

La construcción del dique seco de Cádiz¹

III

Juntas 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.

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 Morét, 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 recrido 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 bajamareas 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.

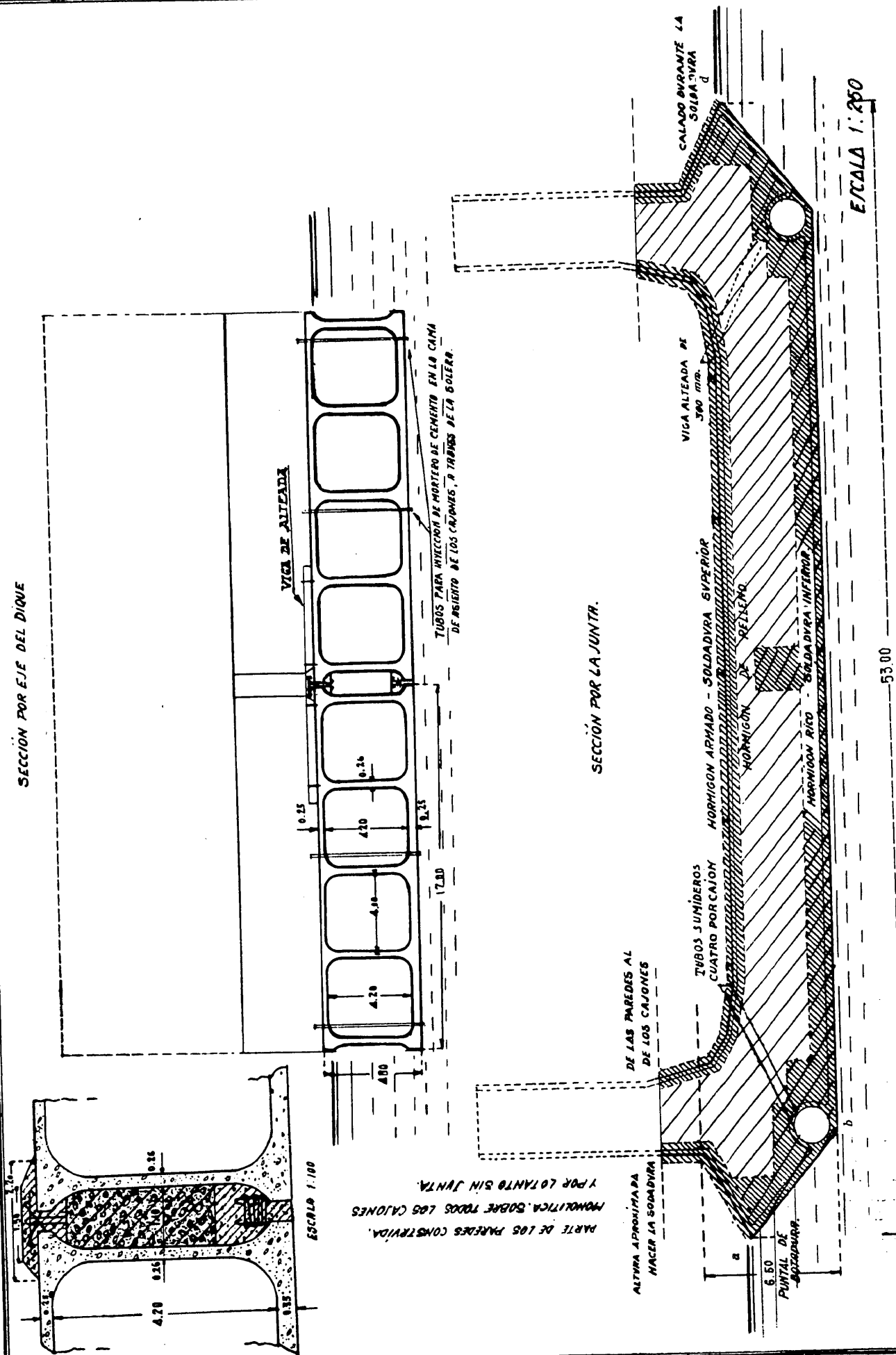


Fig. 3.^a Detalles de la junta

