

# SEGUNDA PARTE

---

## PROCEDIMIENTOS DE CIMENTACION

---

- CAPÍTULO VIII.—Cimentaciones directas al aire.**
- CAPÍTULO IX.—Cimentaciones directas en aire comprimido.**
- CAPÍTULO X.—Cimentaciones directas sumergidas.**
- CAPÍTULO XI.—Cimentaciones indirectas sobre pilotaje.**
- CAPÍTULO XII.—Cimentaciones por transformación del suelo.**
- CAPÍTULO XIII.—Defensas, reparaciones y ensanches de cimientos.**



# CAPÍTULO VIII

## CIMENTACIONES DIRECTAS AL AIRE

### § I. — Cimientos sin agotamiento.

Cimientos directos en terrenos firmes y próximos.—Cimientos directos en terrenos flojos y próximos.—Cimientos sobre pilares y bóvedas.—Cimientos con excavaciones entibadas.—Pozos y galerías.—Entibaciones con tablestacas metálicas o de H. A.

### § II. — Cimientos con agotamiento.

Elección del tipo de ataguías.—Excavaciones.—Agotamientos.—Potencia de las bombas.—Fracasos de los agotamientos.—Rellenos.

### § III. — Cimentaciones por pozos, con tubos o cajones sin fondo.

Excavaciones bajo el agua.—Relleno de los tubos o cajones.—Tubos de ladrillo.—Tubos de hormigón.—Dimensiones de los cajones.—Cajones de madera y hormigón.—Cajones, sin fondo, de hormigón armado.—Construcción de los cajones.—Empalmes de los cajones.—Cajones con fondo.

Los procedimientos de ejecución varían esencialmente, según la profundidad a que se encuentra el terreno firme y la cantidad de agua que pueda encontrarse, y los dividiremos en cimientos sin agotamientos, con agotamientos, por pozos y por cajones con fondo.

Examinaremos los casos más corrientes:

### § I. — Cimientos sin agotamiento

**Cimientos directos en terrenos firmes y próximos.** — Se desmonta entonces, no sólo hasta descubrir el firme, sino que se excava la capa superficial de éste, en la parte que aparezca descompuesta.

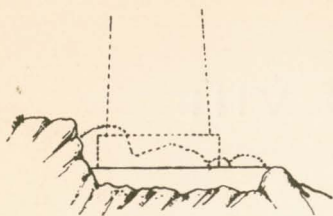


Fig. 115.

El fondo de la excavación no necesita igualarse, lo que sería un gasto inútil, tratándose de rocas duras.

Si hubiese que sentar sobre el cimiento un zócalo, se enrasa el suelo con una pequeña capa de hormigón, que se encargará de repartir las presiones (figura 115).

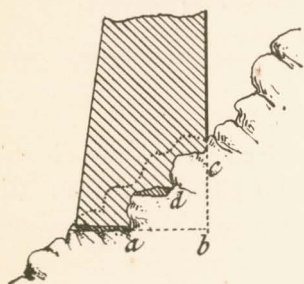


Fig. 116.

También sería un gasto estéril perseguir la horizontalidad, aunque fuera aproximada, de una excavación en roca, para cimentar, por ejemplo, un muro, o una bóveda en una ladera inclinada (figuras 116 y 117).

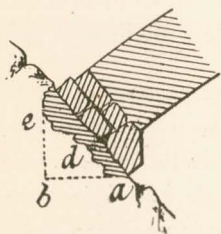


Fig. 117.

En ambos casos debe ejecutarse sólo la excavación indispensable para servir de apoyo a la fábrica, procurando que este apoyo se efectúe en una dirección lo más normal posible a las curvas de presiones. Se economiza así la excavación y el relleno de fábrica de los volúmenes  $a b c d$ .

No hay inconveniente en escalar los cimientos, siempre y cuando se ejecuten las fábricas con morteros hidráulicos, que evitan los asentamientos que con morteros ordinarios pudieran tenerse.

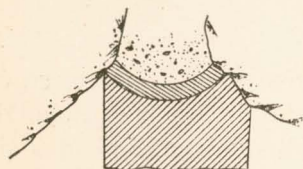


Fig. 118.

Quando existan grandes fallas en el terreno firme, puede interrumpirse en ellas la cimentación, por medio de bóvedas de descarga (fig. 118),



sobre las que se continúa el cimiento. Se ahorra así el relleno del hueco de la falla, a veces considerable.

Esta idea fué aplicada por el eminente ingeniero Sejourné, para suprimir una pila de gran altura en el viaducto de Fontpedrouze (figura 119), mediante una bóveda ojival, en cuyo vértice se apoya la pila que corresponde al fondo del barranco.

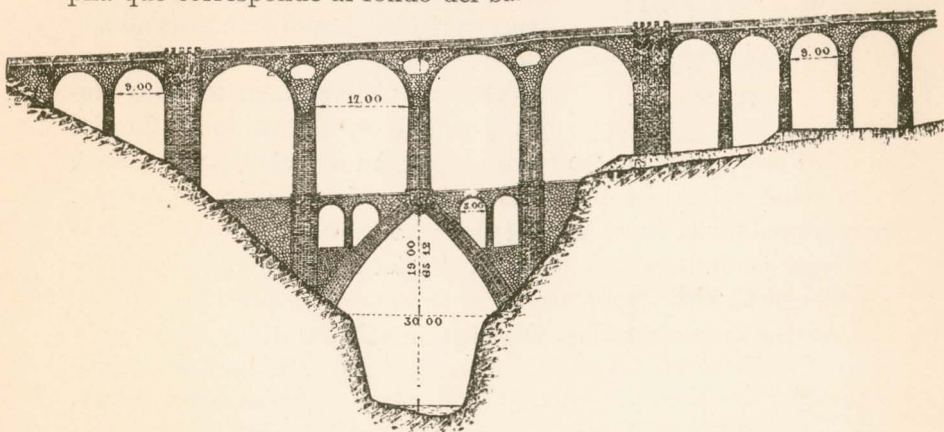


Fig. 119. Viaducto de Fontpedrouze.

Como las excavaciones para descubrir el terreno firme deben macizarse con rapidez, se les da solamente el talud indispensable para sostenerse durante la ejecución (fig. 120).

Los macizos de cimientos deben ejecutarse con la fábrica más económica, de preferencia la mampostería al ladrillo, pero siempre con mortero hidráulico.

Sin embargo, para bien igualar el cimiento, se suele ejecutar la primera capa de asiento con 20 a 30 cm. de grueso, de hormigón hidráulico, que se comprime con pisones de gran superficie y que obren solamente por presión y no por choque.

