facilita la toma de las juntas entre los distintos trozos de los mismos que lleva cada cajón, por el procedimiento que se indicará más adelante, y que permitirá además, en su día, achicar una cierta longitud de acueducto para inspección o reparación, a pesar de mantener a flote el cajón o bloque de cajones soldados correspondientes.

Análogamente, y como muestran las fotografías, el cajón esférico destinado a albergar la instalación de agotamiento ha sido moldeado ya en el dique flotante con el principio del tubo de aspiración, que en un largo de aproximadamente 2 m sobresale de la pared del cajón, que no está interrumpida por el tubo.

El restablecimiento de la continuidad entre este

semejantes, tales como la unión entre los cajones utilizados para realizar el paso de metropolitanos por debajo de ríos—por ejemplo, últimamente el túnel bajo el río Spree, en Berlín—, y en este caso particular, aún creo que ha de ser problema más sencillo. Bastará para ello hincar hasta la cota aproximada de 12 m bajo bajamar, ya que la tangente inferior al tubo está a 9 m bajo el mismo nivel, dos tablestacados, entre el dique y el cajón esférico y uno a cada lado del tubo de aspiración, para constituir entre el

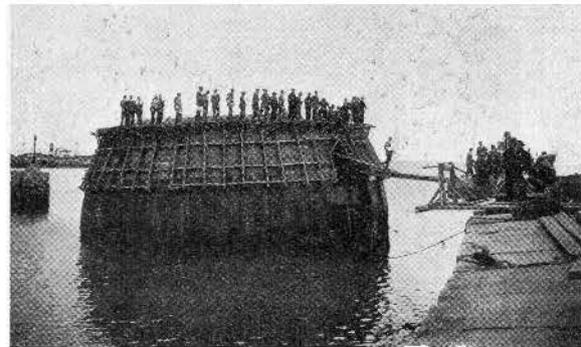


Fig. 10. Visita de los alumnos de la Escuela de Caminos, en viaje de prácticas, realizado en diciembre de 1929

cajero, la Casa de Bombas y los dos tablestacados, un recinto-ataguía, que si no resulta agotable, permitirá, por estar protegido por todas las tierras que han

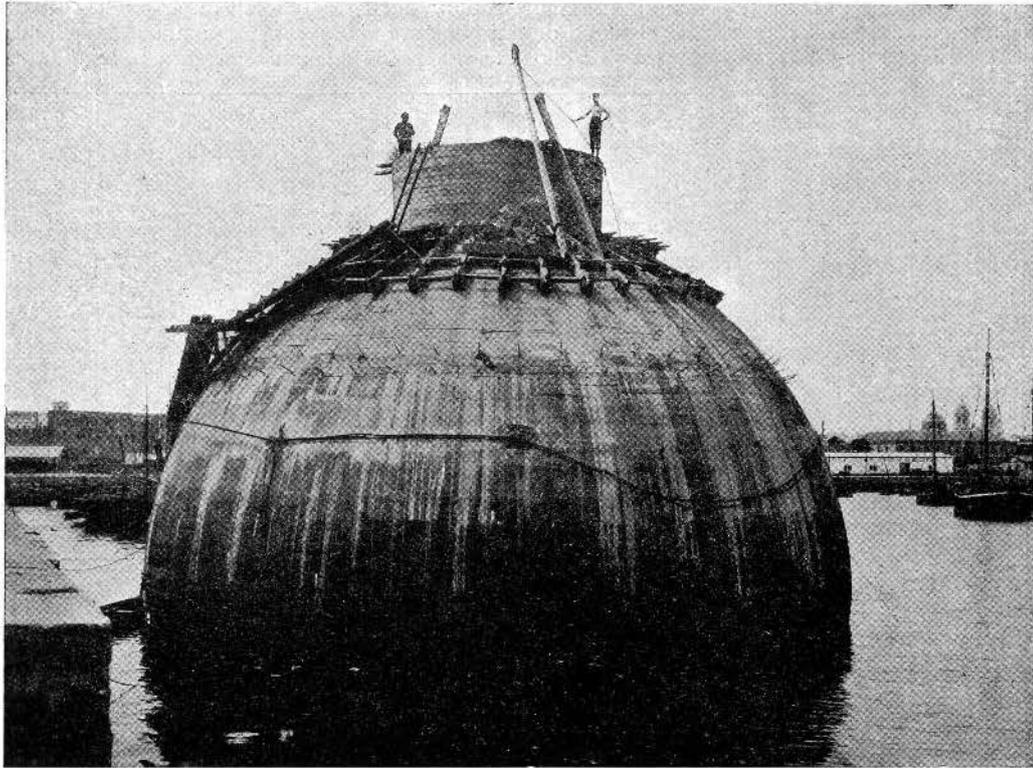


Fig. 11. El cajón de la Casa de Bombas, terminado y a flote, en la dársena de embarcaciones menores

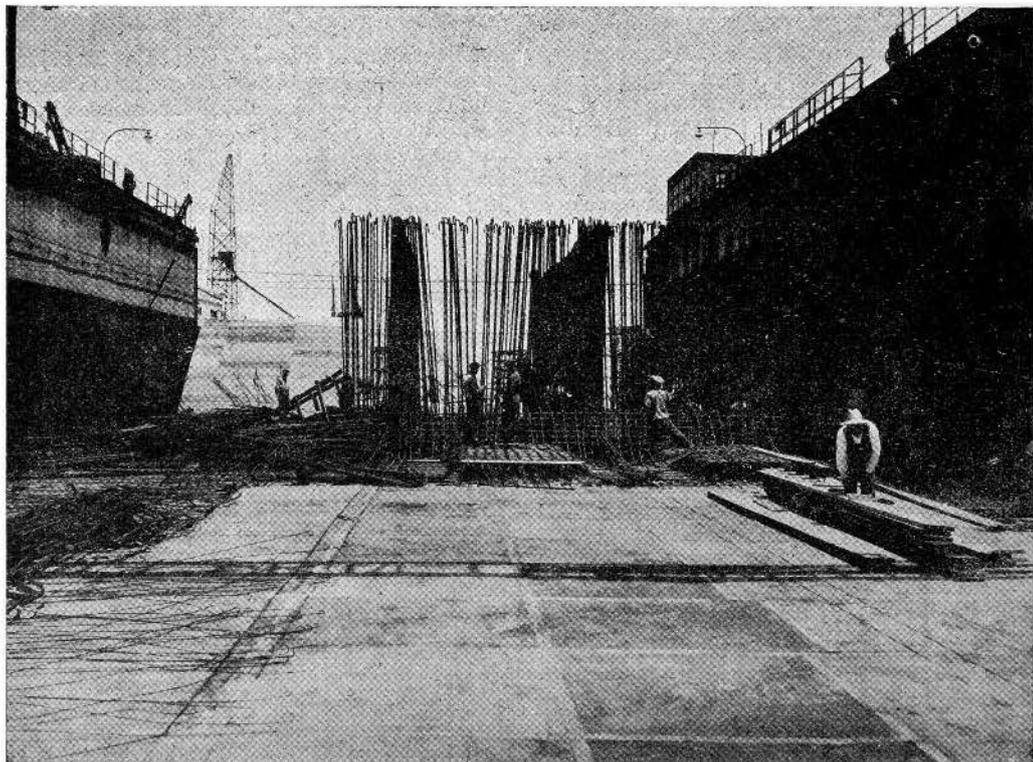


Fig. 12. Montaje de la armadura de uno de los grandes cajones sobre el plan del dique flotante ya preparado para el encofrado del fondo

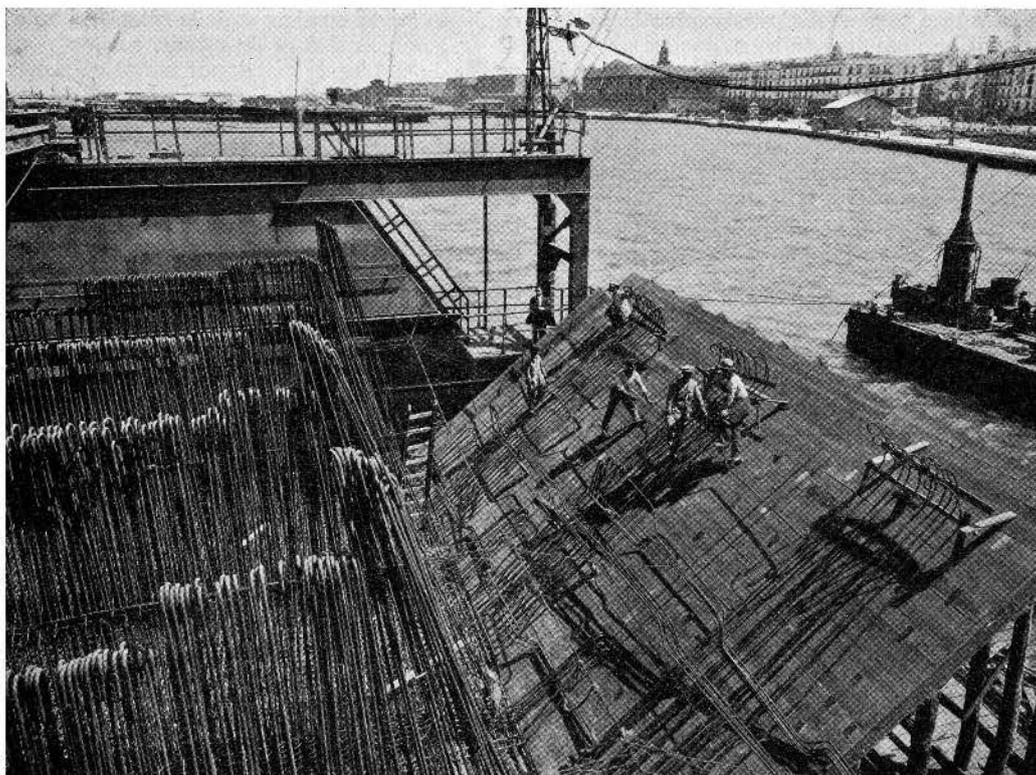


Fig. 13. Armadura de la zarpa interior del cajón por el lado de tierra

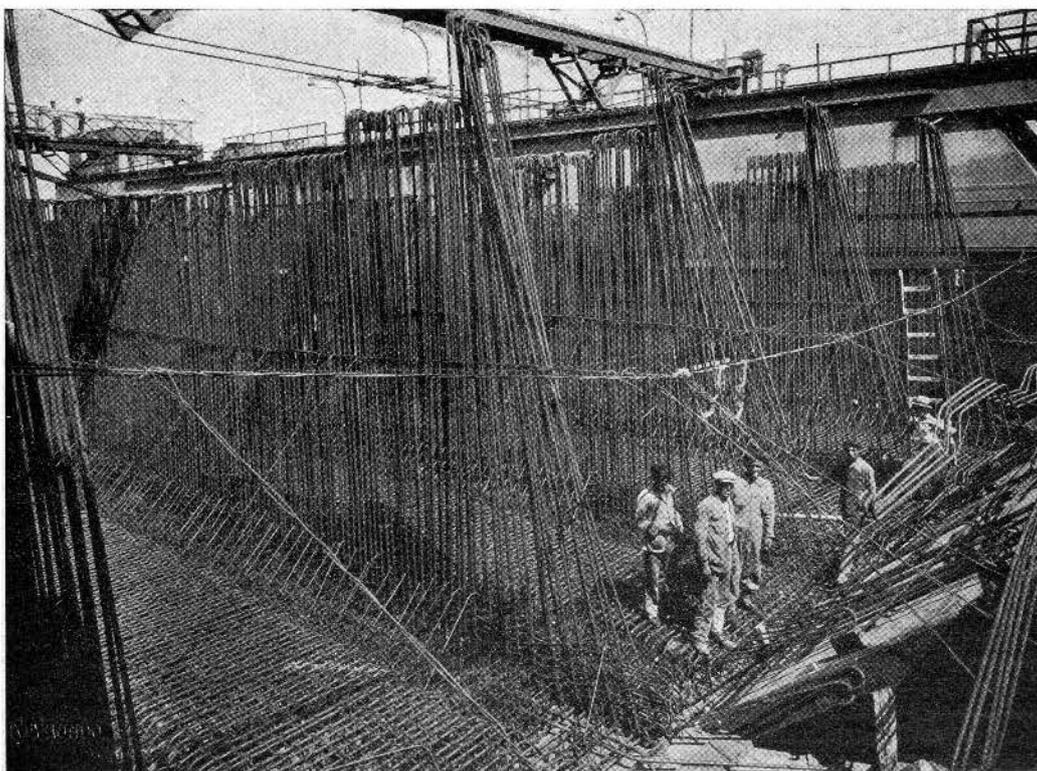


Fig. 14. Armaduras de los mamparos del cajón, que son vigas cuadernas de la solera del dique, para su trabajo definitivo

de rodear el dique seco, hormigonar satisfactoriamente un taco que para soldarlos envuelva la junta entre los dos tubos, empleando hormigón sumergido, o, si es preciso, el aire comprimido, poniendo un techo estanco sobre el recinto ataguado.

