

CAPÍTULO X

CIMENTACIONES DIRECTAS SUMERGIDAS

- § I. **Definición.** — **Sobre escollera.** — **Sobre bloques artificiales.**
Sobre bloques celulares (Bilbao, Valencia).
- § II. **Cimientos con hormigón sumergido.** — Con cajones sin fondo.
En recintos de pilotes y tablestacas. — En zampeados, soleras y diques. — Peligros del hormigón sumergido. — Su ejecución. — Cimientos con sacos de hormigón.
- § III. **Cimientos directos de cajones con fondo.** — Cajones metálicos (Bilbao, Valencia). — Cajones de hormigón (Barcelona).
- § IV. **Cimientos con cajones de hormigón armado.** — En muelles (Huelva, Santa Cruz de Tenerife). — En diques rompeolas (Musel-Gijón). — En diques de carena (Cádiz). — En profundidades excepcionales (Puente de Lisboa).—Lanzamiento de los cajones.

§ I. **Definición.** — **Sobre escollera.** — **Sobre bloques artificiales.**

Definición. — En terrenos constantemente sumergidos, no es siempre posible establecer ataguías o cajones que permitan los agotamientos para cimentar en seco.

Puede convenir entonces *levantar artificialmente la superficie del terreno*, vertiendo sobre su fondo escolleras, bloques, hormigón o cajones con fondo, hasta que este cimiento sumergido aflore sobre el nivel mínimo del agua, en una extensión suficiente para que sobre él se levante la construcción.

Esta clase de cimentaciones son las que denominamos «Cimentaciones directas sumergidas».

Cimentaciones sobre escollera. — Ya los romanos, desprovistos de otros medios auxiliares de cimentación, habían recurrido a este tosco procedimiento que les permitió elevar algunos puentes en ríos caudalosos.

Pero ya expusimos en el capítulo III cuán precario resulta en los puentes este sistema de cimientos, expuesto a ser arrastrado por las grandes avenidas, tanto más, que la gran sección que invaden, estrecha el cauce y provoca su socavación.

Así es que sólo se emplean hoy los cimientos de escollera para los diques y muelles de los puertos, y de preferencia en mares como el Mediterráneo, de escasa violencia y de pequeña carrera de marea.

Es frecuente que estos muros tengan grandes longitudes y se prolonguen para alturas considerables de agua.

Los volúmenes de escollera necesarios resultan entonces enormes, según puede apreciarse en la figura 180, que para una altura

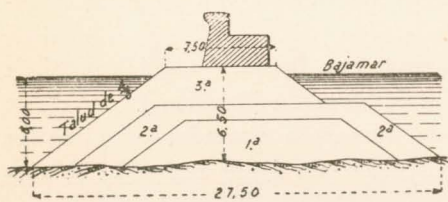


Fig. 180.

de agua de 6 m. exige un volumen de escollera de 117 m.³ por metro lineal; nada digamos cuando los calados se aproximan a 10 y 12 m., como ocurre en muchos puertos.

Hay que explotar entonces en gran escala las canteras que han de producir la escollera.

Pero esta explotación produce piedras de tamaños muy diferentes; es preciso clasificarlas, reservando las más menudas para el centro de los macizos y las más gruesas y pesadas para los taludes exteriores, donde el mar bate con fuerza.

Son muy variables las anchuras y clasificaciones de escolleras adoptadas para estos diques; dependen de las alturas de agua, de la violencia de los temporales, de los tamaños y densidades de los bloques obtenidos en las canteras.

En la figura anterior se pone un ejemplo de la distribución de estas clases o categorías de escolleras, que se estudian con detalle en el Curso de Puertos, por lo que nada añadimos a estas consideraciones generales.

Cimentaciones sobre bloques artificiales. — Si en las inmediaciones de la obra no hay buena piedra para escollera, o aunque la haya, el tamaño de las que en la cantera puedan obtenerse no es suficiente para resistir los golpes de mar, como ocurre en la mayor parte de los puertos del mar Cantábrico, hay que sustituir la escollera de estos cimientos por bloques artificiales de hormigón o mampostería, que se arrojan a granel en el mar, hasta que afloren en bajamar o se concertan por hiladas.

El peso de estos bloques, que son, generalmente, macizos y rectangulares, varía entre 10 y 80 toneladas, y las combinaciones a que se prestan, así como la instalación de los talleres en que se fabrican y los medios de transporte y asiento de los bloques, se estudian también con detalle en el Curso de Puertos.

Nos limitaremos aquí a indicar algunas de las disposiciones que pueden darse en este tipo de cimientos, sobre los que se construyen los muros propiamente dichos.

Figura 181: Tipo de dique con cimiento de bloques concertados desde el terreno.

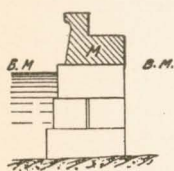


Fig. 181.

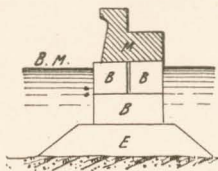


Fig. 182.

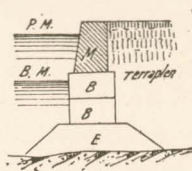


Fig. 183.

Figuras 182 y 183: Tipos de dique y de muelle con cimientos mixtos de escollera y de bloques. La base o infraestructura de escollera, que suele ser más económica que los bloques, se eleva hasta el nivel en que el oleaje y resacas no produzcan movimientos en las piedras sueltas que lo constituyen.

Cimientos de bloques celulares (Bilbao, Valencia). — La violencia de los temporales obliga a veces a aumentar el peso de los bloques artificiales con que suelen constituirse; pero esto lleva consigo el correlativo aumento de las grúas que han de manejarlos, lo que

encarece muy sensiblemente las instalaciones y los medios auxiliares.

Así es que los ingenieros han imaginado sustituir aquéllos por bloques llamados *celulares*, a los que se resta una parte de su peso, ya exteriormente con rebajos en sus juntas verticales, ya interiormente dejándolos huecos en forma de cajón sin fondo, que se asientan sobre un enrase previamente preparado.

Una vez enrasado el terreno, se colocan en obra con una grúa titán y se rellenan en su interior con hormigón sumergido.

Ya en 1905 nuestro ilustre compañero D. Evaristo de Churruca fué el primero, nos parece, que recurrió al primer procedimiento para el muelle de atraque de Santurce, en el puerto de Bilbao (figura 184).

Se colocaron allí dos filas de bloques en sección de doble T sobre una solera de hormigón ejecutada con la campana neumática descrita en el capítulo IX, pág. 181; y una vez rellenos los huecos entre los bloques con hormigón sumergido, se elevó en seco sobre este cimiento el resto del muro de pequeños bloques y mampostería.

De esta manera se consiguió aumentar sensiblemente el volumen definitivo de los bloques artificiales, con menores cargas para las grúas titán que han de manejarlos.

Los ingenieros italianos han aplicado análoga disposición, y al parecer con éxito, en los diques de Savona, Nápoles y Génova. Pero los bloques son cajones sin fondo, en lugar de tener la sección horizontal de doble T empleada por Churruca.

Recientemente, el inspector D. Manuel Maese lo ha propuesto

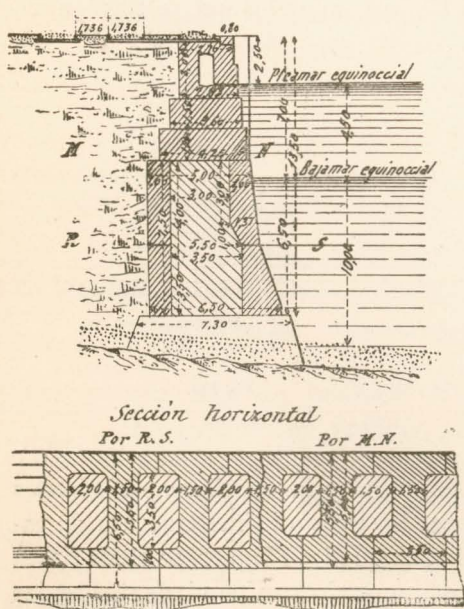


Fig. 184. Bloques celulares del muelle de Santurce.

to, en los diques de Savona, Nápoles y Génova. Pero los bloques son cajones sin fondo, en lugar de tener la sección horizontal de doble T empleada por Churruca.

asimismo para el dique Norte del puerto de Valencia, que se está ejecutando (fig. 185).

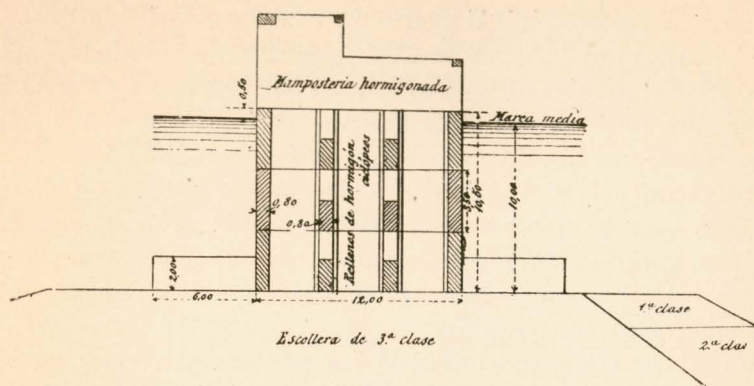


Fig. 185. Dique de Valencia.

Como siempre, en el Mediterráneo, la base o infraestructura se ejecuta con escollera. Sobre ella se colocan bloques de hormigón, huecos y sin fondo, de $12 \times 6 \times 3,50$ m., con paredes verticales y tabiques de 0,80 m. de grueso, que se colocan unos sobre otros en varias filas, constituyendo pozos verticales, que, una vez colocados, se rellenarán con hormigón sumergido.

