



# El Dique seco de Talcahuano

POR

JACOBO KRAUS

«Anales del Instituto Real de Ingenieros de Holanda»

(Traducido por el señor *Martin den Dulk* i revisado por el señor *Enrique Barraza O.*)

---

## I.

### INTRODUCCION

**Situacion.**—La costa oriental del Pacífico comprendida entre el cabo de Hornos i el Canadá, no contaba ántes del año 1875 sino con dos diques flotantes de madera en Valparaiso i con otro del mismo material en el Callao.

En aquella época, Chile se veia obligado a enviar sus principales buques de guerra a puertos europeos para ser carenados, medida que exijia sacrificios pecuniarios de consideracion.

Mas adelante, durante la guerra del Pacífico, pudo palpase, mejor que nunca, la necesidad de construir en el pais un dique seco que permitiera carenar los mas grandes buques de la Armada Nacional.

Con anterioridad a aquella época, el gobierno chileno se había preocupado seriamente de la construcción de un dique seco, sin haber llegado a un resultado práctico. Entonces se pensó que la bahía de Talcahuano, o de Concepcion, como se le denomina en algunas cartas, situada a  $36^{\circ} 40'$  de latitud sur, ofrecía un abrigo natural en todo tiempo, señalándose la como un lugar apropiado con tal objeto. Poco después, en 1878, habiéndose arraigado esta idea, el gobierno encargó al ingeniero francés señor Alfredo Lèvéque, el estudio del proyecto correspondiente.

**Los primeros proyectos.**—Este ingeniero, según el proyecto que formuló con este motivo, se proponía ubicar el dique en las inmediaciones de la Estación de los Ferrocarriles del Estado, en el hemicírculo de la costa, debiendo ejecutarse el trabajo al abrigo de una ataguía jeneral de hormigón que debía formarse en el mar.

Cuando ya se habían construido las obras preliminares, edificios para la administración, almacenes i talleres, i se había adquirido en Europa gran parte del material, entre el cual se hacía notar una draga i bombas definitivas para que prestasen sus servicios en el agotamiento del pozo de fundación, el ingeniero encargado de la construcción notó que su proyecto necesitaba una modificación sustancial, proponiendo, en consecuencia, al gobierno un nuevo proyecto, que consistía en la construcción del dique por medio de un inmenso cajón de aire comprimido, a imitación de la manera como se construyeron los diques de carena de Missiessi (Tolon). Agregó que por medio de este sistema de construcción, se quedaba al abrigo de todas las eventualidades que pudieran surgir a consecuencia de un mal fondo, de dificultades en el agotamiento del foso de fundación o por causa de los temblores (1).

---

(1) El autor hizo sondajes jeológicos en el sitio indicado cerca de la estación con el objeto de construir malecones, i de ellos resultó que el fondo del mar en ese punto es compuesto de fango blando i jabonoso hasta una profundidad mínima de 30 metros. Se comprende, por consiguiente, la impresión que causó cuando la draga subió aquel material: se tuvo miedo por la construcción de ataguía i se buscó entonces la solu-

Esta idea, enteramente nueva en el país tenía la gracia de su misma novedad. El sistema de construcción de obras hidráulicas por medio del aire comprimido, aun no se había aplicado en Chile.

Al mismo tiempo apareció un serio contra-proyecto de los señores Valentin Martinez i Domingo V. Santa María, que tendía a efectuar la construcción en tierra, para lo cual proponían la caleta del Manzano. Agregaban que se podría dejar, delante del foso de fundación, una faja angosta de la costa que sirviera como ataguía natural, formando más tarde el canal de acceso por medio de dragados.

**Proyecto Dirks.**—Dada esta situación, el gobierno de Chile resolvió invitar al ingeniero holandés señor J. Dirks para que se trasladara al país e informara sobre los diversos proyectos de dique de carena presentados a su consideración.

La opinión del señor Dirks se halla espuesta en una interesante i voluminosa memoria cuyo título es: «Informe sobre la construcción de un dique seco en Talcahuano, presentado al Supremo Gobierno de la República de Chile por el ingeniero en jefe del Waterstaat, don J. Dirks.—Santiago 1883.»

En este informe el señor Dirks espresa que en manera alguna el ingeniero debe buscar dificultades i si trata de combatirlas en caso de que no puedan evitarse con facilidad, por cuya razón, en tésis jeneral como en el caso particular de que se trataba, debía preferirse la tierra al mar como lugar de construcción.

El empleo de fundación neumática en este caso, lo considera mal aplicado, esponiendo en seguida el sistema de fundar el dique por medio de pilotajes, dado el caso de encontrarse un suelo sin resistencia suficiente.

Conjuntamente con su Memoria el señor Dirks presentó al gobierno un nuevo proyecto, cuyo presupuesto ascendía a 405.000 libras esterlinas. Según este proyecto, el dique debía

---

ción del problema por medio de otro sistema de construcción. Sin embargo, el hecho de que el terreno resistente no se encontrara aun a los 30 metros de profundidad, no era indicio favorable al proyectado cajón de aire comprimido.

tener una longitud exterior de 174.40 m; un calado de 9.25 m. en el narco de entrada con referencia al nivel de las pleamares de aguas muertas, i un ancho de 16.80 m. a la altura de las intersecciones de los muros inclinados i la bóveda. El zampeado del dique tendria en este caso en el centro un espesor de 2.50 m. i estaria formado por una bóveda inversa de ladrillos especiales, que quedaria cubierta por un revestimiento de piedra canteada en forma de escalas para la colocacion de los puntales i para facilitar el tráfico.

Salvo las dimensiones jenerales, el perfil interior del dique adoptado para la construccion definitiva, es el mismo del proyecto Dirks i, por consiguiente, conforme a los cortes A B G H de la lám. 6, como asimismo por lo que respecta a las banquetas que se han formado en los muros laterales revestidos de piedra canteada en toda su altura.

**Licitacion.**—Desgraciadamente el señor Dirks residió solo algunos meses en Talcahuano, faltándole así la oportunidad de formarse una opinion definitiva del lugar mas adecuado para la construccion.

Es verdad que al valle de «El Manzano» lo calificó como un terreno conveniente; pero tambien hizo presente que tal vez podria encontrarse en otro lugar de la costa un terreno mas apropiado.

Trascurridos cinco años, en 1888, se resolvió contratar en licitacion pública la construccion de un dique seco en Talcahuano que se ubicaria en el valle del Manzano; pero al mismo tiempo se dejaba al empresario la facultad de proponer otro lugar de construccion, en caso que de un exámen posterior resultase que el terreno del Manzano no daba garantías suficientes para la solidez de la obra.

El proyecto del señor Dirks, en cuanto a las dimensiones de longitud, ancho i profundidad era la base de este contrato, que se celebró en términos mui incompletos para una obra que debia ser ejecutada por un empresario. Por lo demas, se prescribió que los detalles de construccion serian análogos a los de los diques de Tolon, Marsella i Jénova; que seria de albañilería i

construido por el sistema de «fundacion de un cajon o cajones para aire comprimido». Se ve por esta última i estraña determinacion cuán poca importancia se dió a los valiosos consejos del experimentado ingeniero señor Dirks, lo que trajo por consecuencia que, al llevar a cabo el trabajo, no se sabia todavía lo que propiamente se deseaba.

Señalándose el valle del Manzano como lugar de ubicacion i prescribiéndose al mismo tiempo la aplicacion del aire comprimido, se trató de satisfacer los dos partidos que cinco años ántes habian combatido con ardor sobre esta materia. El proyecto Dirks, minuciosamente detallado, serviría únicamente para fijar las dimensiones principales que mas tarde fueron modificadas en diversas ocasiones.

Los únicos proponentes que se presentaron a la licitacion pública, fueron los señores Dussaud i Chambon, en calidad de empresarios por una suma alzada, los cuales encargaron la direccion técnica de los trabajos a su compatriota, el mismo ingeniero que cinco años ántes habia iniciado el trabajo por cuenta del Gobierno chileno.

El monto del contrato ascendió, en un principio, a 466,000 libras esterlinas; pero a causa de repetidas modificaciones en las dimensiones jenerales se elevó a 546,320 libras esterlinas. El material adquirido ántes por el Gobierno como la draga, la grua flotante de 50 toneladas, las bombas, etc. fué comprado por los empresarios.

**Lugar de la construccion.**—Despues de estos preliminares i llegando al terreno de los hechos, se calificó el valle del Manzano como terreno inútil para la construccion del dique, i de nuevo se principió a buscar una ubicacion en plena mar, hasta que por fin quedaron aprobadas unánimemente las proposiciones formuladas por uno de los jefes de la marina chilena, el señor Enrique M. Simpson B. El Gobierno, de acuerdo con los empresarios, resolvió unir la costa con el Bajo de Marinao por medio de un rompeolas i fundar el dique sobre el declive de dicho bajo.

