
ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

De la: **Sucesor** Y del:
«SOCIEDAD DE INGENIERIA» «INSTITUTO DE INGENIEROS»
Fundada el 31 de Mayo de 1888 Fundada el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de Diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXIII • NOVIEMBRE-DICIEMBRE DE 1950 • N.ºs 11-12

Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pdie.), C. Barros, A. Quintana, J. del Río, F. Salas

Ing. Jorge Lira Orrego

El molo de abrigo de Valparaíso (*)

En un número de El Mercurio aparecido a mediados de octubre se publicó una noticia de Valparaíso, que se refería al molo de abrigo de ese puerto, en la cual se reproduce una fotografía que muestra una grieta producida en el macizo de hormigón del molo, que penetra hasta su interior y a la cual se atribuyeron caracteres muy serios, hasta el punto de creer en que sea el punto de partida de la ruina total de la obra. Esta simple apreciación del autor de la noticia en referencia, que sin duda no sabe bien cómo está construida esa obra y probablemente no tiene por qué saberlo, no habría sido suficiente para justificar un artículo de prensa, que podía ser el origen de una polémica; pero el hecho de que en los comentarios que ahí se hacen sobre el particular se cite la opinión del ingeniero don Jacobo Kraus, autor de un proyecto serio de obras para el puerto de Valparaíso, que manifestó que no consideraba prudente la construcción de un rompeolas fundado en el terreno fangoso, como lo había propuesto el ingeniero francés Sr. Levêque, y que se critique ahora que la Comisión de Puertos, a pesar de esa opinión contraria, lo construyera en esa zona, me obliga a ocuparme de este asunto con algún detalle, principalmente en recuerdo de mis amigos Raúl Claro Solar, Gustavo Quezada Acharán y Eduardo Reyes Cox, que formaron conmigo la sub-comisión técnica que se ocupó de la elaboración del proyecto correspondiente y de los estudios a que diera lugar, y es el motivo de la presente conferencia. Desgraciadamente para poder apreciar la cuestión es necesario tener a la vista algunos antecedentes, antiguos en parte, y eso me obligará a distraer bastante tiempo la atención de mis auditores.

(*) Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros de Chile.

Antes del proyecto de obras de puerto en Valparaíso, que entre los años 1900 y 1903 hizo el ingeniero holandés don Jacobo Kraus, se habían dado a conocer varios otros, entre los cuales merecen citarse dos, de los que di cuenta en un estudio sobre los Puertos Chilenos que publiqué en los Anales del Instituto de Ingenieros en los años 1932 y 33, a los cuales voy a referirme, y en el tomo II del Primer Congreso Sudamericano de Ingeniería (1939) de la USAI.

En el número 10, de 1932, de los Anales, en la fig. 1 puede verse el plano general de las obras que componen el proyecto hecho en 1892 por el Sr. Levêque, cuya obra fundamental es un molo de abrigo, que debía construirse casi exactamente en el mismo sitio que propuso la Comisión de Puertos y que se construyó después.

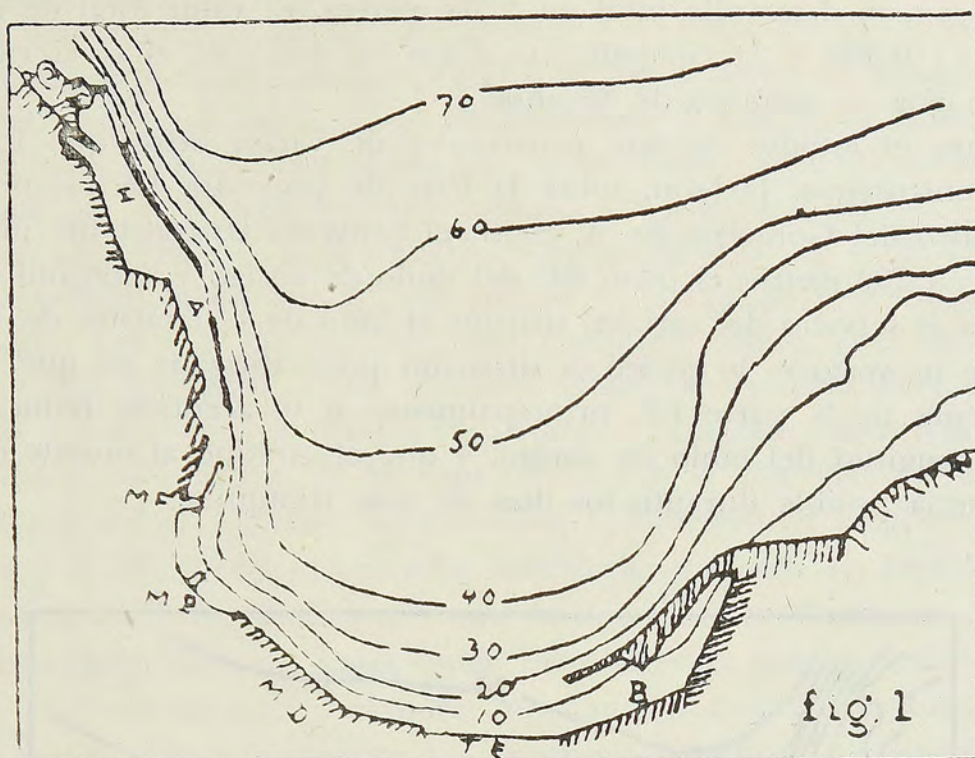
Sin entrar a criticar los tipos de obras de este proyecto, principalmente el del molo de abrigo, con los cuales no estoy de acuerdo, considero que la disposición general de él obedece a un criterio bastante fundado: no pretende abrigo a toda la bahía, porque la importancia del puerto no habría justificado el gasto enorme que ello habría significado, y menos aun en esa época, y elige, para protegerla durante el invierno, la parte oeste de la bahía, que es naturalmente tranquila el resto del año. Por lo demás este proyecto adolece de algunos errores; pero no es el momento de ocuparse de ellos, porque quiero tratar ahora sólo del molo de abrigo.