Ejecutada esa soldadura, y para conseguir la continuidad buscada, bastará penetrar por el lado del dique en el tubo de aspiración, por la chimenea de equilibrio que dentro del muro-cajero ha de llevar la instalación, y destruir el tapón del tubo de aspiración del dique y la pared de la Casa de Bombas en la parte correspondiente al área de dicho tubo.

De los catorce grandes cajones que han de formar el dique seco propiamente dicho, van hasta la fecha (septiembre de 1930) construídos seis. Las dimensiones de los mismos ($53 \times 17 \times 6,50$ m y 3 000 toneladas de desplazamiento en botadura), aunque úni-

Las paredes de la parte del cajón que se construye en dique (vigas cuadernas de la solera), son de 26 cm de espesor y casi 5 m de altura, con un porcentaje medio de 400 kg de hierro por metro cúbico, aproximadamente, lo que obliga a encofrar por pequeñas alturas (20 ó 30 cm) y a vigilar cuidadosamente la mano de obra de apisonado, ante la imposibilidad de que el hormigón pueda verterse desde altura apreciable, ya que resulta muy difícil hacerle penetrar por entre la armadura, y más a causa de la calidad del cemento, ya que el fundido da hormigones algo más coloidales y pegajosos que el portland, aun para una cantidad de agua de amasado del 60 por 100 del peso de cemento, que es la relación agua-cemento, que en los de esta clase viene dando aproximadamente el máximo de resistencia mecánica.

El encofrado es mixto, de madera y hierro, adaptán-

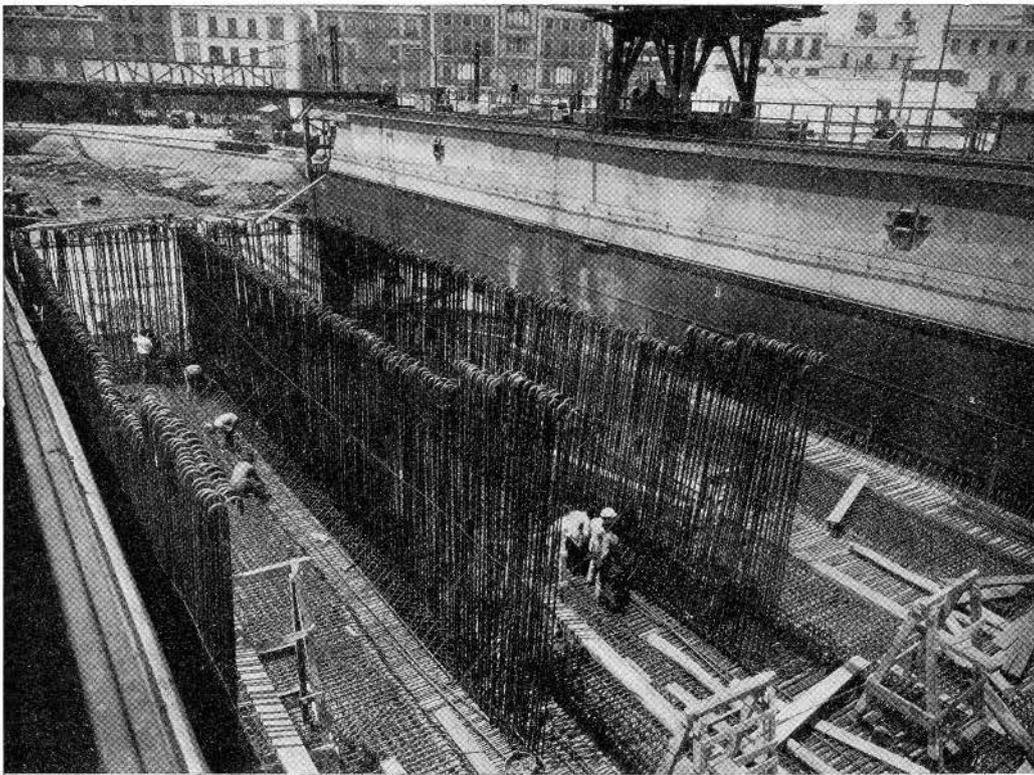


Fig. 15. Armaduras de los mamparos del cajón. En dirección transversal se ve la armadura del tabique bajo los tinos del dique definitivo

camente se botan los fondos, es decir, la solera del futuro dique, hormigonándolos hasta el arranque exterior de cajeros, como se ve en las fotografías de las figuras números 21 a 26, han exigido precauciones especiales para su construcción, y más teniendo en cuenta que el cajón de 17 m de manga se bota en un dique flotante de 17,60 m de manga útil neta, lo que determina una salida bastante poco sobrada en la botadura, dada la longitud de 53 m; sin embargo, dichas operaciones han resultado tan sencillas, que, a pesar del poco espacio disponible, como puede observarse en las fotografías, no ha habido que lamentar hasta ahora daño alguno, habiendo permitido, además, el empleo del dique flotante, corregir y repetir cada botadura para no sacar el cajón del dique hasta suprimir cualquier exudación o filtración pequeña que pudiera presentar.

dose a las formas curvas y complicadas de los cajones, y para simplificar su montaje se ha dibujado el cajón en los cajeros del dique flotante, para colocar entre dichos cajeros tensores de cable que constituyen una malla de referencia para la colocación de la armadura y del encofrado.

El hormigonado se hace utilizando una grúa sobre pórtico y un pórtico con un polipasto que corren sobre los cajeros del dique flotante y que cogen del muelle los baldes que vienen de la instalación de hormigonado, que está constituida por una hormigonera de medio metro cúbico, auxiliada por otra de un tercio de metro cúbico para casos de avería, un dosificador de peso para los áridos y los acopios de grava, arena y cemento necesarios.

En la obra se siguen todos los procedimientos corrientes (cubos, tacos, barras cortas de redondo, etc.),

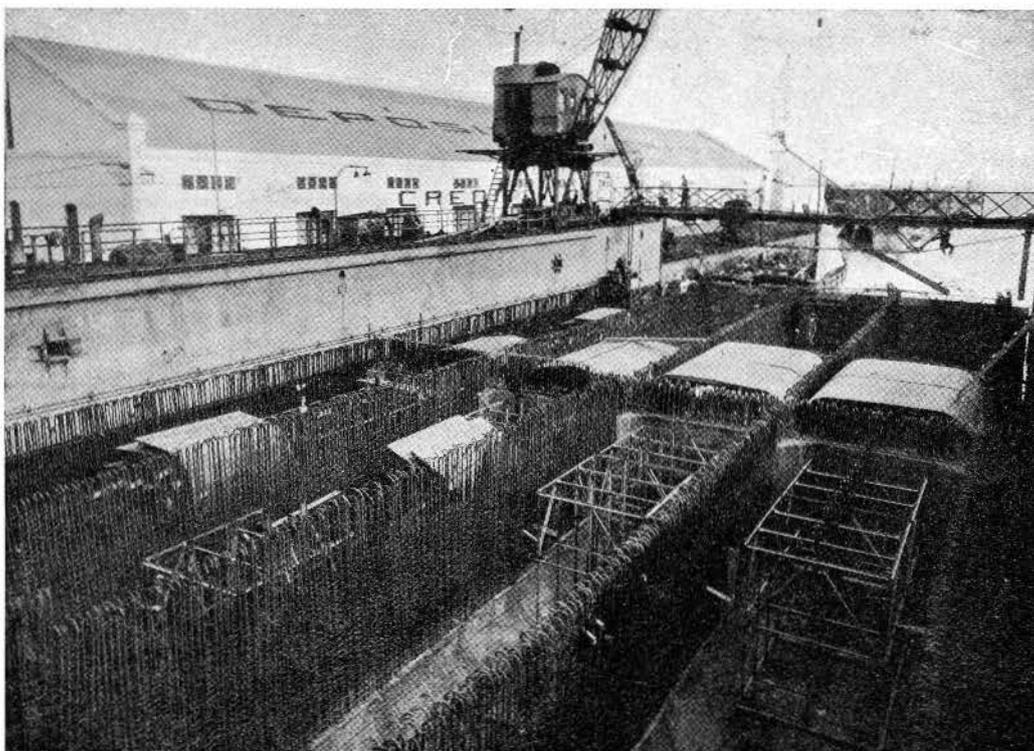


Fig. 16. Principio del encofrado del techo del cajón núm. 1

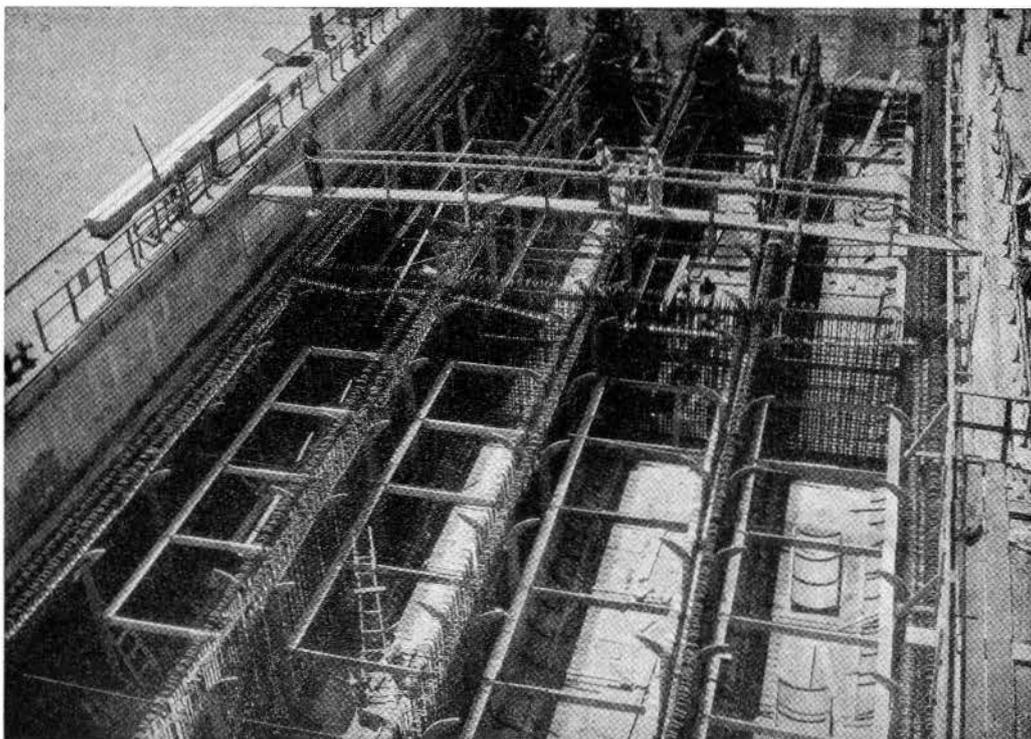


Fig. 17. Vista del cajón núm. 4 desde la grúa montada sobre los cajeros del dique flotante. Al fondo, uno de los dos trozos de tubo-acueducto del dique, que lleva cada cajón