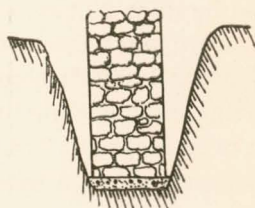


Fig. 120.

Sobre este enrase de hormigón se levanta el cuerpo del cimiento de mampostería ordinaria, pero bien trabada; pero si los mamposeros son caros, puede resultar conveniente construir todo el cimiento con *hormigón ciclópeo* (1).

(1) Recordaremos que se designa con el nombre de «hormigón ciclópeo» a la fábrica de

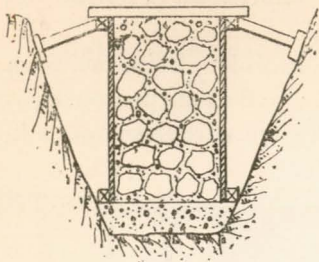


Fig. 121.

En este caso, si los taludes en las zanjas no fuesen verticales, habrá que limitar el volumen del hormigón mediante tableros móviles, que sirvan de moldes (fig. 121), que se apuntalan y arriostran convenientemente para obtener su rigidez durante el apisonado.

### Cimientos directos en terrenos flojos y próximos.

— Cuando las presiones son elevadas y los terrenos en que ha de cimentarse tienen poca resistencia, debe ensancharse la base de los muros o apoyos, para aumentar la superficie del cimiento hasta que la presión máxima por centímetro cuadrado sea inferior a la que prácticamente puede resistir el terreno.

Pueden emplearse dos disposiciones (figuras 122 y 123). En la

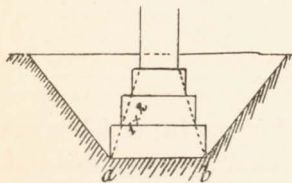


Fig. 122.

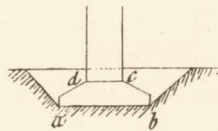


Fig. 123.

primera se obtiene el ensanche del cimiento con varios escalones de fábrica ordinaria, que necesitan cada uno de ellos una altura de unos 0,40 m. y zar-

pas de unos 20 cm., es decir, un talud medio de  $1 \times 2$ .

Pero puede reducirse sensiblemente el volumen de la excavación y del cimiento con la disposición en la figura 123, que consiste en conseguir igual ensanche  $a b$  del cimiento, mediante una zanja de hormigón armado  $a b c d$ , cuyas armaduras repartan uniformemente sobre la base de hormigón la carga total que le produzca el muro o pilar que sustenta.

hormigón ordinario en la que se incorporan grandes cantos o mampuestos de piedra suelta, cuyo volumen puede alcanzar hasta el 60 por 100 del volumen total. Exige esta fábrica, para su debida resistencia y homogeneidad, que cada piedra o canto suelto esté envuelto por una capa de hormigón. La distancia entre estas piedras, en todos sentidos, no debe ser inferior al tamaño de la grava con que se fabrica el hormigón. En estas condiciones, el hormigón ciclópeo es una fábrica tan buena, por lo menos, como el hormigón o la mejor mampostería.

Hasta puede ocurrir que sea el terreno tan movedizo e inconsistente, que convenga aumentar considerablemente la superficie de estas zapatas, transformándolas en verdaderas *soleras de hormigón armado*.

Así hemos hecho para cimentar el edificio de la estación de Huete (línea de Aranjuez a Cuenca), que habiéndose primeramente construído con el tipo ordinario en terreno muy corredizo, amenazaba derribarse. Proyectamos reconstruirla sobre una solera general de hormigón armado (fig. 124), en la que se empo-

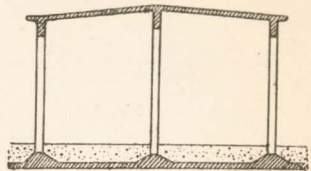


Fig. 124.

traron los pilares que sostenían la terraza del mismo material. La presión sobre el terreno resultó así tan insignificante, que desde hace veinte años que ejecutamos esa obra no se ha observado en ella el menor movimiento; pero aunque se moviera algo el edificio, no por eso peligraría su estabilidad, por ser un cajón casi indeformable, que podría hasta correrse algunos metros, sin detrimento de su resistencia.

Análogamente pueden cimentarse talleres, fábricas, casas y hasta edificios en terrenos fangosos, de gran profundidad, en los que no haya peligro de socavaciones.

Tan estable podrá ser una solera rígida y general de H. A. que hondos cimientos de muros y pilares.

Es probable que resulten también más económicos, y en estos casos deben compararse sus presupuestos.

**Cimientos sobre pilares y bóvedas.** — Cuando el terreno firme se encuentra algo profundo, y las presiones que en la obra ocasione no son considerables, puede reducirse el volumen y el coste de los cimientos, constituyéndolos por pilares aislados, sobre los que se voltean bóvedas de fábrica.

Así, por ejemplo, se cimentan los muros de las casas de Madrid cuando el terreno firme (que en Madrid suele ser la arena compacta) se encuentra bajo una gran capa de terraplén de vertedero o escombros.

Se excavan entonces los pozos *a b c d - e f g h* (fig. 125), que se rellenan de fábrica, hasta la altura de los arranques de los arcos, y



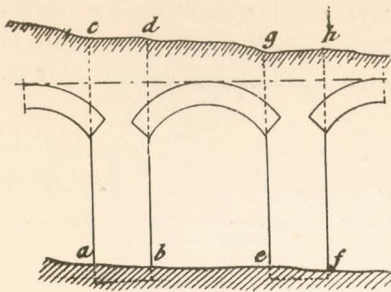


Fig. 125.

utilizando *el mismo terreno* como cimbra (1), se voltean las bóvedas de fábrica, generalmente de hormigón.

Se levantan entonces los muros continuos sobre este conjunto de pilares y bóvedas que viene a sustituir al terreno firme, y se ahorran así todos los volúmenes de cimientos comprendidos debajo de las bóvedas.

Análogo criterio es el que ha permitido suprimir la mitad de las pilas del viaducto de Point du Jour, en París (fig. 126). En una parte del viaducto de acceso, el terreno firme se encontraba a profundidades considerables.

Por consideraciones estéticas se prefirió no aumentar las luces de los arcos del viaducto, que es muy largo y se prolonga por un boulevard de París. Con objeto de reducir el número de pilas, se cargaron la mitad de ellas sobre unas bóvedas ojivales, que a su vez se apoyan sobre los pilares inmediatos.

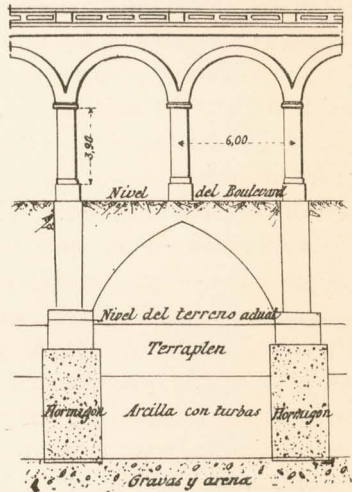


Fig. 126. Viaducto de Point du Jour.