Se fabrican los bloques en tierra (fig. 186), cubican 110 m. y pesan en seco 260 toneladas. Requieren, pues, para su manejo y trans-

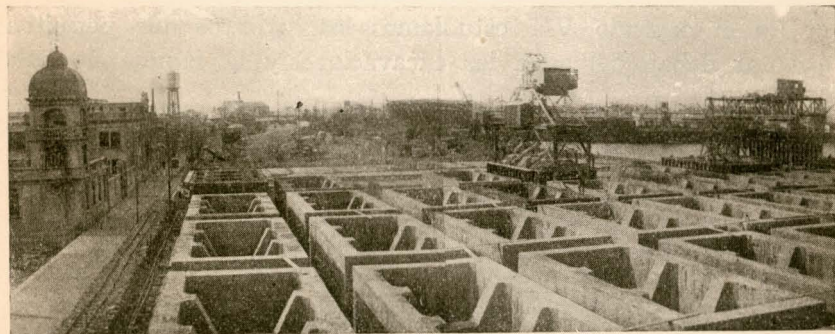


Fig. 186. Fabricación de bloques celulares en el puerto de Valencia.

porte y asiento en obra, grúas elevadoras, carros y grúas flotantes formidables para colocarlos en obra, ya que no pueden transportarse por flotación. El coste de este material no baja de unos 3 millones de pesetas para el puerto de Valencia.

Verdad es que una vez en obra y rellenos de hormigón sumergido, su peso debajo del agua es de unas 330 toneladas, y defendida su base de escollera por otros bloques macizos de $6 \times 2 \times 3$ m., parecen asegurar la vida de los diques así construídos.

La experiencia dirá si es o no preferible este sistema de bloques celulares a los de grandes cajones de hormigón con fondo, que describiremos más adelante y que se emplearon en aquel mismo puerto, con los que se pueden alcanzar mayores volúmenes con medios auxiliares mucho menos costosos.

En resumen de lo que antecede, las escolleras y bloques macizos o celulares, no se utilizan sino en cimientos de diques o muelles; en los puentes sólo se emplean estas clases de fábrica, según luego veremos, en las *defensas* de márgenes o de sus cimientos y terraplenes de acceso.

§ II. Cimientos con hormigón sumergido

Ya indicamos en el capítulo III que cuando los agotamientos se hacen difíciles y costosos, pueden sustituirse las excavaciones en seco de los cimientos por dragados debajo del agua, levantándose entonces los cimientos con hormigón sumergido.

En el capítulo VII estudiamos los aparatos que permiten ejecutar debajo del agua las excavaciones y la fábrica de hormigón.

Veamos ahora las disposiciones que pueden emplearse con este procedimiento de cimentación:

Con cajones sin fondo.— Una vez dragado hasta el terreno firme, o hasta la profundidad que se juzgue suficiente para que el cimiento quede sustraído a las socavaciones, se coloca sobre el fondo de la excavación un *cajón sin fondo de madera*, análogo a los descritos en el capítulo VI, empleados algunas veces como ataguías.

Pero en el caso actual estos cajones no necesitan ser estancos en toda su altura.

Sólo tienen por objeto limitar el volumen del hormigón a lo indispensable para sostener el apoyo. Hasta conviene que las tablas de sus paredes estén algo separadas para que puedan salir fuera del cajón las lechadas que produce la inmersión de las masas.

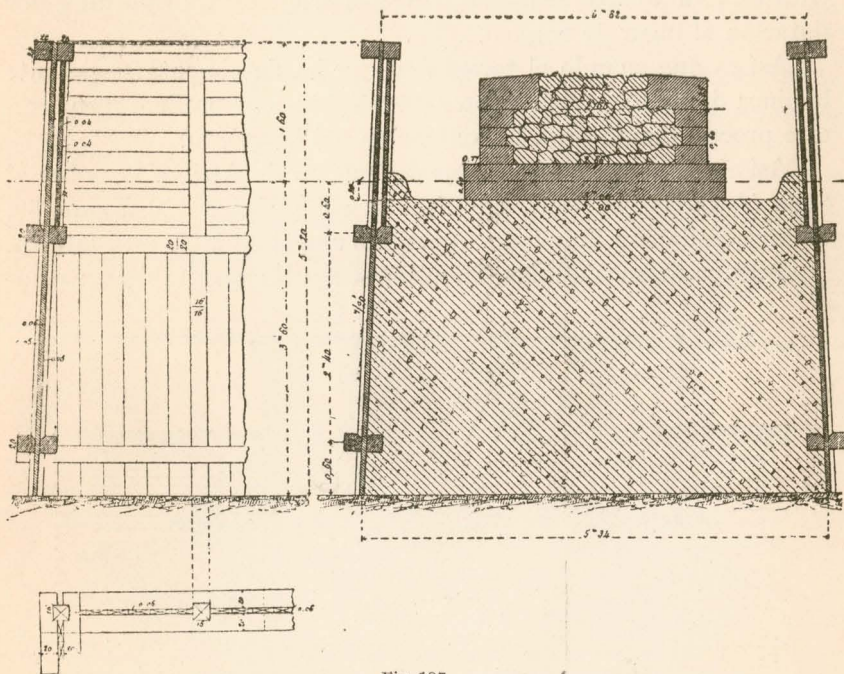


Fig. 187.

Sin embargo, la parte comprendida en la figura 187 entre los dos cepos superiores del cajón, debe impermeabilizarse con una doble pared de tabla bien calafateada.

De esta manera puede agotarse dentro del cajón, una vez que el hormigón haya alcanzado ese nivel, lo que permite sentar en seco las hiladas de zócalo del apoyo.

Cuando el terreno en que quiere cimentarse es firme y no requiere dragado previo, hay que emplear forzosamente cajones sin fondo para contener el hormigón sumergido.

En uno y otro caso debe arrojarse por fuera de los cajones algo de escollera que equilibre el empuje del hormigón flúido sobre las paredes del cajón.

Con recintos de pilotes y tablestacas. — Los cajones sin fondo de madera que acabamos de indicar son, como ya dijimos en el capítulo VIII, caros de adquisición y mano de obra. Necesitan construirse en varaderos inclinados, lanzarse al agua y transportarse por flotación al lugar de empleo.

Así es que cuando el terreno en que ha de cimentarse permite la hincada de un recinto de pilotes y tablestacas, se prefiere recurrir a este procedimiento para la contención del hormigón.

Así ejecutamos los cimientos del puente de Arriondas, sobre el Sella (Asturias), en 1897, que citamos en la página 110, figura 85, construyendo con hormigón sumergido una ataguía de esta fábrica.

Pero ya dijimos allí las dificultades con las que hubimos de lu-

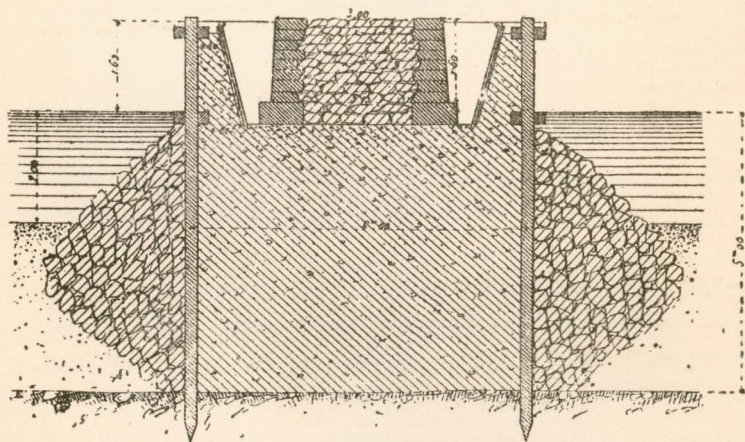


Fig. 188.

char. Así es que parécenos preferible macizar todo el recinto con hormigón sumergido hasta las proximidades del estiaje, como en la figura 189, y únicamente construir ataguía de hormigón en la parte superior, para facilitar el asiento de las primeras hiladas.

En zampeados, soleras y diques. — También pueden ejecutarse con hormigón sumergido los zampeados y las soleras generales de

esclusas o diques de carena extendiéndolo en grandes superficies, que consolidan así el terreno natural.

Sobre estas soleras se levantan los muros laterales, que pueden construirse también con hormigón sumergido, dentro de cajones sin fondo, que sirve de molde.

Los ingenieros ingleses, seducidos por la facilidad de ejecución de estos hormigones sumergidos, lo han aplicado con alguna frecuencia, no sólo para el cimiento, sino hasta para el cuerpo de los diques en plena mar.

Como ejemplo de este procedimiento, citaremos el clásico dique de Wicklow, del que la figura 189 representa diferentes fases de su

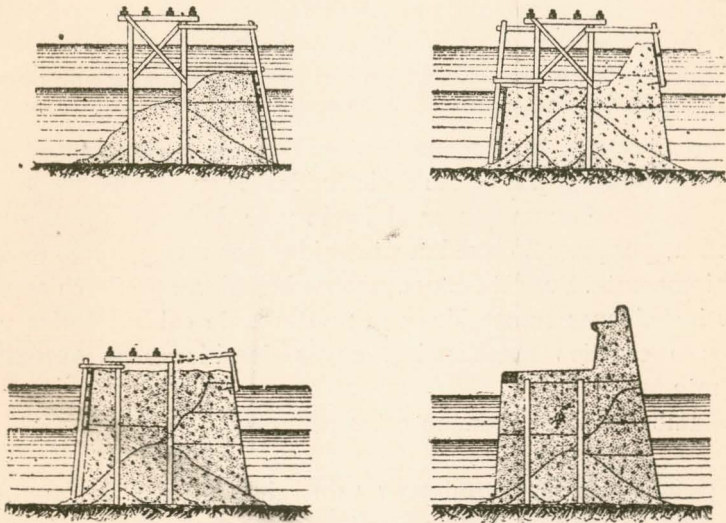


Fig. 189. Dique de Wicklow.

ejecución. Las primeras masas de hormigón interiores del cimiento se sumergían sin defensa alguna; para los paramentos se contenía el hormigón con moldes exteriores que se iban levantando sucesivamente después del fraguado. Las operaciones se hacían desde un viaducto de madera previamente establecido para dos vías sobre las que circulaban los trenes de materiales y las grúas con las que se manejaban las cajas de inmersión.