En 1899 se iniciaron de nuevo las instalaciones provisionales.

## II

## INSTALACIONES PROVISIONALES

**Línea férrea a San Vicente.**—Uno de los primeros trabajos de instalacion consistió en la construccion de una línea férrea de trocha de 1 m. desde la bahía vecina de San Vicente, donde se instalaron canteras, hasta la estacion de Talcahuano, i desde allí, a lo largo de la costa, hasta el arranque del rompeolas que debia unir la playa con el bajo de Marinao. Además, se emprendió la construccion del rompeolas que debia tener una longitud de 600 m. i la formacion de una esplanada de 125 m. por 15 m. sobre el bajo citado, destinada a galpones, almacenes, oficinas i algunas habitaciones para obreros (véase lám. I, figs. 2 i 3).

Las canteras de San Vicente, situadas a unos 5 kilómetros de distancia de esta esplanada, suministraron una clase de piedra esquitosa mas o ménos compacta, i en bloques grandes, los cuales sirvieron para el revestimiento del talud norte del rompeolas de union.

**Rompeolas de union.**— Entre la costa i el bajo de Marinao habia una profundidad media no mayor de 5 m. El lado sur o interior del rompeolas se rellenó con bloques naturales de cantera cuyo peso varió entre 300 i 1,000 kilogramos, formándose un talud de mas o ménos 1 por 1. El talud norte, espuesto a los temporales del norte, se formó con bloques tambien de cantera de 1 hasta 5 toneladas permaneciendo en equilibrio con un declive de mas o ménos 1.5 por 1. En el coronamiento se dió al rompeolas un ancho de 7 metros.

El relleno para la línea férrea, el campo del rompeolas i la esplanada formada sobre el bajo, se estrajo de las puntillas de los cerros vecinos.

**Punto de la construccion.**—Para alcanzar la profundidad necesaria donde debian fundarse los muros de albañilería i para la ejecucion de esta misma, se hizo uso de cajones de aire comprimido suspendidos entre lanchas planas. Para el correcto fun-

cionamiento de los cajones, se estimó conveniente cerrar, por medio de bloques artificiales, el espacio dentro del cual se debía trabajar.

De este modo se formó una pequeña dársena de 230 m. de largo por 120 de ancho (véase lám. I. fig. 2) dándose a los muros de bloques artificiales, un perfil tal, que pudiesen mas tarde servir de revestimiento para rellenos posteriores a ámbos lados del dique.

En los muros de este recinto de abrigo entraron 1,200 bloques artificiales de  $10\text{m}^3$  cada uno i de un peso de 25 toneladas, los cuales fueron confeccionadas en los terraplenes inmediatos a la estacion de los ferrocarriles del Estado, local que se habia formado por medio de rellenos hechos en virtud del primer proyecto de dique i en el que construyeron talleres i almacenes.

En la confeccion de estos bloques de albañilería se empleó piedra esquitosa de San Vicente, arena poco cuarzosa de este mismo lugar i cal hidráulica de Teil, en la proporcion de 300 a 400 kilogramos por metro cúbico de arena.

A pesar de que esta cal no se encontraba en perfecto estado de conservacion por haber sido almacenada hacia tiempo por cuenta del Gobierno para la construccion del dique, los bloques se han conservado en excelente pié i aun hoi día, despues de 6 años, el mortero no da muestra de la menor descomposicion.

La instalacion de la cancha para la confeccion de los bloques, la manera de cargarlos en lanchas planas i de colocarlos por medio de la grua flotante, ofrecen poco de nuevo e interesante, por cuya razon pasaremos pronto a la verdadera construccion del dique seco dentro del recinto de abrigo.

**Galpon.**—En 1890, cuando el autor de esta memoria se hizo cargo de la vijilancia técnica de estas obras, en calidad de ingeniero en jefe de la Empresa, los trabajos se encontraban en el estado que se ha descrito. Se inició entónces la construccion de un gran galpon para abrigo de los elementos de trabajo, confeccion del mortero e instalacion de las compresoras de aire, dinamo para el alumbrado eléctrico de los cajones, oficinas, etc., todo distribuido como se indica en la lám. I, fig. 3.

**Cajones para aire comprimido.**—En la misma época

se hacia el montaje de los cajones para aire comprimido i el de las lanchas planas respectivas, todo lo cual vino desarmado de Europa.

De estos cajones se habian pedido dos ejemplares, fieles reproducciones de los que aplicaron los señores Zschokke i Terrier en la construccion de los muros de los diques secos de Jénova; tenian 21 m. de largo, por 6.50 m. de ancho i 2 m. de altura debajo del techo. La fig. 4 de la lám. 2 esplica la manera de colgarlos entre las lanchas por medio de cadenas de eslabones largos terminados en la parte superior por tornillos provistos de tuercas de palancas. El espacio para lastre encima del techo tenia una altura de 1.30 m. i se cargó con trozos de rieles inutilizados.

La cámara de trabajo de 2 m. de alto se puso en comunicacion con el exterior por medio de tres cilindros verticales: uno que servia para la entrada i salida del personal, provisto de una esclusa de aire del tipo ordinario, otro destinado a la extraccion, a las escavaciones del fondo o para la bajada de piedra para albañilerías, i finalmente, el tercero, para bajar el mortero.

En el segundo de los cilindros citados habia un balde de mas o ménos  $\frac{1}{3}$  de metro cúbico de capacidad, que se movia con la interposicion de una cadena sistema Galle, por medio de un motor de aire comprimido hasta con 6 atmósferas.

El aire era llevado por un tubo especial provisto de un receptáculo para almacenarlo.

Llegando el balde a la parte superior, se cerraba automáticamente la cámara de entrada.

El aire que movia el motor, se introducía por una serie de tubos especiales i estaba comprimido hasta seis atmósferas.

Por lo demas, los planos adjuntos de los cajones (figs. 2, 3, 4 i 5), dan todos los detalles.

Aquí debo observar que la operacion regular del motor con cilindro oscilatorio i la trasmision de la fuerza por medio de ruedas de friccion dejó bastante que desear, sucediendo que repetidas veces se descompuso la cadena Galle. Además, un solo tubo para la subida i bajada de los materiales era insuficiente para una explotacion ventajosa. El resultado de esto fué que

siempre tuvo que limitarse a seis el número de albañiles en cada cajon a pesar de haber espacio suficiente para ocho o nueve.

Dos tubos para la entrada i salida de los materiales colocados próximamente a las estremidades del cajon, habrian facilitado tambien la distribucion de los materiales en la cámara de trabajo.

Las oscilaciones de la marea que eran de 1.50 m., mas o ménos, por término medio dieron bastante que hacer para mantener el cajon a un nivel mas o ménos constante, por lo que continuamente era necesario aumentar o disminuir la longitud de las cadenas de suspension.

### III

#### DESCRIPCION DE LA OBRA EJECUTADA

**Disposicion jeneral i dimensiones principales.**— Antes de proceder a describir la construccion del dique, creo conveniente entrar en algunos detalles acerca del proyecto definitivamente adoptado, valiéndome de la lám. VI. Como se ve en el plano horizontal i corte lonjitudinal, el dique tiene una longitud de 200 m. i un ancho variable, pues en una longitud de mas o ménos 70 m., a contar desde el hemicyclo, el ancho del dique es inferior en 6 m. al que se le ha dado al resto; de tal modo que en él se distingue una fosa grande i una fosa chica. Esta disposicion que no puede considerarse ventajosa se debe a modificaciones posteriores del largo de la construccion, que se ha querido realizar sin aumentar el cubo de albañilería.

La fosa grande tiene en su boca una doble ranura i otra a mas o ménos 20 m. de distancia de la ranura que se encuentra a la entrada de la fosa chica, por medio de las cuales pueden hacerse varias combinaciones. En el centro de la solera circular de entrada, hai, como en el proyecto Dirks, a contar del nivel de pleamar de aguas muertas, 9.25 m. de agua; pero el ancho tomado a la cota  $\div$  6.28 m. en la interseccion de la solera con el muro inclinado de mas o ménos 1 en 3.2, se aumentó de 16.80 m. a 21.50 m.

La seccion de la ranura intermedia tiene las mismas dimensiones que la anterior; pero la correspondiente a la fosa chica, no tiene sino 8.36 m. de agua sobre la solera i un ancho de 15.50 m. a la cota  $\div$  6.28.

El espacio libre entre los muros laterales del dique, tomado a la misma cota, es de 23 m. en la fosa grande i 17 m. en la fosa chica, muros que tienen una inclinacion de 1 en 20 i están dotados solo de dos banquetas de 1 m. de ancho: una a la cota  $\div$  3.14 m. i la otra a  $\pm$  0. La cara superior de las piedras del coronamiento está a la cota + 2.35 m.