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

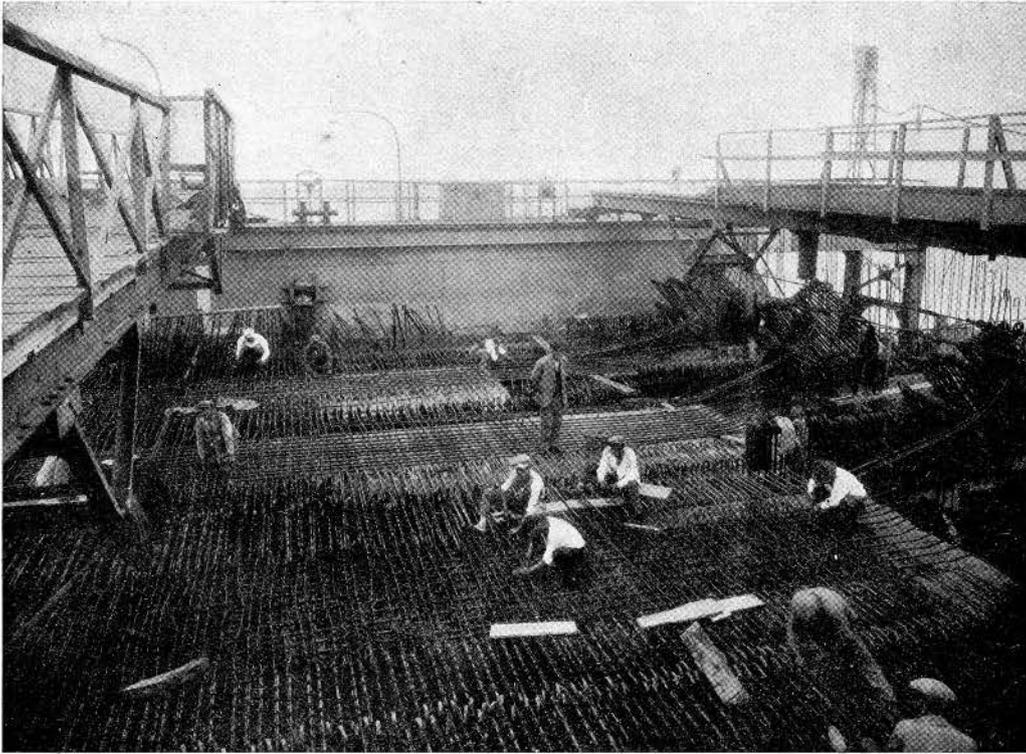


Fig. 18. Colocación de la armadura para el techo del cajón

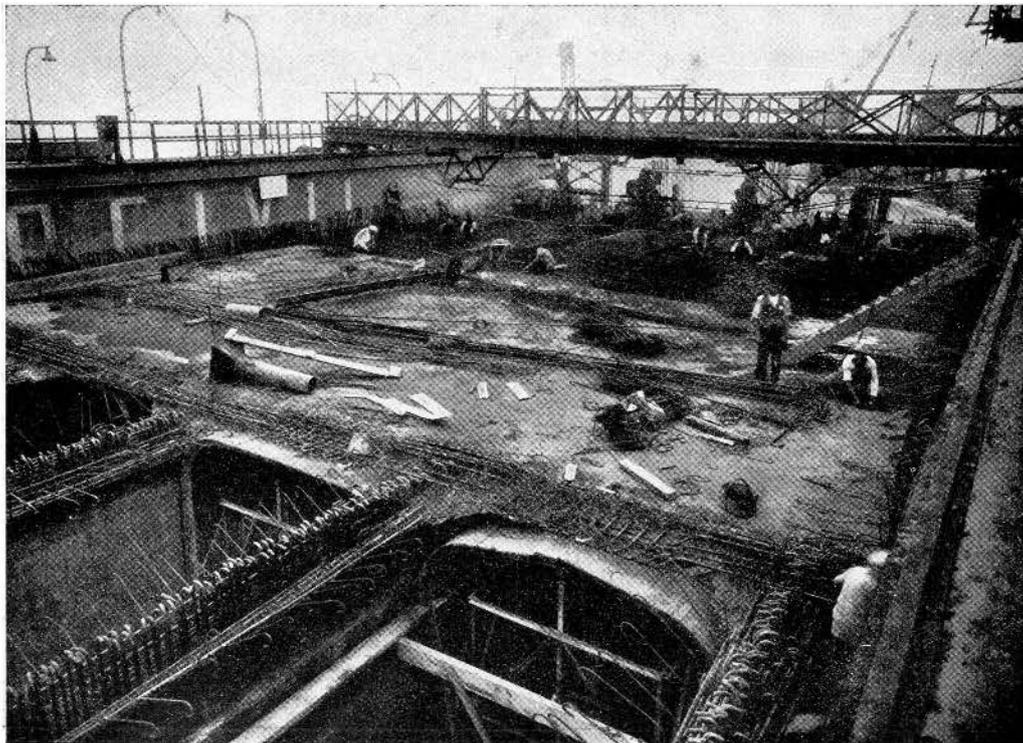


Fig. 19. Armado y hormigonado del techo del cajón

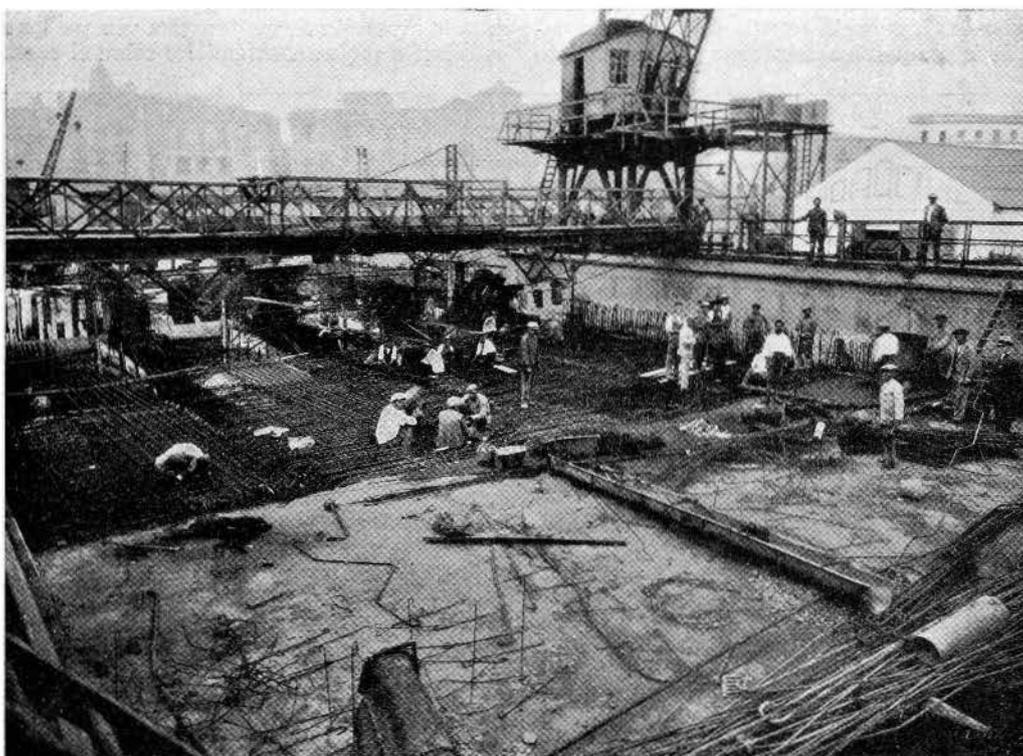


Fig. 20. Otro aspecto del armado y hormigonado del techo del cajón

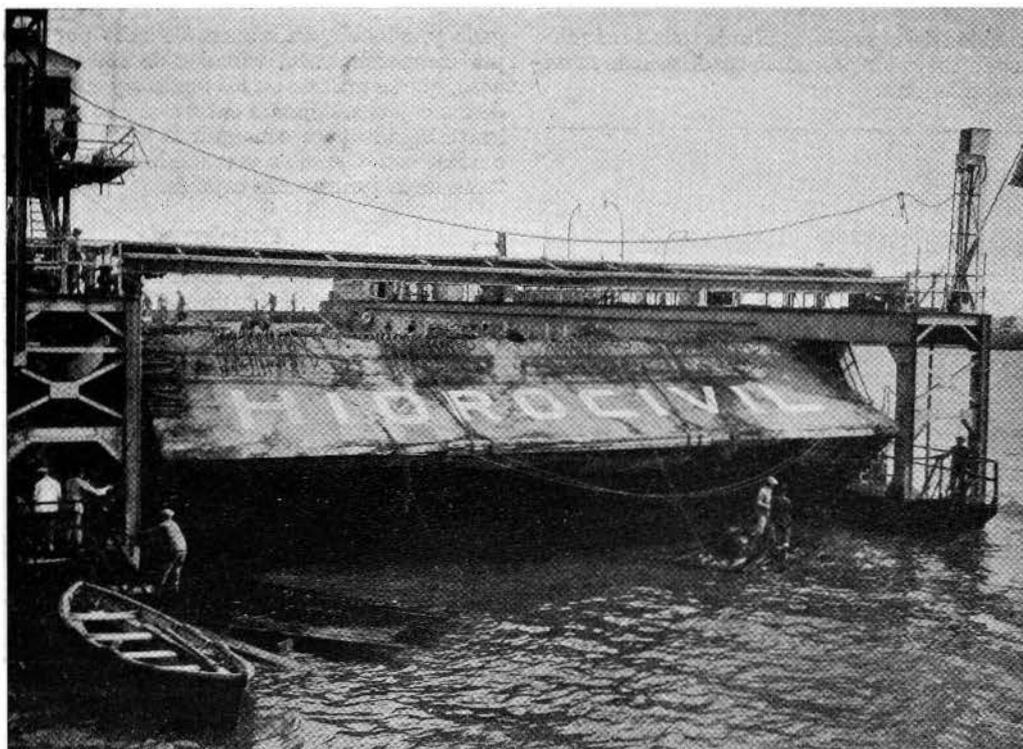


Fig. 21. El cajón terminado y próximo a botarse

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

para asegurar el necesario espesor protector de hormigón sobre los hierros de armadura y la exacta colocación de éstos, que se consigue muy perfectamente

bierta hasta por bajo del forjado inferior de la solera, para la inyección de mortero una vez que los cajones se echen a pique, asentándolos sobre el cuenco dra-

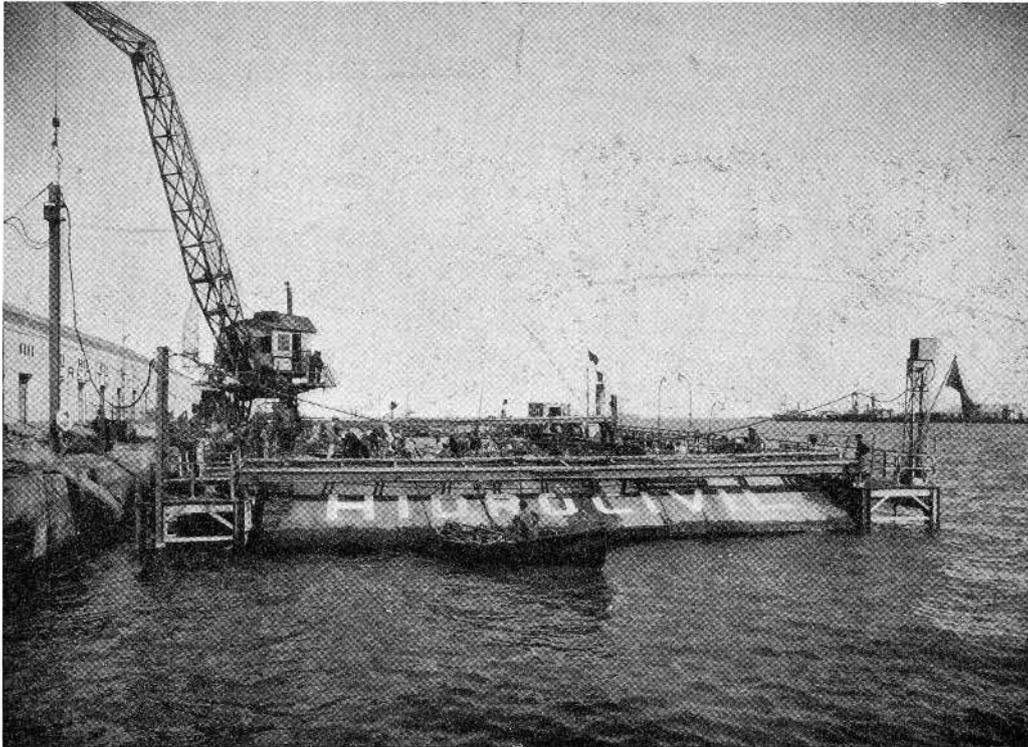


Fig. 22. El cajón a flote, separado ya del dique flotante, al iniciar el remolque para sacarlo del mismo

por la precisión del curvado, realizado todo a máquina con motor de explosión para el hierro de más de 12 milímetros de diámetro.

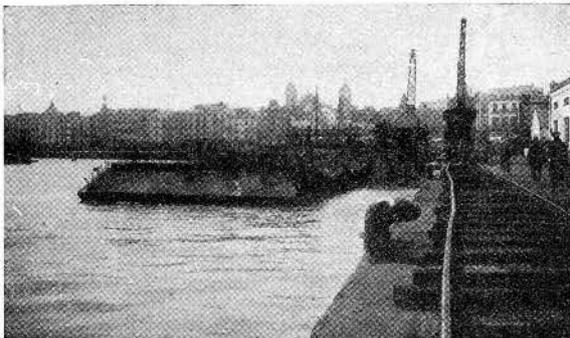


Fig. 23. El cajón núm. 3 saliendo del dique flotante

Cada cajón se viene construyendo, aproximadamente, en 45 días de trabajo y manteniendo siempre un turno de noche para el montaje de armaduras y para la preparación del trabajo del día, y últimamente las enseñanzas adquiridas de los primeros cajones han aconsejado que el cajón salga del dique flotante con todos los accesorios que han de serle necesarios: ganchos de tracción, que se dejan aprisionados en él para realizar las juntas entre cajones, como más tarde se ha de indicar; tubos inyectoros, que atraviesan el cajón desde por encima de la cu-

gado y, además, en número de ocho por cajón, una por compartimiento, válvulas de 150 milímetros de paso, que se utilizan en los fondeos y en la sobrecarga de los cajones, dejando entrar en ellos más o menos lastre líquido para conseguir la variación del calado o una escora cuando a veces se hace necesaria para la toma de la junta entre cajones.