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,

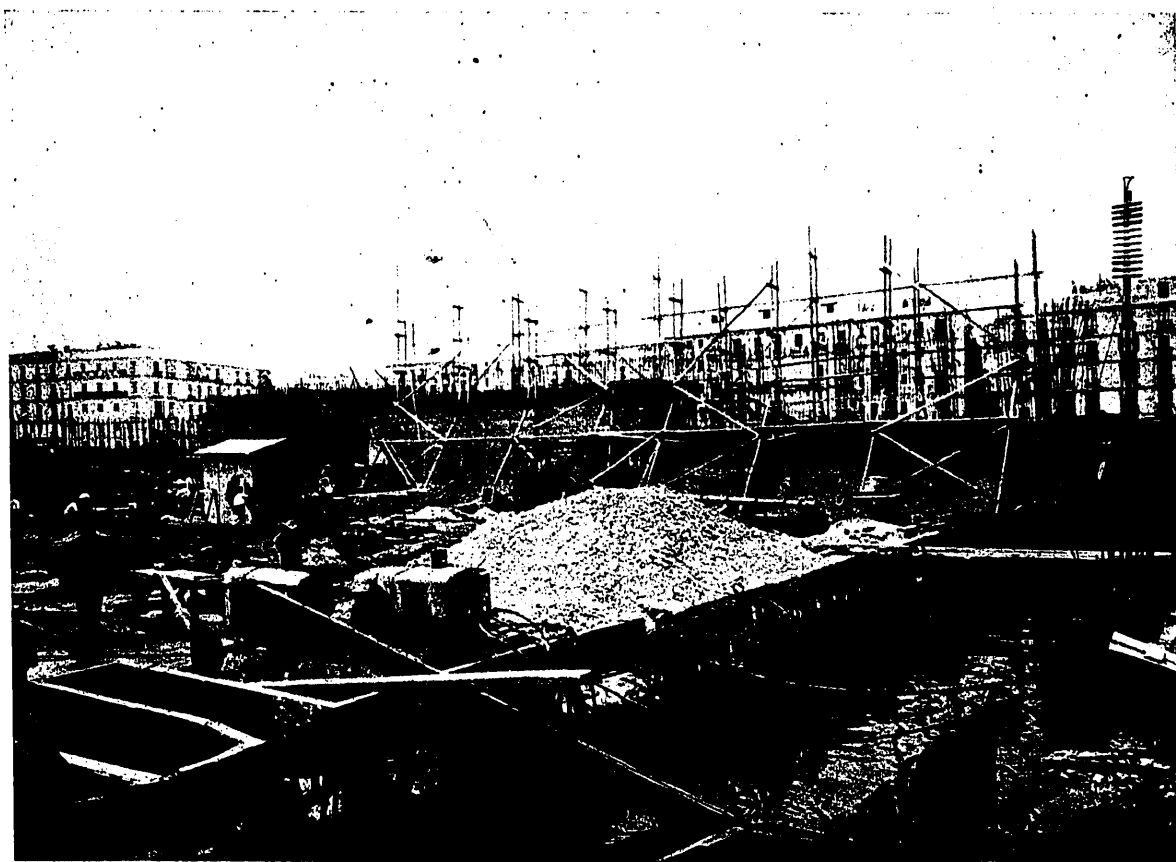


Fig. 4.^a Vista de los tres primeros cajones, ya soldados. En el ángulo inferior derecho asoma la cubierta del cuarto cajón, preparado ya, con igual calado que los anteriores, para ser soldado a ellos. En el tercero se ven la borda provisional, con el entrante correspondiente a la viga de alteada, y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