La gradería entre los muros laterales i el fondo está formada por piedras planas de 0.33 m. de altura, i su ancho fluctúa entre 0.75 m., 1 m. i 0.64 m.

Estas medidas fueron tomadas del proyecto Dirks, dando un resultado un tanto caprichoso en su aplicacion por el perfil de bóveda inversa propuesto por dicho ingeniero.

El perfil del radier del dique se puede decir que está mal estudiado, pues no guarda armonía con la forma plana que tienen, por lo jeneral, las quillas de los modernos buques de guerra. Así, se puede notar, en realidad, que uno de los blindados de la marina chilena, el *Capitan Prat*, que tiene 100 m. de eslora, 18.50 de manga i 7.05 de calado a popa, no tenía espacio suficiente en la fosa grande, a ménos de aumentar la altura normal de los picaderos o que se modificara el perfil de la gradería dándole una forma mas plana en la parte central.

Como esta modificacion no presentaba inconvenientes bajo el punto de vista de la solidez del dique, se procedió a ejecutar el trabajo por administracion, a principios de 1895, de acuerdo con la empresa constructora.

El nuevo perfil adoptado para el radier en una estension de 63. 60 m. de la fosa grande (véase lám. VII) dió un ancho de 16. 38 m. para la parte plana i costó 58,000 pesos (1).

---

(1) El Presidente de la República en aquella época, vicealmirante don Jorje Montt i el Ministro de Industrias i Obras Públicas, don Juan Miguel Dávila Baeza, ordenaron la modificacion del radier bajo su propia responsabilidad en vista de aquellas poderosas razones. Como el dique aun

**Picaderos.**—Los picaderos constan de una base de fierro fundido sobre la que descansan dos trozos de roble de Maule de 0.40 m. de ancho. El primer trozo de madera está unido a la base de fierro por medio de pernos, i este trozo con el de mas arriba por medio de anillos colocados en las estremidades de las piezas de roble. La altura de los picaderos era de un metro mas o ménos, la cual variaba por no ser igual la inclinacion del radier de ámbas fosas en sentido del eje lonjitudinal. La pendiente en la fosa grande es de 1 m. 182 (5.45 mm. por metro), i de 1 en 250 (4 mm. por metro) en la fosa grande. La parte superior de todos los picaderos se encuentra en un mismo plano que tiene una pendiente uniforme de 1 en 160 (6.24 mm. por metro).

La lám. VII da todos los detalles de los picaderos. No cuentan, como se ve, con cuñas de fierro semejantes a las de las empleadas en el dique de Hamilton en Malta o como el dique Alexander en Belfast, o como se proyectó en un principio para Talcahuano. Esas cuñas habrian orijinado mayores gastos, pero habrian permitido en cambio, una explotacion mas fácil.

La distancia entre los picaderos es de 2 m. de eje a eje, tal como fué indicado por el señor Dirks.

Despues se colocaron picaderos intermedios, fundándose en el hecho de que el Almirantazgo Ingles, para hacer entrar a los diques sus blindados, no admite un espacio libre entre los picaderos, mayor de 0.57 m.

**Planos inclinados.**—En las inmediaciones del hemicycle del dique las banquetas quedan interrumpidas por planos inclinados de 2 m. de ancho, que sirven para bajar maderas u otros materiales, siendo su inclinacion igual a la de los muros de las

---

no habia sido entregado por los empresarios, éstos consintieron en que se hiciera el trabajo sin eximirse por esta causa de la responsabilidad que les cabia por contrato en la estabilidad de la obra. El gobierno chileno se aprovechó con bastante intelijencia del tiempo que faltaba para la espiracion del plazo de la garantia establecida en el contrato con los señores Dussaud i Chambon, para ordenar que se hiciera el trabajo con la lijereza necesaria i en vista del jeneroso consentimiento acordado por éstos.

ranuras de los bancos-compuertas. No hai necesidad de argumentar para convencerse, que habria sido preferible hacer los planos con una inclinacion mas suave, como las adoptadas por ejemplo en los diques de Jénova o de Amberes.

**Escalas.**—Un número conveniente de escalas de piedra facilitan el tráfico dentro del dique.

**Agotamiento.**—Esta operacion se efectúa por medio de cuatro bombas centrífugas de 2 m. de diámetro con tubos de aspiracion de 0.42 m. Están movidas por otras tantas máquinas verticales Compound, de accion directa. El vapor es jenerado por cuatro calderas de 2.22 m. de diámetro i 2.60 m. de largo que trabajan a una presion de 4.5 kilogramos por  $\text{cm}^2$ . Estas bombas con sus anexos, son las mismas que 14 años ántes se habian adquirido para el agotamiento del pozo de fundacion del proyecto primitivo. Además, existen dos bombas chicas auxiliares. Esta instalacion completa, pero sin su fundacion i montaje, costó 324,000 francos i fué suministrada por la compañía de «Forges et Chantiers de la Mediterranée», de Marsella.

Las cuatro bombas no se instalaron en el mismo edificio de modo que hubo necesidad de construir dos pozos impermeables. Las bombas de la estacion norte se comunican con el dique por medio de dos desagües, que parten de uno i otro lado de la ranura del banco-compuerta de la fosa chica, desagües que pueden cerrarse por medio de compuertas.

La lámina VIII da un plano horizontal i dos cortes de la instalacion de la estacion de las bombas del norte.

Respecto a la capacidad de las bombas, puede decirse que trabajando todas a la vez, llegan a vaciar el dique, cuyo cubo es de  $32,630 \text{ m}^3$ , a media marea, en 6 h. 25 m. La fosa chica, aislada por su correspondiente barco-compuerta, de un cubo de  $8,000 \text{ m}^3$ , puede agotarse, con las dos bombas de la estacion norte, en 3 h. 12 m. La fosa grande, que contiene  $24,600 \text{ m}^3$  de agua, puede agotarse, en caso de que trabajen las cuatro bombas, en 4 h. 25 m. Prolongando la fosa chica en 20 m., da un cubo de  $11,800 \text{ m}^3$ , i sólo por medio de dos bombas puede secarse en 4 h. 43 m., mientras que para el agotamiento de la parte restante, de un cubo de  $20,800 \text{ m}^3$ , se necesita a lo ménos,

8 h. 19 m., pues, en este caso, la fosa grande no puede ser agotada sino por la bombas del lado sur.

Naturalmente, los períodos anotados disminuyen de un modo considerable cuando el buque que debe entrar al dique, ha desplazado ya un buen cubo de agua.

**Largo útil del dique.**—Respecto del largo máximo de los buques que pueden entrar al dique fácilmente puede deducirse de las cotas indicadas en la lámina I figura 3. Estando el barco-compuerta, que tiene 4.5 m. de ancho en la ranura extrema, el largo útil medido a la altura de la banquetta cota  $\div 3.14$  es de 188 m. en números redondos. La fosa chica puede dar 63 m. i 83 m., respectivamente.

## IV

### COMIENZO DEL TRABAJO

**Dragado.**—En primer lugar debió dragarse la capa mas blanda del fondo, operacion que sólo pudo llevarse hasta la cota  $\div 5.50$ , siendo necesario continuar con aire comprimido el derrocamiento hasta llegar a la profundidad requerida.

**Profundidad de las escavaciones.**—Habiéndose proyectado el fondo del dique a la cota  $\div 9.75$ , inmediatamente despues del umbral de entrada, i juzgándose necesario un espesor de 3.5 m. para el fondo del radier a fin de quedar a salvo de toda eventualidad, hubo que llevar las escavaciones hasta  $\div 13.25$ . Sin embargo, se acordó, despues de muchas dificultades i en vista de la forma de bóveda adoptada para el perfil del radier, que bajo los muros laterales bastaria una profundidad inferior, naciendo así los perfiles para las escavaciones del fondo que se indica en la lámina VI.

**Programa.**—Ahora bien, el programa de trabajo adoptado, que se siguió con buen éxito, fué el siguiente:

En vez de escavar el fondo con la ayuda de los cajones, en toda la estension que ocuparia el dique, se limitó la operacion tan solo a la formacion de un canal estrecho hasta las cotas  $\div 11$  m. 45 cm. i  $\div 11.85$  m. donde se emplazarian los muros latera-

les levantándose así hasta el nivel de alta marea. En seguida se procedió a construir una ataguía provisional, se agotó el pozo así formado i de este modo se pudo escavar al aire libre la roca del fondo del mar en el espacio comprendido entre los muros laterales, hasta la cota correspondiente.

Hecha esta escavacion se construyó el radier de albañilería i se procedió a su revestimiento con piedra canteada:

**Pozo de ensayo.**—Antes de adoptar el programa indicado se hizo un pozo de ensayo en la parte del bajo de Marinao que quedaba sobre la superficie del agua.

Se constató la impermeabilidad del terreno, deduciéndose de este hecho que no habria serias dificultades para agotar el recinto, durante el tiempo que faltaba el radier en la fosa.