**Cimientos con excavaciones entibadas.** — Cuando para alcanzar el firme hay que desmontar terrenos flojos que exijan fuertes taludes, para mantenerlos verticales durante la ejecución del cimiento, es preciso *entibar* las excavaciones.

Llámase así a la operación que consiste en sostener con *entramados móviles de madera* los taludes deleznable o corredizos de las zanjas o pozos de cimientos.

(1) Llámase *cimbra* al apoyo provisional de tierra, madera o hierro que se utiliza para construir las bóvedas.



La importancia y disposiciones de estas entibaciones varía con la clase del terreno y las profundidades que han de alcanzarse.

El mejor procedimiento, cuando puede realizarse, es el de clavar un recinto de tablestacas (fig. 127) que alcanzan el terreno firme, que se mantienen a distancia por un primer marco de madera. Se excavan dentro del recinto y se van montando otros marcos *B*, *C* y *D* a medida que el empuje del terreno exterior lo va pidiendo. El número y dimensiones de los codales que han de apuntalar los marcos horizontales, así como la separación que ha de darse a las tablestacas entre sí, dependen de la flojedad

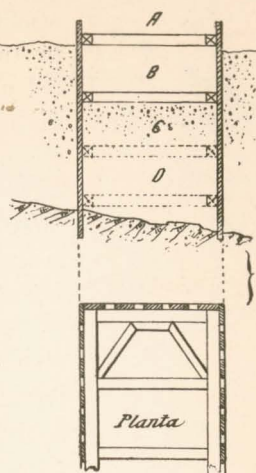


Fig. 127.

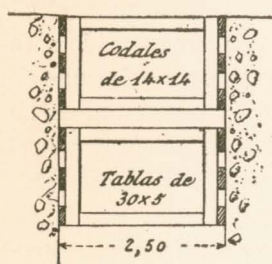


Fig. 128.

del terreno. Es corriente el empleo de tablas de 5 cm. de grueso y codales de 14 × 14 centímetros.

Cuando la consistencia del terreno no permite la hinca previa de tablestacas, se contienen las paredes de la zanja con tableros horizontales, acodados con marcos verticales (fig. 128).

En general, los constructores emplean para estas entibaciones la madera de que disponen, que puede ser rolliza para los codales. Las Compañías de ferrocarriles utilizan, a su vez, los carriles y traviesas de desecho, que permiten muchas veces ejecutar obras por debajo de las vías sin interrumpir la circulación de trenes. Suelen disponerse unos tableros verticales, reforzados por traviesas horizontales (figura 129); se acodan con carriles, situados en planos verticales, a la distancia del ancho de la vía normal (1).

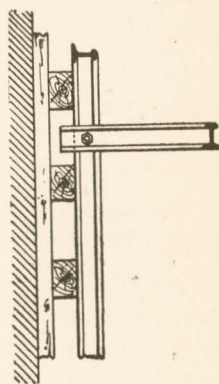


Fig. 129.

(1) En la figura 18, pág. 43, se representa la enorme entibación que hubo que ejecutar para el cimiento del viaducto de Aguas Saladas.

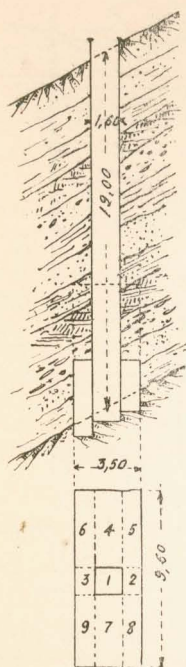


Fig. 130.

**Pozos y galerías.**—Cuando son muy grandes la profundidad del terreno flojo y las dimensiones del cimiento, habría necesidad de un gasto enorme de madera para entibar la excavación total. Se puede entonces reducir el gasto bajando con un pozo entibado hasta el terreno firme, y desde abajo ejecutar, por galerías sucesivas y adosadas, la excavación, la entibación y el relleno del cimiento.

Así se procedió para cimentar, hace más de cincuenta años, una de las pilas del viaducto de Ormaíztegui (línea de Miranda a Irún), situada sobre una ladera de gran inclinación, en la que la roca estaba recubierta por una capa de arcilla de 19 m. de espesor. Se temió que, al abrirse la enorme zanja de  $3,50 \times 9,60$  m. necesaria para el cimiento, la capa de arcilla se corriese sobre la roca muy inclinada, aun entibándola con un bosque de madera (fig. 130). Se procedió entonces a abrir un pozo de 1,60 m. en cuadro, fácil de entibar, con el que se bajó hasta la roca, y allí se abrieron gale-

rías también rectangulares, en el orden indicado en la planta de la figura, y de unos 2 m. de altura, que fueron macizándose sucesivamente. Sobre esta base se ejecutó, en la misma forma, un segundo piso, continuándose así por escalones hasta salir a flor de tierra.

**Entibaciones con tablestacas metálicas o de H. A. (1).**—Pero es seguro que en casos análogos será hoy preferible entibar las zanjas profundas que ofrezcan algún peligro con *recintos de tablestacas metálicas* o de hormigón armado.

Son éstas más rígidas, más resistentes y más impermeables. Con su empleo se evitarán, o al menos se reducirán, las filtraciones de agua que pudieran presentarse lateralmente en estas entibaciones profundas.

(1) En el capítulo IV se describen estos tipos de tablestacas.

## § II. — Cimientos con agotamiento

Los puentes, muelles y presas se construyen en los ríos.

Estos suelen tener lechos de aluvión, socavables y permeables.

Para combatir las socavaciones hay que cimentar hondo.

Si queremos hacerlo en *seco*, habrá que aislarse del agua por medio de ataguías, y agotar además las filtraciones que manan por las paredes o por el fondo de aquéllas.

**Elección del tipo de ataguías.** — La marcha que debe seguirse para estas cimentaciones depende del tipo de ataguía que convenga emplear, escogido entre los que hemos descrito en el capítulo VI. Para obras de fábrica pequeñas, bastan a veces ataguías con tepes, o de lona.

A medida que la altura de agua constante sea mayor, hay que adoptar tipos más resistentes y más impermeables, con uno o dos recintos de pilotes y tablestacas, con paredes estancas de tierra o de fango.

Cuando se presenta la roca bajo el agua, o si se alcanza mediante dragados previos, pueden emplearse tableros inclinados, sobre caballetes triangulares, que se impermeabilizan con tierras, o calafateando las tablas. Pueden también sujetarse verticalmente los tableros con pilotes metálicos empotrados en el terreno duro.