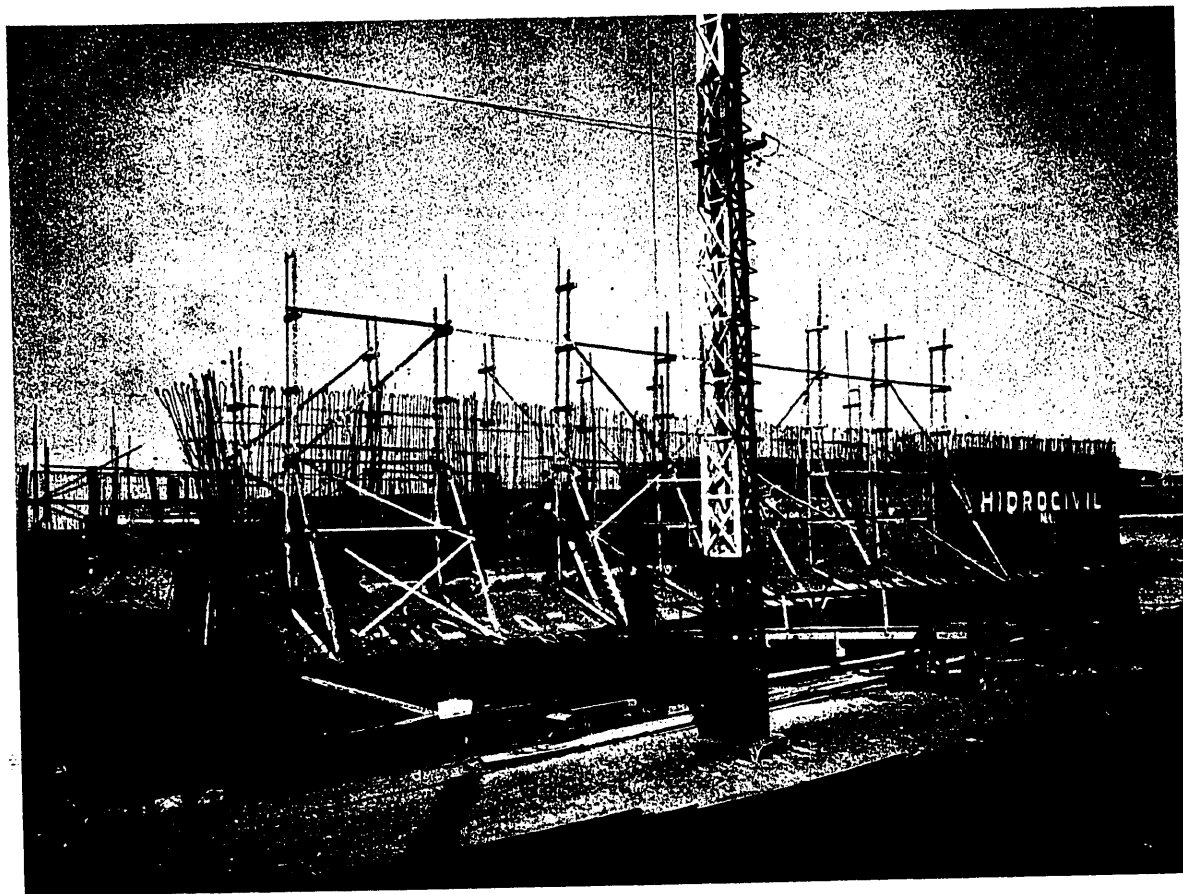


Fig. 5.ª Vista exterior de los tres primeros cajones después de soldados. En construcción las paredes de los cajeros; más adelantada en el 1 que en el 2 y comenzándose en el 3, que se ve en primer término