**Ancho de construcción de los muros.**—En este estado de cosas, debia determinarse el espesor de los muros en su base, los que quedaron fundados a  $\div 11.85$ , debiendo sufrir una presion de agua de 12.75 m. durante el agotamiento.

Un sencillo cálculo demostró luego que el ancho máximo de albañilería que podia ejecutarse en un cajon de 6.50 m., o sea 5.70 m., era enteramente insuficiente para resistir la presion indicada.

Deseándose evitar fuerzas de tension en la albañilería, era menester, por consiguiente, dar a la base del muro un ancho de 8 m., de manera que el fondo de las escavaciones debia tener, a lo ménos, 9 m. de ancho, agregándose aun a sus costados el talud correspondiente para evitar los derrumbes.

Dadas estas circunstancias, ni la escavacion ni la albañilería, podrian efectuarse dentro de un solo ancho del cajon.

**Estracción del fondo.**—Cada vez que bajaba el cajon en el fondo 1 m., mas o ménos, se levantaba i se cambiaba de posicion con el fin de escavar uniformemente hasta una misma hondura todo el ancho de la escavacion necesaria.

Cuando se bajaba demasiado en una misma posicion, el cajon se enterraba, presentándose entónces muchas dificultades para levantarlo. Raras veces podian hacerse las escavaciones a mano, directamente, i casi siempre era preferible remover primeramente el terreno por medio de dinamita.

Tan pronto como las cuchillas del cajon tocaban el fondo en cualquiera parte, se procedia a la estraccion de todo el material hasta que el cajon descansaba uniformemente, continuándose con la escavacion en todo el perímetro para hacer siempre el trabajo en seco con escepcion de las orillas.

El cajon bajaba lentamente. En 24 horas, trabajando en las cámaras alumbradas con luz eléctrica dos cuadrillas de veinticuatro hombres cada una, el cajon no bajaba mas de 20 o 30 centímetros, de modo que diariamente, i por cada cajon, se extraian mas o ménos 35 m<sup>3</sup>. Fijando en 5.50 m. el espesor medio de la capa escavada i en 10 m. su ancho, resulta que se extraieron mas o ménos, 25,000 m<sup>3</sup> de roca por medio de los cajones.

**Heterojeneidad del fondo.**—La naturaleza del fondo no era en todas partes la misma. El bajo de Marinao está constituido por una roca gris-azul, clasificada como arenisca. En muchas partes el fondo removido era duro como piedra i mezclado con fósiles de crustáceos o con troncos de árboles petrificados. En otras se encontraba una materia mas blanda que tenia el carácter de arcilla consistente bajo el influjo de la humedad.

Por lo jeneral, las capas mas duras eran gris-azules i las mas blandas amarillosas, encontrándose las primeras, a menudo, a mayores profundidades que las segundas.

Esta circunstancia no constituia una regla fija, pues, a veces, habia dentro de un mismo cajon fajas de un terreno amarilloso, de algunos metros de ancho, que atravesaban el terreno el cual era, por lo demas, de materia gris-azul i mas duro. En otras ocasiones no se encontraba sino el terreno amarillo i relativamente blando.

Las dificultades apuntadas dieron lugar a muchas inquietudes, considerándose por numerosas personas como un absurdo la fundacion de la obra sobre un terreno heterojéneo, al punto de que el Gobierno exijió a la Empresa que continuara las escavaciones hasta que se encontrara uniformemente el terreno gris-azul.

Como esta profundidad era indefinida, pretender que se continuaran las escavaciones, era imponer desembolsos i sacrificios

estériles. En vista de estas circunstancias, la Empresa, apoyándose en su responsabilidad financiera, pudo obtener del Gobierno la autorizacion necesaria para iniciar el trabajo de la albañilería submarina aun en capas ménos duras a las del terreno gris-azul.

Su confianza en el buen resultado del procedimiento, lo fundó la Empresa en las siguientes razones: La mayor carga sobre el fondo la ejercerian los muros durante el período de construccion en que se agotara el pozo cerrado provisoriamente. La presion del agua seria entonces, mas o ménos, de 13 m. de altura. Esta carga máxima se ejerceria naturalmente sobre la arista interior de los muros, pudiendo alcanzar a 14 kg. por  $\text{cm}^2$ . Si el terreno donde se proyectaba hacer la fundacion podia soportar esta carga sin sufrir compresiones perceptibles, la construccion no correria peligro.

Así sucedió en efecto. Los ensayos que se practicaron dentro de los cajones por medio de un aparato improvisado con este objeto, demostraron que el terreno mas blando podia resistir una carga de 14 kg. por  $\text{cm}^2$ , aplicado sobre prismas de madera de uno o de cuatro centímetros cuadrados de superficie, sin que se observaran indicios de compresion o deformacion, habiéndose raspado previamente la capa delgada humedecida.

Las capas amarillas i mas blandas dieron, por lo tanto, una resistencia contra la depresion, cuádruple de la carga mayor que debian soportar; importaba bien poco, en consecuencia, averiguar si las capas gris-azules, pudieran soportar mucho mas todavía, hasta los 60 kg. si se queria, sin dar señales de hundimiento o compresion.

## V

### EMPLEO DE LOS CAJONES PARA LA EJECUCION DE MACIZOS CONTINUOS DE ALBAÑILERIA

**Consideraciones jenerales.**—Tan pronto como se hizo una parte de la escavacion, se inició la ejecucion de la albañilería submarina. En esta última operacion la gran dificultad con-

sistia, dadas las dimensiones relativamente pequeñas de los cajones, en unir sucesivamente los bloques de tal manera, que dieran garantía completa de absoluta impermeabilidad en sus juntas.

Sobre esta materia de las juntas, hai que distinguir las juntas trasversales de las longitudinales. Estas últimas son las que corresponden a la parte inferior de los muros, bajo el nivel de 8.50 m., en donde los muros tienen un espesor mayor que el ancho aprovechable de los cajones.

**Ranuras trasversales.**—Con la ayuda de la lámina IX en que se representa un corte longitudinal de uno de los muros del dique en construcción, se podrá formar fácilmente una idea de cómo iban construyéndose, de una manera paulatina, trozos de 20 metros de largo. Como puede verse en ese croquis, la parte no sombreada termina en un rediente compuesto de gradas de 50 cm. de altura i de 80 cm. de ancho. Una vez terminada esa parte del muro, i habiendo quedado el cajon profundizado, limpiado i nivelado para su posición subsiguiente, se le colocaba tan cerca como era posible de la grada inferior de la albañilería ya hecha, iniciándose en esta posición la confección de un nuevo trozo.

A medida que se cubria la capa de albañilería, se levantaba el cajon a fin de facilitar el trabajo dada la reducida altura de la cámara.

Habiéndose ejecutado esta capa de albañilería i habiendo alcanzado una altura un tanto superior a la primera grada del trozo hecho anteriormente, quedando así colocado el bloque A, el cajon se mueve hacia atrás (en la figura queda hacia el lado izquierdo), de modo que una de las cuchillas angostas descansa sobre dicha grada. Continuándose en esta misma forma la confección del macizo, se ejecuta al mismo tiempo el relleno entre el muro ya hecho i el bloque A.

Estas ranuras por rellenar tenían 60 cm. de ancho, mas o ménos, i contenían una capa de agua igual a la altura de las gradas, o sea, de 50 cm., las que se cerraban, por ámbos extremos, con muritos hechos bajo el agua, con los mismos materiales del resto de la albañilería. Estos muritos podrian así recibir,

inmediatamente despues, la insignificante presion de 50 cm. de agua.

En seguida se hacia el agotamiento de la ranura, se limpiaba cuidadosamente el fondo i sus costados i se procedia a hacer el relleno con albañilería ordinaria.

Hecho un nuevo bloque de 50 cm. de alto, alcanzado así hasta el nivel de la segunda grada, se levantaba nuevamente el cajon, teniendo cuidado de moverlo hácia atras, i se rellenaba en la misma forma el espacio entre la nueva albañilería i la primitiva.

El trabajo de albañilería no necesitaba interrumpirse durante este movimiento ascendente del cajon, siempre que se tomara la precaucion de que el nivel de la albañilería sobrepasara en 15 o 20 cm. al de la grada siguiente donde debia descansar la cuchilla, permaneciendo de esa manera siempre en seco el recinto de trabajo. La union que se obtenia por este medio entre los bloques era completa.

Dando a las gradas la altura indicada, jamas se podrá encontrar ranuras de una profundidad superior a 50 cm., lo cual puede considerarse como un límite práctico, puesto que el operario, con el brazo desnudo, puede hacer perfectamente impermeable la parte baja de este murito trasversal.

**Ranuras lonjitudinales.**—El procedimiento tan simple que he descrito mas arriba sólo pudo emplearse en la parte superior de los muros donde éstos tenian un espesor igual o inferior al ancho del cajon, es decir, a 6.50 m.