No deben emplearse cajones sin fondo, ni ataguías de hormigón, que hemos dicho son procedimientos caros y expuestos a contingencias.

En cambio, las ataguías con tablestacas metálicas (1), de sección apropiada a sus alturas, permitirán su hinca rápida, suprimen las filtraciones laterales, ocupan poco espacio y pueden desmontarse fácilmente, utilizándose en otras cimentaciones.

**Excavaciones.** — Según los casos, podrán hacerse *previamente*, con buzos o dragas si el terreno fuera muy permeable, lo que facilita la hinca de los recintos, o, por el contrario, construyendo primero la ataguía y excavando luego en su interior.

---

(1) Descritas en el capítulo IV.



**Agotamientos.** — Pero no sólo habrá que agotar el agua contenida por la ataguía, sino que deberá *sostenerse el agotamiento*, porque, aun con recintos muy impermeables, es difícil evitar las filtraciones por los pies o por el fondo, en cuanto la altura del agua exceda de 1,50 m.

Cuando al agotar una ataguía de tierra se presenten filtraciones localizadas en un punto de la misma, es preciso restañarlas con rapidez, con sacos de arcilla o con hormigón de cemento rápido, pues esa fuga de agua pudiera inutilizar por completo la ataguía.

Aun conseguido el agotamiento del recinto impermeable, siempre habrá filtraciones de fondo, que es preciso recoger en una cuneta en todo el perímetro de la zanja, desaguando en un pozo, en el que se coloca la alcachofa de la bomba.

**Potencia de las bombas** (1). — Para pequeñas cantidades de agua será suficiente la bomba Letestu, con la que se puede extraer hasta 800 litros por minuto; pero si hay que agotar en ríos de agua corriente, aun en estiaje, deben prepararse bombas centrífugas movidas mecánicamente, y si las aguas son muy sucias convendrá recurrir a la cadena hélice o a la correa hidráulica.

No puede precisarse el tipo de estas bombas que en cada caso convenga, por ser difícil calcular el caudal de las aguas que habrá que agotar.

Claro es que el examen de los pozos inmediatos dará alguna indicación, que los sondeos que se practiquen acusarán la clase y espesor de las capas de terreno, que sabemos que las tierras y arenas son menos permeables que las gravas y que, en cambio, ofrecen aquéllas el peligro de *sifonar* por debajo de las ataguías.

Pero todos estos datos no permiten fijar la potencia de la bomba. Habrá, pues, que pecar por exceso.

**Fracaso de los agotamientos.** — Aun así, son frecuentes los agotamientos, ante los que hay que claudicar, por insuficiencia de las bombas y con el consiguiente fracaso constructivo, que obliga a variar el procedimiento de cimentación.

---

(1) Descritas en el cap. VII, páginas 118 y siguientes, en donde consignamos también sus rendimientos aproximados.



Muchas veces los sondeos acusan escasa agua; otras, el terreno aparece poco permeable, y empezando el agotamiento con medios elementales, la misma presión del agua intensifica la importancia de las filtraciones.

Otras veces, aunque las ataguías resulten impermeables lateralmente, no han conseguido alcanzar el terreno impermeable, y las filtraciones de fondo resultan muy superiores a la potencia de las bombas; entonces se acumulan otras bombas supletorias, a pesar de lo que no se consigue siempre sostener el agotamiento.

Ocurre también, en lechos de arena, que a partir de cierto desnivel de agua, la presión de ésta introduce por debajo de la ataguía, por un efecto llamado de *sifonamiento*, no sólo aguas de fondo, sino grandes cantidades de arena que aquéllas arrastran por debajo de la ataguía y en cantidad tan grande como las que se extraen de la excavación. Entonces es estéril la continuación del agotamiento.

Conocemos un caso en que la presencia de grandes bloques y de maderas viejas en el fondo de una excavación obligó a un gasto de más de 100.000 pesetas para agotar los cimientos de una alcantarilla en terreno algo fangoso.

La historia de los cimientos de grandes esclusas de canales y de diques de carena enumera también muchos y sonados fracasos de enormes consecuencias económicas.

En resumen, no se debe recurrir al procedimiento de agotamientos cuando se ofrezcan dudas sobre su eficacia, pues entonces no hay modo de calcular su coste ni de asegurar sus resultados.

Es preferible prever otro de los varios procedimientos de cimentación aplicables, que describiremos más adelante.

**Relleno.** — Una vez agotada y seca la excavación del cimiento, debe procederse seguidamente a la ejecución de su relleno.

Se enrasa primero el fondo con una pequeña capa de hormigón, y sobre ella se construye el cimiento propiamente dicho, con mampostería ordinaria u hormigón ciclópeo, pero siempre con mortero hidráulico, de portland preferentemente.

Si por la abundancia de las filtraciones de fondo no se consiguiera el saneamiento total de la zanja, habrá que comenzar el relleno del cimiento con hormigón sumergido, hasta que cesen las

filtraciones, pudiéndose completar entonces en seco el resto del macizo de cimiento.

### § III. — Cimentaciones por pozos, con tubos o cajones sin fondo.

El procedimiento vulgarmente llamado «sistema indio», para la hincas de tubos o cajones en el terreno, que reseñamos en el capítulo III, pág. 49, permite en muchos casos la cimentación al aire, con rapidez y economía, hasta grandes profundidades.

Por de pronto, suprime las ataguías y las filtraciones laterales, no quedando por agotar sino las filtraciones de fondo, lo que suele hacerse con bombas centrífugas montadas a 4 ó 5 m. del cuchillo del cajón.

Y aunque el agotamiento de éstos se hiciera difícil o imposible, no por eso sería preciso suspender la hincas, *que puede continuarse excavando bajo el agua.*

**Excavaciones bajo el agua.** — Si el volumen que faltara extraer fuese pequeño, conviene emplear buzos; si fueran arenas, puede ejecutarse su excavación por inyección de agua comprimida, análogamente a lo que suele hacerse para la hincas de pilotes.

Así se ha hecho para hincar los tubos de 2,50 m. de diámetro del muelle de pescadores de Ymuyden (Holanda) (1), y para los cajones cuadrados de  $8 \times 8$  m. de un muelle del antepuerto de Calais.