Pero no se ha repetido este ejemplo sino en casos muy especiales, lo que evidencia que ofrece el procedimiento contingencias que lo hacen peligroso.

Peligros del hormigón sumergido. — Es preciso, en efecto, procurar que la submersión del hormigón perjudique lo menos posible a la riqueza de su mezcla y a su homogeneidad; *el hormigón sumergido pierde todo su valor si el cemento sufre deslavados sensibles.*

Pero es difícil conseguirlo, pues se lucha con dos factores perjudiciales.

En primer lugar, el movimiento del agua, ya sea por las corrientes del río o las resacas del mar, deslavan los morteros, arrastrando parte de su cemento, produciéndose lechadas que al oponerse a la soldadura de las capas, dan al macizo permeabilidad y empobrecen los morteros disminuyendo su resistencia.

Pero, además, la desigual densidad de sus componentes favorece su separación por efecto de la fluidez de su mezcla; las piedras más pesadas se acumulan en el fondo y se deslavan aún con más facilidad, porque sólo quedan protegidas por una película delgada de aglomerante. Por esta causa muchos ingenieros prefieren emplear estos hormigones sumergidos con morteros de cal hidráulica y ladrillos o escorias machacadas, cuyas densidades se aproximan bastante.

Veamos cómo se atenúan estos peligros:

Ejecución de los hormigones sumergidos. — Por de pronto, si el terreno es fangoso en la superficie, hay que extraer esta capa, porque su intromisión en la mezcla del hormigón impediría la adherencia de sus elementos.

Algunos ingenieros prefieren emplear cales de Teil o hidráulicas, más pastosas, que, a igualdad de precio, dan mayor riqueza de mezcla y, por tanto, más resistencia al deslavado.

Otros preconizan el cemento rápido para mayor rapidez de fraguado.

Yo casi siempre he empleado portland en proporción de 250 kg. para 0,450 y 0,900 m.³ de arena y piedra, y no he observado serios inconvenientes.

Cuando la profundidad del agua no excede de 2 m., pueden sumergirse las masas por el procedimiento llamado de *talud*, análogo al que se emplea para la ejecución de los terrapienes.

Por medio de un tubo (figura 190), que protege al hormigón contra el deslavado, se maciza la zona *A* hasta que sobresalga del agua.

Sobre la parte superior de esta masa, y mientras está aún fresca, se vierte por la parte de tierra otra masa *B* de hormigón, que se apisona ligeramente para que penetre en la masa pastosa ya vertida.

Mediante tal artificio se consigue que el talud de avance *T* vaya progresando y sea el único que esté en contacto directo con el agua, por lo que el deslavado del hormigón se localizará en esa zona.

Cuando el cimientto está cerrado por el terreno o por un recinto cualquiera, es necesario extraer, con cubos o bombas de mano, las lechadas que manan del hormigón; cuando haya que empalmar una masa ya fraguada con otras sucesivas, es también preciso barrer esas lechadas con escobas muy suaves, de paja sujeta entre dos tablas.

Si el recinto fuera de madera, será conveniente que la corriente del agua pueda atravesarlo para arrastrar esas lechadas, que son el enemigo de la adherencia entre las diferentes capas.

Pero si la profundidad excede de 2 m., el deslavado es ya más sensible, por ser difícil avanzar de una vez toda la extensión del talud. Hay entonces que recurrir a las cajas o tolvas descritas en el capítulo VII, páginas 130 a 132, con las precauciones que allí se indican.

Parecen preferibles las cajas de capacidad inferior a 2 m.³; pero hay que recurrir a las tolvas cuando tiene el cimientto gran extensión superficial.

Puede aumentarse algún tanto la compacidad del hormigón, apisonándolo muy ligeramente, o mejor aún con tablas pesadas o rodillos que se apoyen sobre la superficie sin ocasionar choques.

En ambos casos conviene escalonar las capas, empezando por

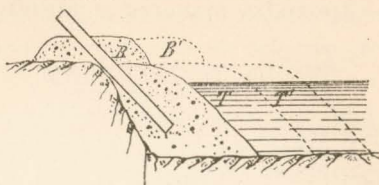


Fig. 190.

aguas arriba para que las lechadas corran hacia aguas abajo (figura 191), de donde se extraen las que no salgan por las juntas del recinto.

De todas maneras, como el agua que rodea a estas masas de hormigón sumergido está siempre turbia, es difícil vigilar estas operaciones y la homogeneidad de las masas y adherencia de sus capas. No puede obtenerse nunca gran confianza en su monolitismo, y aun menos en su impermeabilidad.

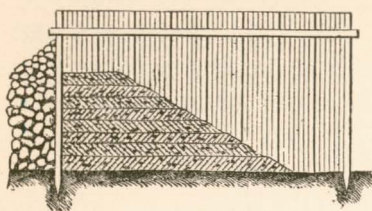


Fig. 191.

Así es que el hormigón sumergido no debe emplearse sino cuando esas probables deficiencias no ofrezcan peligro para la obra, o si resultaran bastante más costosos los demás procedimientos de cimentación.

Así es que el hormigón sumergido no debe emplearse sino cuando esas probables deficiencias no ofrezcan peligro para la obra, o si resultaran bastante más costosos los demás procedimientos de cimentación.

Cimientos con sacos de hormigón. — Cuando las resacas o corrientes agitan con exceso el agua, puede atenuarse el deslavado del hormigón envolviendo a éste en sacos de jerga gruesa.

Generalmente se emplean sacos de $\frac{1}{4}$ a 1 m.³; pero en Inglaterra y América se han llegado a sumergir sacos de 10 a 100 toneladas de peso (1).

Los sacos deben estar incompletamente llenos, para poder amoldarse unos sobre otros y obtener así mayor trabazón. Se puede aún aumentar ésta, inyectando cemento entre los sacos, una vez éstos colocados.

Se sumergen con cajas, que abren los buzos, una vez llegados los sacos al fondo y asentándolos en su sitio.

Los sacos, con su hormigón aun blando, se amoldan al terreno y a los sacos inmediatos y forman una masa bien trabada y compacta.

El hormigón en sacos es casi necesario para regularizar la superficie de las rocas o del terreno, cuando se quiere obtener una superficie sensiblemente horizontal para colocar bloques o cajones de dimensiones fijas en los diques concertados de los puertos.

(1) Mahiels: *Le béton et son emploi*, pág. 236.

En los puertos del Cantábrico, y en el de Bilbao muy particularmente, se han ejecutado extensos y altos cimientos de diques y muelles con sacos de hormigón y excelente resultado.

Se emplean también los sacos de hormigón para recintos exteriores o ataguías, y pueden obtenerse así paredes de relativa impermeabilidad (1).

Respecto a la clase y dosificación del aglomerante empleado para el hormigón de estos sacos, depende de las corrientes que haya en el sitio en que han de sumergirse.

Si no las hubiere o fuesen poco sensibles, puede emplearse portland a razón de 300 a 450 kg. por 0,400 y 0,800 m.³ de arena y piedra, y así lo hemos hecho con éxito completo en el enrase y juntas de los cajones de Santa Cruz de Tenerife, que luego describiremos (2) pero cuando se teman corrientes o resacas es forzoso recurrir a cementos rápidos, con dosificación de 400 a 500 kg. de cemento.

En España se emplea mucho el cemento de Zumaya, cuyo fraguado debe estudiarse en cada caso, *para que sea siempre posterior a su colocación por el buzo*, pues de no hacerse así, el saco se petrifica antes de asentarse y no se puede amoldar al terreno ni a los sacos inmediatos, condición precisa para que el cimiento sea compacto y eficaz.

§ III. Cimientos directos de cajones con fondo

La cimentación por grandes bloques de hormigón en masa, tan frecuente en la construcción de muelles y diques de los puertos;

(1) En el capítulo XIII, al ocuparnos de «Ensanches de cimientos», citaremos un ejemplo de esta aplicación.

(2) Aunque el muro allí construido se halla en la costa abierta, como no se colocan sacos sino con mar bella, hemos podido observar que se deslavan muy poco; únicamente aparece ese defecto en los que, por haber sido colocados al nivel del agua, han estado expuestos a la marejada, siempre más sensible en la superficie; pero basta picar la capa superior para encontrar el hormigón en condiciones de levantar sobre él la fábrica.

Después de unos fuertes temporales pudimos asimismo comprobar que esos sacos con portland habían soldado perfectamente, formando un monolito de gran resistencia, no sólo bajo los cajones de hormigón que sobre ellos se asentaban, sino en las juntas verticales de estos cajones, cuya separación exigió también su relleno con sacos.

exige, como hemos dicho, un taller de bloques, con sus grúas Goliath para la carga de aquéllos y otra grúa Titán fija o flotante para su colocación en obra.

Pero este taller, y sobre todo las grúas, ocasionan un gasto elevado, que hay que amortizar en un gran número de bloques.

Cuando esto no ocurre, es preferible sustituir los bloques macizos o celulares, de que nos hemos ocupado al principio de este capítulo, por grandes cajones con fondo, *construidos en un dique o varadero, transportados por flotación y rellenos en obra con arena o fábrica.*

En España es donde quizás se han realizado las más antiguas e interesantes aplicaciones de este nuevo procedimiento de cimentación que pasamos a describir.

Cajones metálicos con fondo (Bilbao, Valencia). — Ya el año 1893, el ilustre ingeniero D. Evaristo de Churrua, marqués de Motrico, al que hay que recordar constantemente cuando se habla de obras marítimas, imaginó emplear grandes cajones metálicos con fondo, que, apoyados sobre la infraestructura de escollera y relleno de bloques de hormigón, permitiera, con su enorme peso de 1.400 toneladas, resistir los temporales formidables del Cantábrico, que en el Abra de Bilbao parecían impedir allí la construcción del rompeolas indispensable para el abrigo de aquel puerto, temporales de cuya violencia da idea la ola fotografiada de la figura 192.