Desde la fundacion de los muros hasta la cota  $\div$  8.50 m., el cajon tenia que cambiar de posicion no sólo en sentido lonjitudinal, sino tambien en sentido trasversal. Esto se explica claramente por el corte trasversal (lám. IX), donde se ve la primera posicion del cajon del lado interior del muro, para confeccionar el bloque A. En este bloque se dejaba una ranura lonjitudinal de 60 cm. de ancho, cuyo eje estaba situado a 6.50 m. mas o ménos del paramento exterior del muro, i el fondo a la cota  $\div$  11.50 m., precisamente el mismo nivel de la primera grada de la albañilería ya hecha; llegando la albañilería a una altura suficiente para poder continuar el trabajo en seco, se colocaba el cajon de modo que el cuchillo descansase sobre dicha grada,

pudiéndose así agotar i rellenar con albañilería parte de la ranura transversal, mientras que al lado derecho de la ranura longitudinal se hacia subir la albañilería, a lo ménos, hasta la cota  $\div 10.85$  m.

Despues se cambiaba el cajon en direccion transversal hácia el lado exterior del muro de modo que uno de los cuchillos descansase en la ranura longitudinal, i en esta posicion se confeccionaba el bloque *B*, debiendo previamente cerrar, limpiar i rellenar la ranura longitudinal donde primitivamente descansaba el cajon.

Durante la confección del bloque *B*, i descansando la orilla de atras del cajon sobre la grada a la cota  $\div 11$  m., se rellenaba el resto de la ranura transversal entre la albañilería nueva i la recién hecha.

Hecho esto así i llevándose el bloque hasta las cotas indicadas en la figura, se cambiaba nuevamente el cajon hácia el interior del muro con el cuchillo longitudinal en la ranura recién formada a la cota  $\div 11$  m. Del mismo modo se confeccionaba el tercer bloque i así se continuaba hasta la cota  $\div 8.50$ , desde donde el cajon podia contener el espesor total. El único cambio que entónces habia que dar al cajon, era el necesario para ir montando grada por grada, movimiento que en nada molestaba al trabajo de la albañilería.

No sucede así tratándose de un cambio transversal, habiendo necesidad en tal caso de levantar el cajon pasando por encima de *A*, por cuya operacion se inunda momentáneamente el trabajo de la albañilería al lado izquierdo de *A*.

Inoficioso creo decir que las superficies de las capas sucesivas de albañilería de 50 cm. de espesor se dejaban en bruto, como asimismo el fondo i los costados de las ranuras, para obtener así una union perfecta entre uno i otro bloque. Sólo en los estremos de las ranuras, donde debian confeccionarse los pequeños diques, era necesario ajustarse estrictamente a las dimensiones prescritas para su ancho i altura; el resto podia ser mas ancho i mas profundo.

De la manera indicada se confeccionaron los muros en direccion recta hasta la cota  $\div 1$ , punto en el cual, durante el período de la alta marea, el cajon podia levantarse entre las lanchas pla-

nas hasta un nivel que permitia su movimiento pasando los cuchillos sobre la superficie de la albañilería.

En este estado se esperaban las bajas mareas de aguas vivas para concluir el trabajo de la albañilería al aire libre.

**Formacion de los ángulos.**—El calado las lanchas planas presentó su inconveniente para proseguir la albañilería de los muros sobre la cota  $\div 2.50$  en aquellas partes en que formaban ángulos rectos, como en las pozas de las estaciones de bombas i en la union de los muros del dique con las ataguías provisionales. (Véase lám. IX, donde se ha bosquejado la union de los muros del dique con un muro transversal de ataguía.)

En estos casos, para proseguir la albañilería hasta la cota  $\div 1$ , i poder despues retirar el cajon, era necesario dejar en el muro transversal, para una de las lanchas, un pasaje de 8 m. de ancho. Este pasaje sólo pudo levantarse hasta la cota  $\div 2.50$ , ya que las lanchas calaban 1.50 m., estando el cajon en su mayor altura i las bajas mareas llegaban hasta  $\div 1$ . Aquí hubo que levantar mas tarde la albañilería por otro procedimiento.

**Cajon chico.**—El relleno en este punto se efectuó de dos maneras.

En los pozos de las estaciones de bombas, donde el trabajo debía ser definitivo, se hizo uso de un cajon chico de 4.5 m. de largo por 4.5 m. de ancho i 2 m. de altura, el cual trabajaba suspendido de la grua flotante, la misma que sirvió para la colocacion de los bloques artificiales del recinto de abrigo i que tenia un poder de 50 toneladas.

Para obtener una union bien íntima en la albañilería, se siguió aquí el mismo procedimiento de los cajones grandes, i por consiguiente, se dejaban gradas en los muros que limitaban el pasaje.

**Compuertas de madera en las ataguías provisionales.**—En las partes en que quedaba una abertura de pasaje en las ataguía, se hizo uso de una construccion de madera, la cual, en la lámina IX, se esplica con algunas líneas. Se compone de cuatro compuertas dentro de una construccion de marco, formado por una solera continua, dos piés derechos terminales i tres cabezales intermedios.

La solera i la parte interior de ámbos piés derechos terminales fueron encastrados en la albañilería ejecutada en el cajon, poniéndose despues los cabezales intermedios por medio del buzo.

Se aseguraba su posicion vertical por medio de vigas horizontales apuntaladas una a marea baja i otra mas arriba. Este modo de cerrar ha dado mui buenos resultados.

**Formacion del hemiciclo.**—En la formacion de la parte superior del muro del hemiciclo, se hacia maniobrar el cajon de tal modo que siempre una de las lanchas recorria la circunferencia interior i la otra la exterior, de modo que esta parte de la albañilería se hizo sin interrupcion dentro de los cajones grandes. Las gradas para la union sucesiva de los bloques de albañilería tenian aquí la forma de una escalera en espiral.

**Otras aplicaciones del método.**—Antes de terminar la descripcion del trabajo de los cajones, aun debemos contemplar un caso especial que puede presentarse en la ejecucion de albañilerías submarinas en las partes bajas de un muro de mayor espesor. Puede en este caso suceder que entre dos partes de muros ya terminados debe rellenarse un espacio rectangular A B C D (véase lám. IX), de un ancho i largo superiores a las dimensiones correspondientes del cajon.

En un caso semejante debe colocarse el cajon, para la confeccion de cada capa de albañilería, en cada uno de los cuatro ángulos; i para hacer siempre el trabajo en seco, es necesario dejar ranuras tanto trasversales como lonjitudinales de profundidades iguales a las alturas de las gradas de la albañilería ya hecha. En primer lugar, se coloca, por ejemplo, el cajon en el ángulo A, para confeccionar en esta situacion los cuatro bloques de 50 cm. de altura que llevan el núm. 1, i que son separados por ranuras.

Despues se cambia el cajon en sentido lonjitudinal, en vista de que este cambio puede efectuarse mas fácilmente que uno trasversal. De B se pasa en seguida a C i de C a D, para terminar la primera capa de 50 cm. de espesor i pasar a la segunda capa. Continuando así sistemáticamente, siempre se hace en seco el trabajo de albañilería.

**Ubicacion del trabajo submarino.**—En el trabajo submarino era preciso saber en cada momento, i con toda exactitud, la ubicacion i la profundidad de las gradas i ranuras que se formaban. Para esto resultó ser de absoluta necesidad fijar con precision la situacion del cajon, i trasportarla a un plano cada vez que se cambiaba de lugar. Con este objeto se hizo uso de balizas colocadas en los muros de bloques del recinto de abrigo i de cuerdas colocadas en los cuatros ángulos del cajon, cuyos extremos sobre el agua, se tendian verticalmente por medio de un plomo, de manera que fijaran la situacion exacta del cajon debajo del agua.

La situacion de las gradas i ranuras en profundidad, se fijaba desde la cubierta del cajon, determinándose al mismo tiempo su nivel por medio del largo conocido de las chimeneas de trabajo i de una regla de marea. De cada situacion de los cajones se levantaba un cróquis en el cual se marcaban con claridad, las dimensiones de las escalas i ranuras.

La ejecucion del trabajo submarino significó, por consiguiente una labor bastante pesada para el personal encargado de su direccion i vijilancia, tanto mas, cuanto se trabajaba de dia i de noche, sin interrupcion.

Con todo, esto no fué un inconveniente para que el trabajo marchase con bastante rapidez alcanzándose a hacer, mensualmente, con los dos cajones, 3,000 m<sup>3</sup> de albañilería submarina.

En cada cajon trabajaban solamente 6 albañiles i rara vez 7, por ser limitado el acarreo de piedra. Cada albañil estaba auxiliado por dos ayudantes para mover las piedras pesadas i acarreo del mortero.