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

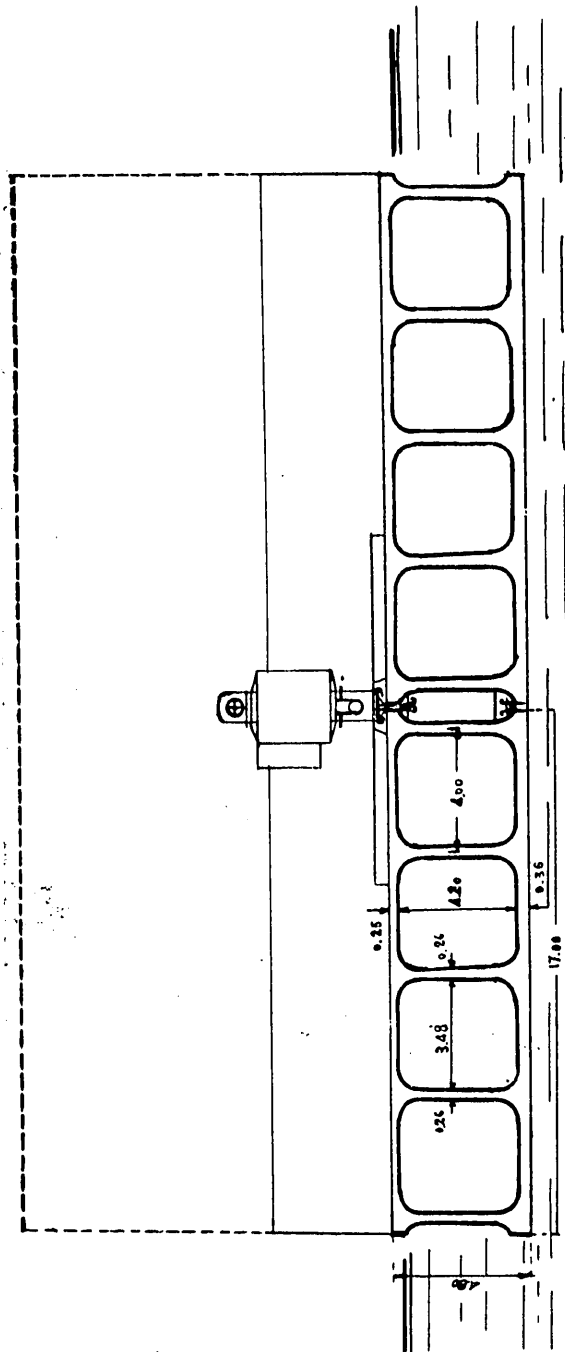
La operación se ha realizado en detalle del modo siguiente: Varados los cajones, presentación y acuña de las vigas de alteada, envolviéndolas y calzándolas con hormigón fino y muy seco, para acelerar su endurecimiento y pasar sin obstáculo la primera pleamar, con la flotación consiguiente de los cajones.

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.

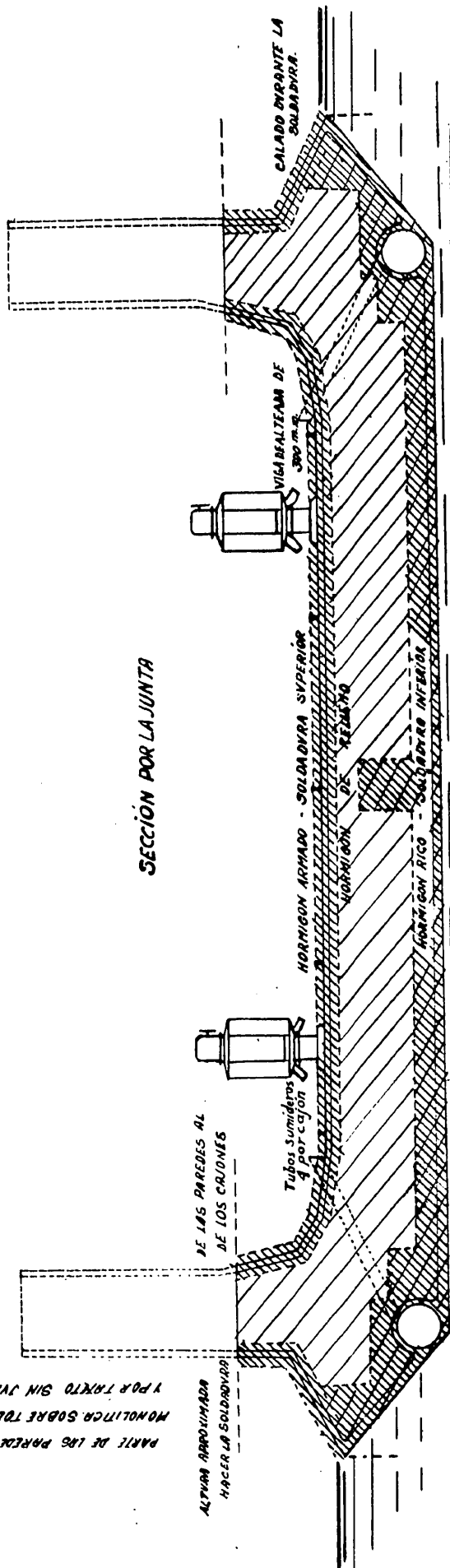
Para realizar mejor la unión entre las juntas, y asimismo para evitar las interrupciones que a veces produce el descebado de las bombas utilizadas para el achique de la junta, se va a intentar el hormigonar las próximas por medio del aire comprimido, colocando las esclusas, como se indica en la figura 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.