El primero de estos muelles, de 250 m. de longitud, fué construído, en 1903, por una casa holandesa dirigida por el ingeniero L. A. Sanders

Está constituído (fig. 131) por una doble fila de tubos de hormigón armado de 8,75 m. de longitud, 2,50 de diámetro y 8 cm. de grueso, reforzados en su extremo inferior. Se fabricaron en taller y, transportados a su sitio en barcasas, *se hincaron en el terreno por medio de potentes inyecciones de agua.*

El agua comprimida se inyecta por varias lanzas (en Calais, 12) en el interior del pozo; la arena removida por esta fuerte inyección es absorbida por una bomba chupadora, cuyo gasto se regula en

(1) TEDESCO Y FORESTIER: *Manuel du constructeur en béton armé*, pág. 495.

forma tal, que el nivel del agua en el interior del pozo queda siempre sólo inferior en algunos centímetros al nivel exterior, *para evitar por sifonamiento la entrada de otras arenas por debajo del cajón.*

Una vez hincados estos tubos, *se rellenaron con arena, salvo su extremo superior, que se tapó con hormigón.*

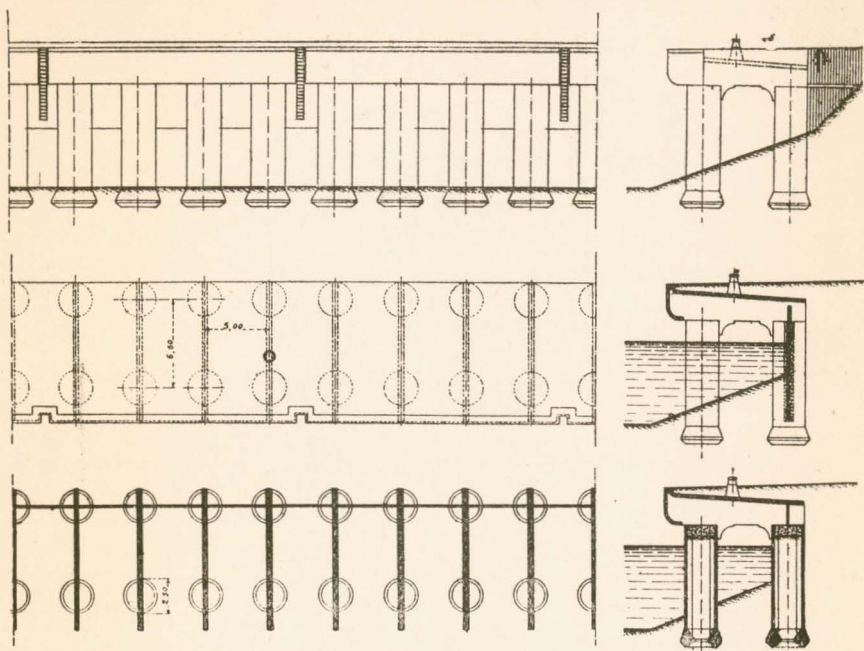


Fig. 131. Muelle de Ymuyden (Holanda).

Sobre estos tubos se apoyó un tablero de hormigón armado capaz de resistir el paso de una locomotora de 45 toneladas y una sobrecarga de 5.800 kg. por metro cuadrado, y el terraplén quedó contenido por una pantalla de hormigón armado entre los tubos interiores.

Cuando el volumen que haya que excavar debajo del agua es grande y duro, es preferible recurrir a dragas de rosario o a cucharas del tipo Priestmann, empleadas en dragados de puertos.

Así debe seguirse hasta alcanzar terreno firme o la profundidad que se considera suficiente para sustraer el cemento al peligro de toda socavación. Si, como es frecuente, el tubo o cajón llega a una capa de arcilla, fácil será, excavando un pequeño aro en el terreno,



que el cajón penetre en éste por su propio peso, obteniendo la obturación completa del agua exterior, lo que permite el fácil y rápido achique del agua que queda aislada en el interior del pozo.

Pero ocurren también dificultades cuando las capas atravesadas por el descenso de los pozos tienen permeabilidades diferentes.

En la pasarela de Lorient (fig. 131 bis), el cajón descendió con

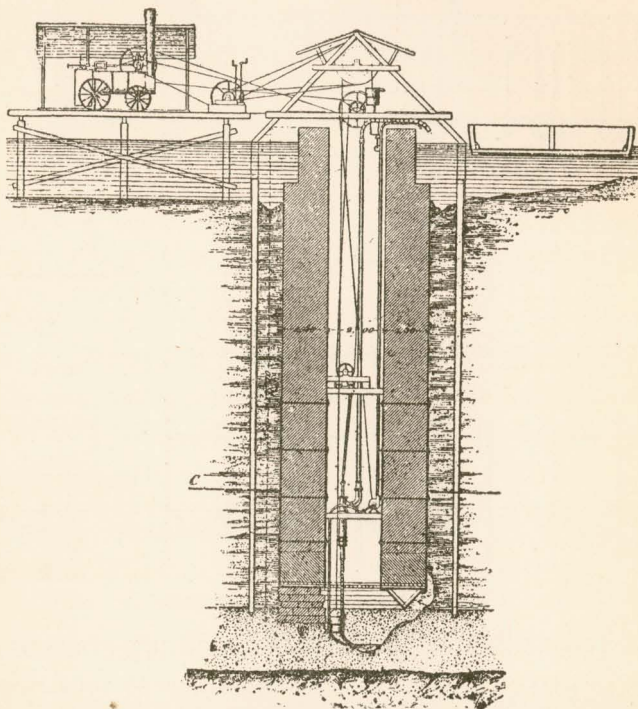


Fig. 131 bis.

bastante regularidad a través de una capa de fango que se excavaba sin agotamientos.

Pero al llegar a una capa de gravas y arenas muy acuíferas se inundó el pozo. Fué preciso envolver el cajón con un fuerte recinto de pilotes de madera, que permitió ya agotar con poderosas centrífugas y proseguir la hinca hasta la roca firme.

Quizá hubiera sido en este caso más económico terminar la hinca con aire comprimido, ya que con este sistema de cajones es relativa-



mente fácil transformar de uno a otro esos dos procedimientos de cimentación.

**Relleno de tubos y cajones.** — Una vez la hinca terminada, se procederá al inmediato relleno.

Este puede hacerse con arena o con fábrica ordinaria de mortero hidráulico pobre.

Obsérvese, en efecto, que en estos tubos o cajones *el relleno tiene escasa importancia.*

Sus paredes se han ejecutado en seco con buen hormigón, y una vez conseguida la hinca, bastaría en rigor rellenar sus huecos interiores con arenas o gravas incompresibles, hasta el nivel de agua, y cerrar el cimientó en su parte superior con una capa de hormigón, que también podría armarse, sobre la que se edificará el resto de la obra.

Con arena se han rellenado los tubos de hormigón del muelle de Ymuyden (Holanda), antes citado, que tenían 8,50 m. de altura, y en la misma forma se rellenarán los cajones, no sólo en los cimientos, sino en todo el cuerpo de los muros, que han de constituir el nuevo muelle del puerto de Huelva (cap. X).