Así se realizó con éxito en los años 1895 a 1902, merced a 192 cajones con una longitud de rompeolas de 1.450 m.

Salvo el último cajón para el morro del dique, que es circular, los demás son rectangulares, de $13 \times 7 \times 7$ m., y se disponen por detrás de un rompeolas de grandes bloques sobre escollera en una anchura de 40 m. (fig. 193).

Con una campana neumática se enrasaba previamente la zona de escollera en que había de apoyarse el cajón. Se construía éste en la margen de la ría, reforzándose con dos mámparos transversales y uno longitudinal, todo ello de palastro y angulares, con unas 30 toneladas de peso.

Lanzado al agua el cajón, se lastraba primeramente con una so-

lera de hormigón de 1,50 m. de grueso, con cuya carga calaban los cajones 3,40 m. Transportados a remolque y fondeados sobre la escollera, se colocaban por medio de una grúa dos bloques superpues-

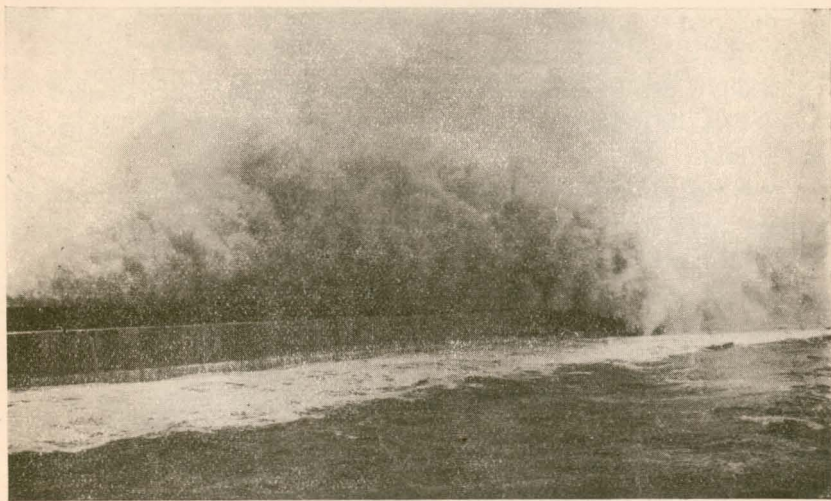


Fig. 192. Temporal contra el rompeolas de Bilbao.

tos de 30 toneladas, en cada uno de los seis compartimientos de cada cajón.

En bajamar se agotaba el agua que envolvía los bloques y se

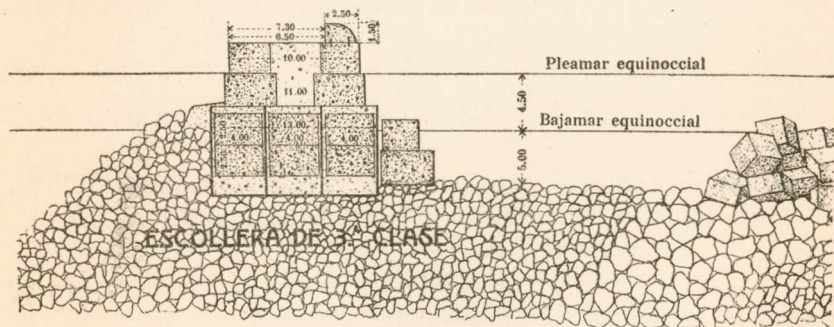


Fig. 193. Rompeolas de Bilbao.

rellenaban los huecos, en seco, con hormigón bien apisonado, que, además, recubría el bloque superior con una tongada de 0,50 m.

Así es que, aun cuando se destruya la envolvente metálica, siempre quedará el monolito de hormigón de 1.400 toneladas como cimiento de la superestructura.

En el dique Norte del puerto de Valencia, los ingenieros Sres. Elio y Vilar perfeccionaron sensiblemente estos cajones, suprimiendo la pérdida de su parte metálica.

El dique estaba primeramente constituido por cinco hiladas de bloques de 40 toneladas, que en el temporal del año 1901 sufrieron una avería.

Propuso entonces el ingeniero D. Fausto Elio sustituirlos por cajones de $8 \times 8 \times 8$ m., construidos con moldes desmontables de hierro y madera.

Las paredes del molde eran de chapa de 7 mm., reforzadas por nervios verticales, sección carril, y viguetas horizontales. El fondo era de tablonos de madera de 80 mm. de grueso, cuya rigidez se conseguía con tres ligeras armaduras metálicas interiores al cajón (1).

Las paredes verticales se unían por visagras en las aristas del cajón, que permitían un desmoldeo rápido y la posterior utilización de dichas paredes del molde, perdiéndose únicamente el fondo.

Montado el molde y botado al agua por medio de un puente-grúa, se lastraba con una solera de hormigón de portland, suficiente para su remolque hasta el dique.

Para fondearlo se colocaba en el interior del cajón, sobre el hormigón de la solera recién fabricado, un bloque de 40 toneladas que le hacía descender 40 cm., y después de comprobada su posición, se colocaba otro bloque de 40 toneladas, que le hacía descansar sobre el fondo.

Se quitaban estos bloques cuando en el cajón se había vertido un volumen, también de hormigón de portland, superior al de los bloques, y se continuaba el relleno.

La operación duraba, en ocasiones, una semana: un día para el hormigonado al pie del puente-grúa; a la madrugada del día si-

(1) Los muy interesantes detalles de la ejecución de estos cajones se describen en las Memorias de la Junta de Obras del Puerto de Valencia, de los años 1903 a 1911, páginas 76 a 101, y en la del año 1912, páginas 5 a 71.

guiente, un remolcador lo llevaba al extremo del dique; se fondeaba, empleándose tres días en su relleno completo; otro día para dejarlo fraguar; el quinto se quitaban las paredes del molde, que volvían al puente-grúa y que se montaban entre el sexto y séptimo día, y el octavo día recomenzaban las operaciones.

Las juntas entre los monolitos tenían aproximadamente 2 m. de separación, que permitían al buzo trabajar bien en ellas en las operaciones de quitar los cables, tornillos, poleas, pasadores, etc. Se rellenaba la junta primero con sacos y luego con pequeños bloques de hormigón de cemento, hechos a medida, que se colocaban a los ocho días de fabricados.

Hasta ahora, ni en los monolitos ni en los bloques y sacos de las juntas se ha notado señales de descomposición.

Como en Valencia no hay mareas y la vida submarina se desarrolla extraordinariamente, a los pocos días de colocado un cajón quedaba cubierto de una capa protectora, muy beneficiosa para su conservación.

Pero sin duda por los temores que en estos últimos años se han iniciado respecto a la descomposición en el mar de los hormigones recientes ejecutados con cemento portland, creyó prudente el ingeniero Sr. Maese, que se hizo cargo posteriormente de la dirección de aquel puerto, sustituir estos monolitos por los bloques celulares descritos en la primera parte de este capítulo.

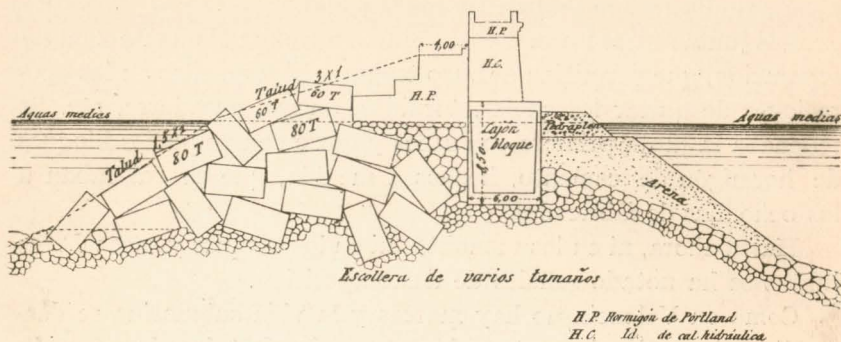
La experiencia dirá cuál de los dos procedimientos de cimentación ofrece mayor seguridad; pero, en todo caso, parece desde luego evidente que el de los cajones con moldes desmontables, que acabamos de describir, es original y económico por su rapidez de ejecución y los escasos medios auxiliares que exige. Resuelto el problema de la descomposición de los cementos en el mar, podrá ser aplicado en muchos otros puertos.

Cajones de hormigón con fondo (Barcelona).—Para el rompeolas de Levante, del puerto de Barcelona, el ingeniero D. Carlos de Angulo proyectó unos grandes cajones de hormigón, representados en las figuras 194 y 195. Como se ve en la sección transversal, estos cajones se apoyan sobre una infraestructura de escollera menuda, revestida por dos taludes de escollera más gruesa.

La defensa de esos enormes cajones de 25,20 × 6,00 × 7,80 m.

y peso de 2.500 toneladas, está encomendada a un macizo de grandes bloques y a un relleno de escollera gruesa, recubierto por un zócalo de hormigón en masa.

Los cajones son de hormigón en masa con un fondo uniforme



H.P. Hormigón de Portland
H.C. Id. de cal hidráulica

Fig. 194. Rompeolas de Barcelona.

de 1 m. de espesor. Las paredes laterales tienen gruesos decrecientes de 0,30 a 0,10; los tabiques, de 0,20 a 0,10 m.