Cada cuadrilla trabajaba seis horas en el interior del cajon, cualquiera que fuese la profundidad en que se encontrase.

**Agotamiento del dique por parcialidades.**—No obstante la actividad con que se proseguia el trabajo, tardó mucho tiempo ántes que los muros apareciesen en la superficie del agua, debido principalmente al largo trabajo de la escavacion submarina para preparar el asiento de las fundaciones, circunstancia que determinó la Empresa a poner en evidencia una parte de su obra, para demostrar su bondad, ante el público que se

mostraba impaciente. Para esto se resolvió no unir los muros a la entrada del futuro dique, sino, mas o ménos, en la mitad de su longitud, por medio de una ataguía provisional a fin de agotar, terminar los primeros cien metros, a contar del hemiciclo, dejando a los cajones la tarea de las excavaciones de la albañilería submarina hasta terminar la obra. De esta ataguía intermedia se habló ya mas arriba con el auxilio de la lámina IX.

En el mes de abril de 1893 se agotó esta fraccion del dique, dejándose en seco una parte del fondo del mar i demostrándose así que los muros resistian con todo éxito la presion del agua, lo cual trajo la tranquilidad i confianza al ánimo del Gobierno i del público.

Esta fué la mejor prueba de que por el procedimiento descrito se podian ejecutar albañilerías submarinas continuas e impermeables con tanto éxito, como con un cajon grande.

**Filtraciones.**—Sólo en dos puntos se notaron filtraciones de alguna consideracion, localizadas en los primeros bloques ejecutados, cuyas ranuras se rellenaron con hormigon puesto en el agua i contenido por diques i sacos llenos del mismo material. Este procedimiento, que no permitia limpiar de un modo satisfactorio las paredes de las ranuras, para obtener una union íntima, resultó imperfecto, i, por lo mismo, se abandonó desde un principio.

Estas filtraciones se reconcentraban en tubos de plomo, rellenando cuidadosamente su alrededor con un hormigon de superior clase preparado con todo esmero. Despues de haber hecho presa el hormigon, se cerró la estremidad del tubo, doblándolo, con lo cual dichas filtraciones desaparecian completamente.

El concepto favorable que desde un principio se formó respecto a la impermeabilidad del fondo, resultó tambien comprobado mas tarde. Sólo en la segunda parte del dique, la cual se puso en seco un año mas tarde (abril de 1894) despues de haber construido una segunda ataguía provisional a su entrada, el fondo submarino comprendido entre los muros del dique, mostró algunas pequeñas vias de agua, las cuales, por medio de un drenaje establecido debajo del radier, se las condujo a la fosa de timon.

Tambien hubo filtraciones en la parte baja del muro lonjitu-

dinal del pozo correspondiente a la estacion sur de las bombas. Este muro se ejecutó sin juntas en su longitud total de 20 m., i a fin de que bastase el solo ancho del cajon i para ganar tiempo, ademas, se le dió un espesor de solo 5.70 m. a la cota  $\div$  11 m. Este espesor era suficiente para la estabilidad del muro, en razon de que los dos muros transversales del pozo hacian en este caso el papel de sólidos machones; pero no resultó suficiente para dar una impermeabilidad absoluta a una profundidad tan grande, produciéndose filtraciones, que, por lo demas, eran de poca consideracion.

## VI

### ACCIDENTE DE LA GRUA FLOTANTE

**Su causa.**—Estando la segunda parte del dique casi en estado de ser agotada, sobrevino un inesperado accidente que retardó considerablemente la terminacion de la obra.

En esa época, una gran parte de los muros del dique aparecia ya sobre la superficie del agua, mientras otra parte solo habia podido levantarse hasta la cota  $\div$  2.50. La grua flotante de 50 toneladas, con el cajon chico de 4.5 m. por costado, se ocupaba de rellenar una de las aberturas de 8 m. de ancho, del pasaje de las lanchas, acerca de las cuales se ha hablado anteriormente. El ponton de la grua, de 24 m. de largo por 16 m. de ancho, se encontraba colocado con el objeto ántes dicho, entre ámbos muros del dique, con la popa sobre el muro poniente, el cual, en este punto, solo se encontraba terminado hasta la cota  $\div$  2.50, de modo que la grua que solo calabá a popa 1.50, sin lastre, no podia tocar el muro aun en las mareas mas bajas.

En estas circunstancias, sucedió que, por descuido de uno de los marineros, se colgó un ancla a popa, de tal modo que sus puntas quedaron debajo del ponton.

En medio de una noche tempestuosa, cuando el cajon tocaba la albañilería i, por consiguiente, la grua tenia un máximo de calado a popa, llegó el período de la baja marea, quedando el ancla comprimida entre el muro i el fondo del ponton.

El resultado del accidente fué que se perforó el fondo, se llenó de agua el ponton, i la grua quedó en la situacion que se demuestran en la lámina X.

En un principio se hizo la tentativa de poner la grua a flote por medio del agotamiento del ponton, para lo cual se cerraron previamente todas las escotillas de la cubierta con el auxilio del buzo. Pero esto no dió resultado, porque la cubierta no resistió la presión, teniendo la Empresa que buscar los medios para aislar esa parte del dique.

Por este accidente, no sólo la grua flotante i el cajon chico quedaron fuera de servicio, sino que lo peor del caso fué que la grua tomó tal situacion que los muros quedaron inaccesibles a los cajones colgados de las lanchas planas en una estension considerable.

**Colocacion del hormigon debajo del agua.**—Felizmente todo el trabajo de albañilería alcanzaba ya a la cota  $\div$  2.50, i en estas circunstancias se resolvió terminar los muros con hormigon colocado en cajones de madera, el cual, en caso de dar buen resultado, se recibiría como trabajo definitivo. En la lámina X se indica en pocas líneas el modo de operar.

Con la ayuda de una pluma montada en lancha, se colocaban sobre los muros compuertas ensambladas de 3.70 m. de largo para formar los cajones, los que en su parte inferior tenían mayor ancho que en la superior, a fin de facilitar su desarme haciendo saltar las cuñas en las uniones con el marco. Esta operacion se efectuaba con facilidad, i tan pronto como hacia presa el concreto, se sacaban estos revestimientos de madera i eran nuevamente utilizados en otro punto.

Con la ayuda del buzo se limpiaba la parte superior de los muros i se tapaban las ranuras que quedaban entre la albañilería i las compuertas i entre dos compuertas sucesivas. El buzo tambien limpiaba la superficie del hormigon, cada vez que habia interrupcion en el trabajo, sacando la capa de lechada de cemento que se hubiera formado.

El hormigon se colocaba debajo del agua por medio de las cucharas representadas en la lámina X, las que se manejaban por medio de un aparejo colgado a una superestructura de madera.

La colocacion del hormigon se hizo por capas delgadas, las que se pisoneaban con cuidado, evitando en lo posible la formacion de taludes donde pudieran rodar las piedras unas sobre otras, en vista de que el buzo habia observado que de este modo se formaba sobre el muro una capa de piedras aisladas que impedia la adherencia del conjunto.

El hormigon se componia de dos partes en volúmen de piedra chancada de 5 cm., en sus mayores dimensiones, i una parte de mortero fabricado con 650 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena. Durante la marea baja ordinaria habia sobre el muro 2 m. de agua i 3.50 m. en marea alta. Sobre la cota  $\div$  0.50 el muro se terminaba con albañilería.

En la parte del muro donde descansaba el ponton de la grua no habia bastante espacio para hacer la ataguía del hormigon i fué necesario formar en una lonjitud de 8 m., una sólida compuerta de madera apoyada en los muros de concreto i en una solera del mismo material.

Cuando las bombas pusieron en seco esta parte del dique se pudo constatar que el hormigon era bastante impermeable i se encontraba suficientemente adherido a la albañilería inferior.

**Reparacion de la grua.**—En este estado el trabajo se procedió a sacar la grua de la posicion en que se encontraba, separando i cerrando con este objeto el ponton. Puesta a flote, se procedió a hacer entrar el agua; i a fin de someterla a un calafateo definitivo, se la remolcó a la fosa chica, en la que ya se habia terminado el revestimiento de piedra canteada i cuya ataguía provisional se habia demolido previamente.

Los fotograbados esplican las situaciones sucesivas de la grua.

## VII

### MATERIALES DE CONSTRUCCION.

**Piedra bruta.**—Se ha dicho mas arriba, que los bloques con que se formó el recinto de abrigo dentro del cual se construyó el dique, se confeccionaron con piedra esquitosa de San

Vicente. En los muros del dique se empleó una piedra mas resistente: un buen granito, o mejor dicho, sienita, pues contiene anfíbola en vez de mica, procedente de las canteras de San Rosendo, canteras que se instalaron con este objeto i se hallan situadas a una distancia de 8½ kilómetros de Talcahuano.

Los ferrocarriles del Estado tenian a su cargo el transporte de la piedra.

