

# ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE  
Calle San Martín N.º 352 - Casilla 487 - Teléf. 88841 - Santiago - Chile

Año XXXVI    ❧    Mayo-Junio de 1936    ❧    N.º 5 y 6

Jorge Lira Orrego

## Rompeolas verticales

(Continuación)

### II.—ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para no alargar desmesuradamente este capítulo, voy a ocuparme únicamente de los aparatos de medida y de las instalaciones hechas después del Congreso de Navegación de 1926, pues todos los anteriores fueron muy imperfectos y en

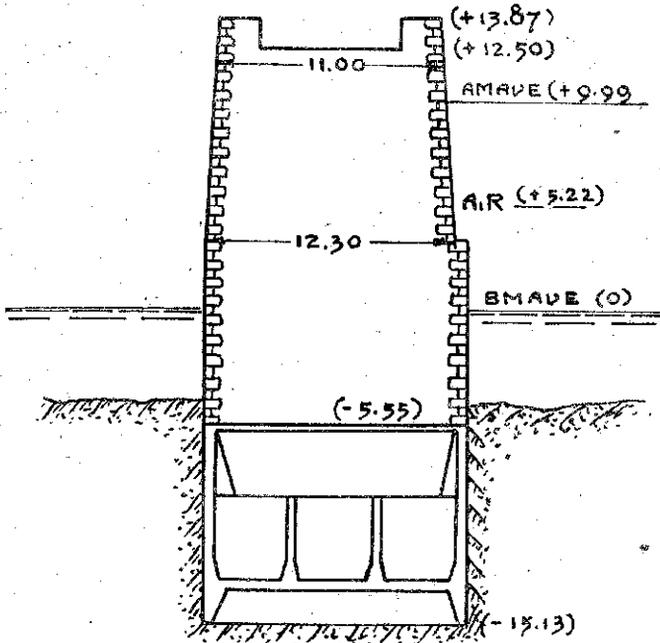


fig. 13

ninguno de ellos se registraron las variaciones de las presiones por efecto de una ola, ni se inscribieron las variaciones de las presiones en diferentes puntos del muro,

situados a lo largo de una vertical. Como dije antes, en los últimos años se han hecho instalaciones con este objeto en algunos Puertos, y es de ellas de las que voy a ocuparme ahora, así como de las medidas de presiones y otros estudios hechos en laboratorios de Hidráulica.

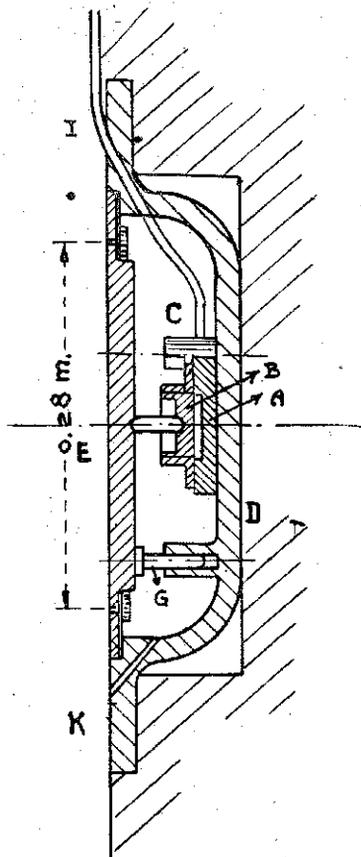


Fig. 14

la cámara A y permite al mismo tiempo los pequeños movimientos del émbolo B para transmitir las presiones al líquido. Con el objeto de que la placa E no transmita las variaciones lentas de presión debidas a la marea, que en Dieppe tienen mucha importancia, un tubito K,

de 1 mm. de diámetro, comunica constantemente el interior de la cámara C con el mar, de manera que la placa se encuentra en equilibrio y sólo transmite las variaciones rápidas de presión debidas a las olas. Las variaciones de presión que recibe el diafragma E se transmiten al líquido contenido en la cámara A y de ésta al aparato registrador, por medio de un tubo I de 2 mm. de diámetro interior y de paredes muy pocas elásticas, que termina en la cámara C, figura 15; de un ex-

A.—En el Puerto de Dieppe se instaló en el molo Oeste, un dinamómetro registrador, construído por el conocido fabricante Richard. En la figura 13 se ve el corte del rompeolas y se ha indicado en A. R, la situación del aparato, que consiste, figura 14, en una cámara cilíndrica C, situada en una excavación hecha en el paramento de mampostería y fija ahí por medio de pernos, que no se indican en la figura; esta cámara está cerrada por el lado del mar por medio de un diafragma metálico grueso F, que recibe la presión de las olas; una juntura de caucho permite que ese diafragma se mueva ligeramente al variar esa presión, guiando su desplazamiento por medio de tres embolitos G. En el interior de la cámara C. hay otra mucho más pequeña, formada por la pieza A, dentro de la cual puede moverse el émbolo B, que por medio de la biela F, recibe el movimiento del diafragma exterior E; una membrana de caucho cierra herméticamente

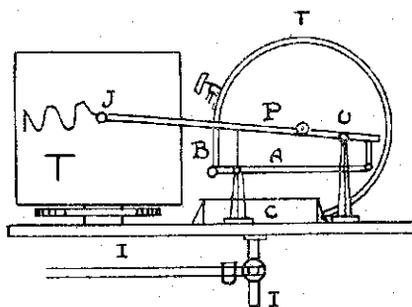


Fig. 15

tremo de esta cámara sale un tubo encorvado, flexible, que por efecto de las variaciones de presión interior, cambia de curvatura y, por medio de la biela *B* y de la palanca *A*, mueve la aguja *P*, que guía en torno del punto *O* y con la pluma *J* traza en la hoja de papel del tambor *I* una curva que indica las variaciones de presión. La figura 16 representa una de estas curvas, que corresponde a olas de 3 a 3,50 metros de altura. En ella se puede ver que la curva inscrita resulta deformada por el movimiento circular de la aguja.