Sólo están armados con cinco redondos de 25 mm. en la parte

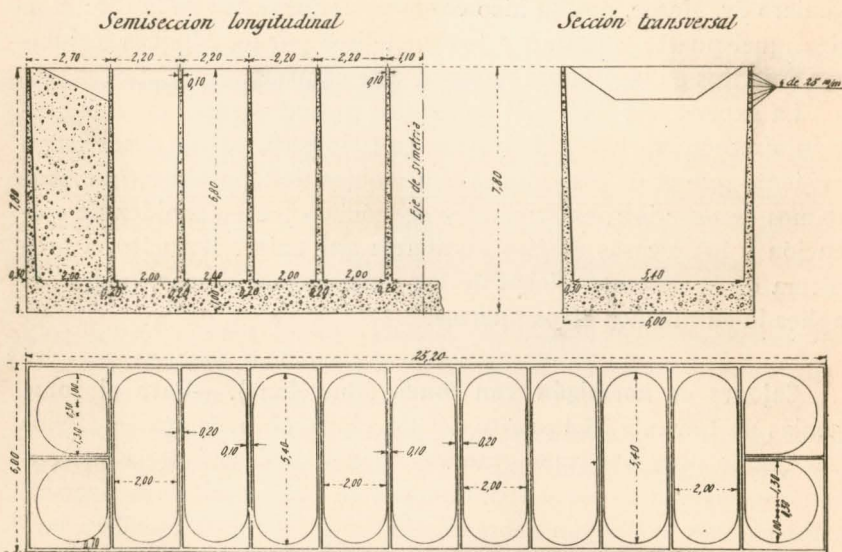


Fig. 195. Cajón del rompeolas de Barcelona.

superior, para dar a esta zona débil resistencia para su transporte (1).

Se construyeron estos cajones con moldes de madera en un gran dique deponente propiedad del puerto (fig. 196), y se transpor-

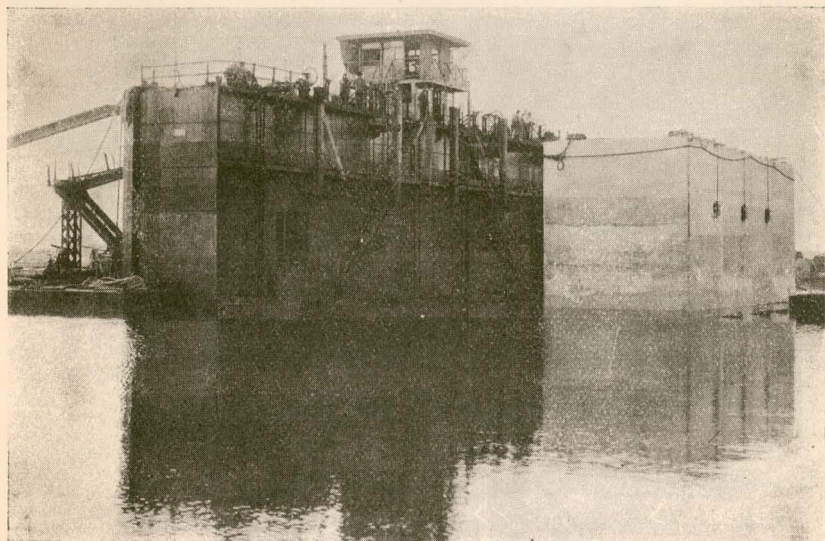


Fig. 196. Dique deponente de Barcelona.

taron remolcados a pie de obra, fondeándose sobre la escollera debidamente enrasada (figuras 197 y 198).

Se vertía entonces en los cajones una capa de 1,60 m. de mampuestos, y agotado su interior y arregladas las piedras, se rellenaban las juntas con mortero 1×2 de cal de Teil, completándose el relleno de hormigón ciclópeo con el mismo mortero, cubriéndose, por fin, con una tongada de 0,25 m. de hormigón de cemento grappier. El metro cúbico de los 108 monolitos así construídos sólo resultó a 34 pesetas (antes de la guerra).

A pesar de las previsoras medidas adoptadas y de las dimensio-

(1) Se encontrarán detalles de esta interesante obra en la *Revista de Obras Públicas* de 7 de septiembre de 1905, y en las conferencias del actual ingeniero director del puerto de Barcelona, D. José Aixelá, publicadas en la *Revista de Obras Públicas* del año 1915.



Fig. 197. Transporte de los cajones de Barcelona.

nes excepcionales de los cajones y de sus defensas, este rompeolas sufrió en su parte central sensibles desperfectos en una tempestad de febrero de 1920, de cuya violencia da idea la figura 199.

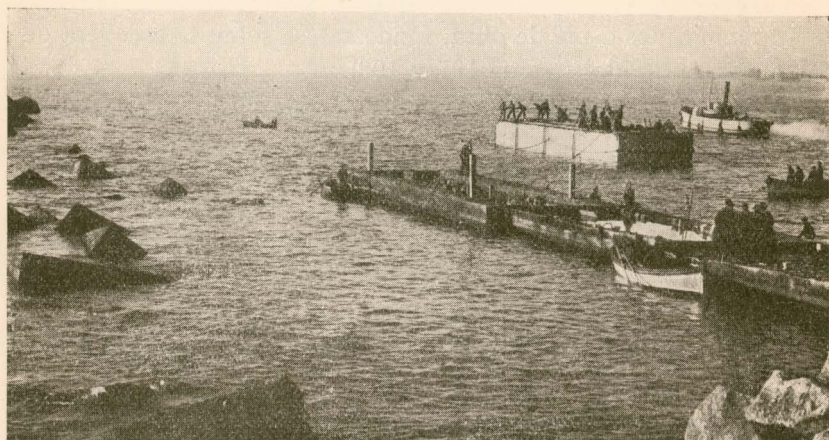


Fig. 198. Colocación y relleno de los cajones de Barcelona.

Pero han sido reparados, reforzando sus partes débiles, que resultaron ser: el zócalo de hormigón en masa que defiende los cajones por la parte del mar y el talud interior de la escollera, a las que se han dado las dimensiones de la figura 195.



Fig.199 . Temporal en el rompeolas de Barcelona.

También parece inclinado el actual ingeniero director de aquel puerto, D. José Aixelá, a reforzar el hormigón en masa de los cajones con armaduras en el fondo y paredes.

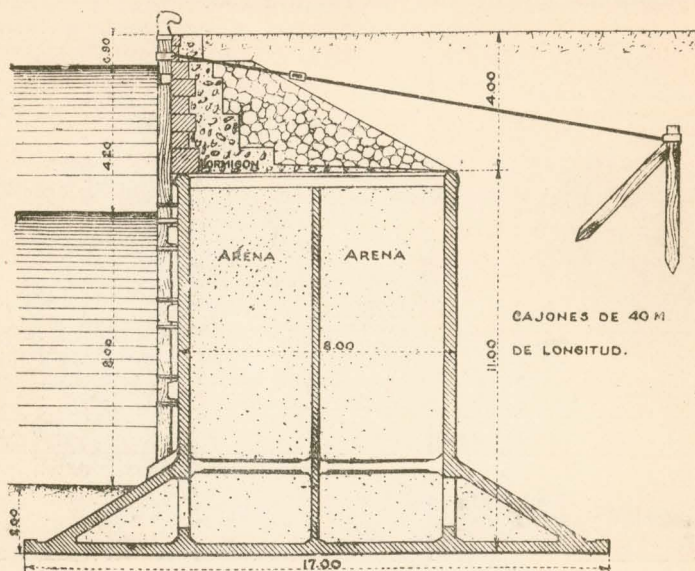
§ IV. Cimientos de cajones con fondo, de hormigón armado

En muelles (Huelva, Santa Cruz de Tenerife). — En el tomo I, página 185, de este libro describimos los cajones de hormigón armado que para el nuevo muelle del puerto de Huelva ha proyectado nuestro compañero D. Francisco Montenegro, y cuya ejecución comenzará en breve.

Los incluimos entonces entre los tipos de muros de hormigón armado, porque en este caso el cajón constituye casi la totalidad del muro, por su gran altura de 11 m., sobre el que sólo ha de construirse un murete de 4 m. (fig. 200).

Estos cajones, que serán los mayores de este tipo empleados hasta la fecha, pesarán cada uno de ellos 2.388 toneladas.

Se fabricarán en un varadero, y una vez botados al agua y re-



molcados a su emplazamiento, se fondearán directamente sobre el fondo de arena previamente dragado y enrasado.

Ofrecen la particularidad de que se rellenarán de arena los compartimientos que forman las paredes y tabiques, recubriéndose la coronación del cajón con el murete de paramento y una solera de hormigón.

Análogo procedimiento de cimentación estamos empleando en el muro que frente al mar ha de proteger la Avenida Marítima, de Santa Cruz de Tenerife.

Este muro, con profundidades de agua en bajamar que alcanzan 6 m., estaba proyectado con bloques macizos de hormigón de unas 40 toneladas (fig. 201), sobre un enrase del terreno con sacos de hormigón.

Pero para el escaso número de bloques que había que sentar, hubiera sido muy oneroso la adquisición de las grúas necesarias

para su colocación, por lo que el autor propuso, y fué aceptada, la sustitución de aquellos bloques, y por igual precio, por los cajones con fondo de hormi-gón armado de las figuras 202 y 203, que, por su peso de 400 toneladas, ofrecían mayores garantías de resistencia (1).

Construimos dichos cajones en un varadero dentro del puerto, que tiene 0,075 de pendiente. A los 30 días de su fabricación se lanzan al agua por medio de un carretón llamado «cima», y permanecen flotando en la dársena hasta que el buen tiempo permita su transporte con un remolcador a

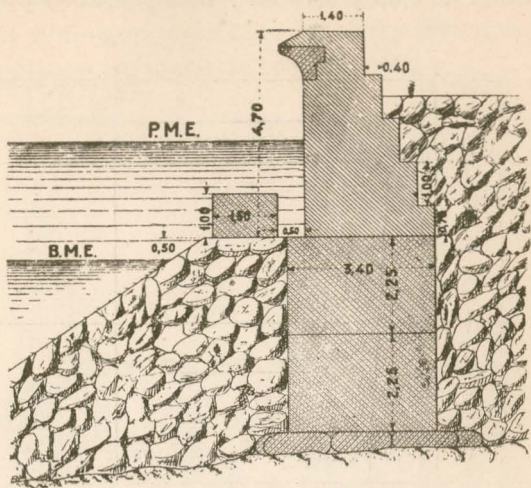


Fig. 201. Muelle de Santa Cruz de Tenerife.