**Explotacion de las canteras de San Rosendo.**—En la explotacion de las canteras, la Empresa siguió el sistema de grandes polvorazos, tal como ya lo habia empleado en Trieste en mayor escala. Siendo escasos los datos a este respecto, se indicará en seguida el modo como se han fijado las cargas en algunos casos especiales.

**Los grandes polvorazos.**—En el plano de la lámina X, la línea D F representa el pié de la roca granítica que en parte se queria hacer saltar. Con este objeto se instaló, a una altura de 4.4 m. sobre del nivel del terreno, una galería horizontal de 0.80 m. de ancho por un metro de alto, en una lonjitud de 12 m., desde cuyo extremo partian ramificaciones a derecha e izquierda sobre lonjitudes de 7.40 m. i 10.80 m., respectivamente. Estas galerías laterales terminaban en pozos verticales, los cuales, mas o ménos a la altura del suelo, recibian un ensanchamiento destinado a depósito de la pólvora.

Para calcular el cubo de la piedra que podia removerse con una carga proporcionada a la mina, se fijaron los perfiles verticales de la roca sobre el eje de la galería (perfil A B) i paralelos a aquel sobre los dos pozos verticales (perfiles C D i E F.) Como la roca presentaba un perfil mucho mas reducido en la direccion C D, se determinó tambien el perfil en esta direccion tomándolo en cuenta para la cubicacion (perfil M N). El límite hasta donde se quebraria probablemente la roca se calculó a la simple vista. Se supuso que era una línea recta J K, que iba subiendo desde el fondo de los depósitos de pólvora para ir a cortar el perfil de la montaña, en un punto situado aproximadamente 12 metros mas al interior, medidos horizontalmente. El perfil C D tenia, dentro de los límites, una superficie de 590 m<sup>2</sup>; el perfil M N, 515 m<sup>2</sup>, siendo el término medio de ambos

553 m<sup>2</sup>. El perfil E F contenía 597 m<sup>2</sup>, siendo el término medio entre esta cantidad i la anterior de 575 m<sup>2</sup>. El perfil intermedio A B no era tomado en consideración, i se aceptó los 575 m<sup>2</sup> citados como superficie media de los perfiles en la parte que se removía. La cuestión que había necesidad de resolver en seguida era la de determinar el largo de esta parte, determinación que descansaba también en una suposición bastante vaga. Siendo la distancia de los dos depósitos de pólvora de más o menos 20 m., se supuso que la roca sería removida en 8 m. más en ámbos lados, o sea en un largo total de 36 m. medidos al frente de la cantera. La carga de pólvora debía, pues, ser suficiente para remover 36 m. × 575, o sea más o menos 20,000 m<sup>3</sup> de piedra.

La mina era cargada con pólvora preparada en el mismo sitio, mezclando 70% de nitrato con 15% de azufre i 15% de carbon de madera en polvo. Esta pólvora de fabricación especial, era menos rápida i menos eficaz en su acción que la del comercio, pero en cambio resultaba mucho más barata.

Poniendo mucha pólvora en la carga, se corría el riesgo de que saltaran hacia el frente grandes bloques, lo que se quería evitar porque la línea de los Ferrocarriles del Estado pasaba a solo 40 m. de la cantera. Ahora, si se ponía una carga demasiado débil de pólvora, había el inconveniente de perder el efecto del tiro i de gastar inútilmente tiempo i dinero.

La mina de que se trata costó unos 15,000 pesos.

Fuera de lo incierto en la determinación de la esfera de acción de la carga, la fijación de la cantidad de pólvora que debía ponerse para remover cada metro cúbico de piedra constituía otro punto delicado, tanto más cuanto que esa cantidad debía depender de la naturaleza de la piedra i de la forma estratificada del cerro.

El granito del Arenal (San Rosendo) es de la clase más dura. Ahí se podía fijar como límite de lo que se necesitaba en: 1 kg. de pólvora para hacer saltar 3 i hasta 3½ m<sup>3</sup> de piedra. De manera que, para los 20,000 m<sup>3</sup> calculados más arriba, se necesitaba una carga de 5,700 a 6,600 kg. Siendo la roca sana i sin fallas por donde se pudieran escapar los gases con mucha rapi-

dez, era sin duda mas prudente inclinarse al límite inferior. Así se determinó la carga en 6,000 kg. De esta cantidad, se pusieron 2,900 kg. en el pozo derecho i 3,100 kg. en el izquierdo, porque la direccion de las capas daba lugar a suponer que se necesitaba mas fuerza de este lado que del otro.

El éxito de esta mina fué completo.

El cerro se levantó sólo un poco en sentido vertical para caer en seguida partido en bloques casi en el mismo lugar en que se encontraba, sin que saltaran piedras que impidieran el tráfico de la línea férrea, que era lo que se habia previsto. Además, la cantidad de piedra removida fué aproximadamente la calculada.

Las demas figuras de la lámina X se relacionan con otro ejemplo. La línea a b c d representa aquí el pié del cerro del cual se habia sacado anteriormente la parte señalada en la esquina V' F'. En este punto se aprovechó una falla del cerro para hacer la galería principal de la mina, pensando hacer saltar solamente la parte derecha de dicha falla.

Se habia estimado aquí la cantidad de piedra por remover en 5,500 m<sup>3</sup>, mas o ménos, i la carga en solo 1,500 kg. El resultado fué tambien tan satisfactorio como en la mina anterior.

#### **Modo de cargar i de prender fuego a las minas.—**

Estas operaciones se hicieron de la manera siguiente: Primeramente se puso en la galería un tubo c de madera (véanse secciones G U), de seccion cuadrada de 10 cm., mas o ménos, por costado. Este tubo tenia por objeto abrigar los hilos eléctricos. Enseguida se puso otro tubo de plomo cuidadosamente relleno con pólvora de grano gruesa i dos mechas impermeables.

En una mina con dos pozos para la pólvora es ventajoso i práctico que las dos esplosiones se hagan exactamente al mismo tiempo. Por esta razon se ha hecho uso, preferentemente, de una máquina eléctrica. Para proceder, se unen las estremidades con una cápsula de las que se encuentran en el comercio i se pone esta cápsula en un cartucho de dinamita. Por precaucion se toman dos, uno despues del otro, i se les coloca en un saco bien cerrado que contiene unos 20 kg. de pólvora granulada. En seguida se coloca cada saco en cada uno de los pozos. En los

mismos sacos terminan los ramales del tubo de plomo que ha de servir para el caso de que la máquina eléctrica no funcione. Si se dá a ámbos ramales el mismo largo desde el punto de separacion, la esplosion efectuada por ellos seria tambien casi simultánea. Finalmente, las guías sirven para el caso de que el tubo de plomo no haga esplosion por falta de pólvora.

Estando todo en su lugar, se cubren los pozos polvoreros con viguetas de madera para hacer descansar en ellas una gruesa capa de mampostería hecha con fuerte mezcla de cemento. Al rededor de la parte vertical del tubo de madera, se deja libre en estas operaciones el espacio necesario para poder vaciar en el pozo los sacos de pólvora.

Desde el momento en que se hace el acarreo de la pólvora es prohibido el uso de luz artificial i hasta les es prohibido a los trabajadores llevar calzado con clavos de fierro.

Estando toda la pólvora en los pozos debe protegérsela de la humedad por medio de una capa de paja. En seguida se rellena con mampostería el hueco dejado alrededor del tubo como tambien todo el largo de las galerías. En las galerías verticales i laterales se hace esta albañilería con mezcla de cemento, mientras que la mampostería de la galería matriz se hace en seco. Así, por ejemplo, se usaba en la mina grande seis barriles de cemento.

En el pozo chico de 1,500 kg., cuyas galerías eran relativamente cortas, se juzgó prudente empotrar dos pedazos de viga gruesa (véase corte G' H'), por temor de que se perdieran los gases demasiado pronto quedando la mina sin efecto.

**Piedra canteada.**—De las canteras de San Rosendo no sólo se sacaron las piedras brutas para el dique, sino que tambien una gran parte de la que se necesitaba para cantear. Pero pronto se vió que esta cantera no podria suministrar, en el corto tiempo que se tenia disponible, una cantidad bastante considerable de bloques grandes i sanos a fin de conseguir los 4,000 m.<sup>3</sup> necesarios para la obra. Entónces se habilitaron nuevas canteras en Gomero, destinadas esclusivamente a suministrar la piedra canteada. Esas canteras estaban situadas en la estacion del mismo nombre del ferrocarril central, a 63 kilómetros de Talcahuano.