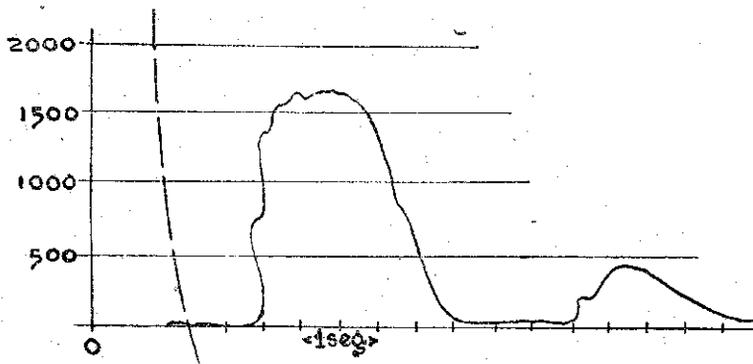


Fig. 16

Este dinamómetro, que fué el segundo que se instaló en Dieppe, ha permitido obtener resultados más o menos satisfactorios; pero es necesario corregir en él algunas imperfecciones debidas principalmente al desplazamiento del diafragma *E* hacia atrás. Además, el conducto que comunica la cámara *C* con el mar se obstruye fácilmente, pues ha sido necesario darle un diámetro muy pequeño, como hemos visto, para que las variaciones de las presiones transmitidas por las olas no resulten falseadas. En el otro aparato de este mismo tipo de diámetro de ese conducto es de 6 mm. y sólo se registran las variaciones bruscas de presión.

Después se han perfeccionado las instalaciones de Dieppe. Se ha ensayado con un nuevo modelo de dinamómetro diferencial, cuya descripción y funcionamiento veremos a continuación; además se ha agregado un aparato destinado a dar a conocer las variaciones del nivel del agua a lo largo de una vertical, con lo cual se conoce la relación que hay entre ese nivel y las presiones ejercidas por las olas. Aparte de eso, se han instalado dos mástiles verticales, situados a bastante distancia del molo para que la perturbación producida por la reflexión de las olas no llegue hasta ellos; estos mástiles están fundados en profundidad suficiente, sólidamente mantenidos y pintados en fajas alternativas blancas y de color, lo que permite hacer fácilmente lecturas con un antejo, que dan a conocer la altura de las olas. La distancia conocida, que hay entre los dos mástiles permite determinar el largo de las olas con suficiente aproximación.

La figura 18, reproduce a la mitad de su tamaño natural, una hoja en que figuran las dos curvas correspondientes a las presiones registradas y a las elevaciones del agua junto al paramento del muro. Las curvas que se ven en esta figura

son muy regulares; la trazada en línea llena, se refiere a las variaciones de presión, medidas en altura de columna de agua de mar, cuya escala (m: a. m.) en metros se ha marcado a la derecha; la curva trazada con la línea de segmentos, se refiere a

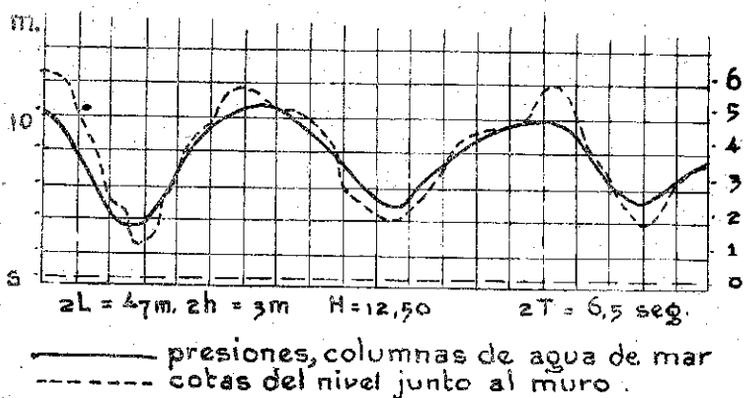


Fig. 18

los niveles correspondientes del agua junto al paramento vertical, referido al cero de Dieppe, bajas mareas de aguas vivas, equinocciales, escala de la izquierda. En esta figura se puede ver que las presiones marcadas por el dinamómetro registrador son bastante parecidas a las alturas de agua correspondientes, pero sus variaciones son menores que las de los niveles respectivos, todo lo cual está en concordancia con las indicaciones del cálculo, hecho según el método de Sainflou.

He reproducido además la hoja a que se refiere la figura 19, en la cual se ve

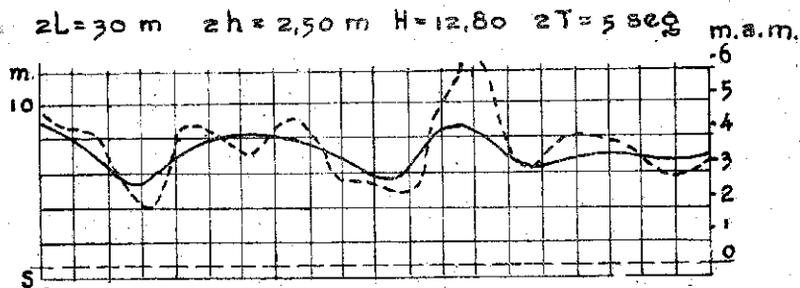


Fig. 19

que las variaciones de las presiones no corresponden a las del nivel del agua junto al muro, en las cuales se ven claramente interferencias, que afectan más a los niveles que a las presiones. Es interesante llamar la atención hacia estas indicaciones experimentales, que desde luego muestran que los movimientos efectivos no son tan

hay por qué extrañarse, si los resultados experimentales no corresponden exactamente a los que se deducirían del cálculo.

En Dieppe se hace diariamente la observación de las olas y se anotan todas sus características principales; los aparatos inscriptores también se hacen funcionar de una manera sistemática, con lo cual se está haciendo un acopio de datos del mayor interés para los estudios que se llevan a cabo.

Las instalaciones de este Puerto se iban a completar cuando las visité con la instalación de un sistema de guideras metálicas verticales a lo alto del paramento vertical del molo, por las cuales podrá moverse una placa provista de tres dinamómetros diferenciales registradores, que podrán indicar las presiones simultáneas correspondientes a diferentes niveles, variables, según sea la posición de la placa. Esta instalación debe haber sido probada ya.