Hormigones

Los estudios para la elección de los diferentes tipos de agregados y su mejor mezcla han durado, aproxi-

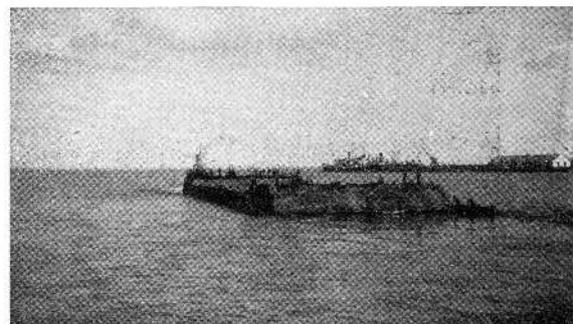


Fig. 24. El cajón núm. 3 fuera del dique flotante

madamente, los dos años empleados en los dragados, habiéndose decidido de los mismos, y después de un estudio granulométrico y de densidades, el

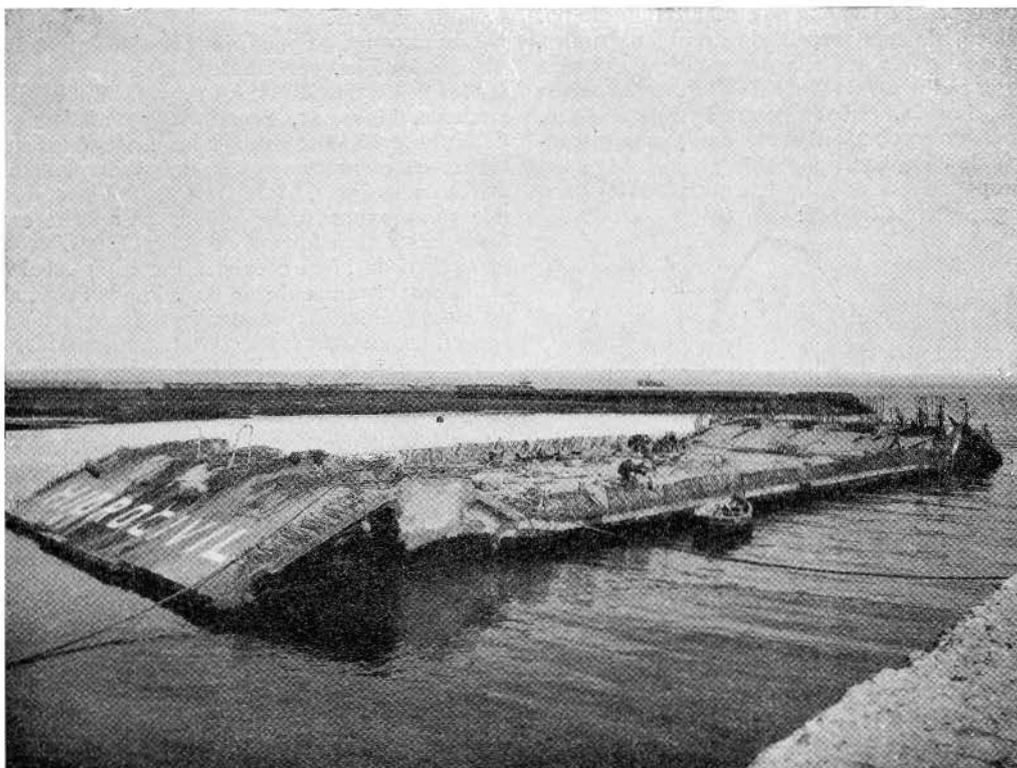


Fig. 25. El cajón núm. 1, a flote, en la dársena del Astillero gaditano. Obsérvense las armaduras salientes por todos los costados, que luego se han de utilizar para la soldadura de cajones

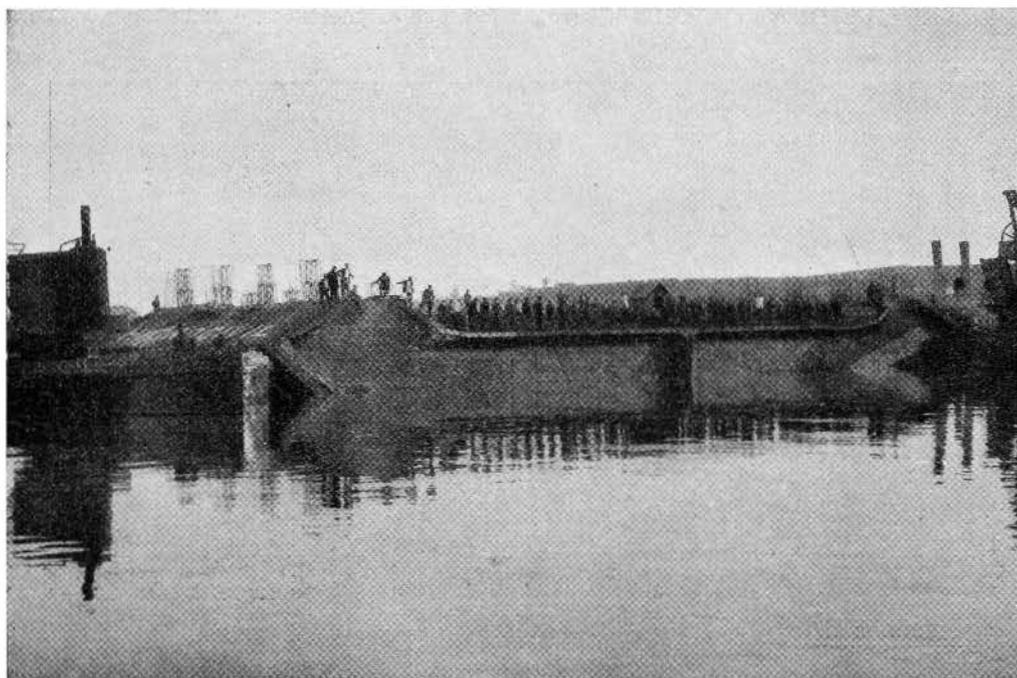


Fig. 26. Vista del cajón núm. 1, varado en la dársena de embarcaciones menores, que permite observar la estructura del dique, casi sumergidos los tubos-acueductos y la viga central bajo los tinos

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

empleo para todos los hormigones armados de dosificación preceptiva de 300 kg de cemento fundido por metro cúbico, de una mezcla de arenas naturales, media, gruesa y fina y de la grava silíceo extraída en su mayor parte del río Guadalquivir, aguas arriba de Sevilla, lavada, cribada y machacada a 3 cm. Se transporta a la obra en barco desde una distancia de más de 65 millas.

Las proporciones actualmente empleadas para los hormigones armados son:

300 kilogramos de cemento fundido,
261 litros de arena media,
161 litros de arena fina,
161 litros de arena gruesa y
750 litros de gravilla,

habiéndose excluído las demás gravas posiblemente utilizables por el elevado coeficiente a que han de trabajar los hormigones en el fondeo de los cajones y por la escasez, en las proximidades de Cádiz, de canteras de piedra dura que pudiesen dar buena grava de machaqueo.

Se han practicado constantemente comprobaciones de la resistencia mecánica de las amasadas de la hormigonera, además de los ordinarios ensayos de laboratorio, en el que para este objeto se ha instalado en la obra, rompiendo probetas cúbicas ordinarias y pequeñas vigas de hormigón armado (vigas de control del tipo de la Instrucción Oficial Austríaca), para romper el hormigón a compresión por flexión y aco-

modar a su carga de rotura el desencofrado de los forjados y vigas.

Los mayores cajones de hormigón armado, propiamente dicho, construídos hasta la fecha parecen ser los de los muelles de los puertos de las Indias holandesas, Makassar, Soerabaja y Tandjoeng-Priok, de $38,90 \times 13,40 \times 14$ m, y los construídos en Cádiz tienen en el momento de su botadura, como más arriba se ha dicho, $53 \times 17 \times 6,50$ m y un desplazamiento aproximado de 3 000 t, para recrecerse más tarde hasta transformar su puntal inicial de 6,50 m en el final de 17 m coexistente con un calado reducido aproximadamente de 6 m, lo que exige, además de extraordinarias precauciones de amarre, por la acción, en una obra muerta tan considerable, de los a veces huracanados levantes reinantes en Cádiz, cuidado muy especial en el lastrado del cajón, por la enorme disminución de su estabilidad naval al cambiarse la gran flotación inicial de toda la solera por las dos áreas pequeñas de las líneas de agua de los dos muros cajeros, cuando los calados sobrepasan el espesor de la solera, con la consiguiente reducción del radio metacéntrico, hasta el punto que ello ha obligado en todos los cajones a construirles lateralmente una pequeña borda provisional, para que no se produzca esa reducción del área de la flotación al aumentar el calado, hasta el momento de la soldadura de los cajones, con la que se obtiene como ventaja accesoría a otras fundamentales, la de hacer desaparecer ese peligro de la inestabilidad naval.

Las fotografías adjuntas dan clara idea de las principales fases de la construcción de los cajones.

José ENTRECANALES IBARRA
Ingeniero de Caminos

La construcción del dique seco de Cádiz¹

III

Jointas de los cajones

En el proyecto que sirvió de base a la adjudicación, se preveía el fondeo y relleno de los cajones en el fondo del cuenco dragado, soldándolos luego entre sí por medio de hormigón en sacos colocados en la junta de la solera y por una parte de hormigón sumergido, de dosificación rica, en la parte superior de

hormigones, que con un vertido desde bastante altura, a causa del considerable calado, podrían presentarse en un trabajo que solamente podría ser ejecutado y vigilado por buzos, y que en algunos diques secos de solera toda ella de hormigón sumergido, han producido desagradables consecuencias. En vista de estas circunstancias decidí intentar el soldar los cajones a flote.

Con vistas a la posibilidad de esa soldadura, se habían prolongado por fuera de los cajones las ar-

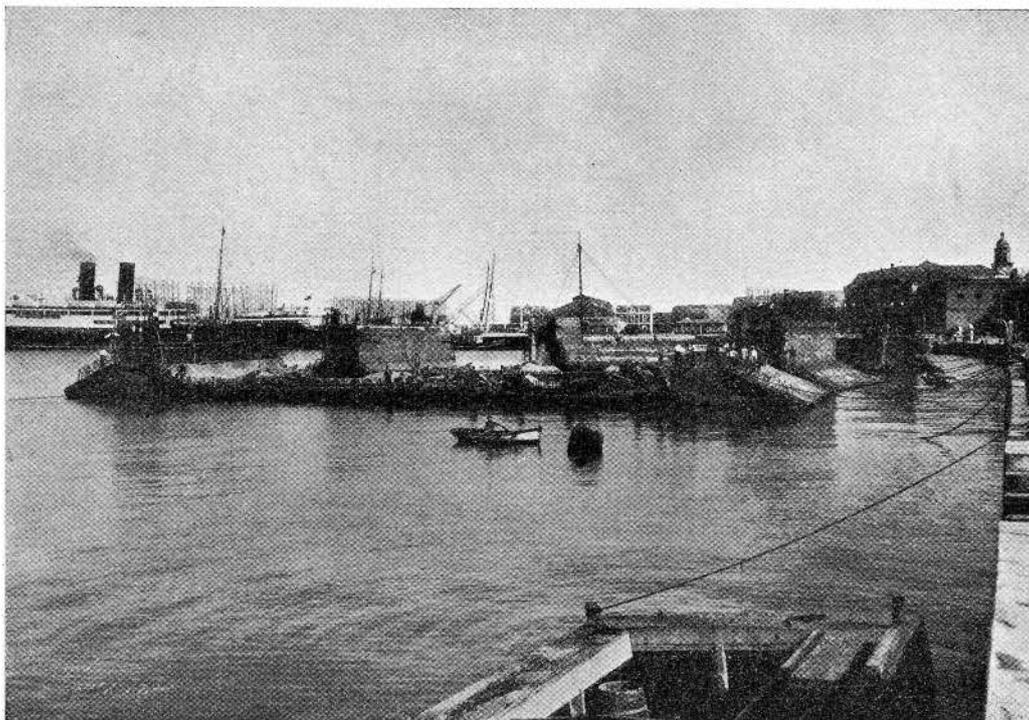


Fig. 1.^a Los tres primeros cajones, a flote, preparados para su soldadura

la misma, para conseguir con dicha soldadura la solidaridad entre los cajones y el monolitismo de la obra, que habrían de ser imprescindibles para la estanqueidad del dique futuro.