SECCIÓN POR EL EJE DEL DIQUE



PARTI DE LAS PAREDES CONSTRUIDA,
MONOLITICA SOBRE TODOS LOS CAJONES
Y POR TRINCHERO SIN JUNTA.

SECCIÓN POR LA JUNTA



ESCALA 1:250

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 tapones 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 rígidamente 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 alceada

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-



Fig. 8.* 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.* 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 alzada 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.

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

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 bordeado, comprimiendo el terreno subyacente y principalmente la cama de asiento, como

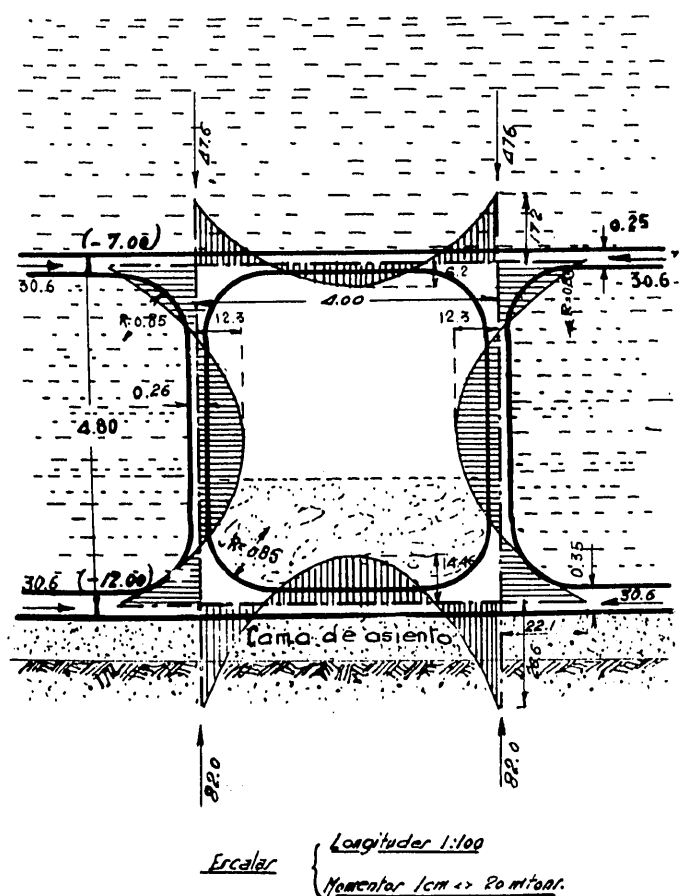


Fig. 10

Las grandes compresiones de más de 90 kg/cm² producidas, como antes se indicó ¹, en los hornigones 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,

¹ Número del 15 de noviembre, pagina 497.