En la fig. 2 del mismo artículo de los Anales se reproduce el plano general del proyecto White, hecho en 1897, que concentra las obras del puerto en la parte oriente, en una meseta submarina de unos 400 metros de ancho limitada por las profundidades de 20 metros, abandonando prácticamente la parte oeste, que es la medianamente abrigada. Este proyecto tampoco satisfacía.

En 1903 presentó don Jacobo Kraus el proyecto que se le había encomendado, cuyas líneas generales se indican en la fig. I, proyecto muy conocido en Chile de nombre, pero poco en la realidad.

Observando el Sr. Kraus que en las profundidades a 40 metros el fondo es fangoso y temiendo la construcción de obras fundadas sobre esa clase de terrenos, se propuso establecer todo el proyecto sin salirse de la zona en que las profundidades no pasaran de 30 metros a pesar de las sujeciones que resultan de que ella es en general muy angosta, de lo cual tienen que resultar dársenas muy estrechas.

El proyecto comprende tres secciones, separadas una de otra. La primera, situada en la parte naturalmente abrigada, se compone de dos dársenas: H, llamada de las Habas, destinada al servicio del dique seco que se construiría ahí, y A, de la Aduana, destinada al servicio de importación: cada una de ellas tendría dos entradas, una de las cuales les es común. Esta última circunstancia, que es favorable en otros casos, resultaría en el presente muy desfavorable, porque como las dársenas son muy angostas, la agitación se propagaría en ellas con mucha facilidad y la permanencia de los buques resultaría muy peligrosa, en caso de mal tiempo. Por otra parte el viento sur, que sopla en Val-



paraíso con bastante intensidad, alcanzaría a producir dentro de las dársenas mismas una agitación muy molesta. Aparte de esto las maniobras de los buques en esas dársenas habrían sido sumamente difíciles en todo tiempo.

La segunda sección comprende únicamente obras de defensa de la ciudad, demasiado caras para ese objeto.

La tercera es una dársena situada en El Barón, destinada al servicio del carbón, principalmente para los ferrocarriles y para la fábrica de gas, y de algunas otras mercaderías voluminosas, como madera, pasto aprensado, cereales, etc. Esta dársena fué proyectada demasiado angosta; su entrada habría sido muy difícil, porque los buques debían atravesarse al mar a una distancia de sólo 100 m. del talud de enrocados, y además la agitación se habría propagado hasta el fondo de ella, a causa de su ancho gradualmente decreciente. Aparte de esto los buques habrían encontrado serias dificultades para virar sin salir de la dársena, por la falta de espacio para hacerlo.

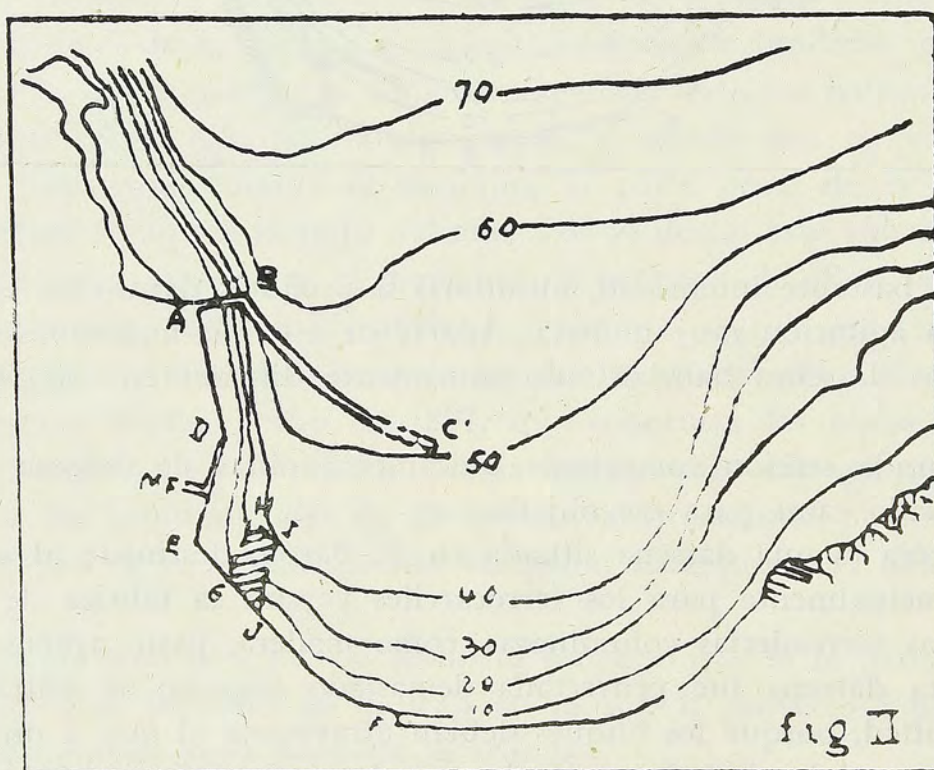
Se pidieron propuestas públicas para la construcción de este proyecto; pero fracasaron, porque sobrepasaron en más de 60% el presupuesto oficial correspondiente.