Quando no se pueda agotar dentro del pozo constituido por el tubo o cajón, y para su resistencia *fuera necesario su relleno*, siempre podría ejecutarse éste con hormigón sumergido, por lo menos hasta la altura que permitiese el agotamiento y la terminación en seco del relleno. Este puede entonces ejecutarse con cajas (figura 132).

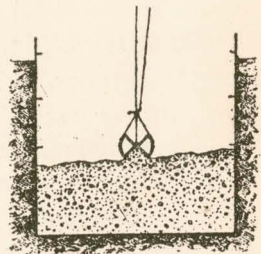


Fig. 132.

**Tubos de ladrillo.** — En España es muy frecuente hincar estos pozos con tubos de ladrillo contruidos con un espesor de media asta, o de asta entera, cuando el terreno es muy flojo.

Pero se llega a más en Andalucía, donde en muchos casos se construyen estos tubos con paredes de ladrillo *a panderete*, es decir, puestos de canto unos sobre otros. Pero se suele entonces aumentar la resistencia y rigidez de estos delgados anillos, con zunchos de re-

dondos de acero de 5 mm. en círculos horizontales, a 10 cm. de distancia, envueltos en un enlucido de mortero de cemento de 20 mm. de grueso, que en realidad es un tubo envolvente de cemento armado.

Así se han hincado tubos de 3,20 m. de diámetro a 18 m. de profundidad en un terreno de aluvión de gravas, arenas y arcillas flojas.

Habrà, sin duda, muchos cimientos de puentes en que pueda recurrirse a tan elemental procedimiento de cimentación, que merece ser objeto de más extensas aplicaciones, cuando se disponga de buen ladrillo y buenos albañiles.

No deben extrañarnos estas habilidades constructivas, menos paradójicas que los constantes desafíos a las leyes de la estática, que con las bóvedas de ladrillo puestas de plano, llamadas *a la catalana*, realizan constantemente nuestros albañiles en las escaleras y arcos de todas las casas de Levante y Andalucía, y hoy también en Madrid.

**Tubos de hormigón.** — Si por circunstancias especiales conviene emplear tubos, éstos, como hemos dicho, no necesitan construirse con tubos metálicos, sino que deben ejecutarse de hormigón *in situ*, o fabricarse en piezas en un taller cuando el diámetro no exceda de tres metros.

Convendrá siempre interponer en las paredes de los tubos una ligera armadura de redondos cruzados en cuadrícula de 8 a 12 mm. de diámetro, a unos 25 cm. de distancia. Es un aumento de gasto insignificante que beneficiará la resistencia del cimientó durante y después de la construcción.

Si los tubos se fabrican en taller, irán empalmándose los trozos unos a otros, a medida que penetren en el terreno los tubos inferiores. El empalme deberá hacerse con juntas previamente moldeadas (fig. 133), tomadas con buen mortero.

Para evitar estas juntas pueden fabricarse en taller de una sola pieza, y así se han hecho los del muelle de Ymuyden (pág. 157), de 8,75 m. de longitud y 2,50 m. de diámetro, que mediante grúas y barcazas se transportaron a su sitio.

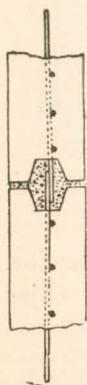


Fig. 133.

El éxito de aquel original cimiento impulsó al ingeniero holandés Sanders, que lo dirigió, a proponer la ejecución de muelles, muros, presas y estribos con arreglo a una disposición parecida a la figura 133 bis.

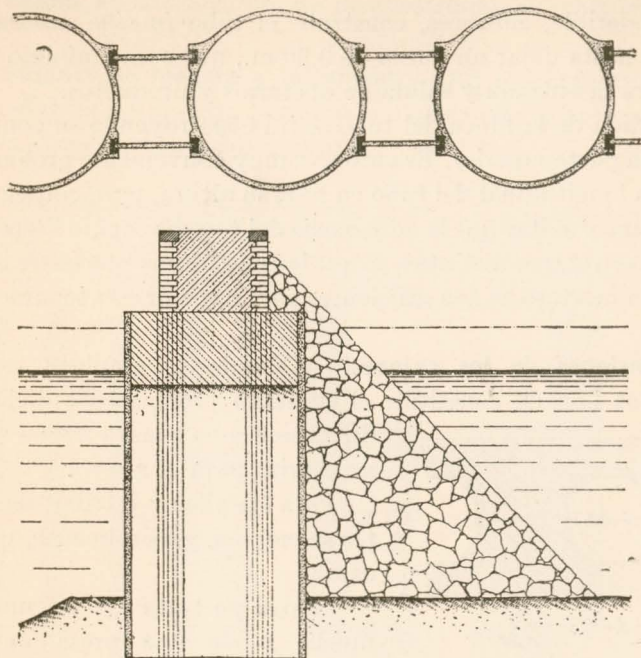


Fig. 133 bis. Muelle sistema Sanders.

La fila única de tubos se arriestra por dos paredes verticales constituidas por tablestacas de hormigón armado, que se deslizan entre unas muescas moldeadas en los tubos y cuyas juntas se tapan con lechada de cemento.

Una vez hincados los tubos y las tablestacas, *se rellenan todos los huecos con arena*, menos en su parte superior, que se maciza con hormigón, sobre el que se eleva, en seco, el resto del muro hasta la rasante. Los empujes de los terraplenes se reducen por medio de un prisma interior de escollera.

Estas disposiciones habilidosas no parecen haberse extendido, ni aun en terrenos de arena, y ya veremos en el capítulo X que en España, sobre todo, se sustituyen con ventaja por medio de *cajones con fondo de hormigón armado*.



Cuando el terreno sea muy adherente, los tubos fabricados en taller tendrían poco peso para hincarse, a menos de sobrecargarlos mucho; además, podrían despegarse unos de otros, lo que sería una dificultad.

Es preferible, entonces, construir el tubo *in situ*, aumentando su grueso hasta dejar un hueco de 0,90 m., que como mínimo se necesita para la entrada y salida de operarios y productos.

A medida de la hinca del tubo se irá construyendo su continuación por la parte superior. Es entonces muy conveniente prolongar la armadura longitudinal del tubo en toda su altura, para conseguir su monolitismo y evitar que la adherencia del terreno separe los pedazos fabricados en etapas distintas, ya que las soldaduras que entre ellos se hagan con mortero no son suficientes para impedir esas separaciones.

**Dimensiones de los cajones.** — Cuando se empleen cajones, como éstos han de constituir el cimiento propiamente dicho, sus dimensiones en planta deben ser las necesarias para el apoyo.