Desde el comienzo de las obras, y tratando de evitar el inconveniente del aumento del número de juntas producido por la reducción del tamaño de los cajones, en relación con los proyectados, pensé en las ventajas que habría de reportar para el buen éxito de las mismas y para el buen servicio del dique en construcción la soldadura de los cajones antes de su fondeo, reduciendo así el número de juntas tomadas bajo el agua, cuyo resultado, siempre menos claro y cierto que el de una soldadura visible y visitable, quedaría, además, sin ser conocido hasta que se llegara a la terminación del dique y al primer achique del mismo. Con ello se evitarían los fenómenos de deslavado de

maduras de los mismos, terminando en ganchos sus extremos salientes, para poder ejecutar la junta hormigonando dichas armaduras de los cajones a soldar; pero era preciso, además, solidarizarlos previamente de manera completamente rígida para poder envolver en hormigón las armaduras salientes de ambos cajones y las suplementarias que fuesen necesarias para resistir los esfuerzos actuantes sobre la soldadura, ya que si dicha unión no era bastante rígida, el movimiento a flote de los cajones que tratasen de soldarse habría de impedir el fraguado y el endurecimiento del hormigón de la pegadura, destruyéndolo antes de darle tiempo de adquirir resistencia.

Estudiado el problema, se observó que en la parte de la carena de los cajones que corresponde a la solera del futuro dique el desplazamiento medio por centímetro de calado es, aproximadamente, de 8 tn, y además, que colocados los cajones proa a la mar frente al muelle en el emplazamiento que se ve en la

¹ Véase el número anterior, página 517.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

fotografía de las figuras 1.^a y 2.^a, se vió que, por la poca altura de las ondulaciones que entran dentro de la dársena de Moret, y asimismo por la poca longitud de onda ante la eslora total del cajón (53 m), que es la anchura exterior total de la sección transversal del dique definitivo, las diferencias de alteada entre dos cajones contiguos no eran mayores de 20 ó 30 centímetros, producidos cuando el movimiento hacia arriba de uno era simultáneo de un descenso del otro; es decir, que ello llevaba consigo que la fuerza de un cajón tenía que transmitir al otro era, por tanto, del orden de $8 \times 30 = 240$ tn, aproximadamente.

La transmisión de dicho esfuerzo se ha encomendado a lo que llamaremos *vigas de alteada*, constituidas por cinco dobles tes de 300 mm de altura, repartidas a lo ancho de la solera, atravesadas sobre

vigas de alteada y esa fijación superior un par lo bastante fuerte para sujetar provisionalmente los cajones hasta el hormigonado de la junta.

El emplazamiento elegido para la soldadura ha presentado el inconveniente de que los cajones han varado en todas las mareas, originándose con ello, a la vez que algunas ventajas por el poco calado para el reconocimiento por buzos de las partes sumergidas, un formidable trabajo de las juntas en cada varadura y en cada flotación, que ha sido para ellas una verdadera prueba que asegura que al fondear el cajón múltiple en su ubicación definitiva, la junta ha de resistir satisfactoriamente, ya que para un trabajo muy análogo habrá de tener una rigidez mayor, a causa del recrecido de las paredes, todavía incipientes al realizarse la soldadura, pero que terminadas han de constituir a lo largo de los cajones sol-

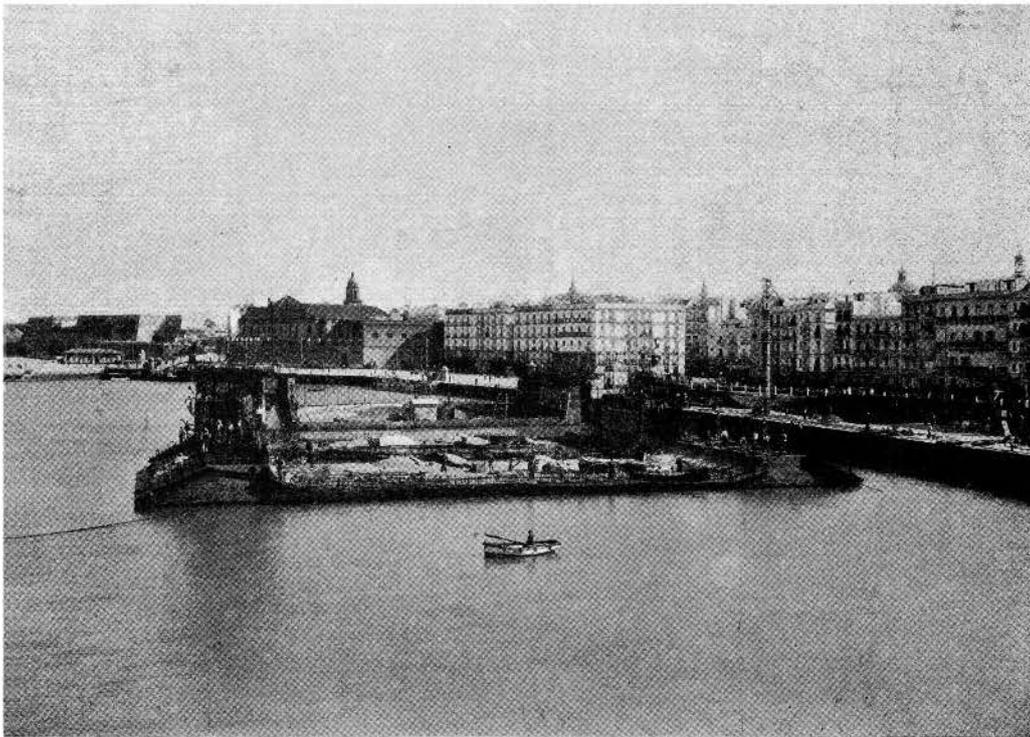


Fig. 2.^a Otra vista de los tres primeros cajones antes de su soldadura

la junta de los dos cajones y sujetas a las cubiertas de ellos por anillas de redondos embebidas en el hormigón, que se ven claramente en la fotografía de la figura 9.^a.

Independientemente de este movimiento podían producirse escoras de los cajones, que determinarían una variación del ángulo de los dos frentes de las dos soleras de los mismos, aun manteniéndose su cubierta o forjado superior al mismo nivel por el efecto de las vigas de alteada, poco eficaces, en cambio, para evitar la variación de ese ángulo.

El preciso suplemento de la unión provisional se consiguió sujetando por tensores y soldando con soldadura autógena los hierros salientes de la armadura de los cajones en la parte correspondiente a las paredes de ambos, que luego han de constituir los cajeros del dique, pues por obrar dichas sujeciones a bastante altura sobre la solera, se originó entre las

dados como grandes vigas-cajeros longitudinales de un dique flotante autocarenable de pontón seccionado.

La circunstancia del poco calado, y por tanto de las varaduras en las bajamares mensuales, después de una preparación por dragado y enrase de lo que podríamos llamar la *era de soldar*, ha obligado a corregir el peso y calado de cada cajón, dejando entrar en ellos lastre líquido con los grifos de sondeo que llevan todos los compartimientos de los monolitos, para conseguir por compresión del fondo en cada varadura un nivel idéntico en todos los cajones, para después de obtenido volver, por maniobra de las mismas llaves de paso, a la igualdad de calado de los mismos, consiguiéndose así, por el apisonado del fondo realizado con dichos cajones, y por la ulterior igualdad de calado, el emparejar los cajones, tanto en las posiciones de varadura como en la de flotación.

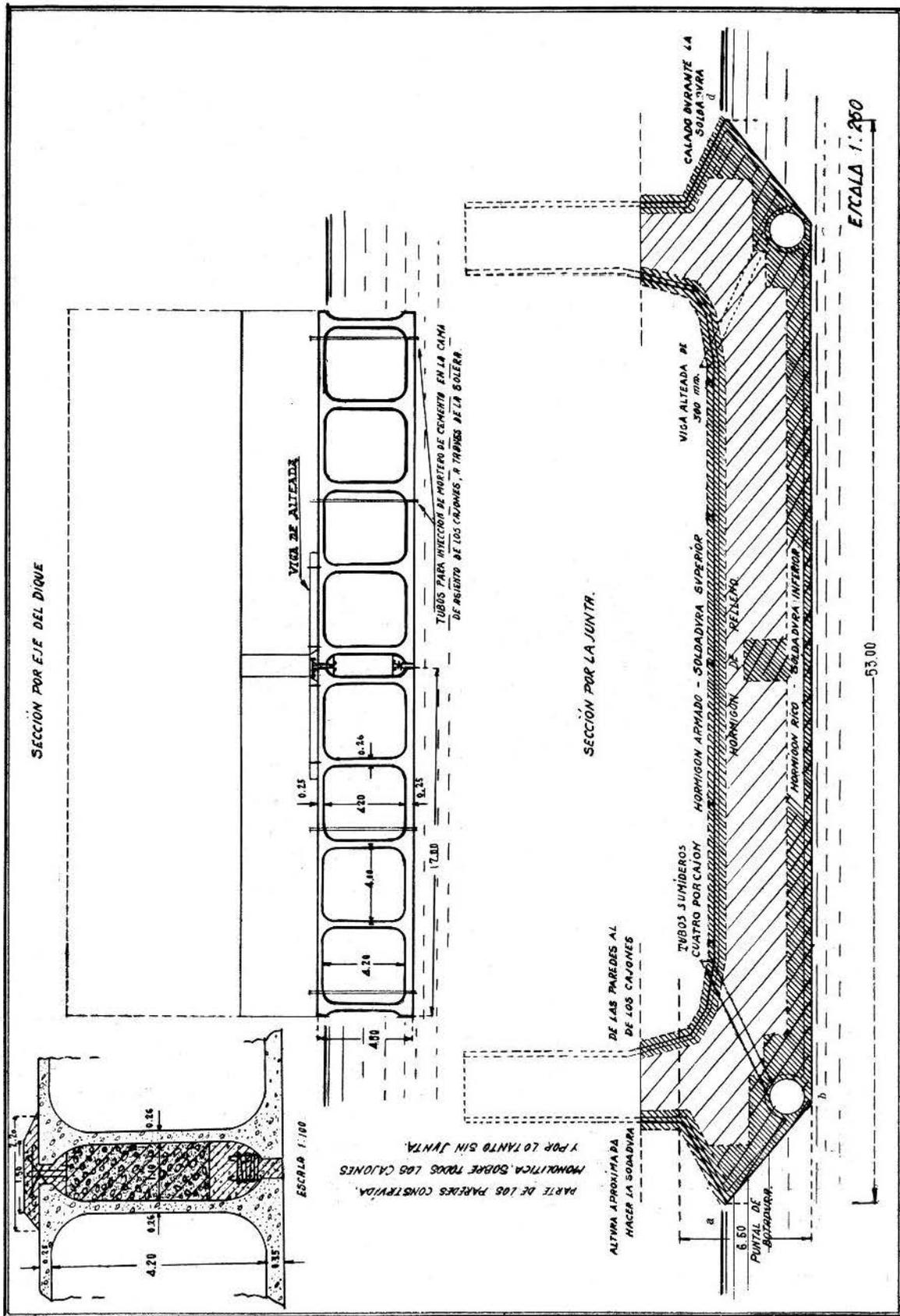


Fig. 3.ª Detalles de la junta

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

La primera junta realizada fué la de los cajones 2 y 3, y después de conseguirse en ellos esta igualación, de unir por tensores y soldadura de hierros los de los dos cajones, se introdujeron las vigas de alteada en las anillas de la cubierta de ambos, estando varados ambos cajones, calzando con cuñas y hormigonado dichas vigas antes de que ambos cajones flotasen.

Se tenía, como antes se ha dicho, sujetos ambos cajones entre esas vigas y los puntos de sujeción superior sobre las paredes de los cajeros, y era necesario únicamente hormigonar la junta, puesto que dicha unión, aunque bastante rígida, no lo era por completo, como nos demostraron las primeras zonas hormigonadas.

Como antes se ha indicado, la estructura de los

del hormigón en el estrechamiento existente entre las dos cubiertas.

Se han unido también las armaduras inferiores colocando por medio de buzos anillas de redondos de 10 mm en forma de zunchos, trabando cada barra de un cajón con la correspondiente del otro, y colgando de ellas estribos delgados para trabar con el conjunto del hormigón situado entre los dos forjados inferiores.