B.—En el Puerto de Génova se aprovechó la circunstancia favorable de que en 1927 se encontraba en construcción el rompeolas «Príncipe Humberto», formado por pilas de 6,00 m, en el sentido de la longitud del molo, 13,50 m. de ancho en la base y 10,90 m. de altura, formadas por la superposición de cuatro bloques y fundadas sobre una infraestructura de enrocados a la cota (—10,05 m.) para reemplazar una de esas pilas de bloques por un cajón de hormigón armado de forma especial, en el cual se instalaron los instrumentos destinados al estudio experimental de las olas. El cajón tiene el mismo perfil del rompeolas, figura 20, y en toda su altura

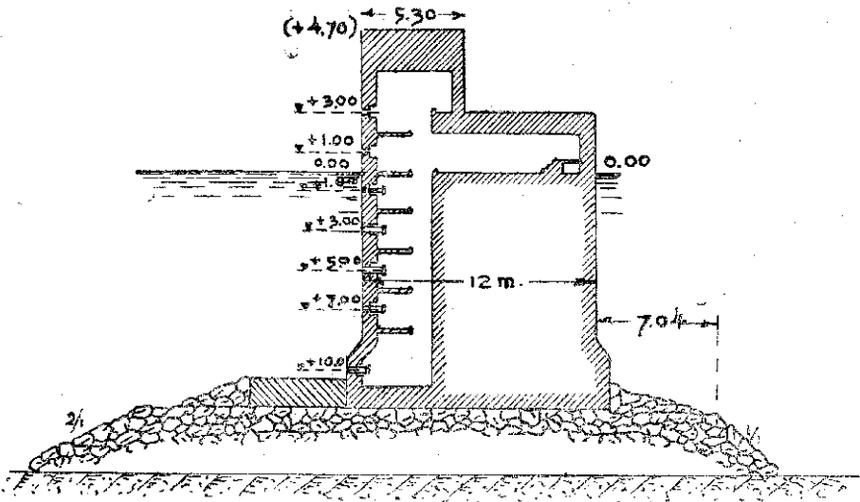


Fig. 20

se dejó por el lado del mar, un pozo en el cual se instalaron a diferentes alturas, manómetros registradores, desde la cota (+ 5,00) hasta la cota (—10,00m); estos instrumentos fueron estudiados por el Ingeniero del Puerto señor Levi y su funcionamiento se basa en medir las variaciones que por efectos de las presiones de las olas se manifiestan en la intensidad de una corriente eléctrica que circula por el instrumento; posteriormente se instaló otra serie de manómetros construídos por la

firma Amsler, que miden las variaciones de presión por los desplazamientos de un diafragma, transmitidos mecánicamente a los aparatos inscriptores. Las dos series de instrumentos funcionan independientemente y sus resultados pueden controlarse recíprocamente en cualquier momento; además la instalación de unos y otros está hecha de manera que un aparato cualquiera puede retirarse del sitio en que está colocado para efectuar una reparación, sin embargo en este sentido es más cómoda la disposición de los aparatos Levi, que permite retirarlo con cualquier estado del mar, mientras que los aparatos Amsler, necesitan el concurso de un buzo por el lado del mar, lo que sólo es posible en caso que éste, esté muy tranquilo.

La figura 21, representa el dinamómetro Levi. En un agujero practicado en la

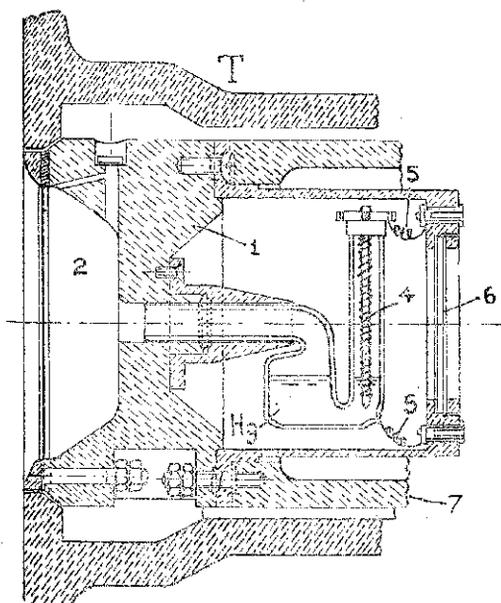


fig. 21

pared exterior del pozo de que he hablado antes, se encuentra fijo el tubo de bronce T; por el interior de éste, se coloca un segundo tubo, que termina en una pieza de bronce 1, provisto de un ajuste cónico y que forma una cámara 2, cerrada por un diafragma de acero de níquel-cromo de 0,6 a 0,8 mm. de espesor, y de 100 mm. de diámetro. Esta cámara, está llena de agua con glicerina, comunica con un sifón de vidrio 3, en cuyo fondo hay mercurio; en la rama ascendente del sifón hay una barra de vidrio, en la cual se enrolla una espiral de platino de 6/100 mm, de espesor, que penetra en el mercurio. El mercurio y la parte superior de la espiral de platino, están conectados con dos alambres por los cuales circula una corriente eléctrica con-

tinua de 8 volts, que proviene de una batería de acumuladores; las variaciones de la presión que el mar ejerce sobre el diafragma metálico provocarán modificaciones en el nivel del mercurio en la rama vertical del sifón, las que harán variar la resistencia eléctrica de la espiral de platino y, por consiguiente, la intensidad de la corriente del circuito correspondiente.

El sifón está encerrado en una cámara cilíndrica, provista de una tapa con una placa de vidrio 6, que permite ver el sifón desde el pozo en que se encuentra la parte interior de estos aparatos. Las variaciones de las corrientes eléctricas que atraviesan la espiral de platino se inscriben en una instalación especial, que se encuentra en una torrecilla situada en un extremo del tercer espigón del Puerto, a unos 800 metros de distancia del monolito en que están los dinamómetros.

