

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 constituida 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, contruados 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

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.

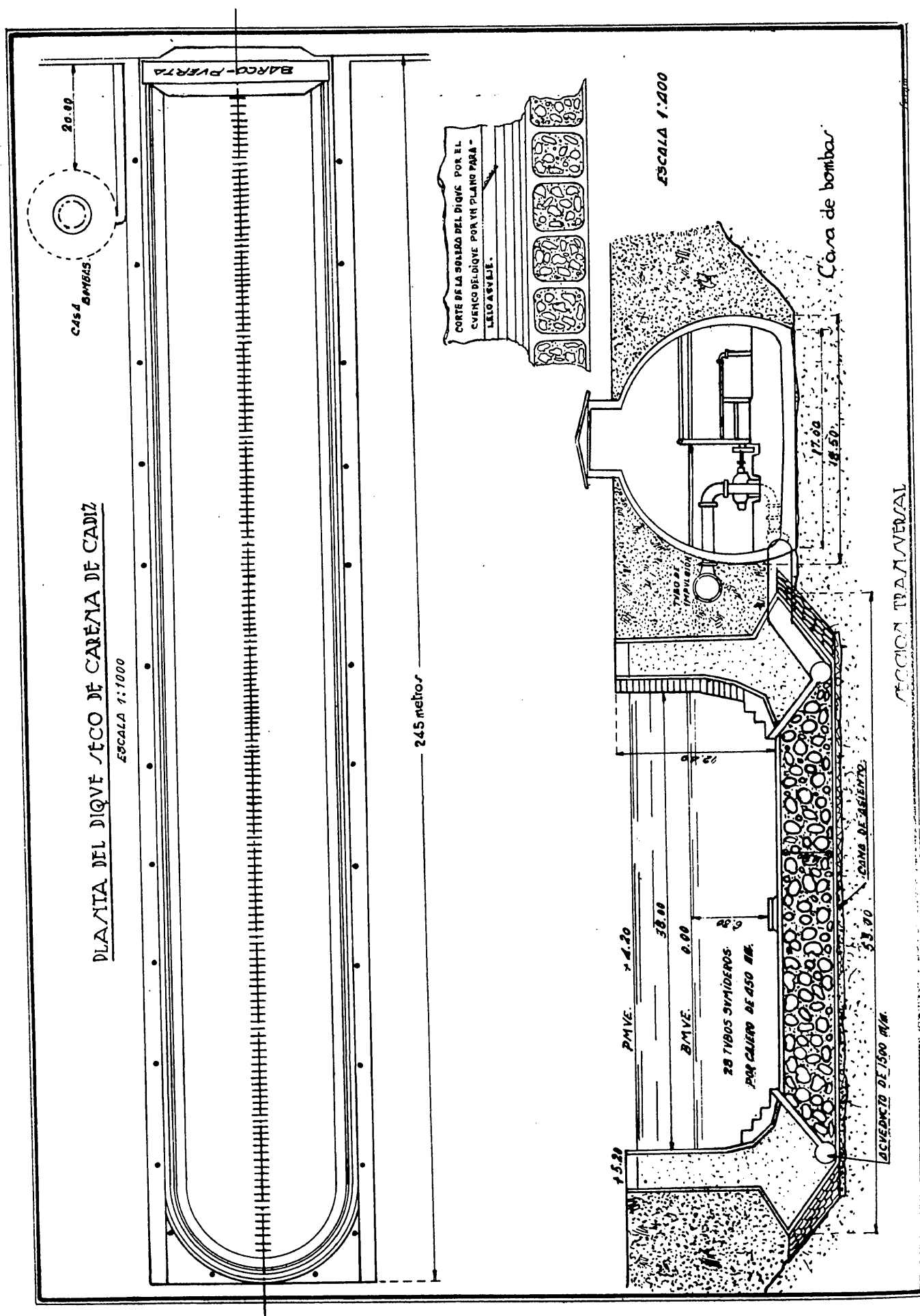
La forma de la sección transversal del dique seco, como se observa en las figuras, presenta dos zarpas exteriores bajo los muros cajeros, sobre las que carga el terraplén de relleno que rodea al dique, para sumar su peso al del conjunto de las fábricas, permitiendo así reducir la masa de las mismas, 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 contruadas 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

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.