En 1908 las empresas constructoras francesas de Fould y Batignolles hicieron una oferta para construir las obras del puerto de Valparaíso que se indican en la fig. II, proyectadas por el ingeniero Sr. A. Guérard, Inspector General de Puentes y Calzadas y Director del puerto de Marsella desde hacía más de diez años. Este proyecto obedecía a la misma idea general de Levêque de aprovechar el abrigo parcial de la parte oeste de la bahía, mejorándolo por medio de un rompeolas ABC, de 1.500 metros de largo, cuya parte principal se encontraría fundada en el terreno fangoso, en profundidades de 50 a 60 metros; además consultaba malecones para el atraque de buques en AD-

DE y EF, con un desarrollo total de 2.000 metros. El valor total de esas obras era de £ 4.350.000, y la compañía recibiría en pago de ellas la explotación del puerto por un término de 35 años.

Durante el estudio de este proyecto y de varios otros que formuló la empresa constructora Jackson, sobre la base de proyectos hechos por el consultor técnico del Gobierno Sr. A. Scott, el proyecto Guérard fué modificado, acortando en 200 metros el trozo BC del molo de abrigo y agregando un muelle M para el servicio del carbón, situado al lado de la estación de El Barón.

A este proyecto se le criticó la situación poco abrigada en que quedaban los malecones de la parte EF, principalmente si se aceptaba reducir en 200 metros la longitud del molo de abrigo, y que el atraque al muelle de El Barón sólo sería posible durante los días de mar tranquila.



También se criticó la gran profundidad, no alcanzada antes por ninguna otra obra, en que se encontraba la parte principal BC del molo de abrigo, a la cual se agregaba la naturaleza fangosa del suelo, crítica que se basaba en las observaciones del Sr. Kraus, a los proyectos anteriores al suyo y sobre las cuales insistía en cartas privadas, en que calificaba de *obra de locos* la proyectada por el Sr. Guérard, sin recordar que éste era un ingeniero de gran experiencia, que había construído obras de abrigo de mucha importancia en Marsella, aunque si bien es cierto en terreno firme. Por lo demás estas críticas perdían gran parte de su valor desde el momento en que las empresas Fould y Batignolles tomaban sobre sí la responsabilidad entera de la construcción del molo, puesto que se pagaría su costo con la explotación del puerto, la que presuponía la existencia del molo en cuestión.

Estas ofertas no fueron aceptadas y solamente dos años más tarde se volvió a pensar seriamente en la construcción de obras definitivas en Valpa-

raíso, porque cada vez se hacían más necesarias, a causa del aumento constante del movimiento comercial del puerto y de todos los inconvenientes que resultaban de la falta de atraque directo de los vapores. Al mismo tiempo se hacían por otra parte los mayores esfuerzos por conseguir la habilitación del puerto de San Antonio, que debía ser en realidad, como lo es actualmente, un auxiliar del de Valparaíso, que tomaría la carga voluminosa y de menos valor, pero que muchos hacían aparecer como un rival de él. Las discusiones entre los partidarios de uno y otro puerto se alargaban y se enconaban, alejándose cada vez más de una solución definitiva, hasta que, en septiembre de 1910, como resultado de un acuerdo entre los representantes parlamentarios de las provincias de Santiago, Valparaíso y otras, se presentó a la Cámara de Diputados un proyecto de ley que autorizaba la construcción de las obras de Valparaíso y San Antonio, invirtiéndose £ 3.000.000 en el primero de estos puertos y £ 1.750.000 en el segundo; además se disponía en esta ley el nombramiento de una Comisión, que más tarde se llamó Comisión de Puertos, que debía elegir en ambos casos entre los diferentes proyectos de que se disponía o, en caso necesario, elaborar uno nuevo dentro del plazo de cinco meses; entonces deberían pedirse las propuestas públicas correspondientes, las que deberían abrirse seis meses después, es decir, en agosto de 1911.

La Comisión de Puertos, que era muy numerosa, designó de su seno una sub-comisión técnica, formada por los ingenieros nombrados más arriba, que, en vista de las observaciones hechas a cada uno de los proyectos que teníamos a la vista, optamos por adoptar la concepción general de Levêque y Guérard, pero concentrando los malecones de atraque en la parte más abrigada, sin dar al brazo principal del molo de abrigo una longitud superior a 1.000 metros, por el costo enorme que ello significaba. Con esto las líneas generales del proyecto quedaban como se ve en la misma fig II: el molo de abrigo en ABC', con el brazo principal un poco más cerca de tierra que el de Guérard, y desarrollando los malecones por medio del espigón de atraque GHIJ, con lo cual se aprovechaba mejor el abrigo del molo. Conservamos en el proyecto el muelle de El Barón, que había sido pedido por los Ferrocarriles del Estado, y el trozo de malecones JF, pero fundados en menor profundidad que los demás y que debían servir como defensa de la ciudad, con la intención de que fueran utilizados más tarde como malecones de atraque, cuando se hubiera prolongado el molo de abrigo, cosa en que ya se ha pensado hace tiempo.