El segundo tipo de piezómetro, construido por la casa Amsler, según he indicado

antes, se compone de una caja metálica cilíndrica *c*, figura 22, colocada a firme en una abertura de la pared exterior del pozo, dentro de la cual se aperna un tubo cilín-

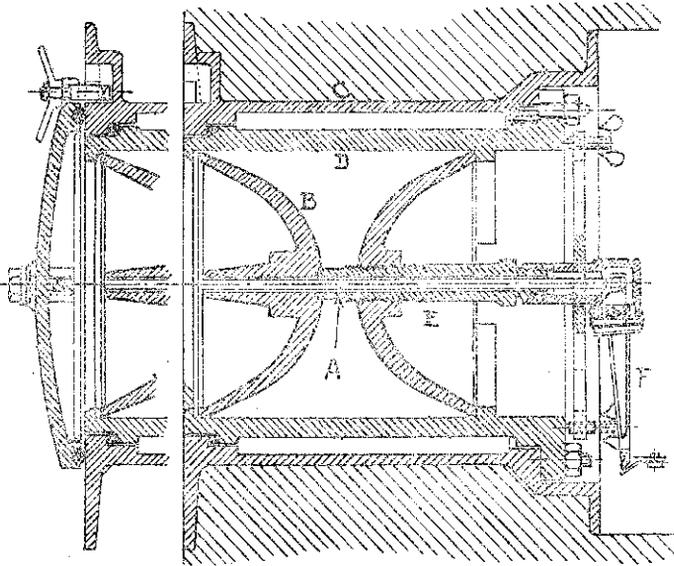


fig. 22

drico cerrado con un diafragma metálico de 250 mm. de diámetro y 2,5 mm. de espesor aproximado, cubierto por el exterior por un disco de goma; la presión se mide por la deformación que se produce en el centro del diafragma y que se transmite por medio de una barrita *A*, guiada por las piezas *B* y *E*; esta barrita se mantiene constantemente en contacto con el diafragma flexible por un extremo, y con una palanca *F* por el otro, y transmite las deformaciones del diafragma, convenientemente multiplicadas por medio de alambres de acero, cuya tensión asegura un contrapeso de 6.5 *K*. La hoja de papel en que se incriben los desplazamientos del diafragma, o sea las variaciones de la presión, es accionada por un pequeño motor eléctrico, que puede ponerse en movimiento desde la misma torrecilla de que ya se ha hecho mención.

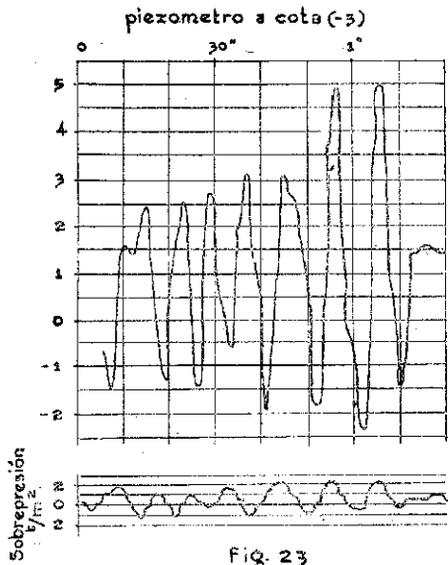


Fig. 23

Las instalaciones del cajón monolítico se han completado con una escala que da a conocer a cada momento el nivel del agua a lo alto del muro por medio de una serie de contactos metálicos, que cierran otros tantos circuitos eléctricos, cuando están bajo el agua. Esos contactos se encuentran a cada  $0,50$  m, desde la cota ( $-2$  m.) hasta la cota ( $+7$  m.) de manera que el error en el nivel instantáneo del agua no puede ser superior a  $0,25$  m.

La figura 23 reproduce parcialmente una hoja de las inscripciones correspondientes al piezómetro instalado a la cota ( $-5,00$  m) durante una tempestad en que la altura de las olas alcanzaba a  $5,00$  m. y su largo era de  $100$  m. La parte superior de la figura se refiere a las variaciones de la altura del agua en contacto con el muro y la parte de abajo, a las sobrepresiones producidas por las olas.

El conjunto de las indicaciones de los diferentes aparatos permite conocer las sobrepresiones simultáneas a lo alto del paramento del muro y nos servirá más adelante para comparar los resultados del cálculo con las medidas experimentales.

La figura 24 reproduce las inscripciones correspondientes a una tempestad muy

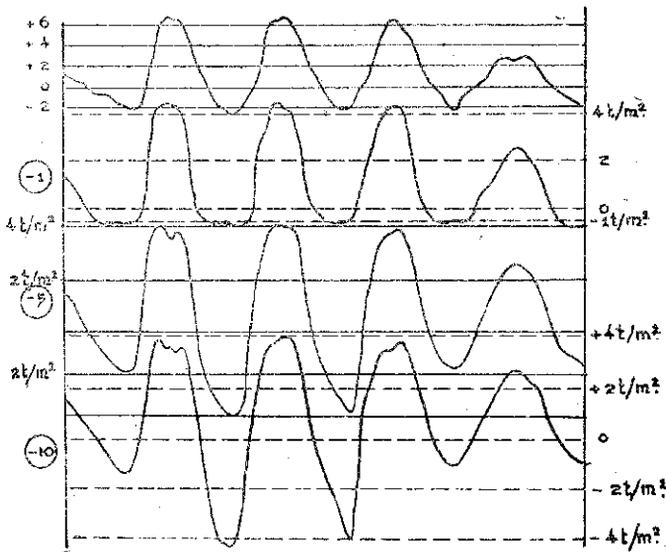


Fig. 24

violenta, con olas de  $4,50$  m. de altura, en Marzo de 1934. En la parte superior se indican las variaciones de nivel del agua a lo alto del muro; en la parte de abajo las sobrepresiones inscritas en el piezómetro instalado a la cota ( $-5,00$  m.), que en este caso fueron bastante mayores que las que registró el piezómetro de cota ( $-1,00$  m.).