Este cordón inferior de soldadura ha sido hormigonado con hormigón rico sumergido, vertiéndolo en sacos pequeños, de unos 40 litros de cabida, que el buzo abre sobre los mismos hierros para evitar todo deslavado y la formación de lechadas, habiéndose elegido este procedimiento de vertido entre los varios que se ensayaron—tubos, tolvas, cajas sin fondo,

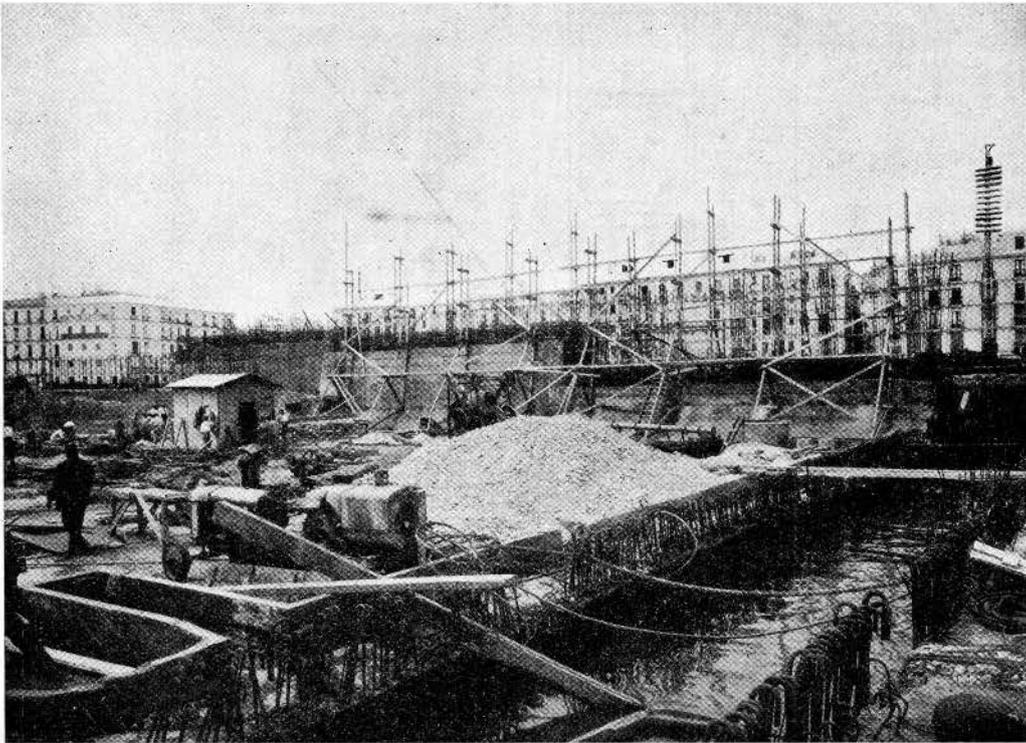


Fig. 4.ª Vista de los tres primeros cajones, ya soldados. En el ángulo inferior derecho asoma la cubierta del cuarto cajón, preparado ya, con igual calado que los anteriores, para ser soldado a ellos. En el tercero se ven la borda provisional, con el entrante correspondiente a la viga de alteada, y las anillas que para su sujeción lleva la cubierta

cajones es tal, que la solera y paredes son de doble fondo y por todo su contorno salen los extremos de la armadura. Las armaduras de los dos forjados, superior e inferior, salen del dique flotante dobladas hacia arriba en la forma que claramente se aprecia en las figuras 1.ª y 2.ª, para la armadura superior.

Las armaduras han quedado solidarizadas de la manera siguiente:

La superior, por el cordón de soldadura superior construido de hormigón rico de cemento fundido colocado en seco que envuelve las armaduras rectificadas de los forjados superiores que se cruzan sobre la junta (fig. 3.ª) y robusteciendo la unión con barras horizontales terminadas en gancho, designadas por el personal de la obra con el apropiado nombre de «lañas», y con estribos para trabar el cordón superior con el relleno de la junta, imposibilitando toda grieta

etcétera—vertiendo hormigón desde la cubierta del cajón y sobre cubos colgados del mismo a diferentes profundidades, para, después de extraídos, estudiar y elegir el mejor sistema.

Este cordón inferior de soldadura se hormigonó hasta alcanzar una altura de 1,30 m, aproximadamente, extendiéndolo a toda la parte *a, b, c, d* de la figura 3.ª, uniendo después los tubos-acueductos de los cajones soldados para constituir el general del dique y aislar además así la junta del exterior.

Una vez soldado todo el contorno de la junta y utilizando como fondo de la misma el cordón inferior de soldadura, se procedió al achique, con bombas, del hueco de la misma, terminando en seco su relleno, por los pozos dejados en el cordón superior y cuyos brocales se ven en la figura 9.ª.

La figura 3.ª da clara idea de la junta, con la dis-

tribución del hueco de la misma, en la parte de la solera del dique, con las tres clases de hormigones: hormigón armado superior, colocado en seco; hormigón inferior, colocado con buzos, y hormigón de relleno, vertido en la junta después de su achique.

En la parte de las paredes de los cajeros de los cajones la unión es más sencilla y resistente, porque las paredes tienen doble armadura, que se puede cruzar exterior e interiormente, y además, al estar las paredes fuera del agua, los dos cordones, exterior e interior, son dobles, hormigonados en seco y con forma de doble T, que desde un principio solidarizan los cajones. El cálculo y la realidad han demostrado la necesidad de armar estos tacos o cordones con «lañas» paralelas a las paredes exteriores e in-

la dureza del hormigón y la longitud del cordón de soldadura, siguiendo ya sin interrupción el hormigonado de todos los cordones de soldadura con arreglo a lo antes indicado.

Se ha fijado el grueso de todos los cordones de soldadura, así como el canto de las vigas de alzada, de manera que puedan quedar embebidos en el revestimiento interior general que ha de hacerse en todo el dique al terminarse éste.

Las últimas juntas han sido más sencillas de ejecutar porque se han dejado embebidos en los cajones, a la altura de los dos forjados superior e inferior de la solera, una serie de ganchos de tracción de ferrocarril que han permitido, con las ordinarias manijas de enganche empleadas en los vagones y manejando

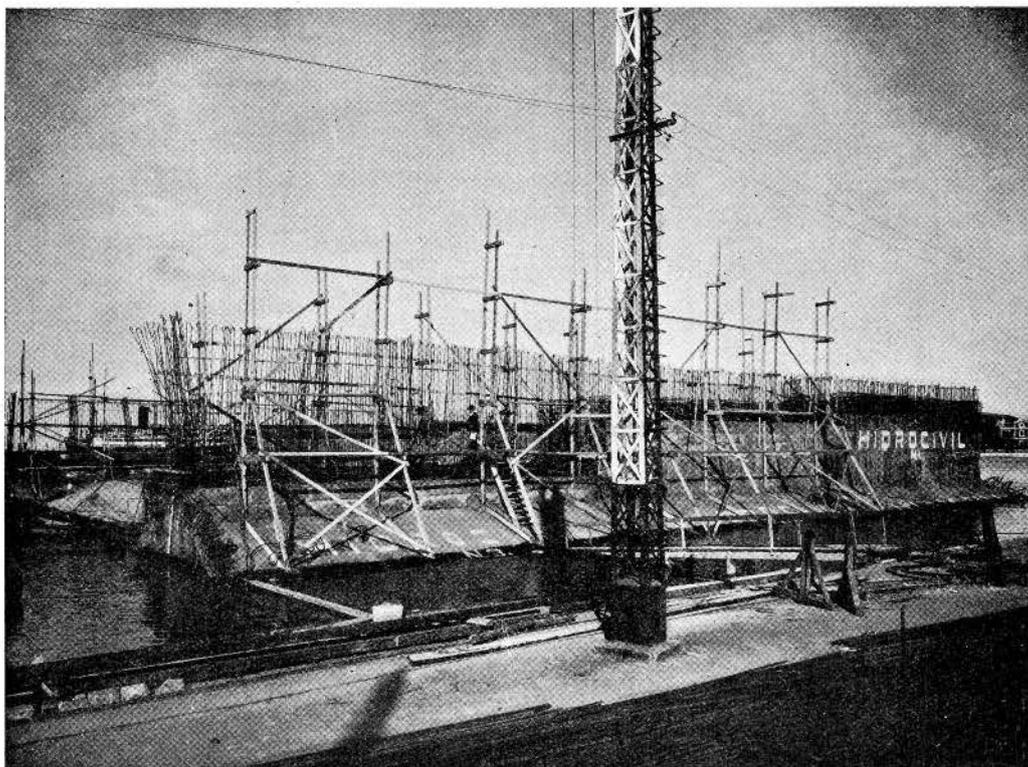


Fig. 5.ª Vista exterior de los tres primeros cajones después de soldados. En construcción las paredes de los cajeros; más adelantada en el 1 que en el 2 y comenzándose en el 3, que se ve en primer término

teriores y con «lañas» transversales que cruzan el estrechamiento de los tacos.

La operación se ha realizado en detalle del modo siguiente: Varados los cajones, presentación y acunado de las vigas de alzada, envolviéndolas y calzándolas con hormigón fino y muy seco, para acelerar su endurecimiento y pasar sin obstáculo la primera pleamar, con la flotación consiguiente de los cajones.

A flote ya, hormigonado de dos pequeñas zonas de 3 m lineales cada una, de los cuatro cordones de soldadura de las paredes y del cordón inferior de la solera. En la varadura siguiente y en las dos zonas de 3 m de la solera, hormigonado de todo el hueco de la junta de la solera, uniendo cordón inferior y superior para robustecer el par de solera y paredes, cuyo momento resistente ha aumentado al aumentar

por buzos las de la hilera inferior, el conseguir, con mayor sencillez que en las primeras juntas, una robusta unión provisional de los cajones antes de comenzar el hormigonado de la junta.

Para realizar mejor la unión entre las juntas, y asimismo para evitar las interrupciones que a veces produce el descebado de las bombas utilizadas para el achique de la junta, se va a intentar el hormigonar las próximas por medio del aire comprimido, colocando las esclusas, como se indica en la figura 4.ª, sobre la solera superior de los cajones y haciendo funcionar el hueco de la junta como cajón sin fondo, macizando, para conseguir la continuidad del techo del mismo, el pequeño espacio comprendido entre los dos cajones en la parte de los cajeros y ejecutando todo el hormigón situado bajo el nivel del agua, completamente en seco.

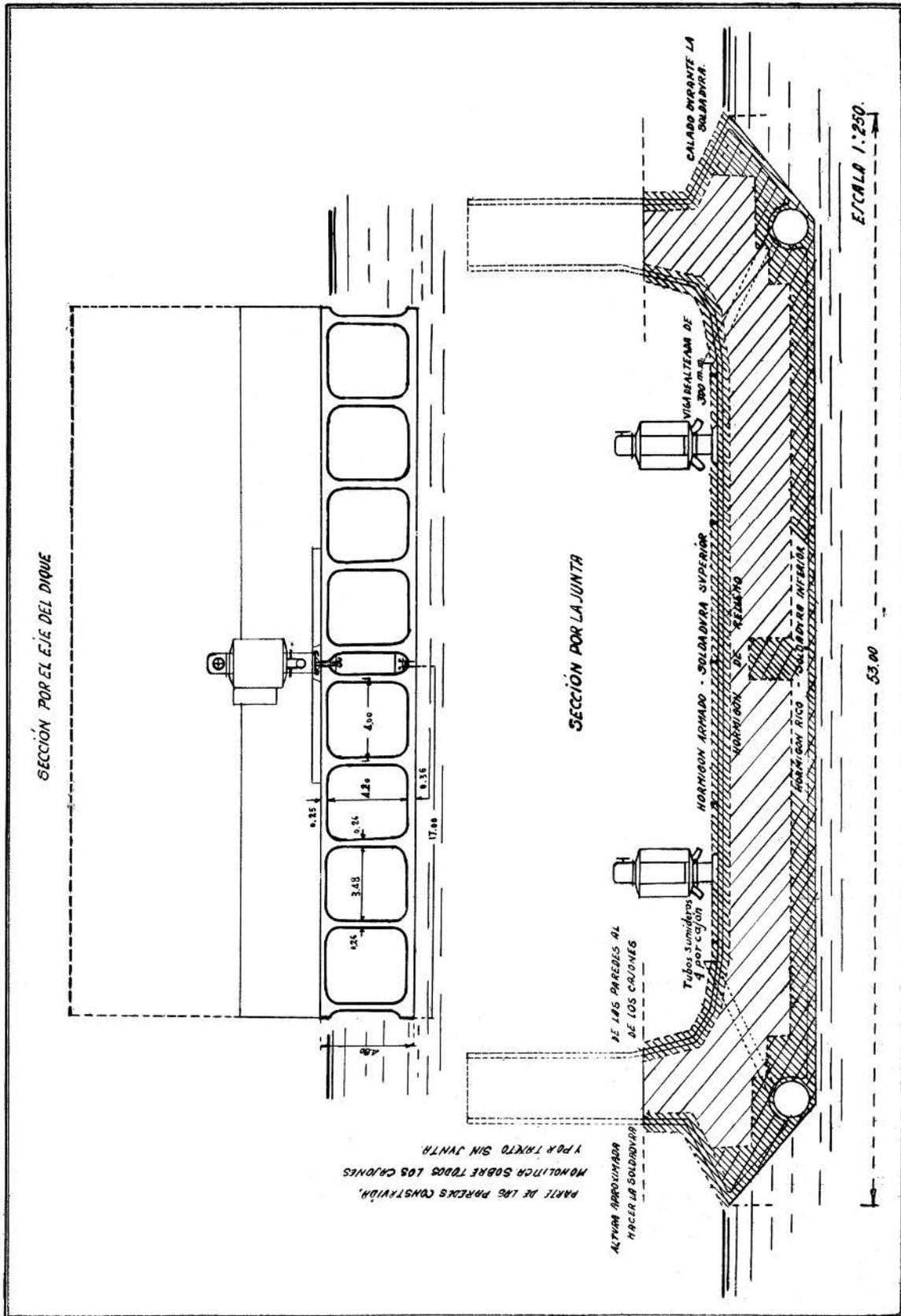


Fig. 6.