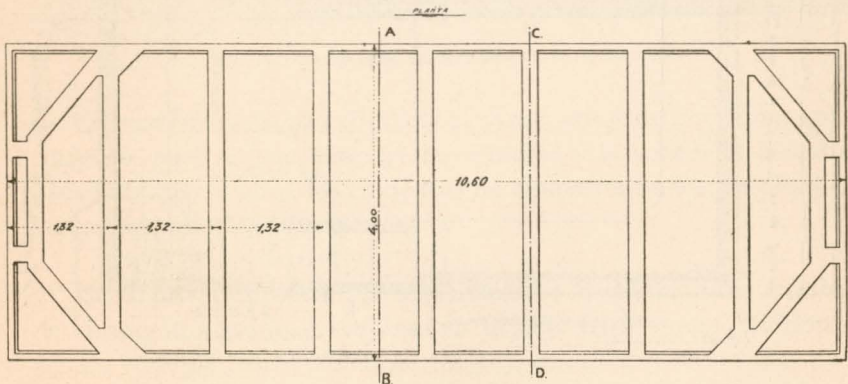


Fig. 202. Planta de los cajones de Santa Cruz de Tenerife.

(1) Proyectados por nuestro ingeniero D. Antonio Arbolí, que dirigió aquella obra, bajo la inteligente inspección del director facultativo del Cabildo insular de Tenerife, D. Luis Díez de Losada.

la Avenida Marítima, situada fuera del puerto y sin abrigo alguno.

Preparado el asiento del cajón con los sacos de hormigón de portland de 0,50 y 0,75 m.³, indispensables para enrasar el fondo, se

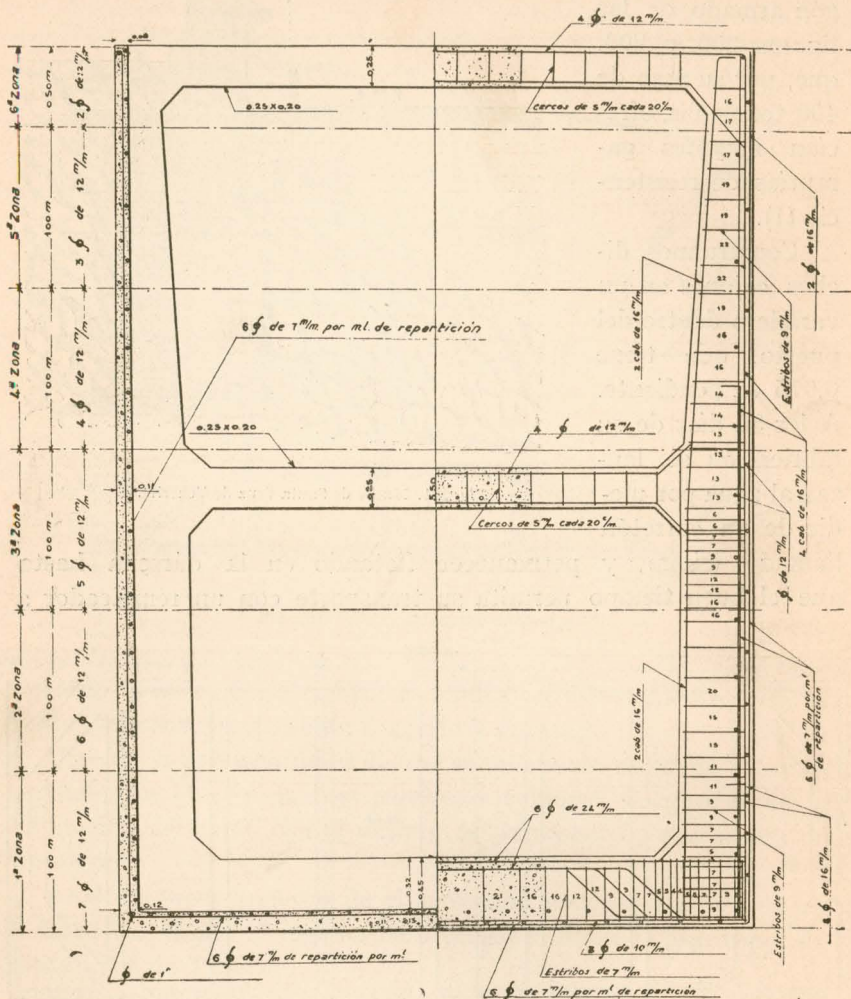


Fig. 203. Sección de los cajones de Santa Cruz de Tenerife.

fondea el cajón, echándole el agua necesaria, y se rellena con pequeños bloques de hormigón ciclópeo de 1,50 × 0,90 × 0,50 m., con lo que se lastra el cajón con rapidez y eficacia (figura 204).

Los huecos que quedan entre estos bloques se rellenan con hormigón en una bajamar, agotando previamente el agua que queda dentro del cajón, y este hormigón, ejecutado en seco y bien apisonado, consigue el monolitismo completo de todo el cajón.



Fig. 204. Fondeo de un cajón en Santa Cruz de Tenerife.

Creemos que este procedimiento es susceptible de frecuentes aplicaciones, pues no son dudosas las ventajas y la economía de estos pesados cajones sobre los cimientos de bloques aislados, que exigen costosos medios auxiliares.

En diques rompeolas (Musel-Gijón). — También estos cajones de hormigón armado se emplean en España para diques exteriores.

En el dique Norte del Musel (Gijón), que es al mismo tiempo un rompeolas, se emplean desde 1911 cajones de hormigón armado, si bien con ciertas contingencias, propias de los violentos temporales del Cantábrico, que, al meter de golpe, unas cuantas toneladas de agua dentro del cajón, antes de que éste se haya rellenado totalmente, producen como un golpe de ariete, para el que no estaban calculadas las paredes.

Así es que, con gran acierto, cuando el ingeniero jefe D. Manuel Becerra se hizo cargo de la dirección de aquel puerto, modificó los

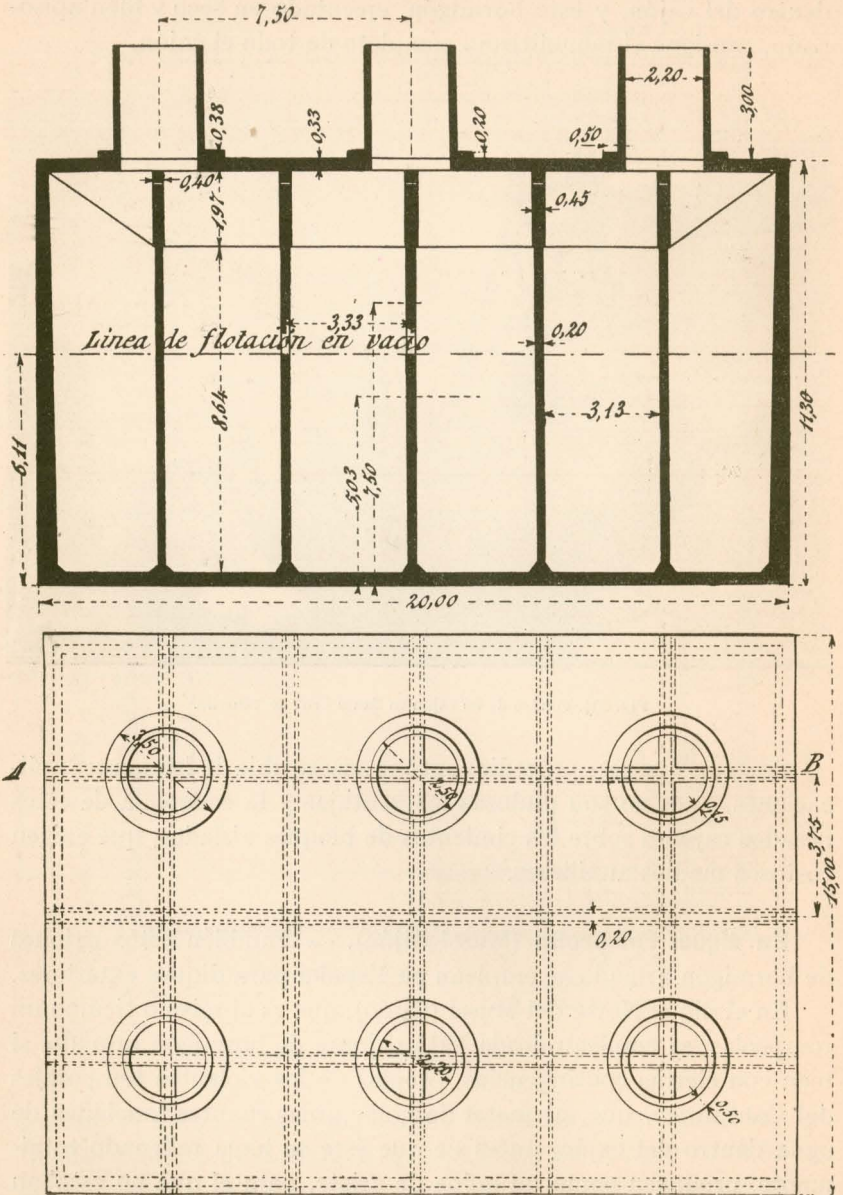


Fig. 205. Cajones del rompeolas del Musel (Gijón).

primeros, aumentando sus dimensiones, pero con la defensa de una tapa superior en la forma de la figura 205, en cuya tapa se empotran unas chimeneas para su relleno (1).

Estos cajones quedan divididos en 24 compartimientos por sus cinco tabiques longitudinales y tres transversales, cuyos ejes se cruzan en el centro de las chimeneas, lo que permite el relleno por cada una de ellas en cuatro compartimientos a la vez.

Este cajón se construye sin su techo ni chimeneas en una grada con 15 por 100 de pendiente. Lanzados al agua, calan en vacío 5,04 m.

Lastrados con una capa suplementaria de hormigón de 0,64 m. y después de construídas las tapas y chimeneas, su calado aumenta hasta 7,35.

Las chimeneas se han calculado para una ola que produzca un esfuerzo de 8 toneladas por metro cuadrado.

Transportados a remolque a su sitio, los cajones se llenan de agua hasta que asienten sobre el lecho de sacos de hormigón con que se ha enrasado previamente el suelo.