Al adoptar este proyecto debimos, naturalmente, estudiar con la mayor detención las dificultades que podían resultar de la naturaleza fangosa del terreno de fundación del molo de abrigo y de la profundidad muy grande en que en gran parte iba a encontrarse, descartando desde luego lo relativo a esta última, que es más aparente que real y, si se piensa bien, más que un inconveniente es una ventaja. En efecto, la mayor profundidad del agua se traduce únicamente en una mayor altura de la obra y por consiguiente un mayor peso, que va a producir una penetración más grande en el fango y una mayor compresión de él, lo que se traduce, en último análisis, en menores asentamientos una vez terminada la obra.

Se ha creído que el aumento tan grande de la hondura significa un aumento notable en el costo de la obra, y esto es también fruto de una mera impresión. En efecto, la construcción misma de esta obra ha demostrado esto, pues el costo de un metro lineal de la parte del trozo AB del molo, comprendida entre las profundidades de 18 a 45 metros, cuya profundidad media es de 31 metros, fué de \$ 75.500 de 6 peniques y el metro lineal del trozo BC', cuya profundidad media es de unos 54 metros costó \$ 84.000, de la misma moneda, es decir, aproximadamente el 11% más, para un aumento de profundidad de cerca de 57%. Esto, que podría parecer anómalo, se explica perfectamente, porque la parte de la obra situada más arriba de la profundidad de 25 metros está formada en gran parte por hormigón y enrocados de gran tamaño, que son materiales caros, principalmente el primero de ellos, y representan la mayor parte del valor de ella.

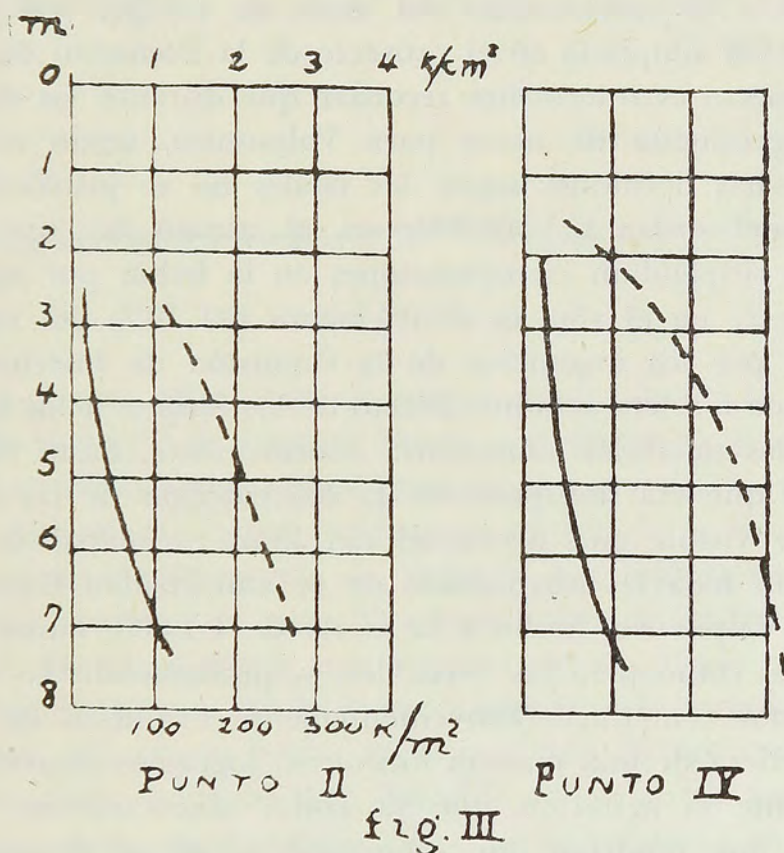
En cuanto al peligro que podría significar la construcción del rompeolas sobre el fango, que llevó al Sr. Kraus hasta calificarla de locura, no lo consideramos así, desde luego por el hecho de que en un molo de abrigo, y sobre todo si es de bastante altura, las cargas sobre el fondo son casi exclusivamente verticales y no pueden producir sino desplazamientos verticales por el asentamiento del fango, después de pasado el primer período de la construcción, que van disminuyendo con el tiempo, para ser prácticamente insensibles al cabo de cuatro o cinco años; esta manera de pensar se basaba en lo observado en los trabajos de construcción hechos por consolidación de los terrenos fangosos y se confirmaba con lo expresado por el ingeniero italiano Sr. E. Barberis, de gran experiencia en la construcción de terrenos fangosos particularmente difíciles en el puerto italiano de Spezia, en un estudio recién publicado entonces sobre la "Construcción de Muros de Atraque en Terrenos Fangosos". Por otra parte un ingeniero de la reputación del Sr. Guérard había aceptado la responsabilidad de la construcción de una obra de esta clase en las condiciones indicadas más atrás.