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-

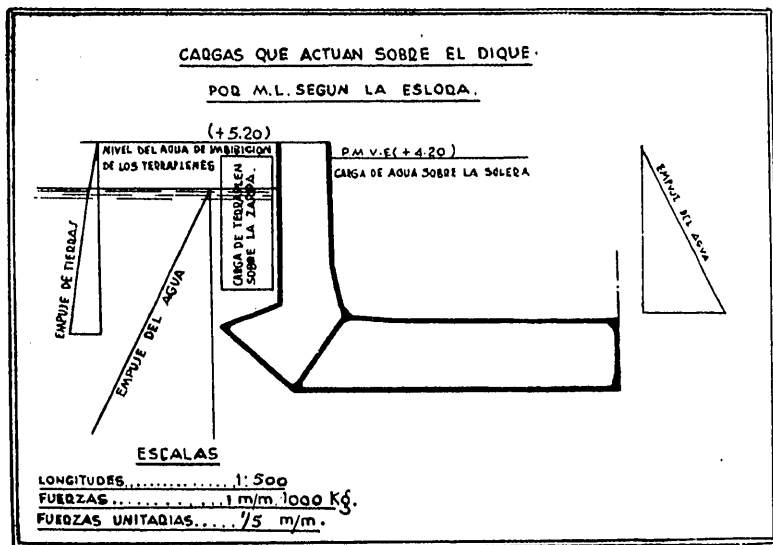


Fig. 2.^a

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-

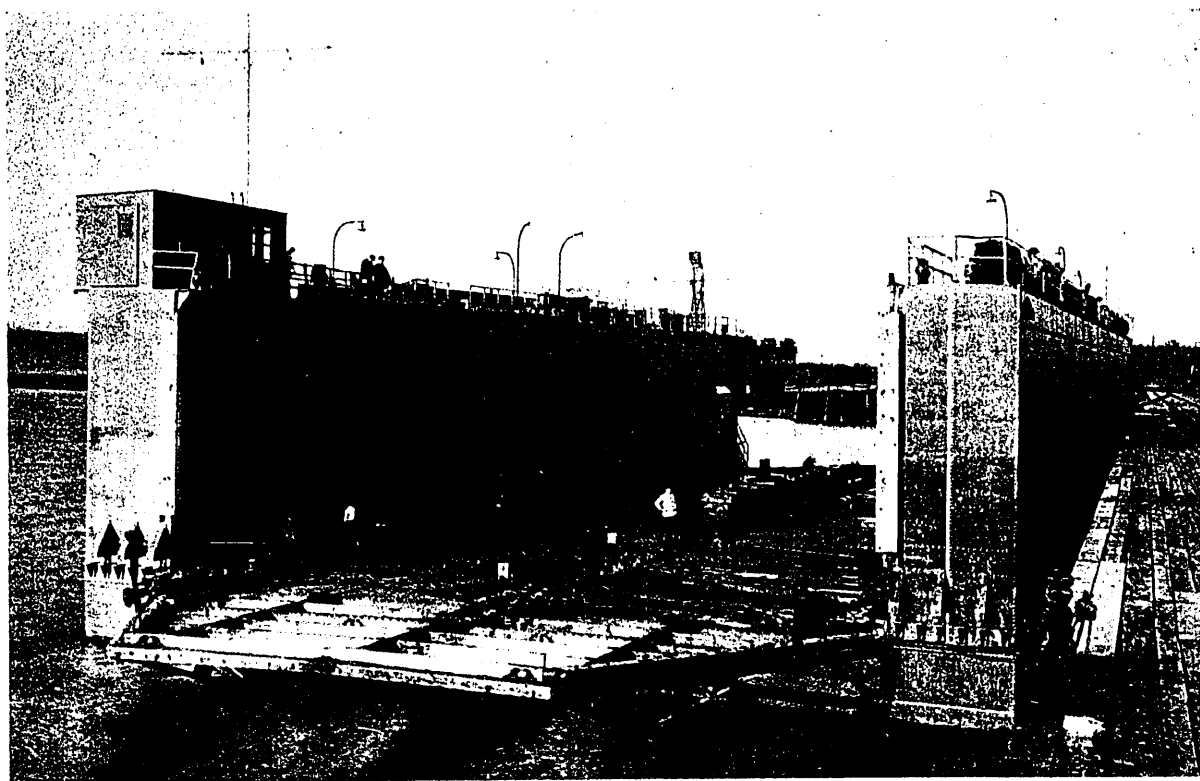


Fig. 3.^a El dique flotante antes de ser preparado para la construcción de los cajones, desembarazándolo de cadenas, bitas, tinos, cuñas de pantoques, etc., y antes de montar sobre los cajeros la grúa y el pórtico que se han empleado en las obras

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

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

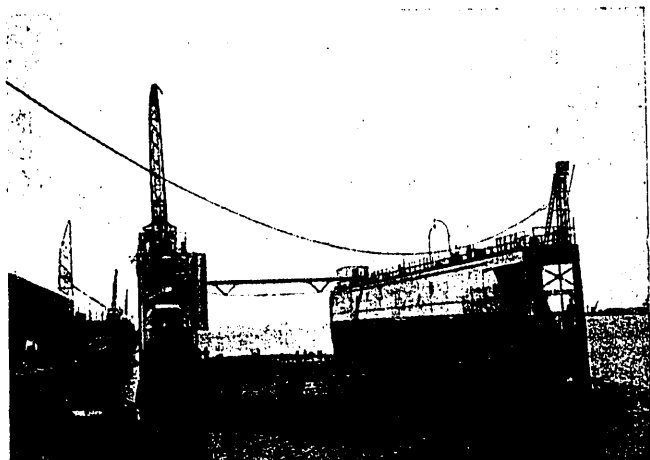


Fig. 4.ª Prueba del dique flotante atracado al muelle del Depósito Franco de Cádiz, después de preparado para la construcción de cajones

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 légamo 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,