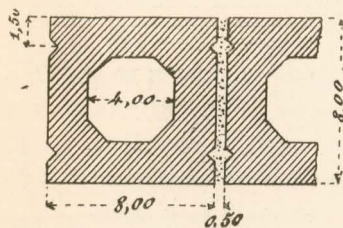


Fig. 134.

Para las pilas y estribos de puentes se emplea, generalmente, un solo cajón.

Pero si se trata de un muro de muelle o de una presa de gran longitud, hay que subdividir el cimiento en trozos de 4 a 12 m., siendo la otra dimensión en planta el grueso del cimiento del muelle o presa.

En cuanto a la altura definitiva de los cajones, debe ser la que tenga el cimiento; pero cuando se excede de 5 ó 6 m. de altura, no se construye de una vez, sino que se principia construyendo el trozo inferior, que puede hacerse de unos 3 m., continuando después la construcción por su parte superior, siempre por encima del agua, hasta que la hinca sea completa.

Sus dimensiones interiores son variables; pero deben tener las paredes el grueso suficiente para que el peso propio del cajón baste para vencer la adherencia del terreno, dejando siempre hueco bastante para el trabajo de obreros y movimientos de productos y material. En el muelle del antepuerto de Calais, los cajones hincados en la arena por inyección de agua tienen un hueco octogonal (fig. 134).



Si el terreno fuera muy pegajoso, como lo son algunas arcillas y fangos, puede convenir dar un pequeño talud exterior, de  $1 \times 40$ , por ejemplo; pero esto aumenta el volumen de la excavación y del cajón. Yo casi siempre los he construido con paredes verticales.

**Cajones de madera y hormigón.** — En los Estados Unidos, la abundancia de madera permitió construir un cajón de dimensiones excepcionales, que merece citarse.

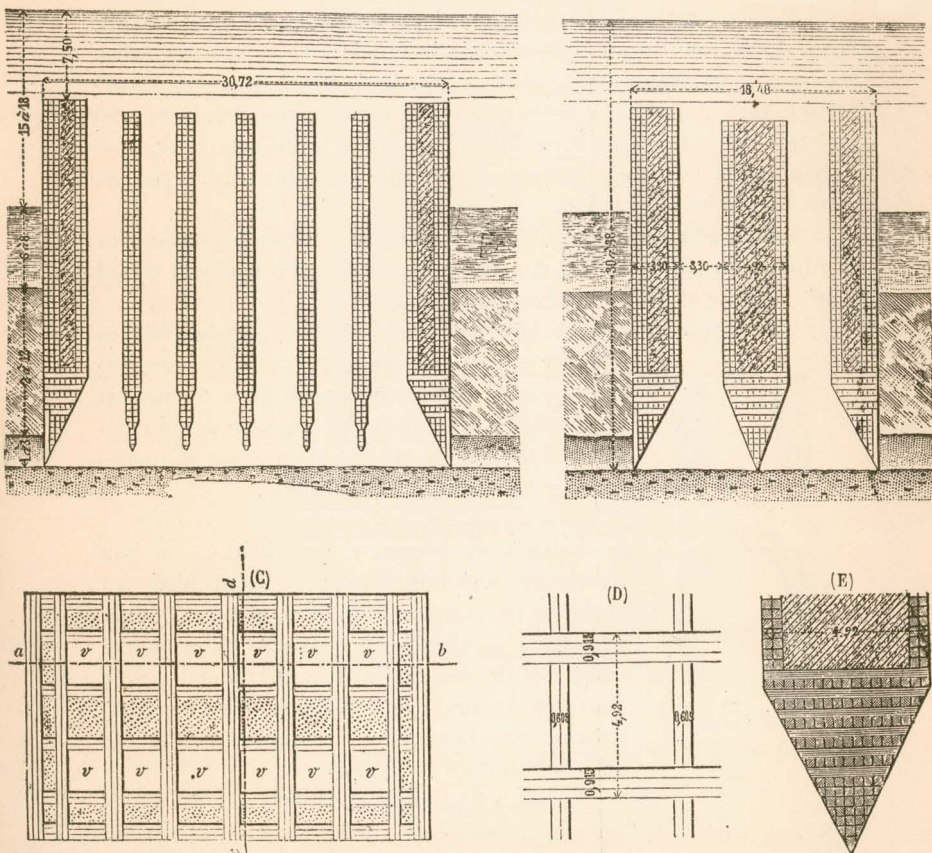


Fig. 135. Cajón del puerto de Poughkeepsie (E. U. A.)

Se trataba de un puente en Poughkeepsie, sobre el Hudson, compuesto por 5 tramos metálicos, de 160 m., de un peso enorme, por tanto.

Se quiso cimentar las pilas en terreno firme, de grava incompresible; pero éste se encontraba a 38 m. por debajo del nivel de estiaje, que tiene, además, una altura media de agua de 17 m.

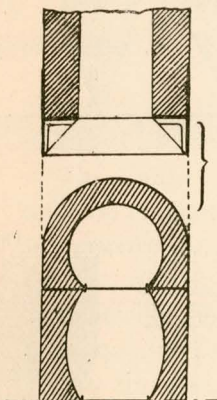
Los 21 m. de terreno por encima del firme se dividen en: 8 m. de fango, 11 m. de arcilla y 2 m. de arena.

Estaba constituido el cajón por piezas de madera de  $30 \times 30$  cm., que formando nueve tabiques longitudinales y seis transversales, dejaban cuarenta espacios huecos (fig. 135). En doce de estos huecos *v*, terminados en su parte inferior en forma piramidal, se excavó el terreno con dragas Priestmann. Los otros veintiocho huecos se iban rellenando de hormigón sumergido, para contribuir con su peso a la hinca del cajón.

Terminada ésta, los buzos regularizaron el fondo, rellenándose entonces los doce huecos con hormigón sumergido hasta la mitad de su altura y con fábrica ordinaria después.

Este procedimiento original permite alcanzar profundidades

que no pueden conseguirse de otro modo, incluso por el aire comprimido, que no permite descender a más de 30 m. por debajo del agua. Pero hoy no se emplea, porque la madera es más cara que el hormigón.



Eje del cajón

Fig. 136,

**Cajones de hierro y hormigón.** — Se han construido muchos cajones, constituidos por cuchillos de palastro (fig. 136), de 1 a 1,50 m. de altura, siguiendo el contorno exterior del cajón, reforzando con ménsulas triangulares de hierro en ángulo, que sostienen otra chapa horizontal recortada por el interior en curva, con anchos variables de 0,60 a 8 m.

Sobre esta chapa se construía la fábrica del cajón, de ladrillo u hormigón, y la forma de bóveda que presentaban las paredes contrarrestaba el empuje del terreno. A ese efecto, las ménsulas opuestas estaban arriostra-

das entre sí por tabiques metálicos, lo que impedía su aproximación (1).