Pero era necesario tener un conocimiento bastante aproximado de la resistencia del fango en la zona en que se pensaba construir el molo de abrigo a fin de poder tener una idea de cuál podría ser la penetración por efecto de la compresión del fango, y decidimos hacer una serie suficiente de experiencias al respecto, las que llevamos a cabo con trozos de tubos de acero Mannesmann de 10 cm. de diámetro interior y largos variables de 4,65 m., 6,04 m. y 8,23 m., calculados de manera que su peso neto correspondiera a presiones de 3,00, 4,00 y 5,00 kg. por centímetro cuadrado; se dispuso además un tubo de 8,23 m. de largo, tapado en el fondo, que se podía lastrar de manera que su peso neto correspondiera a presiones en su base de 3,4 y 5 kg. por cm. cuadrado. En cada punto se efectuaron 9 experiencias con los tubos abiertos y otras 9 con el tubo tapado, apoyándolos estáticamente sobre el fondo y dejándolos caer desde alturas de 1,00 y de 3,00 metros.

Las experiencias con los tubos destapados permitieron determinar el valor del frotamiento, admitiendo que en ellos la resistencia a la compresión fuera despreciable al lado del frotamiento, lo que en realidad nos conducía a un valor un poco exagerado de éste. Las que se hicieron con los tubos tapados y lastrados, después de deducir la parte del peso absorbida por el frotamiento,

nos permitieron deducir las resistencias a la compresión a diferentes profundidades, que naturalmente resultan un poco menores que las verdaderas, lo que es favorable para la seguridad de la obra. Los resultados de estas experiencias se tradujeron en diagramas, de los que más adelante veremos dos bien característicos.

Todas estas experiencias se repitieron en 8 puntos, de los cuales los números I y VIII se tomaron fuera del eje del molo, el primero de ellos como ensayo; el número VII, en el trozo corto, en profundidad de 16,80 m. y poco fango, y los cinco restantes a lo largo del brazo principal del molo, en profundidades que variaron entre 48,50 m. y 53,50 m. Los que por el momento nos interesan son los cinco últimos, de los cuales se pueden descartar el III, el V y el VI, porque ellos indicaron que a honduras variables entre 4,00 y 6,00 m. bajo el nivel del fango se encontraban restos náufragos, que hacían crecer muy ligero la resistencia del fango a la compresión. Las experiencias bien características fueron las I, II, IV y VIII, de los cuales la fig. III reproduce los diagramas representativos de los números II y IV, que se encuentran



en el eje del molo: el II, cerca del vértice B y el IV, en la mitad de su longitud. En estos diagramas las líneas dibujadas con líneas llenas se refieren a las variaciones del frotamiento, a la escala de 8 mm. por cada 100 k. por metro cuadrado, y las con líneas de segmentos, a las resistencias a la compresión, a la escala de 8 mm. por cada 1 k. por cm. cuadrado, a las diferentes profundidades, en metros, bajo la superficie del fango.

El resultado de estas experiencias es que el fango es muy blando, que la resistencia debida al frotamiento de las paredes alcanza aproximadamente a 100 k. por metro cuadrado a la profundidad de 7,00 metros bajo la super-

ficie del fango y que la resistencia a la compresión es cercana a los 3,00 k. por centímetro cuadrado a esa misma hondura, lo que nos hizo pensar que la penetración de la obra en el fango, durante la construcción, debería alcanzar a los 9,00 o 10,00 metros. Naturalmente después debía seguir produciéndose el asentamiento del conjunto de la obra, lo que aconsejaba dejar con un peralte adecuado la plataforma de asiento de la superestructura.

Estas experiencias, que nos permitían apreciar la importancia relativa de la compresibilidad del fango, las opiniones de los ingenieros ya citados y el hecho de que desde principios del siglo se hubieran hecho construcciones de malecones y de terraplenes de ferrocarril por medio de la consolidación del suelo con grandes terraplenes de arena, nos indujeron a aceptar para el rompeolas el trazado indicado, que se consultó así en el proyecto definitivo; pero en 1912, cuando se contrató la construcción del primer trozo de rompeolas, del muelle de El Barón y del talud de enrocados de defensa, no fué posible pensar en su construcción, porque no alcanzaban los fondos que había autorizado la ley de Puertos de 1910; sólo en enero de 1923 se concedió la autorización correspondiente, después que la experiencia había hecho ver que era indispensable la construcción del molo de abrigo, por lo menos en el largo que se había adoptado en el proyecto de la Comisión de Puertos.

A este respecto es interesante recordar que durante las discusiones a que dió lugar la propuesta de obras para Valparaíso, según el proyecto Guérard hubo muchas opiniones según las cuales no se justificaba invertir una gruesa suma, del orden £ 1.500.000, en el abrigo del puerto, porque los días en que se suspendían las operaciones en la bahía por agitación del mar no pasaban de 27 en el año, es decir, menos del 10% del total. Ese criterio fué combatido por los ingenieros de la Comisión de Puertos, que sostenían que, una vez que hubiera atraque directo de los buques a los malecones, el número de los días inhábiles aumentaría enormemente, hasta el punto que entonces se vería que era indispensable la construcción de las obras de abrigo.