Con los valores de las sobrepresiones simultáneas de las curvas contenidas en todos los piezómetros, análogas a las que indican las figuras anteriores, se pueden obtener curvas, como las que reproduce la figura 25, que representan la ley de variación de las sobrepresiones a lo alto de una vertical del muro, que es lo que nos interesa en las aplicaciones al cálculo de estas obras. En la figura 25, se indican esas

leyes de variación para tres observaciones de olas de 3 metros de altura y 100 metros de largo, en las cuales el agua se ha elevado junto al paramento del muro hasta la altura 5,50 m. y aun parece que hasta 7,50 m. es decir, más de lo que resultaría del cálculo según la teoría de la reflexión de las olas.

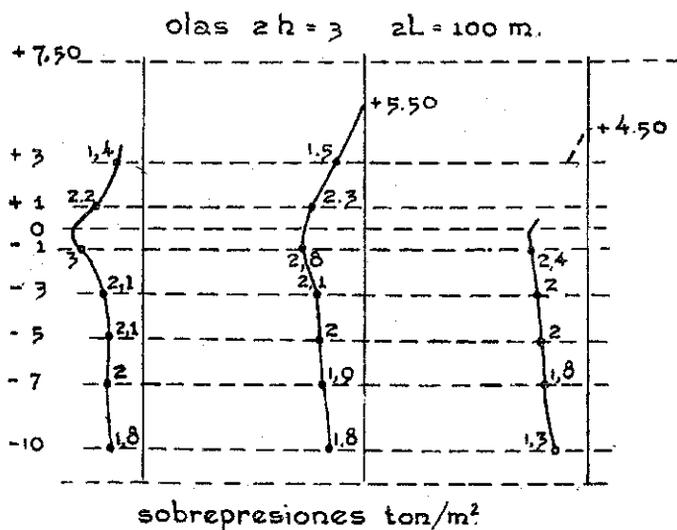


Fig. 25

Las características de las olas, su altura y su largo, se han medido en Génova de diferentes maneras. Para medir la elevación de la cresta respecto al nivel de reposo, se colocó en 17 m. de hondura un mástil, hecho con tubos Manesmann de 20 metros de alto y diámetros de 105 mm. a 292 mm. empotrado en una base de concreto, pintados en fajas alternativamente blancas y rojas. La altura de las olas se mide por medio de un mástil colocado sobre una boya esférica con una suspensión cardan, de manera que se mantenga vertical; el tope del mástil queda a 7 metros sobre el nivel del agua y una serie de bolas marcan las alturas de 6, 5, 4 y 3 metros. Con un anteojo sensiblemente horizontal, se observan los desplazamientos verticales de la boya, midiéndolos en el mástil.

El largo de las olas se determina observando el movimiento de dos filas ortogonales de boyas pintadas con colores diferentes y situadas a distancias iguales entre sí. El período se mide también con ayuda de esas boyas.

C.—En el Puerto de Argel, se han efectuado antes de 1933, medidas de presiones por medio de un piezómetro del tipo descrito al tratar de Dieppe, que se ha denominado tipo del Servicio Central de Faros y Balizas, que podía colocarse a mano a diferentes alturas, para lo cual se le subía o bajaba por medio de dos cuerdas; la altura se leía sobre una tercera cuerda graduada. Las indicaciones de este aparato se transmitían por medio de dos tubos finos de bronce duro, convenientemente protegidos y se las registraba por medio de un aparato Richard, análogo al que vimos más atrás.

Se efectuaron numerosas medidas por medio de este aparato, de las cuales se obtuvieron indicaciones muy interesantes, análogas a las que vimos al tratar de Dieppe. Estas observaciones tienen, sin embargo, el inconveniente de que, siendo uno sólo el piezómetro, las presiones medidas a diferentes honduras no son producidas por la misma ola y en el mismo momento; además en las medidas hechas cerca del pie del muro parece que ha habido errores de medida, debida en gran parte a que las presiones transmitidas, que son multiplicadas por 33, son muy grandes, del orden de 450 metros de agua, y es muy difícil que no se hayan producido escapes; por otra parte el piezómetro no estaba fijo, como hemos dicho antes, y esta circunstancia también debe haber influido. Más adelante volveré sobre este punto.

Después de la tempestad de Febrero de 1934, que destruyó 400 metros del molo Mustafá, se hizo en Argel una instalación bastante completa que comprende tres series de aparatos, a saber: un *duokimatógrafo*, destinado a inscribir las variaciones del nivel del agua a lo alto del paramento del muro; una serie de *manógrafos* destinados a inscribir las variaciones de las presiones ejercidas por las olas, y un grupo de tres *acelerómetros*, que medían las aceleraciones verticales y horizontales de los movimientos del muro. Estos aparatos se instalaron en el brazo oblicuo del molo, que no ha sufrido con las tempestades, porque recibe oblicuamente la acción de las olas. Me ocuparé separadamente de cada uno de estos instrumentos.

El *duokimatógrafo* comprende 49 electrodos dispuestos a lo largo de una vertical a una distancia de 0,25 metros entre sí, desde la cota (+ 6.00) hasta la cota (— 6.00); estos electrodos están repartidos en dos grupos pares e impares cada uno de los cuales inscribe una greca, figura 26, cuya intersección determina la curva de variación del nivel del agua.

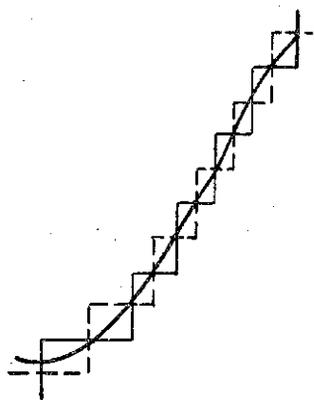


Fig. 26

Cuando el agua sube, moja un nuevo electrodo, pone en cortocircuito la resistencia correspondiente y la recta trazada por el lápiz registrador se levanta en dos milímetros, formando la greca correspondiente al grupo del electrodo que se ha mojado.

Como esta instalación fué hecha en una obra existente no fué posible que los aparatos no presentaran salientes sobre el paramento y se les dió la disposición que indica la figura 27 que representa un corte y la planta de uno de ellos, que comprende siete contactos.