Uniones de acueductos

Cada cajón sale del dique flotante con dos trozos de los dos acueductos generales, que van uno debajo de cada cajero del dique definitivo, y para que puedan prestar servicio es, por tanto, necesario soldar estos acueductos entre sí; pero, además, la necesidad de achicar el hueco de la junta entre la solera de los dos cajones, para su relleno ulterior, lleva consigo la previa soldadura de los acueductos, puesto que de otra forma, por penetrar el agua por ellos hasta la junta, se imposibilita su achique.

Para achicar el dique definitivo comunica el tubo-

cer después la continuidad de los acueductos penetrando en los mismos por los tubos sumideros que los comunican con el cuenco del dique definitivo, demoliendo por dentro de ellos los taponés de los acueductos en la parte de la junta, pero dejando siempre los extremos cerrados de manera a tener completamente en seco el conjunto del acueducto del bloque monolítico de los cajones a flote, lo que permite visitarlo, achicarlo por los sumideros si el acueducto tiene alguna filtración, o hasta hacer en él una gran reparación *a flote*, si fuese necesaria, tapando los sumideros y colocando en alguno de ellos una esclusa de aire comprimido.



Fig. 7.^a Vista de los cuatro primeros cajones, ya soldados los tres primeros y el cuarto rigidamente unido con ellos y preparado para hormigonar la soldadura. En los frentes del cuarto cajón se ven las bordas provisionales para asegurar la estabilidad, y la situación de las vigas de alteada

acueducto con el cuenco del mismo por una serie de sumideros, tubos de 45 cm. de diámetro y en número de 28 bajo cada cajero, y, por lo tanto, correspondiendo 4 sumideros a cada cajón, que salen con el cajón del dique flotante y están constituidos por 4 tubos de uralita que actúan sólo como moldes del sumidero al envolverlos el hormigón del relleno del cajón, y que desde el tubo-acueducto desembocan sobre la solera superior del cajón bajo el arranque de los muros cajeros del dique definitivo.

Para soldar los acueductos principales salen del dique flotante las secciones de los mismos que lleva cada cajón con sus extremos tapados por dos cúpulas de doble tablero de rasilla, y realizada la unión entre los cajones, después del fraguado del hormigón armado de la soldadura superior empleado en la misma y colocado fuera del nivel del agua, y antes de rellenar la junta, se cubre la unión entre los dos acueductos con una pequeña capa de hormigón sumergido, pudiendo ya achicar la junta para rellenarla y restable-

Estado actual y consecuencias finales

El 15 del pasado septiembre ha sido transportado el bloque de los cuatro primeros cajones ya soldados, con un peso de 15 700 toneladas, desde la dársena de Moret hasta su emplazamiento definitivo, con un recorrido aproximado de una milla, habiéndose utilizado tres remolcadores; y aunque al principio dudamos si realizar la operación por medio de tiros desde embarcaciones previamente ancladas en la bahía y utilizando retenidas como se usaron para el transporte del cajón del dique seco de El Havre, dentro del recinto ataguado que allí se empleó, la realidad ha demostrado que se puede prescindir de todas esas precauciones, y que las dificultades originadas para el transporte, por las corrientes de marea y las revesas que siempre existen en una bahía, y que fueron las que aconsejaron en El Havre el empleo del recinto aislante de escollera, se convierten en ventajas cuando, como en este caso, se pueden utilizar ade-

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

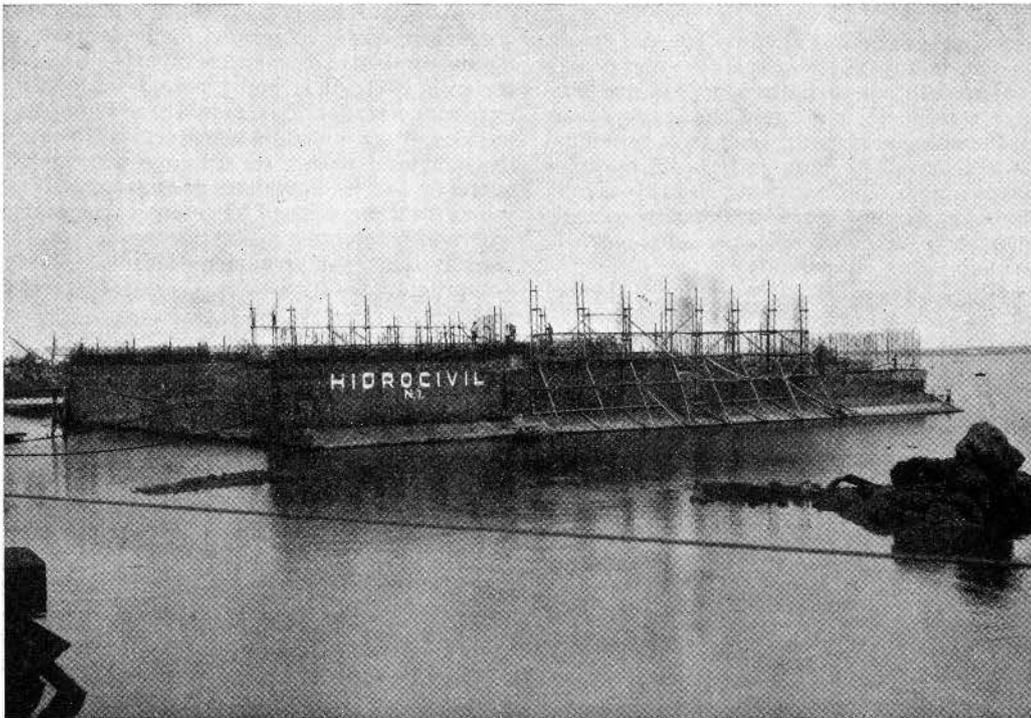


Fig. 8.º Bloque monolítico de los cuatro primeros cajones, con 16 000 toneladas de desplazamiento en el momento de la fotografía, fondeado sobre su emplazamiento definitivo en el cuenco dragado para el Dique Seco

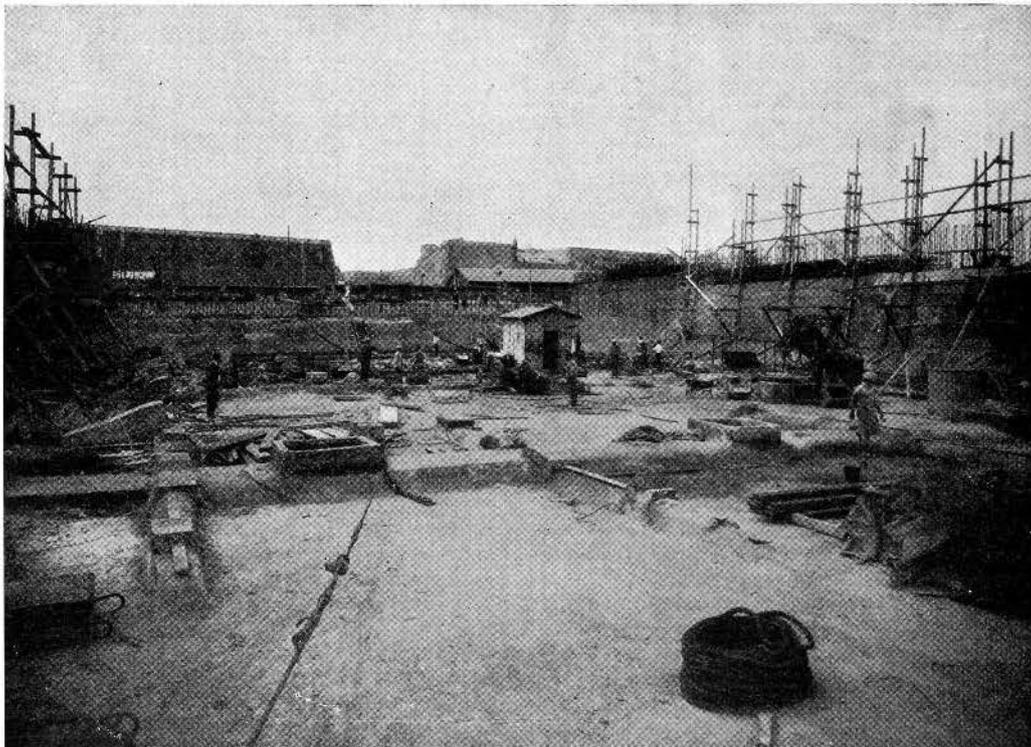


Fig. 9.ª Vista interior del bloque de los cuatro cajones. En primer término una de las juntas, visible por el saliente del cordón superior de soldadura, con las vigas de alçada y los brocales de los pozos de relleno del hueco de la junta entre las soleras de los cajones. Al fondo la bóveda de cierre del dique y, en último término, las murallas de Cádiz.

cuadramente esas circunstancias para beneficiarse de ellas utilizando las corrientes de marea en el transporte del bloque.

Dentro del mes de enero próximo se soldarán al bloque de los cuatro primeros cajones el quinto y sexto en el mismo emplazamiento del dique seco, y si los ensayos de enrase del fondo dan completo resultado y puede conseguirse igualarlo bien, se podrá sumergir el dique, soldando previamente a flote todos los cajones, suprimiendo toda junta bajo el agua.

Para ello se podrá construir sobre el cajón único, en el lado del barco-puerta, una presa-bóveda provisional, que con los muros cajeros y la bóveda del fondo del dique cerrará por completo el cajón, que flotará ya por su carena exterior, pudiendo de esta manera trabajar con la seguridad del cajón único, y

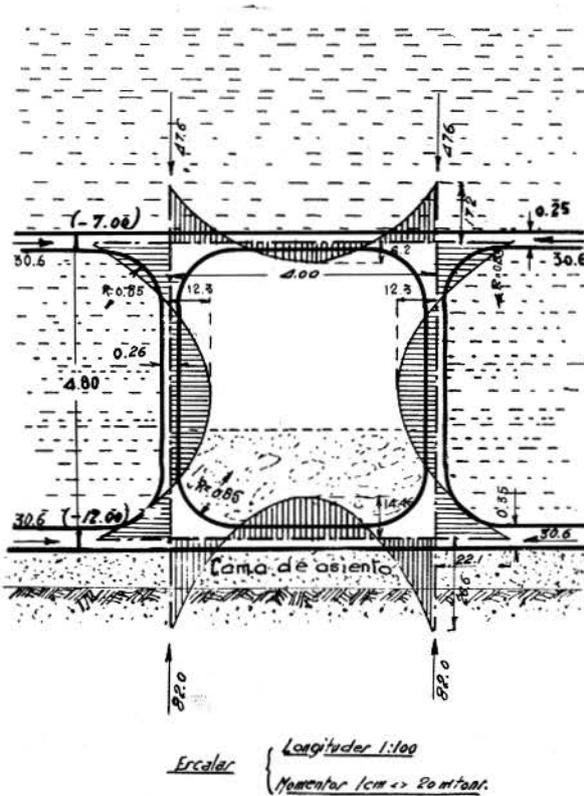


Fig. 10

rellenar además la solera por las escotillas dejadas en su cubierta, manteniendo el cajón total a flote.

Además de mejorar el hormigonado, se conseguirá comprimir así el fondo del cuenco, previamente preparado con una cama de arena enrasada sobre maestras de carriles, ya que al flotar el cajón único en las pleamares vivas mensuales casi hasta su relleno total, por estar cerrado por el lado del mar, asentará sobre el terreno en todas las bajamares, comprimiéndolo progresivamente al aumentar el relleno.

Las grandes compresiones de más de 90 kg/cm² producidas, como antes se indicó¹, en los hormigones al achicar para rellenarlo un compartimiento de la solera de un cajón ya echado a pique y obrar sobre su lecho y paredes la presión del agua y sobre su fondo,

además de dicha presión, la reacción del suelo, quedan así muy disminuidas al modificarse el régimen de flexiones previsto por el proyecto en la célula elemental.