Para hacer visible esta necesidad del brazo principal del molo contruimos en un sitio todavía inhabilitado de la Universidad Católica un modelo del puerto de Valparaíso, hecho a la escala de 1:1.000, tanto para las distancias horizontales como para las verticales, y, produciendo las olas con un poderoso ventilador centrífugo, convenientemente dispuesto de manera que el viento se repartiera de una manera uniforme, logramos reproducir con aproximación suficiente la agitación que ya podía observarse en el puerto y los inconvenientes que tendrían que soportarse, si no se completaba el abrigo. Colocando en ese modelo trozos movibles de molos de abrigo, pudimos hacer ver el efecto de aberturas, análogas a las entradas de las dársenas del proyecto Kraus y otras que se habían insinuado para Valparaíso; asimismo pudimos determinar la longitud mínima que debía tener el molo para conseguir siquiera un semiabrigo en la parte del puerto cercana al espigón de atraque, que es prácticamente su límite oriental. Este modelo creo que contribuyó mucho a la dictación de la ley a que me he referido.

Durante el último tiempo de la construcción de la primera parte de las obras del puerto de Valparaíso, en atención a que no se podía volver a construir cajones monolíticos para el molo, como se había hecho en el primer

trozo AB, porque ya no había sitio para su fabricación, estudiamos el empleo de bloques artificiales colocados en capas inclinadas para la superestructura del segundo trozo y el reemplazo de la base, proyectada con desmonte de cantera y arena, por arena sola, en vista de que esta última solución representaba un volumen mucho más grande y por consiguiente un peso mucho mayor y lo repartía sobre una base también mucho más ancha, lo que esperábamos que redujera los asentamientos que debían producirse después de terminada la contrucción. La fig. IV representa el perfil del molo en esas condiciones, que fueron las en que fué construído.

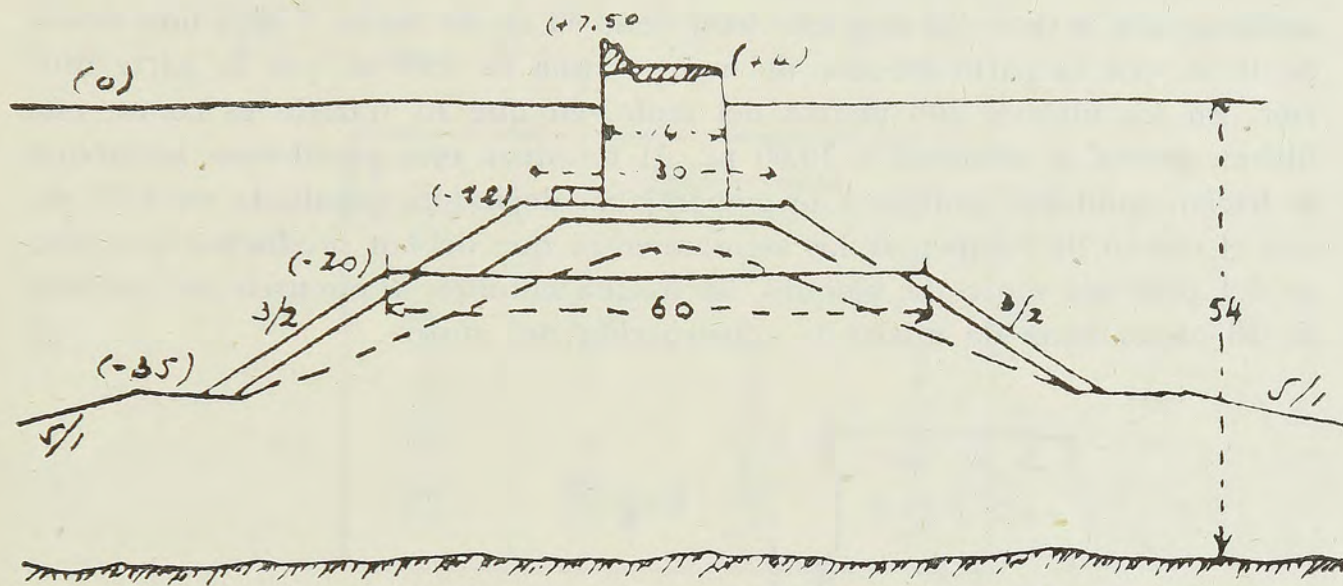
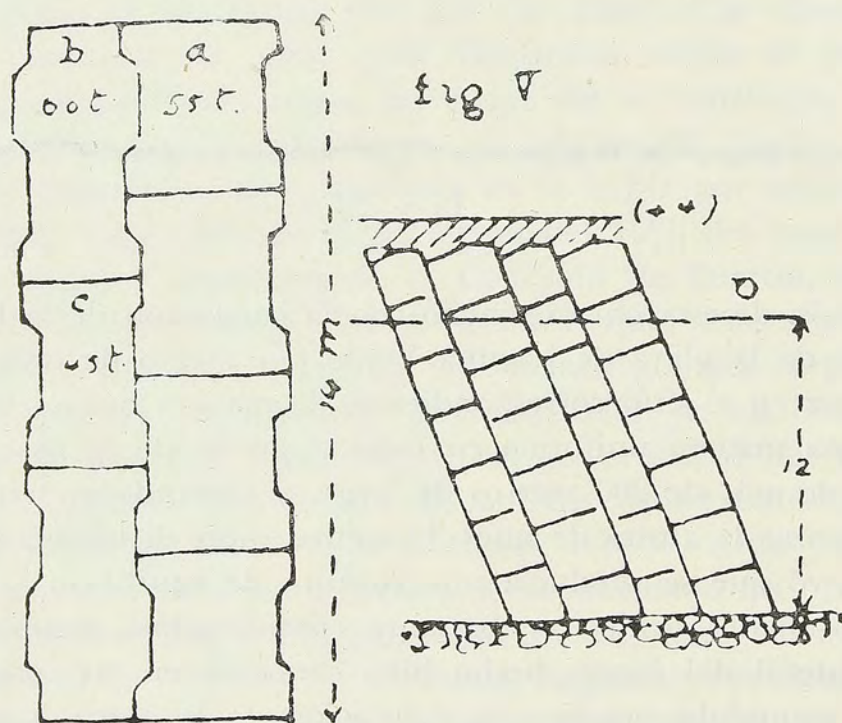