Los *manógrafos* que han sido denominados *piezo-eléctricos*, están basados en una propiedad del cuarzo, descubierta por Curie, según la cual, cuando un cristal de cuarzo es comprimido en la dirección de su eje eléctrico, sobre cada una de las caras perpendiculares a ese eje eléctrico aparece una cantidad de electricidad, proporcional a la fuerza que ha comprimido el cristal. Estos aparatos fueron estudiados por la Compañía General de Geofísica y comprenden una serie de disposiciones ingeniosas, que no es del caso considerar en detalle. En principio comprenden dos pastillas de cristal de cuarzo, cuyos ejes geométricos son paralelos a sus ejes eléctricos, colocadas de manera que

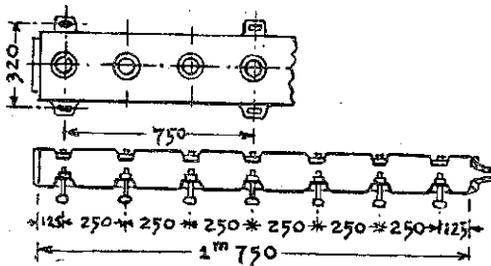
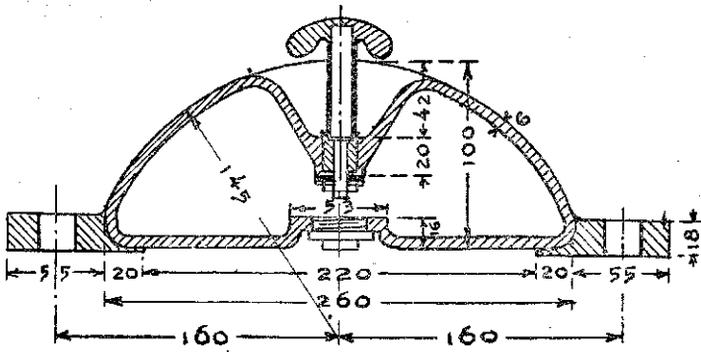


Fig. 27

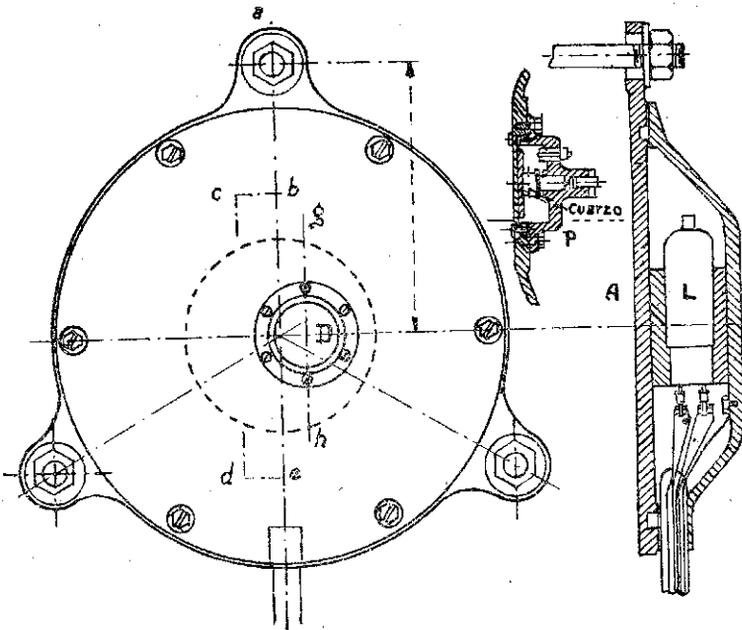


Fig. 28

sus caras negativas, es decir, las que se cargan de electricidad negativa, se correspondan, interponiendo entre ellas una lámina metálica, que recibe el nombre de *intercuarzo* y que está unida a la instalación eléctrica.

La figura 28 indica en sus líneas principales unos de estos manógrafos, que se compone de una placa metálica sujeta en la mampostería por medio de tres pernos, sobre la cual se fija por medio de prisioneros una cápsula ligeramente bombeada *B*, en la cual se fija el diafragma metálico *D* que recibe la presión de las olas. En la figura que representa el corte *gh*, hecho por el medio de este diafragma se ve que al deformarse comprime las pastillas de cuarzo, entre las que se encuentra el intercuarzo, que en este caso es una simple lámina de estaño y de la cual sale un alambre conductor, que atraviesa el puente *P* en un aislador de ámbar y termina en una lámpara electrómetro *L* de cuatro electrodos unidos con un amplificador, que se encuentra en la central en que se registran las indicaciones. Los conductores salen de la cápsula *B* a través de una juntura impermeable. El interior de esta cápsula debe mantenerse perfectamente en seco, para lo cual se ha dispuesto un anillo de caucho, visible en la figura, que impide la entrada del agua, y en el interior de la cápsula se coloca una substancia que seque el aire.

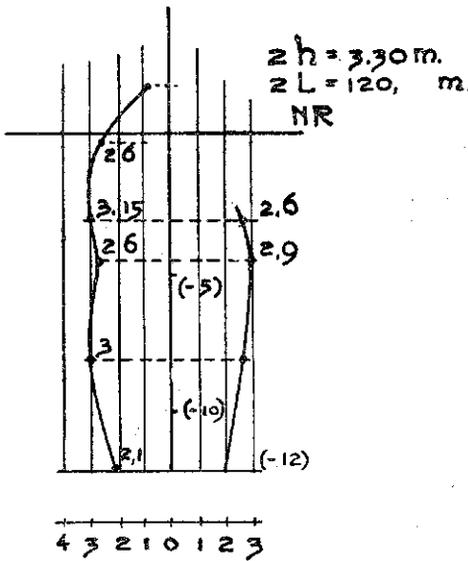


Fig. 29

presiones son producidas por masas sismográficas dispuestas en el interior de los aparatos. No entraré en detalles acerca de ellos, para no alargar demasiado este estudio.