**Cajones sin fondo de hormigón armado.** — Pero estos tipos de cajones, que estuvieron justificados cuando se desconocía el hormigón armado, han sido sustituidos con ventaja por los cajones de hormigón, que a nuestro juicio se mejoran sensiblemente con ligeras armaduras metálicas dentro de su masa.

En lugar de emplear tubos de H. A., como los que describimos anteriormente, se construyen cajones a cuya planta se da la forma cuadrada o la rectangular con los extremos circulares que convenga al cimiento.

El primer cajón de este tipo que empleamos en 1909, para un

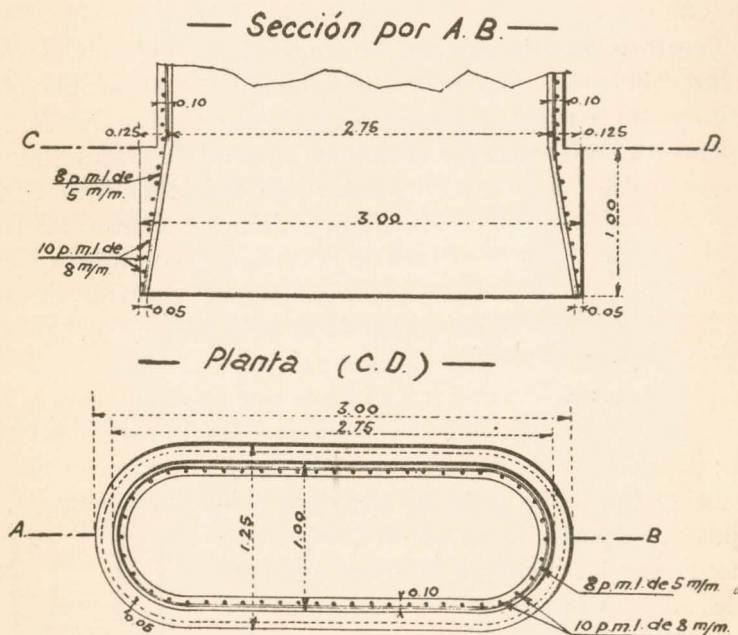


Fig. 137. Cajón de H. A. del puente sobre el Jarama.

puente sobre el Jarama, para la azucarera de Madrid (fig. 137), no tenía cuchillo metálico ni lo ha necesitado.

(1) El ingeniero D. Rafael Coderch, que empleó frecuentemente esta cimentación, publicó sobre ellas un interesante estudio en los *Anales de Obras Públicas*, año 1894, tomo II.



El ancho y la armadura de su borde inferior varía según la dureza del terreno.

El hormigón interior, que puede ser ciclópeo, se compone de 150 kg. de portland, 0,800 m.<sup>3</sup> de grava y 0,400 de arena. En la camisa exterior de H. A., la dosificación de cemento fué de 300 kilogramos.

Las paredes exteriores se enlucen con mortero de portland de 1 × 3, para su impermeabilidad y fácil hinca.

Posteriormente, y en otros muchos cajones análogos que hemos aplicado, siempre con éxito, suprimimos el escalón vertical que resultó innecesario, y *aumentamos los espesores de sus paredes todo lo que permita el trabajo, con la ventaja de aumentar su peso y su fácil penetración en el terreno.*

**Construcción de los cajones.**—Es conveniente construir los cajones *in situ*, y lo hemos conseguido hasta con alturas de agua de 2,50 m.

Para ello, levantábamos un terraplén en el cauce del río, hasta sobresalir unos 0,20 m. por encima de su nivel de estiaje (fig. 138).

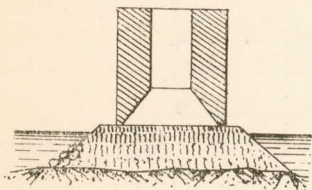


Fig. 138.

Sobre ese terraplén, que a veces había que defender contra las erosiones de la corriente, con ligeros recintos o con escollera, se construía en seco el cajón de hormigón, que dejábamos endurecer un mes.

Claro es que así se aumenta la hinca del cajón en toda la altura del terraplén; pero como éste se forma con tierras y gravas de escasa consistencia, el pequeño gasto de esta excavación suplementaria, que se puede, en parte, hacer en seco, está compensado por las ventajas de la construcción de los cajones *in situ*.

Cuando la altura de agua excede de 3 m. convendrá construir los cajones de hormigón armado en una grada o varadero, para desde allí lanzarlos al agua, transportándolos por flotación.

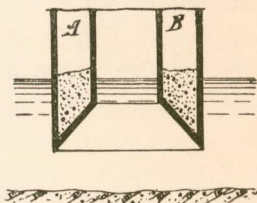


Fig. 139.

Debe construirse entonces el cajón con una doble pared, arriostadas entre sí por tabiques (fig. 139), todo ello de hormigón ar-

mado, en forma análoga a los cajones que con más detalle explicaremos en el capítulo siguiente, al ocuparnos de los que empleamos para el aire comprimido.

Una vez transportado el cajón al sitio de empleo, se van rellenando con hormigón o con arena los huecos *A* y *B* que quedan entre sus dos paredes, hasta que descansa sobre el terreno, y se procede entonces a su hinca, como con los cajones construídos *in situ*.

Creemos que este procedimiento de construcción y transporte de cajones, que hemos aplicado ya, es susceptible de muy interesantes aplicaciones.

**Empalmes de los cajones.** — Cuando un cimiento ha de estar constituido por varios cajones, deben distanciarse de 0,50 a 2 m., para que durante la hinca, que es difícil llevar siempre vertical, no se acodalen unos a otros.

Pero si el muro que han de llevar, como ocurre en las presas y en algunos muelles, necesita ser impermeable, o por lo menos continuo, para evitar las fugas de terraplén, deben empalmarse los cajones rellenando con hormigón la junta que los separe. Para mejor trabazón, pueden dejarse en los paramentos contiguos de los cajones unos entrantes, como en los del muelle de Calais (fig. 131), y, después de excavada la junta, previamente tapada con tablestacas de madera o metálicas, se vierte el hormigón en masa o en sacos algo blandos (1).

**Cajones con fondo.** — Si a los cajones que acabamos de describir les añadimos un fondo impermeable, podremos aplicarlos a cimentar obras, aun con grandes alturas de agua; pero estos procedimientos entran ya en los que hemos clasificado de *cimientos directos sumergidos*, que estudiaremos en el capítulo X.

---

(1) En el capítulo siguiente detallaremos algunos otros procedimientos de empalmes de cajones, que, aunque aplicados a los cajones hincados por aire comprimido, pueden emplearse también en los hincados al aire libre.