fig IV

La ejecución de esta obra se inició con la colocación de la base de arena, que se extraía de la playa de Laguna Verde por medio de dragas de succión y se dejaba caer en el sitio correspondiente, de manera que se fuera cargando el suelo de una manera uniforme en todo el ancho de la base y avanzando por secciones de más de 200 metros de largo, y elevando el terraplén submarino hasta alcanzar la altura de unos 30 metros sobre el fondo; al llegar a esa altura se observó que se producía una ruptura de equilibrio a la cual se seguía un hundimiento brusco de bastante consideración, seguido de un desplazamiento lateral del fango, hecho bien conocido en las construcciones de esta clase; se reanudaba entonces la colocación de la arena hasta llegar a la misma altura, pero entonces el asentamiento no se producía en la misma forma. Se terminó la base de arena en 1928, habiéndose colocado en ella aproximadamente 6.700.000 metros cúbicos de arena. El volumen teórico de este material era de unos 3.600.000 metros cúbicos, de manera que por penetración en el fango y asentamiento del macizo se colocaron unos 3.100.000 metros cúbicos de más, lo que representa aproximadamente el 85% del volumen teórico. Si no hubiera habido sino penetración de la arena en el fango, esta arena suplementaria representaría 4.430 metros cúbicos por metro corrido, en los 700 metros de largo del brazo del molo, y con un ancho de 300 metros en la base, una penetración de unos 13 metros aproximadamente; pero como además se ha producido asentamiento propio en el terraplén, que tenía más

de 30 metros de altura, habrá que descontar por ese motivo unos 3,00 metros con lo cual la penetración en el fango resultaría de unos 10,00 metros, es decir, algo parecido a lo previsto, en atención a las experiencias de reconocimiento del fango que se habían hecho.

Una vez terminada la base de arena, se colocaba encima la cantidad de desmontes de cantera necesaria para formar la plataforma de 60 metros de ancho que debía quedar a la cota (20 m.) y se la protegía con una capa de bolones por cada lado, con un talud de $3/2$; sobre esta plataforma se colocaban el núcleo de piedras chicas y las capas de enrocados de categorías superiores, que completan la infraestructura, y forma la base de asiento del muro de bloques a la cota (12 m.); esta base tiene 30 m. de ancho y deja una berma de 10 m. por la parte exterior del muro y una de 6,00 m. por la parte interior. En los últimos 300 metros del molo, en que su trazado es curvo, esta última berma se aumentó a 10,00 m. Al terminar esta plataforma horizontal se hacían sondajes prolijos y se emparejaba, dejándola peraltada en 1,05 m., con el objeto de compensar los asentamientos que debían producirse por efecto del peso del muro de bloques. Se dejaba entonces transcurrir un período de 18 meses antes de iniciar la construcción del muro.



La fig. V representa una parte de la elevación longitudinal que comprende unas pocas capas de bloques inclinados, que forman con la horizontal un ángulo de 70° y cuyo coronamiento queda a la cota (2,90 m.) en las filas que forman los paramentos, con el objeto de que el derrik que se empleaba para su colocación pudiera circular por encima de ellos; los bloques de la parte central se elevaban 1 m. menos que los de los paramentos. En la misma figura se ve la forma en planta de los bloques, que corresponden a tres tipos diferentes, de 45, 55 y 60 toneladas de peso unitario, dispuestos de manera que permitieran obtener una trabazón completa y una buena resistencia al deslizamiento horizontal de una capa sobre la otra.

Concluída ya la colocación de los bloques inclinados, se dejaba transcurrir un año antes de proceder a construir el macizo de coronamiento, que tenía un metro menos de ancho que el muro, con el objeto de evitar que en algún punto pudiera quedar en banda por efecto de las pequeñas faltas inevitables en el alineamiento de los bloques o de alguna pérdida de él, debida al asentamiento.

Este último se comprobaba por medio de nivelaciones de precisión, que se hacían todos los meses. En el cuadro que sigue, con el objeto de formar una idea de lo que han sido, se han anotado los asentamientos cada 20 capas inclinadas, es decir cada 52,50 m., al cabo del 6º y al cabo del 12º meses, y la diferencia entre los dos. En él puede verse que el asentamiento producido es mucho mayor en el primer semestre que en el segundo, llegando a representar, en el caso más desfavorable el 80% del total.

Capas N.º	Asentamientos Centímetros		
	6º	12º	dif.
20	63	67	4
40	70	76	6
60	85	94	9
80	87	105	18
100	94	108	18
120	74	83	9
130	100	120	20
150	86	110	24

En cuanto a la irregularidad de los asentamientos, ha sido muy poca, seguramente por efecto de la gran altura de la obra, pues la mayor diferencia en los 52,50 m. ha sido de 37 centímetros, lo que hace esperar que, por efecto de ellos los bloques inclinados no se separarán del macizo de coronamiento.