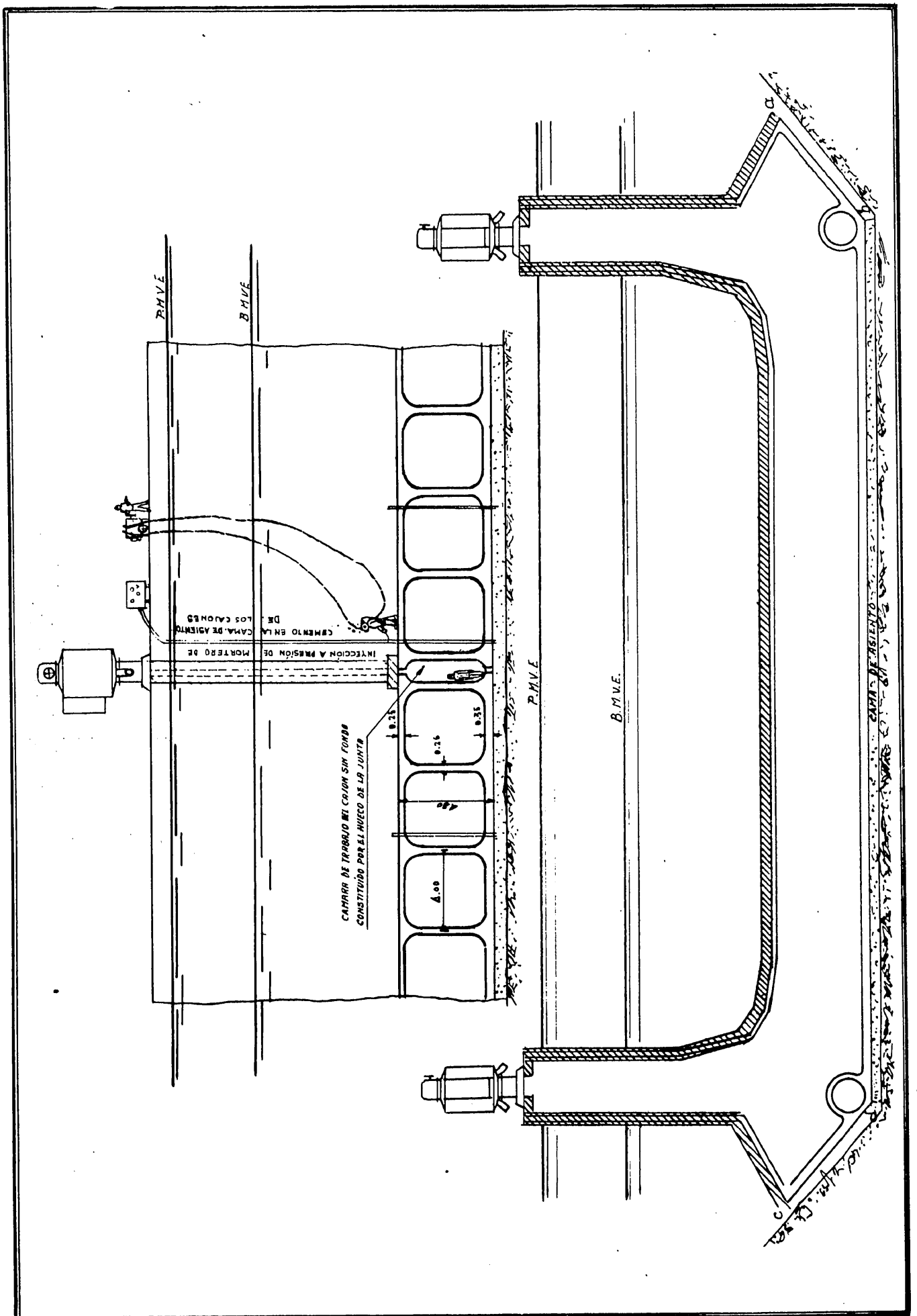


Fig. 11

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 proyecto¹, 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 construida, o sobre lo que acerca de ella pueda preverse en la actualidad.

José ENTRECAÑALES 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.