Se procede entonces al rápido relleno por cada una de las seis chimeneas que corresponden a cuatro compartimientos, y se completa con mortero rico que macice los huecos que queden debajo del techo.

El ingeniero D. Eduardo de Castro, actual director de aquel puerto, y muy conocedor de sus obras marítimas, a las que se dedicó especialmente, se propone mejorar el relleno de esos grandes cajones que constituyen el principal factor de resistencia del dique.

Debe efectuarse con rapidez ese relleno, para evitar la destrucción del cajón vacío por un galernazo imprevisto, y necesita ser homogéneo, impermeable y bien adherente a las paredes y tabiques del cajón, para constituir con éste un bloque monolítico.

Para evitar el relleno con hormigón sumergido en el agua, que hay que verter en el cajón para fondearlo, procederá en la forma siguiente el Sr. Castro:

Echar a pique con agua.

(1) En el XIII Congreso de Navegación, el ingeniero D. Manuel Becerra, entonces director de las Obras del puerto del Musel-Gijón, dió cuenta en una Memoria de esta interesante aplicación.

Rellenar los tres o cuatro metros inferiores con piedra partida, lo que se puede hacer rápidamente.

Achicar después el agua y que, aun en pleamar, quede el cajón a pique por el peso de la piedra.

Acabar el relleno con hormigón.

A los 20 ó 30 días que son necesarios para que se endurezca el hormigón, se perfora éste y se *inyecta mortero* para aglomerar la piedra suelta del fondo, y lo mismo se hará con los dos o tres metros últimos del hormigón, que son difíciles apisonar por debajo del techo.

No dudamos del éxito de tan original procedimiento de relleno de los cajones, que ofrece evidentes ventajas sobre los demás empleados.

Este sistema de grandes cajones es insustituible en diques rompeolas como el del Musel, donde las formidables olas que allí rompen exigen una valla de bloques de 8.500 toneladas de peso, que es el que tiene el cajón descrito.

Creemos, además, que este procedimiento de cimentación por cajones de hormigón armado, en el que los ingenieros españoles parecen haberse adelantado a la técnica de puertos mundial, es el más seguro, práctico y económico, pues sin necesidad de grúas gigantescas ni de flotas de barcos, permite construir en seco y con las mejores garantías de fabricación los bloques ciclópeos que en la mayor parte de los grandes puertos son necesarios para combatir la fuerza del mar.

En diques de carena (Cádiz). — Como el procedimiento es tan racional y práctico, el autor no ha vacilado en proponerlo también para la construcción de un gran dique de carena en Cádiz, capaz para barcos de $235 \times 32 \times 9,30$ m.

En el emplazamiento propuesto creemos difícil, y en todo caso aleatorio, conseguir el agotamiento de tan enorme capacidad. Preferimos proyectar la construcción mediante un dragado previo de todo el terreno que habrá de ocupar el dique y ejecutar éste mediante los cajones representados en la figura 206.

El dique estará formado por ocho cajones que tienen la forma en U de todos los diques y aligerados interiormente por un sistema de siete células rectangulares que pasan de muro a muro a través de la solera, y quedan, por tanto, reducidos a dos paramentos, interior

y exterior, del macizo que ha de formar el dique; estas células están constituidas por ocho tabiques de arriostamiento a 4 m., que se unen a las losas o paredes por medio de robustos cartabones, suficientes para conseguir la completa rigidez de la estructura.

En sus partes laterales llevan los cajones en toda su longitud

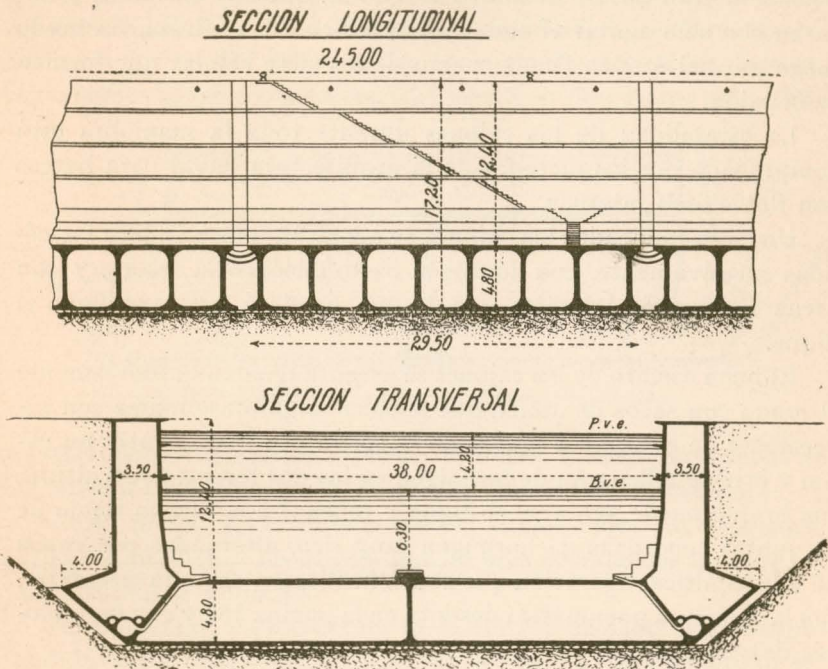


Fig. 206. Cajón de pared doble para el dique de carena de Cádiz.

dos zarpas de 4 m., que sirven para soportar el terraplén que sobre ellos actúa y equilibrar, con su peso y el peso propio del dique, el empuje de la subpresión.

Para reducir el peso de la estructura de estos cajones y, por tanto, obtener su menor calado de flotación, que a su vez permita un más fácil lanzamiento, se propone para su estructura el empleo del cemento fundido; no sólo obtendremos así un más rápido endurecimiento, sino que podemos someter el hormigón a un trabajo de 100 kg. por cm^2 , para la dosificación de 300 kg. de cemento con la composición granulométrica de arena y gravilla más favorable.

Pareciéndonos imposible casi determinar la importancia de las subpresiones, *que hay que suprimir o resistir*, hemos proyectado la solera para la *subpresión total*, con la que el dique quedará garantido contra toda flexión y agrietamiento de su solera (1).

Los cajones se construirán en un varadero a media marea, *utilizando la gran carrera de marea de 4,20 m.* que hay en Cádiz, y flotarán con sólo agotar el agua del interior de las células, bastando luego para el fondeo llenar cuatro de las siete células que forman cada cajón.

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

Una vez fondeados los cajones se agotarán, macizándose las células sucesivamente, con hormigón basto ciclópeo la solera, y con arena los muros laterales, con lo que quedará así terminado el dique.

El buen asiento de los cajones se asegura igualando previamente el fondo con sacos de arena, que pueden luego consolidarse con inyecciones de cemento a través de la solera; las juntas entre un cajón y otro se rellenarán de hormigón en los dos tercios de su altura, con lo que puede agotarse el dique y rellenarse el último tercio de las juntas con zonas de hormigón muy rico, alternadas con capas de tela asfáltica, operación que podrá facilitarse, si fuera necesario, con la campana neumática descrita en la página 181 y con inyecciones de cemento.

Podría haberse proyectado el dique, como se hizo en el dique de El Havre, descrito en la página 177, con un solo cajón que comprendiera toda su área; pero esta solución, aparte de sus dificultades de ejecución y fondeo, no presenta ventajas especiales, ya que las juntas en sentido transversal pueden ser perfectamente estancas, como se ha comprobado en otros diques y en los cajones para túneles bajo los ríos.

Las dificultades y el encarecimiento que proporciona el relleno de las células con hormigón, sobre todo en la parte contigua a la losa superior de la solera, nos han inducido a proyectar últimamente

(1) Todos los cálculos de este dique han sido hechos por el ingeniero de la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles D. Eduardo Torroja.

una variante a estos cajones, haciéndolos de simple pared con contrafuertes y rellenándolos con arena vertida desde la superficie del agua, en vez de hormigón, ya que la envolvente es, en realidad, el elemento resistente (fig. 207).

Estos cajones, que resultarían mucho más económicos, *sobre todo si se calculan para una subpresión media*, podrán flotar y fondearse añadiéndoles unos forros desmontables de madera apoyados sobre los bordes exteriores de los contrafuertes de las paredes, como hemos hecho en los cajones del puente de San Telmo (pág. 190),

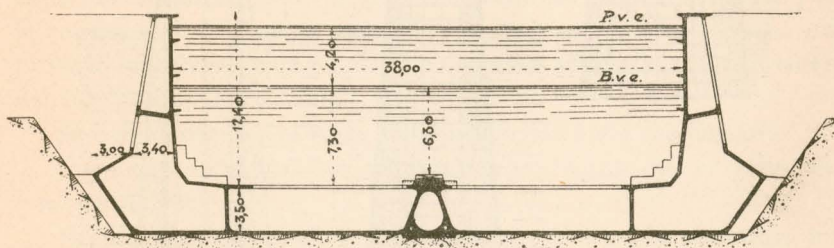


Fig. 207. Cajón de pared sencilla para el dique de carena de Cádiz.

y lastrando parcialmente, primero, la solera, y luego, las células de las paredes que se hacen entonces con estos forros de madera.

Como se ve, estos cajones tienen dimensiones excepcionales; pero evidentemente resultarán mucho más económicos que los cajones metálicos similares.

Pero, además, su estructura de hormigón armado con cemento fundido ofrece otra ventaja: la de que no sólo no corre peligro de ser rápidamente destruída por el agua del mar, sino que, por el contrario, dicha estructura *acoraza*, por decirlo así, todo el monolito que constituye el dique, defendiéndolo contra la posible descomposición del cemento, que tanto preocupa hoy día a los ingenieros de Puertos.

En profundidades excepcionales (puente de Lisboa). — Entre las más originales aplicaciones de cajones de hormigón armado debemos incluir la imaginada por el profesor de nuestra Escuela don Alfonso Peña para cimentar las pilas del gran puente proyectado por él mismo atravesando el Tajo aguas arriba de Lisboa (1).