En octubre de 1929 se terminó la colocación de los bloques del muro, quedando sólo algunos bloques de defensa del pie para principiar a desarmar el derrik que se empleó en esa faena.

El macizo de coronamiento, hecho de concreto rico, se terminó en realidad siete meses después de colocados los últimos bloques del muro, es decir que se acortó un poco el plazo de asentamiento de estos bloques para evitar que la parte extrema del muro pasara el invierno sin coronamiento, lo que se había visto que era peligroso y además porque, en vista del conocimiento cabal que se tenía de la manera cómo se efectuaban los asentamientos, se veía que no había inconveniente en hacerlo. Al colocar el hormigón en sitio, que forma una capa de 1,10 m. de espesor en su parte delgada y más de 2 metros en su parte central, se hacía una nivelación y se adoptaba el peralte necesario para tomar en cuenta los asentamientos ulteriores.

Esta segunda parte del molo de abrigo, en realidad la principal de esta obra, quedó terminada en mayo de 1930; pero se continuaron haciendo nivelaciones periódicas de él, a fin de observar cómo seguían produciéndose los asentamientos. Una de estas nivelaciones se llevó a cabo el 2 de octubre de ese año y pocos días después se produjo un temblor de extraordinaria violencia; el 17 del mismo mes se efectuó una nueva nivelación, con el objeto esta

vez de ver cuál había sido el efecto del temblor sobre la obra. El resultado de ella fué que cerca del ángulo B se había producido un descenso de 5 milímetros, que iba aumentando gradualmente hasta alcanzar el máximo de 3 centímetros hacia los 560 metros de ese punto, más allá disminuía poco a poco para llegar a ser de 1 centímetro en el extremo libre del molo. Doy este dato, que se pudo obtener por una rara casualidad, para tranquilizar a las personas que han manifestado el temor de que algún temblor muy fuerte o un terremoto pudiera producir la ruina de alguna de las obras de este puerto fundadas en terreno fangoso, como el espigón de atraque o el brazo del molo de que me estoy ocupando.

De lo anteriormente expuesto se puede deducir sin duda que la construcción del molo sobre el terreno fangoso no constituye una imprudencia, como no lo ha sido la de otros construídos antes y después que él en terrenos fangosos: lo que puede haberse calificado de imprudente es la construcción de obras de abrigo con paramentos verticales en esa clase de terreno, pero establecida en *poca hondura*, lo que puede provocar la socavación del suelo, si no se tiene la precaución de defenderlo cuidadosamente, como sucedió en Valencia y en Argel, pero no es el caso de Valparaíso, en que la profundidad ha sido criticada por excesiva.

Para poner término a esta conferencia, que me ha obligado a abusar de la paciencia de mis auditores, quiero dedicar unos pocos minutos a las grietas que se observan en el coronamiento de hormigón, que es, como hemos visto, un macizo colocado encima del muro de bloques artificiales para establecer una solidaridad suficiente entre todas las capas inclinadas y formar una superficie pareja: ese macizo tiene en la mayor parte de su ancho un espesor superior a 2 metros y fué hecho de una pieza en todo el largo del brazo principal del molo. Ahora bien, es sabido que el hormigón al endurecer se contrae y que, si hay alguna causa que se oponga a esa contracción, se corta, formando grietas, más o menos irregulares; si los trozos en que queda dividido el macizo sufren desnivelaciones uno con respecto a otro, esas grietas se abren o se cierran, según sea el sentido en que se producen esas desnivelaciones. Esto es lo que ha sucedido en el caso del macizo que nos ocupa, que, por su gran longitud y por la forma de la parte superior de los bloques, presenta en todas partes resistencia a esa contracción la que ha provocado necesariamente la formación de grietas, a distancias más o menos grandes del orden de 25 a 30 metros. Estas grietas, que parecen un defecto de la obra y hasta pueden hacer temer por su resistencia, como ha sucedido en este caso, no tienen otro inconveniente que el de su aspecto, y es por eso que, desde hace ya bastantes años, se recomienda interrumpir de distancia en distancia los macizos por medio de juntas, que por extensión suelen llamar de *dilatación*, pero que en casos como el del molo de Valparaíso deberían llamarse de *contracción*. No había, pues motivo para atribuir a las grietas que puedan verse en el macizo de hormigón caracteres alarmantes, así como tampoco lo había para los asentamientos de algunos centímetros que pudieran constatarse en cualquier parte del molo.

Hasta 1940 tuve que ver, directa o indirectamente, con esta obra y hasta entonces la Administración del Puerto efectuaba periódicamente nivelaciones según el eje del molo y a veces cerca de las orillas del macizo de coronamiento;

supongo que después se habrá seguido haciendo lo mismo y creo que, si los ingenieros encargados de la conservación de esta y las otras obras de Valparaíso hubieran notado algo de anormal, lo habrían dado a conocer en algún artículo en los Anales del Instituto de Ingenieros o en otra de las revistas técnicas que se publican en la actualidad a fin de que los otros ingenieros que se interesen por las Obras Marítimas puedan aprovechar de la experiencia que vamos adquiriendo y que es siempre fruto de los años, como lo he hecho yo mismo en repetidas ocasiones a propósito de todos los puertos de nuestro país.

J. L. O.