De estas canteras se sacaron principalmente las piedras planas de revestimiento, que sirvieron para unir los muros laterales con el fondo del dique. Las piedras de revestimiento de las banquetas, las ranuras de los barcos-compuertas i, en jeneral, toda la piedra de revestimiento espuesta a grandes presiones o choques, se sacó de San Rosendo, por ser la piedra de estas canteras mucho mas dura que la de Gomero. Esta última es excelente, sin embargo, para construcciones. Aunque en Talcahuano se calificaba esta piedra de granito, es el hecho que no es otra cosa que un arcocuarzo. Las canteras de Gomero suministran bloques mui sanos que fácilmente pueden partirse o elaborarse. En cuanto al costo de estas canteras, se puede decir que su precio fué la mitad del costo de la de San Rosendo.

La cantidad total de mampostería ejecutada en el dique, fué, en números redondos, de 50,000 m<sup>3</sup>, i el revestimiento canteado alcanzó a una hectárea de superficie. Uno de los problemas mas difíciles que se presentaron en la construcción del dique fué el de proporcionar a tiempo la cantidad de piedra canteada que se necesitaba.

**Mortero.**—La mezcla que se usaba en la construcción era preparada con arena cuarzosa, limpia, sacada del extremo de la bahía de Talcahuano, denominado Punta Parra, i su transporte al dique se hacia por medio de lanchas. Por cada metro cúbico de esta arena se agregaron 600 kg. de cemento belga de la marca «Niel on Rupel».

**Mampostería provisional.**—Los dos muros provisorios, situado el uno mas o ménos a la mitad del largo del dique i el otro cerca de la entrada, se construyeron con la piedra esquitosa de San Vicente, i un mortero compuesto de la arena negra de esta misma bahía, 390 kg. de cal hidráulica «du Teil» (rechazada para el dique por haber estado almacenada durante mucho tiempo) i 130 kg. de cemento. La destrucción de la mayor parte de este último muro tuvo que efectuarse, naturalmente, debajo del agua por medio de un cajon de aire comprimido.

Si los barcos-compuertas hubieren estado concluidos con anterioridad, o por lo ménos uno de ellos, se habria podido

ahorrar una parte considerable de mampostería, puesto que habria sido fácil hacer en buenas condiciones, dentro de un cajon de aire comprimido, una ranura provisional de madera.

## VIII

### BARCOS-COMPUERTAS

Quedan aun por hacer algunas observaciones sobre los tres barcos-compuertas del dique.

Se pidieron planos i presupuestos de esta clase de barcos a cuatro fábricas europeas, comprometiéndose la Empresa a mandar construirlos a aquella fábrica cuyos planos i presupuestos fueren aprobados. Nuestro consocio del Instituto, el ingeniero constructor naval i profesor señor H. Cop, se encargó con la mejor buena voluntad de examinar los planos que se presentaran, así como de la supervijilancia de la construccion. A su cooperacion i a la del ingeniero señor L. Beau, de la sociedad belga Willebroeck, debe el dique de Talcahuano un trabajo que funciona perfectamente i que se hizo con la mayor economía.

Los barcos fueron construidos de acero dulce, con todas las exigencias que impone el Lloyd ingles para sus construccionés marítimas. Esa construccion trabajá con una tension de 9 kg. por milímetro cuadrado.

Los dos barcos grandes cierran una área de 246 m<sup>2</sup>; pesan, fuera de lastre, 162 toneladas i costaron 119,000 francos cada uno por construccion, fletes, armadura, etc., lo que corresponde a un gasto de 484 francos por metro cuadrado de cierre de la entrada del dique. La lámina XI da una idea de la construccion.

El lastre permanente de los barcos grandes, con un peso de 134 toneladas, debia introducirse de tal manera que cayera el centro de gravedad lo mas abajo posible, i de ninguna manera a un nivel superior al que los constructores habian calculado. Fué posible conseguir de un modo económico el lastre de la densidad necesaria, pues sin fabricar piezas especiales se hizo uso de rieles viejos. A esos rieles viejos se les dió el largo de las divisiones de la armadura, cortándoles ademas las dos plan

chas del pié de manera que podían trabarse, aprovechando aun las planchas cortadas para los intersticios i rellenando todos los demas huecos con los desperdicios de fierro elaborado, clavos viejos i, todavía, con arena cuarzosa.

Fuera del lastre permanente de 134 toneladas, los barcos-compuertas tienen todavía 32 toneladas de lastre de agua, que se saca de los depósitos correspondientes, para hacer flotar el barco. Sin este lastre líquido la línea de flotacion se encuentra 20 centímetros debajo del puente de flotacion. Introduciendo entónces el agua en los depósitos por medio de las válvulas de escape, se sumérje este puente, llenándose automáticamente de agua el espacio superior del barco.

La palanca de estabilidad del barco, estando éste sin agua, es de  $0.722 \text{ seno } \theta$ . Cuando se llenan con agua los depósitos que se hallan debajo del puente de flotacion, la palanca mide  $0.70 \text{ seno } \theta$ . De manera que no se necesitan aparejos para equilibrar la puerta.

Se puede vaciar una parte del lastre líquido en el mismo dique, ántes que éste se halla llenado completamente de agua, por medio de las cuatro válvulas de los barcos-compuertas, disminuyendo, naturalmente, por este medio el tiempo que se necesita para vaciar a mano los depósitos de los barcos. Pero es preciso tener mucho cuidado con este procedimiento para que no se ponga a flote el barco ántes que las aguas de ámbos lados no tengan el mismo nivel. Las piezas de apoyo de los barcos-compuertas contra las ranuras de la esclusa son de madera «greenheart». Sobre estas ranuras se clavó un tejido de cuerdas, tal como se usa en Marsella, pudiéndose evitar de este modo todo jénero de filtraciones.

## IX

### CONCLUSIONES

Finalmente, puede ser útil apuntar aquí algunas conclusiones a las cuales dió lugar la construccion del dique, aunque se hayan hecho valer en el curso de la presente memoria.

El dique tiene la particularidad de poder servir simultáneamente a dos buques, i persiguiendo este objeto se construyó con un ancho menor la parte norte de 70 m. de largo. La economía que se consiguió con este menor ancho es mas ilusoria que efectiva, porque debido a la manera obligada de operar con cajones chicos de aire comprimido, éstos tuvieron que vencer dificultades mui importantes al pasar de un perfil trasversal del dique hácia el otro.

La idea de cerrar la poza chica por medio de un barco-compuerta de dimensiones reducidas, no ha sido mui feliz. Habiendo proyectado unos cuantos metros hácia el sur la ranura respectiva, se habria podido economizar el barco compuerta chico, bastando los dos grandes.

En vista de la ubicacion especial del dique en el banco Marinao, en toda mar, se habrian podido proyectar entradas a ámbos extremos de la obra, tal como están dispuestos los diques de Tilbury, evitándose así el gran inconveniente de que un buque que entre primero al dique tenga que esperar la salida de otro buque que entre despues, a pesar de estar ya reparado el primero.

En cuanto al perfil trasversal, ya se ha hecho presente que durante la ejecucion no se tuvo escrúpulos en disminuir en un metro el espesor del emplantillado de la fosa grande. Fundándose en consideraciones análogas, se habrian podido suprimir sin peligro las gradas que tanto lo estrechaban en su parte inferior, obteniéndose así un perfil mas en armonía con la forma actual de los cascos de los buques de fierro.

El número de banquetas en los muros laterales no es suficiente, ya que rara vez los puntales que en ellas descansan quedan a la altura conveniente. Se ha subsanado esta dificultad por medio de la colocacion de vigas horizontales en las alturas intermedias (véase lám. 11). Sobre esas vigas descansan ahora los puntales, cuyos extremos opuestos están suspendidos por medio de los aparejos. Estos puntales tienen una parte fija i otra movable i hai juegos de puntales de distintas dimensiones, segun sea el tamaño del buque.

Para la explotacion del dique habria sido mas ventajoso, si se hubieran colocado las cuatro bombas en un solo departamento

hacia su entrada. Es cierto que dentro de los cajones de aire comprimido habria sido mui difícil dejar en los muros el hueco de una canal; pero en cambio se habrian podido colocar cañones de 1.20 m. de diámetro en una parte fuera de la mampostería que se ejecutaba dentro de los cajones. Así se habria podido comunicar las secciones del norte con las bombas que habrian quedado reunidas cerca de la entrada del dique. Esos cañones habrían servido igualmente para llenar el dique de un modo mas rápido i mas uniforme que lo que se hace hoi dia por medio de las válvulas de los barcos-compuertas.

Finalmente, en vista del ancho considerable de los cimientos de los muros laterales, hechos así por la gran profundidad que alcanzan, no se necesitará probar que en la construccion, en cuanto a dar facilidades de ejecucion, habria sido preferible usar cajones de aire comprimido de algunos metros mas de ancho.

Por lo demas, los resultados obtenidos han probado con toda evidencia que, aun con cajones de dimensiones reducidas, se puede ejecutar debajo del agua mampostería continua e impermeable de primera calidad.

Talcahuano, 1896.