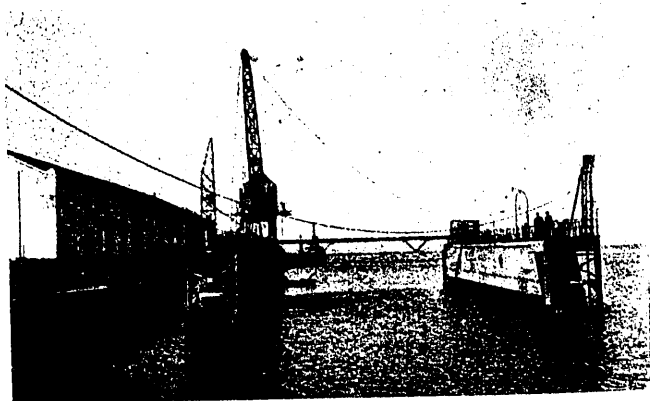


Fig. 5.ª El dique flotante sumergiéndose

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-

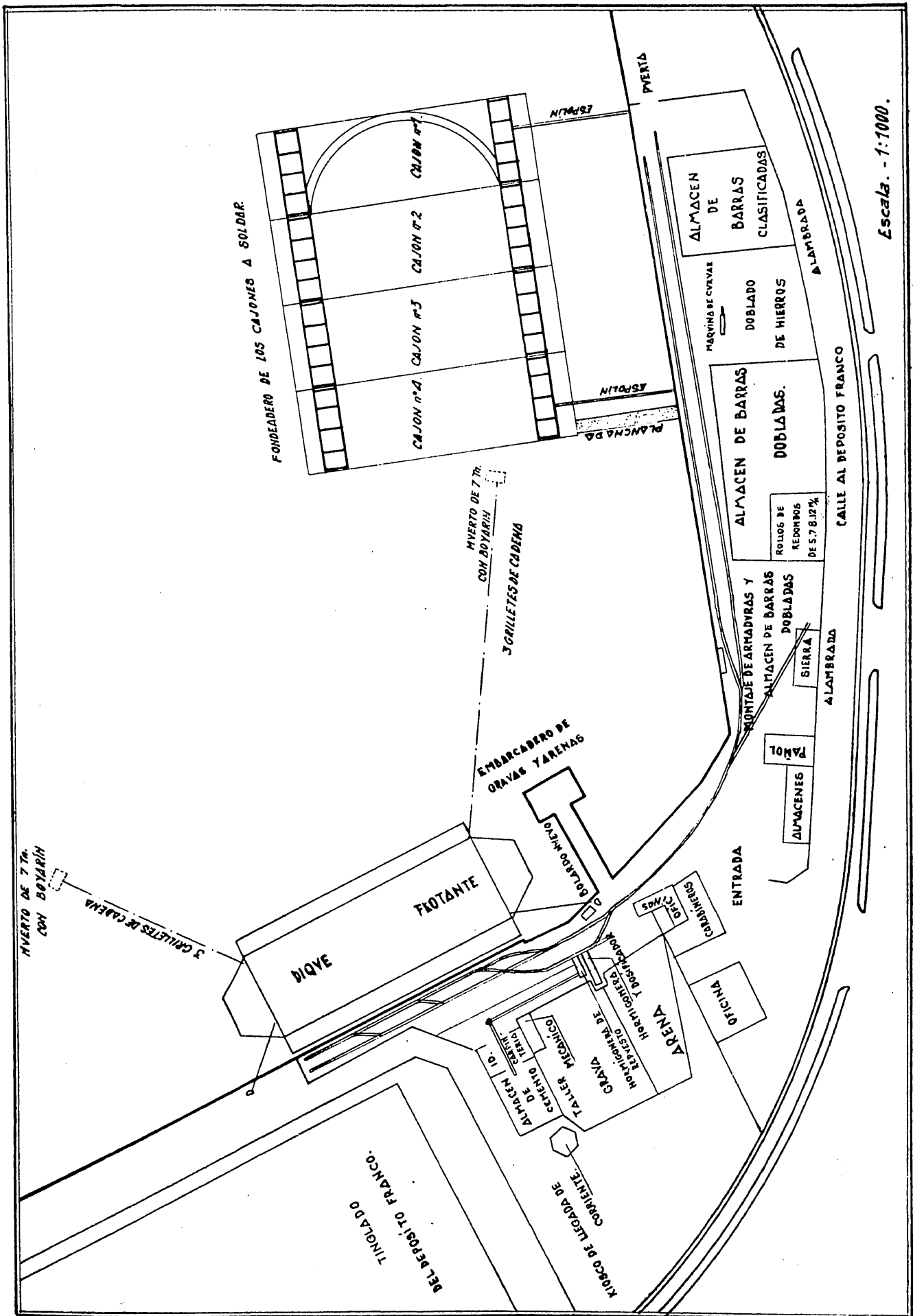


Fig. 6. ^a Plano general de las instalaciones en tierra para la construcción de los calones de hormigón armado

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 desecharlo 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 cimiento antes indicada, y además por la posibilidad de asentarse 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 asentamientos de las diferentes anguilas, llevaba consigo que el cajón tuviese que llevar bastante recrecidas 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