### III.—EXPERIENCIAS EN MODELOS

Las instalaciones hechas en el mar han permitido efectuar observaciones y medidas muy interesantes; pero tienen el inconveniente de que no permiten estudiar sino las olas que se presentan, las que hasta ahora no han correspondido a grandes tempestades; por otra parte no permiten cambiar las condiciones y experimentar todos los casos que sean interesantes. De ahí ha nacido la idea de hacer estudios en modelos a escala reducida, pero suficiente, sin embargo, para poder efectuar todas las medidas del caso. Se han hecho instalaciones de esta clase, como se ha indicado más

atrás, en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería de Losana, en un laboratorio especial del Puerto de Argel, y en el Laboratorio Hidrotécnico Timonoff, en Rusia. Examinaré separadamente estas distintas instalaciones y las observaciones que en ellas se han hecho.

En el Laboratorio de Losana, las experiencias se hicieron en un estanque de sección rectangular de  $0,50\text{ m}$ , de ancho por  $0,75\text{ m}$ , de altura y  $20$  metros de largo, una de cuyas paredes laterales es de vidrio en la mitad de su longitud, en el resto son metálicas. Un extremo del canal está tapado con una pared que reproduce a escala el rompeolas que se quiere experimentar, en la cual se instalan los piezómetros que van a servir para efectuar las medidas de presiones; en el otro extremo se ha colocado el aparato destinado a producir el oleaje. Este aparato está dispuesto de manera que permita obtener dos movimientos distintos del agua; uno que reproduce el fenómeno que en francés se llama *clapotis* o sea el de la onda estacionaria, producida por la superposición de las olas incidentes con las reflejadas y que puede mantenerse todo el tiempo que se quiera; el otro consiste en producir una onda solitaria, que se refleja en el muro. El movimiento del agua para producir el clapotis, se obtiene por medio de una paleta sumergida que, por medio de una biela accionada por un motor eléctrico, recibe un movimiento alternativo de oscilación; al cabo de un cierto tiempo se establece un equilibrio de movimiento en el líquido y se puede observar la onda estacionaria, cuyas características dependerán de la amplitud del movimiento de oscilación de la paleta, que es fácil de modificar. La onda solitaria se obtiene por medio de la misma paleta, que es arrastrada rápidamente hacia la pared terminal del estanque acumulando el agua detrás de ella, la cual se suelta al llegar a cierto punto, dejando escapar el agua acumulada. Este movimiento equivale en realidad a agregar bruscamente una cantidad de agua al estanque, pero sin modificar el nivel de reposo de él.

Las presiones ejercidas por las olas se miden por medio de dinamómetros de reflexión, como el que reproduce la figura 30, que se componen de un disco de caucho *A*, mantenido entre dos anillos de bronce, que se deforma por efecto de la presión; unida a ese disco hay una pieza metálica, que no se ve en la figura, porque la oculta la laminita de acero *B*, fija por un extremo en ella y por otro en la pieza *F*; un rayo luminoso que se dirige hacia el espejo y se refleja en él permite medir en una escala graduada las presiones, por medio de sus variaciones de posición. En este sistema se ha reducido a un mínimo la inercia de las piezas en movimiento, lo que es condición de buen funcionamiento. En este laboratorio se trató de hacer la inscripción de las variaciones de presión, pero la inercia hizo imposible cualquier medida precisa.

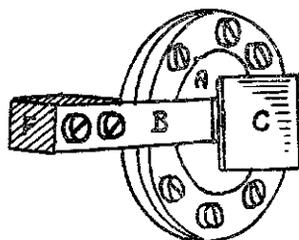


Fig. 30

La tara de estos instrumentos es muy sencilla, pues basta modificar lentamente el nivel del agua en el canal, para tener sobre cada piezómetro la presión que se quiera y hacer en consecuencia la graduación de la escala en que se miden las presiones. En cuanto a la precisión de las medidas de presiones es del orden de  $2,5\text{ mm}$ .

de altura de agua, cifra deducida de la masa de las experiencias y que es suficiente, pues la estimación de las variaciones del nivel del agua se hacía a ojo.

Se hicieron numerosas experiencias produciendo artificialmente el clapotis con olas, cuya altura  $2h$  se hizo variar entre 2 metros y 10 metros, y cuyo largo fluctuó entre 60 metros y 150 metros. En la figura 31 reproduzco las curvas correspondientes a las presiones máximas y mínimas para olas de 150 metros de largo y altura variable entre 5 y 10 metros con un valor constante de la profundidad, que fué de 19,50 metros. En la figura 32 se ven las curvas correspondientes a las presiones máximas y mínimas para las mismas olas con profundidad de 13 metros.

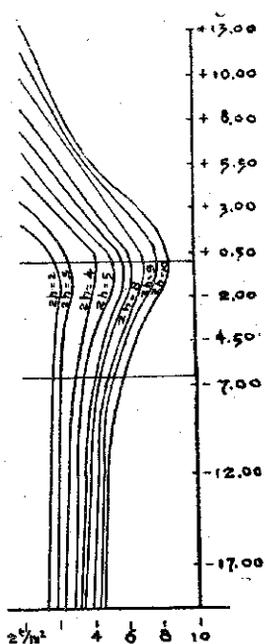


Fig. 31

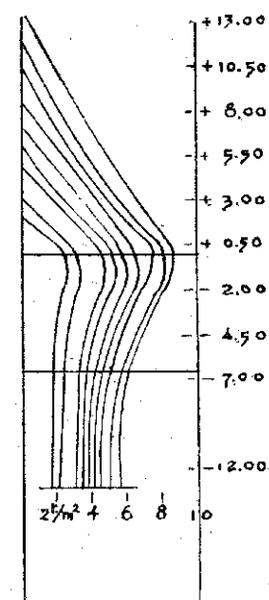


Fig. 32

El examen de los resultados de estas medidas experimentales permite deducir desde luego algunos hechos fundamentales, a saber:

En todos los diagramas se ve que las presiones máximas se producen un poco más abajo del nivel de reposo, en forma muy parecida a lo que han indicado los diagramas análogos obtenidos en las instalaciones hechas en el mar en Génova y Argel.

La presión máxima es menor que la que correspondería a la elevación de la ola junto al muro, obrando estáticamente.

Las presiones decrecen desde el máximo hasta el pie del muro de una manera tanto más marcada cuanto mayor es la altura de la ola.