Dicha repartición de momentos, representada en la figura 10, obtenida partiendo de las flexiones ejercidas por el agua y de una reacción del terreno doble de la correspondiente a la repartición uniforme de las cargas que resiste, se modifica al aliviar las flexiones del forjado inferior el peso del hormigón de relleno, contrarrestando así casi por completo la subpresión a medida del aumento del calado, por el poco peso del cajón ante el del relleno y por la forma aproximadamente paralelepípedica de la carena exterior del cajón total, lo que hace casi constante e igual a la razón de densidades la relación de la altura de relleno al aumento de calado.

Por otra parte, el macizado suprime las flexiones de las paredes laterales de la célula, y al no entrar el agua sobre la cubierta hasta casi el relleno total del fondo, se puede reducir también la flexión de la misma, apeándola, si es preciso, con un taco corrido de hormigón de poca altura, ejecutado en cada célula sobre el relleno interior.

Únicamente se podrán presentar esas flexiones si una grieta del conjunto u otra contrariedad análoga hiciere entrar el agua en el cajón, dentro del cuenco del futuro dique, es decir, entre los cajeros; pero como existe por todo el contorno un doble fondo, la avería en la carena ahora restante quedaría localizada al compartimiento afectado, y el conjunto seguiría con flotación propia, siendo entonces necesario tomar una junta bajo el agua en la parte afectada, o si el calado era aún pequeño, por haberse ejecutado todavía poca cantidad de relleno, podría destruirse lo afectado, soldar a flote las dos partes resultantes y suplementar al conjunto por la parte del mar un cajón de una o dos células, según la extensión de la parte dañada.

La circunstancia de flotar el cajón permitirá, además, vigilar perfectamente el reparto del hormigón de relleno para suprimir toda flexión y toda escora, y en el momento que se considere oportuno se podrá hacer entrar el agua en el cajón estando varado en una bajamar, para que no flote en la pleamar siguiente, con lo que se añadirá a la carga uniforme que exista de hormigón la sobrecarga también repartida que ejerza el agua, evitando así asientos desiguales, que, por otra parte, pueden ser resistidos por la sección transversal del dique, de gran momento de inercia para las flexiones longitudinales.

Una vez comprimido sucesiva y progresivamente el fondo por las varaduras del cajón en las bajamares, y después de terminado el relleno de la solera, se abrirán, pues, las llaves de que van provistos los cajones, para dejarlo fondeado definitivamente, procediendo ya al relleno de paredes o muros cajeros, que por su poca importancia dentro del peso total no podrán producir una desigualdad de asientos, aun en el caso de que se produzca alguna en los rellenos, que, por otra parte, se han de ejecutar con las precauciones ordinarias en estos casos, de nivelaciones frecuentes, partes diarios de relleno, etc., etc.

Para el mejor asiento sobre el terreno, los cajones salen del dique flotante con una serie de tubos de 10 cm de diámetro que atraviesan completamente la solera, para inyectar mortero de cemento a través de ella después del bordeo, comprimiendo el terreno subyacente y principalmente la cama de asiento, como

¹ Número del 15 de noviembre, pagina 497.

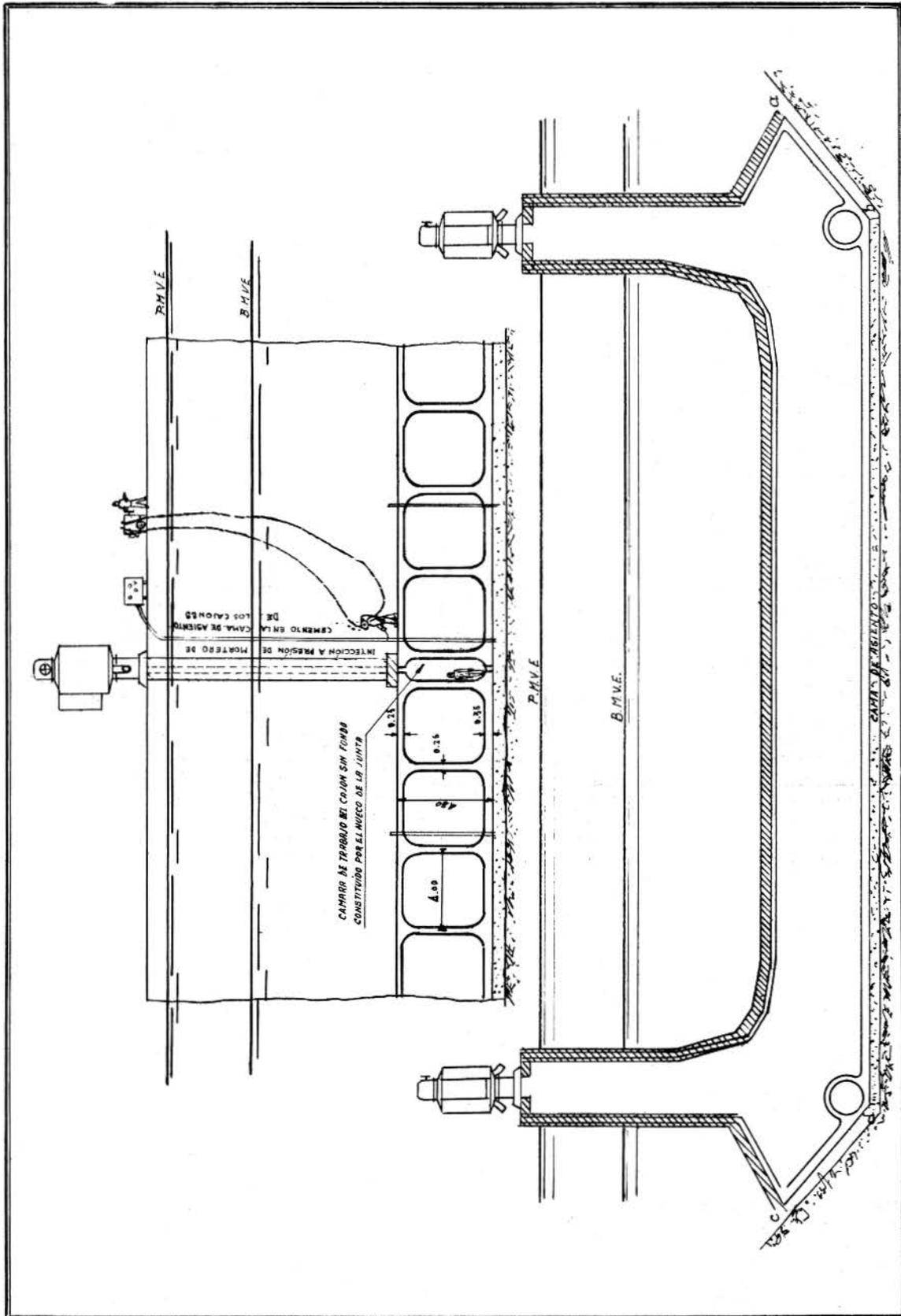


Fig. 11

se indica en el croquis de la figura 7.^a, pues aunque la carga del cimientó es pequeña y no son de presumir por ello movimientos apreciables del fondo, conviene, para evitarlos o disminuirlos, la inyección de mortero de cemento en la cama de arena a través de la solera, después del relleno de la misma, y por medio de los indicados tubos de inyección.

Si los ensayos del terreno que se están practicando aconsejan no fondear un cajón de tan gran longitud (245 metros) como el cajón total, se hundirá en dos mitades de siete cajones elementales cada una—la primera ya casi terminada, pues están a flote seis cajones—, tomando la junta bajo el agua con hormigón sumergido, y si es preciso con aire comprimido, colocando esclusas sobre los cajeros, como indica la figura 11, y soldando los dos semidiques con hormigón sumergido, según las zonas rayadas en la figura, para proseguir como en la construcción de pozos

lidades que el gran tamaño—peligroso siempre en las botaduras—da para el fondeo y para la seguridad durante la flotación o el relleno.

La soldadura de monolitos a flote puede, pues, realizarse hoy fácilmente, puesto que en España se fabrican ya varios supercementos, y español es el cemento fundido Electroland empleado en el dique de Cádiz, cuyas características, iguales a las del que antes era necesario importar del extranjero, han hecho posible la toma de juntas.

Para lo hecho hasta ahora han resultado muy valiosos, aparte de las sugerencias recibidas de las personas que intervinieron en el proyecto ¹, los consejos siempre acertados de ingenieros experimentados, como los Sres. Murúa y Romero Carrasco; la ayuda de otros, como los Sres. Diamante y Noreña, y especialmente la colaboración de mi compañero el Sr. Ruiz Martínez, ingeniero encargado de la obra de hormi-

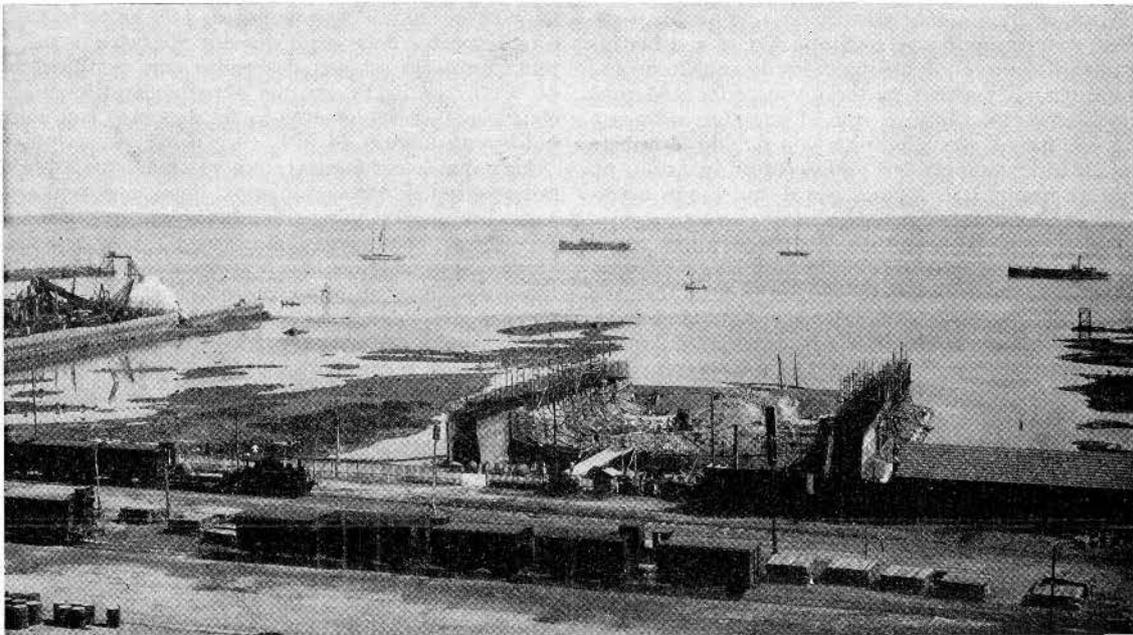


Fig. 12. Vista del cajón cuádruple desde las murallas de Cádiz. Por el lado del mar se ve la borda de madera que como botaolas le defiende de la marejada del Norte. Entre las zonas que descubre la baja mar se ve el cuenco dragado, y a la izquierda, fondeado a la entrada de la dársena, el cajón de la Casa de Bombas.

de alumbramiento de aguas, abiertos con aire comprimido a través de rocas permeables, la soldadura de las partes *a-b* y *c-d* y utilizar después el conjunto como una campana de buzo o un cajón sin fondo para macizar la junta con todas las garantías de una ejecución esmerada, trabajando el personal con auxilio del aire comprimido dentro del hueco de la junta.

Uno u otro procedimiento creo han de tener el éxito de que algunos desconfiaban, dudando de la posibilidad de ejecutar las juntas del dique de Cádiz, y ello, ya demostrado hoy, y por haberse ejecutado, además, las juntas a flote, tiene la importancia ingenieril de que resulta posible construir por soldadura de cajones pequeños y con medios auxiliares modestos, y desde luego con cementos de endurecimiento rápido para la soldadura—supercemento o fundido—, grandes monolitos para cajones de diques de abrigo o de muelles de atraque, con todas las ventajas que la continuidad produce para la duración y las faci-

lidades por parte de la Contrata hasta enero de 1930, que ha hecho muchas veces posible lo imaginado, empleando todos los recursos, iniciativas y hasta presencia de ánimo que obras marítimas de esta índole exigen a los que intervienen en ellas, venciendo las primeras dificultades, mayores por ser las primeras, hasta poner la obra en marcha normal.

Serán objeto de otros artículos en nuestra REVISTA las enseñanzas que la obra del dique nos vaya proporcionando; pero, por de pronto, ante preguntas de compañeros sobre particularidades de la misma, tengo interés en ofrecerme para cualquier aclaración, sea sobre la obra ya construída, o sobre lo que acerca de ella pueda preverse en la actualidad.

José ENTRECANALES IBARRA
Ingeniero de Caminos

¹ Véase la nota del artículo publicado en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 15 de noviembre de 1930, página 497.