(1) En el tomo I, pág. 114, representamos los arcos de este gran proyecto, que comprende diez arcos de hormigón armado de 200 m. de luz.

Un gran número de las 11 pilas y estribos de este puente deberán alcanzar profundidades de 40 m. por debajo de las aguas bajas, por lo que no podrá aplicarse el procedimiento de cimentación por aire comprimido, que, como hemos dicho, es prácticamente imposible a más de 30 m. de presión de agua.

Para resolver este problema, como vimos en el capítulo VIII, los americanos aplican el sistema de cajones sin fondo hincados con dragados interiores y rellenos de hormigón sumergido.

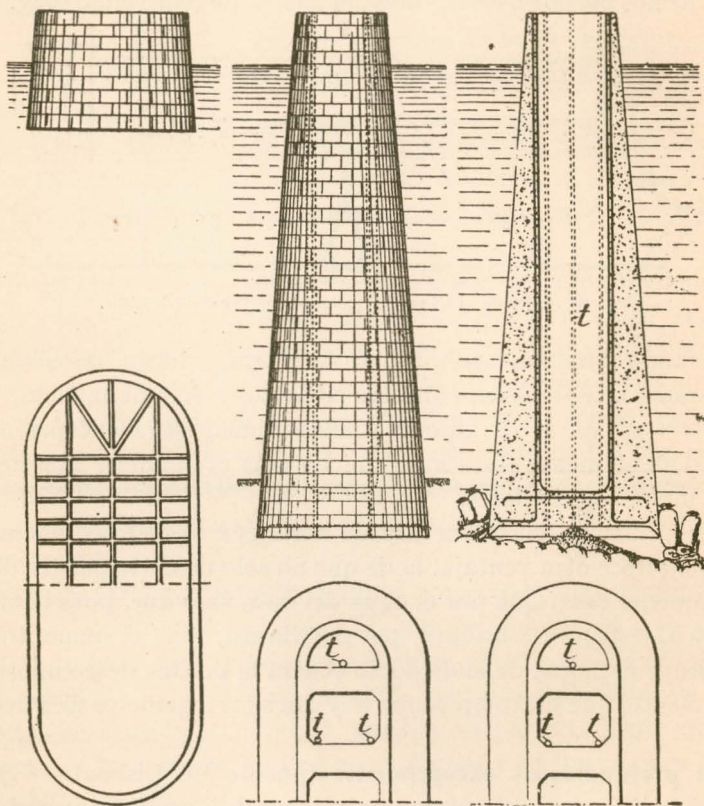


Fig. 208.

Fig. 209.

Fig. 210.

El Sr. Peña se propone conseguirlo por medio de un cajón con fondo.

En las márgenes del río se construirá primero un cajón de palastro, bien arriostrado interiormente por un entramado metálico, con una altura de 6 a 7 m., y la planta y forma que necesita la base de la pila (fig. 208).

Este cajón tendrá también su fondo de palastro, debajo del cual se montará un anillo cortante de un metro de altura.

Una vez lanzado al agua, se lastrará el cajón con una solera de hormigón armado, con el espesor y armaduras necesarias para resistir la presión inferior definitiva.

Remolcado el cajón a su emplazamiento, se construye al aire libre una camisa interior de hormigón armado, reforzada con tabiques verticales.

A medida que por este aumento de peso vaya hundiéndose el cajón, se añadirán alzas de palastro, reforzadas interiormente por la camisa y tabiques de hormigón armado, cuya elevación se irá prosiguiendo hasta que el cuchillo cortante se apoye sobre el lecho del río (figuras 209 y 210).

Se carga entonces el cajón, relleno con agua sus huecos.

Pueden presentarse dos eventualidades, según que el suelo sea o no socavable.

En el primer caso (fangos, arenas, etc.), el cajón penetrará en el terreno, incrustándose en él hasta que su reacción equilibre el peso del cajón lleno de agua (fig. 209). Calculando los espacios vacíos del cajón, de modo que el peso de agua que contengan equivalga al peso propio total y a las sobrecargas de los tramos que han de apoyarse en la pila, se obtendrá la garantía completa de que el cimiento será resistente y estable bajo la presión máxima que haya de aguantar.

En aquellas pilas en que el lecho del río fuera de arcillas duras o rocas, se procederá como sigue (fig. 210):

Cuando el cajón esté aún flotando, pero ya próximo a apoyarse sobre el terreno por su cuchillo cortante, suponiendo el caso más desfavorable de que el lecho del río sea inclinado o desigual, se sumergirán sacos de hormigón alrededor de la pila aun flotante, constituyéndose así una ataguía exterior.

Para ello, se dispondrán previamente en toda la altura del cajón unos tubos *tt* que permitan la inyección desde arriba de mortero de cemento rápido con presión doble de la carga de agua, o quizá mejor inyectando desde abajo sobre el fondo del cajón, por medio de autoclaves dispuestos encima del fondo.

Con este mortero se rellenará el hueco comprendido entre la envolvente exterior de sacos y el lecho del terreno, y se irá relleno

al mismo tiempo con agua los huecos interiores del cajón, hasta conseguir la carga máxima a que ha de estar sometido el terreno, sustituido entonces por la cama artificial del mortero inyectado.

A pesar de su aparente atrevimiento, no vemos que pueda ofrecer este original procedimiento de cimentación mayores dificultades que otros muchos empleados en obras de menor importancia. Tiene, además, la ventaja de que no exige andamios ni medios auxiliares costosos; debe resultar el más económico (1).

Lanzamiento de los cajones con fondo, flotables. — El peso considerable de los cajones de hormigón armado dificulta su lanzamiento al agua, que ha de realizarse sin determinar en ellos flexiones de sus fondos y paredes que los agrieten.

Es un problema constructivo que hay que estudiar al proyectarlos, con vista a su ejecución, para apreciar así el gasto y tiempo que ha de necesitar, que dependen mucho del régimen de avenidas o mareas y de los medios auxiliares y terrenos de que se disponga en la localidad.

Cuando, como en el Mediterráneo, no hay mareas, es indispensable recurrir, como en Valencia (pág. 235), al procedimiento de los señores Elio y Vilar, botando al agua, por medio de un puente-grúa un ligero molde, que se lastraba, una vez a flote, con una solera de hormigón, ya como en Barcelona, fabricando los cajones en un gran dique deponente (pág. 257) que, al hundirse, deja los cajones flotando y libres.

Pero si hay mareas sensibles, conviene aprovechar su carrera, que en el Cantábrico alcanza 4,50 m., para facilitar la operación.

Ya vimos en el capítulo anterior, al describir los cajones flotables del puente de San Telmo (Sevilla), que allí construimos los cajones en una excavación abierta al borde del río, y que por medio del aire comprimido aplicable a estos cajones, que así han de hincarse en el terreno, los hacíamos bajar un metro por debajo de la bajamar. Se draga entonces el fondo de la margen por delante del cajón, e inyectando aire en las cúpulas que constituyen la cámara de trabajo, se hace flotar el cajón en pleamar con el calado de 3,20 m., lo que permite sacarlo de su varadero.

(1) En *Le Génie Civil* de 1.º de julio de 1922 D Alfonso Peña dió cuenta de este nuevo sistema de cimientos, así como de su proyecto de puente en Lisboa

Los cajones para el dique Norte del Musel (pág. 244), se han lanzado en una grada transversal con 15 por 100 de inclinación.

El cajón va sostenido por varias cuñas triangulares, que a su vez resbalan sobre unas deslizaderas. Durante la construcción, el cajón está sobre picaderos.

Para lanzarlo se hacen las siguientes operaciones:

- 1.° Se quitan los picaderos.
- 2.° Se levanta con gatos la parte posterior del cajón (unos cuantos centímetros).
- 3.° Se vierte grasa líquida entre las deslizaderas y las cuñas.
- 4.° Se arrían los gatos, baja el cajón, se apoya sobre las deslizaderas ya engrasadas y resbala.

Ya vimos también que nuestros cajones para el muelle de Santa Cruz de Tenerife fueron moldeados en un varadero dentro del puerto, en el que se construyen y reparan embarcaciones menores. Su inclinación es sólo de 7,5 por 100, y sobre unos carriles rueda un carretón llamado *cima*, sobre el que se disponen los moldes de madera en que se coloca el entramado metálico, y después se vierte y apisona el hormigón. A los treinta días de terminado cada cajón puede bajar el carretón en una pleamar por medio del cable y cabrestante que lo sujeta, y con esto basta para dejarlo flotando en la dársena. Se completa el lastrado de hormigón que exija su estabilidad para el transporte y queda abrigado en el puerto hasta que, preparado el enrase de sacos de hormigón en que ha de apoyarse, en un día de bonanza se remolca hasta su sitio y se fondea en la forma descrita en la página 243 (fig. 204).

Para los grandes cajones de hormigón armado de $54 \times 29,50$ m. en planta, que hemos proyectado para el nuevo dique de carena de Cádiz, descritos en la página 248, también pensamos aprovechar la gran carrera de marea de 4,20 m. de aquella bahía, construyéndolos en un varadero a media marea, pudiendo flotar con sólo agotar el agua del interior de las células, remolcándolos entonces a una de las dársenas del puerto, para esperar allí su nuevo remolque al sitio en que ha de posarse sobre el terreno, previamente dragado y enrasado.

A pesar de las dificultades que ofrecen todas estas operaciones, que exigen armaduras bien calculadas y una ejecución perfecta, no parece dudoso que el procedimiento de cajones sin fondo de hor-

migón armado ofrece garantías completas para la cimentación de puentes, muelles y diques a grandes profundidades, que pueden también alcanzarse con dragados, que son más económicos que las excavaciones al aire libre, cuando se dispone de material adecuado.

La perfección con que pueden ejecutarse en seco, la coraza de hormigón rico y armado que protege su interior y la gran masa resistente que ofrece contra las avenidas o temporales, son ventajas indudables que aconsejan su empleo para las obras importantes en las que se amorticen los medios auxiliares que exige.