La presión al pie del muro es siempre considerable, variando entre la mitad y los dos tercios del máximo.

Aparte de las medidas de presiones se hicieron en este laboratorio estudios sobre las modificaciones que experimenta la forma del fondo del mar bajo la influencia de la reflexión de las olas en el muro, para lo cual el fondo se cubrió con una capa de arena muy fina, que era removida por el agua. El resultado de esta clase de observaciones fué que se producían socavaciones de mucha importancia relativa cerca del pie del muro, de una manera análoga a lo que ha habido ocasión de observar en el mar. Más adelante veremos las concordancias que pueden observarse entre esas escavaciones y las que se deducirían en la teoría.

En el Puerto de Argel se hicieron medidas análogas a las anteriormente descritas en un estanque rectangular de 6,00 metros de largo y 0,40 metro de ancho y 0,80 metro de profundidad. En un extremo del estanque, estaba el modelo del rompeolas y en el otro el aparato para producir las olas que era una paleta articulada en el fondo, que se hacía oscilar a mano, siguiendo el compás de un metrónomo adecuado. Las presiones se medían por las deformaciones de una banda de caucho de 0,10 metro de ancho detrás de la cual había una serie de espejitos, cuyos movimientos se multiplicaban por la reflexión de rayos luminosos. La tara de las indicaciones obtenidas se hacía fácilmente variando el nivel del agua en el estanque, como en la instalación de Losana. Los resultados obtenidos en uno y otro laboratorio han sido bastante parecidos y han sido controlados entre sí, haciendo las mismas experiencias en los dos.

En el Laboratorio Hidrotécnico Timonoff de San Petersburgo se hicieron experiencias en dos estanques rectangulares, que tenían respectivamente 30 metros de largo, 2 metros de ancho y 0,50 metros de profundidad; y 100 metros de largo, 6,70 metros de ancho y 3,50 de profundidad; en el primero se produjeron olas de 0,10 metro de altura y en el segundo esa dimensión alcanzó a 0,50 metro. En ambos casos el perfil de las olas se asemejaba mucho a la trocoide. No tengo datos suficientes acerca de la manera cómo se formaban las olas en este laboratorio, pero entiendo que se empleaba una viga que se sumergía en el agua y se sacaba de ella periódicamente; posteriormente se ha construído un generador provisto de un regulador automático de inmersión de la viga.

La figura 33 reproduce dos leyes de distribución de las presiones máximas medidas en este laboratorio, que corresponden a olas de 15,2 cm. de altura con 500 cm. de largo, 21,7 cm. de alto con 161 cm. de largo y 19,5 cm. de alto con 160 cm. de largo. La profundidad en ambos casos es de 60 cm. En esa figura las dimensiones están expresadas en centímetros y las presiones en gramos por centímetro cuadrado, es decir, en alturas de columna de agua expresadas igualmente en centímetros. Los resultados obtenidos en estas experiencias, son sin duda interesantes; pero menos que los anteriormente examinados, porque el valor de la profundidad relativa  $\frac{H}{2L}$

es muy grande y lo que más interesa es precisamente lo contrario. De las condiciones en que se han hecho esas experiencias parece desprenderse que se ha tratado de hacer variar mucho la razón  $\frac{2h}{2L}$  cuyos límites han sido  $\frac{1}{33}$  y  $\frac{1}{3}$ , manteniendo constante la profundidad, lo que a mi juicio no es lo más interesante. Las obras de abrigo de los puertos en cuya construcción puede ser conveniente aplicar el tipo de

paramentos verticales se encontrarán situadas en profundidades que pueden variar entre 15 y 25 metros, naturalmente las profundidades serán muchas veces mayores que esta última cifra, pero eso les quita interés desde el punto de vista que nos ocupa, y se encontrarán expuestas a olas de 7 metros de altura con 150 o 200 metros de largo, o 9 metros de altura con 250, o 300 metros de largo, en las cuales por consiguiente el valor de  $\frac{2h}{2L}$  oscila en los alrededores de  $\frac{1}{23}$  a  $\frac{1}{30}$  y conviene que en las experiencias se efectúen con olas cuyas características se acerquen a esos valores; pero tiene mucha más importancia en el resultado de las presiones el valor de la profundidad relativa  $\frac{H}{2L}$ , que puede ser muy pequeña y que en los casos más desfavorables que he citado variará entre 0,10 y 0,33. En este sentido son mu-

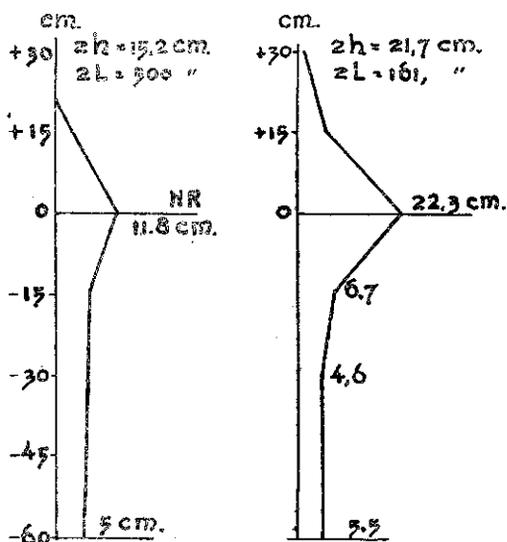


Fig. 33

cho mas interesantes las experiencias hechas, en el Laboratorio de Losana, en que  $\frac{H}{2L}$  bajó hasta cerca de 0,11, pero manteniéndose siempre muy superior a lo que corresponde a las olas largas provenientes de tempestades lejanas.

El señor Cocen Cagli, en el informe que sobre este tema presentó al Congreso de Navegación de Bruselas cita experiencias hechas en Losana en las cuales  $\frac{H}{2L}$  vale aproximadamente 0,05, pero no da detalles acerca de ellas.

Sería muy interesante que se efectuaran nuevas experiencias en esas condiciones, ya que no hay dificultades insuperables para producir olas relativamente tan largas.

(Continuará)