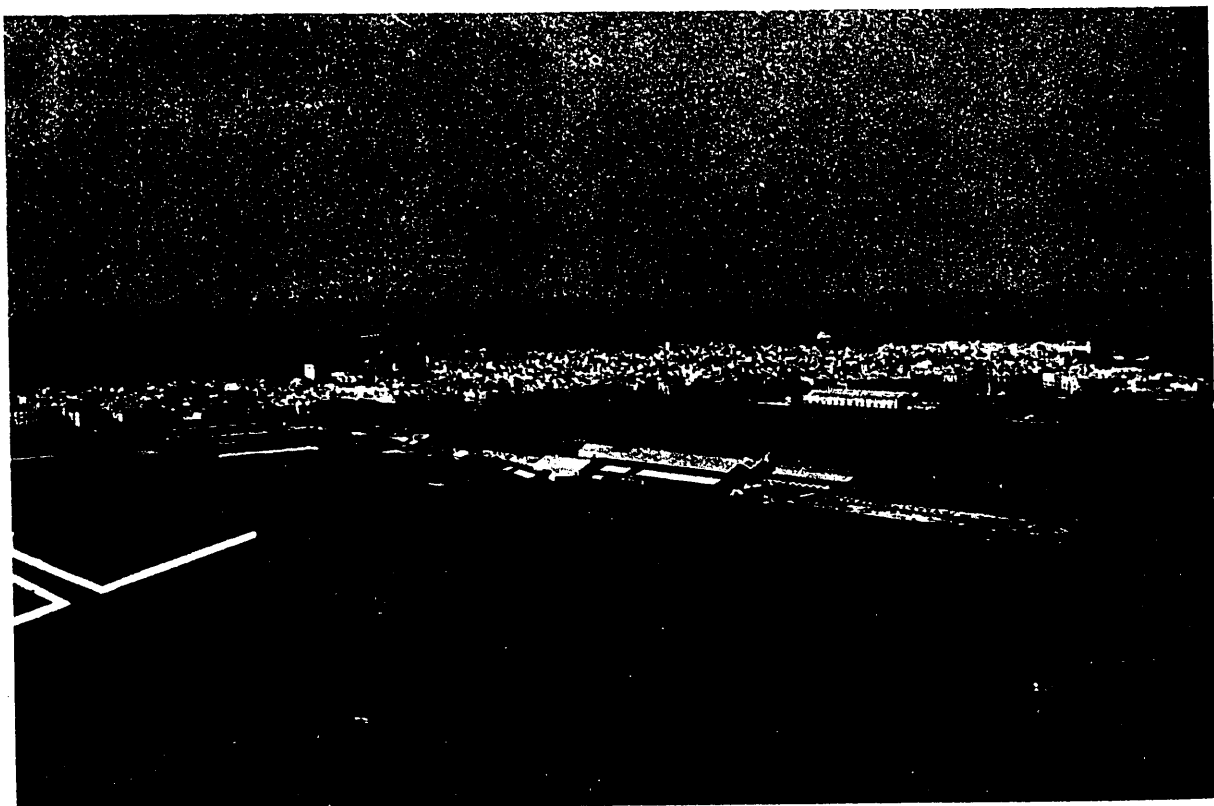


Fig. 7.ª Vista general de Cádiz, desde avión. Se indica a la izquierda, en primer término, la posición que ha de ocupar el dique seco, en construcción. En una de las entradas a la dársena de embarcaciones menores se ve el cajón semiesférico de la Casa de Bombas del dique, y al fondo, la dársena de Moret,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

lado vertical 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 pleamares vivas, de 3,06 m de carrera y de 3,60 m de cota sobre la bajamar viva

equinoccial, exigía, por tanto, el cimentar el cantil a un calado mínimo de $9,30 - 3,60 = 5,70$ m bajo bajar, 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 construido 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 Civiles 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 disminuido 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 ENTRECANALÉS IBARRA
Ingeniero de Caminos