

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

EL PUERTO DE BARCELONA ⁽¹⁾

Reseña histórica y datos relativos á dos de sus obras más importantes.

Conferencias dadas en el Instituto de Ingenieros Civiles

POR

DON JOSÉ AYXELÁ

Ingeniero Subdirector de las obras.

(CONCLUSIÓN)

TRANSPORTE Y RELLENO DE LOS GRANDES CAJONES EN OBRA. Estos elementos, tanto si habían de ser levantados del lugar de su fabricación como del sitio donde se colocaban en depósito esperando ocasión propicia para su empleo, se ponían en poco tiempo á flote; en el primer caso, con el dique flotante, y en el segundo, extrayendo el agua de su interior mediante bombas, pudiendo luego, con facilidad, ser trasladados hasta su emplazamiento, gracias á su perfecta flotabilidad, mediante un remolcador. Una vez colocarlos en línea con los anteriores y en la posición que debían ocupar, por medio de un cabrestante eléctrico, de algunos cables y con los puntos de retenida necesarios, y teniendo su fondo á unos 80 centímetros de altura sobre la explanación en que habían de insistir, de suficiente anchura y perfectamente enrasada con anterioridad á la cota debida y de modo que existiese un ligero badén en el tercio central en sentido de su longitud, se procedía con todo cuidado á su inmersión dejando entrar el agua de un modo simultáneo en todos sus compartimientos, que se comunicaban entre sí, por medio de tres válvulas situadas una en la celda central y las otras dos simétricamente, manejables desde el borde superior. Dichas válvulas colocadas, próximamente, á la mitad de la altura del cajón, se disponían en forma de compuerta, unidas por un sencillo engranaje á una varilla que terminaba en una manivela.

Asentado ya el cajón en su sitio y lleno de agua en bastante cantidad para evitar la flotación, había que proceder al relleno con fábrica de hormigón, que debía ejecutarse en seco

para obtener la completa garantía de su solidez. Esta circunstancia proscribía en absoluto el vertimiento directo del hormigón en el agua que había en los compartimientos; tampoco podía apelarse al recurso de agotar las celdas de un modo alternativo para efectuar el relleno en seco de las restantes, no sólo por la dificultad de hacer las paredes transversales impermeables, so pena de enlucirlas también, sino porque con la desigual repartición de las cargas podía haber diferencia de asientos en el cajón que comprometerían su estabilidad. Era preciso lastrarlo y agotarlo después por completo. En los primeros cajones, para conseguir el lastrado se emplearon bloques de forma especial y del peso conveniente que se colocaban dentro de las celdas, algo separados de las paredes, para rellenar, después del agotamiento, los huecos así producidos con buen hormigón fuertemente apisonado. Creyendo la Superioridad que no se lograba con tal sistema de lastrado una trabazón bastante perfecta, ordenó que se apelase á otro medio, recurriendo al empleo de piedras naturales ni muy grandes ni muy pequeñas, para evitar los mismos inconvenientes de los bloques y los que ofrecería la exagerada reducción de los huecos para la introducción de las mezclas. El problema quedaba, pues, reducido á rellenar con mampuestos todas las celdas en la altura suficiente para el buen lastrado, que resultó ser de 1,40 á 1,60 metros según la elevación de las aguas, y en hallar un procedimiento eficaz, después de agotado el cajón, para introducir el mortero en los huecos de esta especie de *mampostería en seco*, de modo que se consiguiese un macizo compacto y homogéneo en todo su espesor; completando luego al aire libre, y con gran facilidad, el total relleno del cajón. Después de varios ensayos con diferentes clases de mortero y á distintas alturas se consiguió el objetivo empleando morteros un poco grasos y fluidos, bien batidos y vertidos desde la altura de coronación del cajón, pues por la cantidad de mezcla empleada se deducía que habían de estar los huecos de las piedras bastante llenos, habida cuenta del tanto por ciento de los mismos con relación al total volumen, hecho comprobado además por numerosas experiencias.

Así, pues, colocado el cajón en obra se cerraban fuertemente las válvulas, se quitaba la plataforma que servía para el personal en el transporte y los cables y demás mecanismos empleados para su asiento; en seguida se procedía al lastrado con mampuestos en la cantidad y peso previamente fijados, y procurando colocarlos á la misma altura en todas las celdas menos en una de las extremas que se dejaba libre porque era

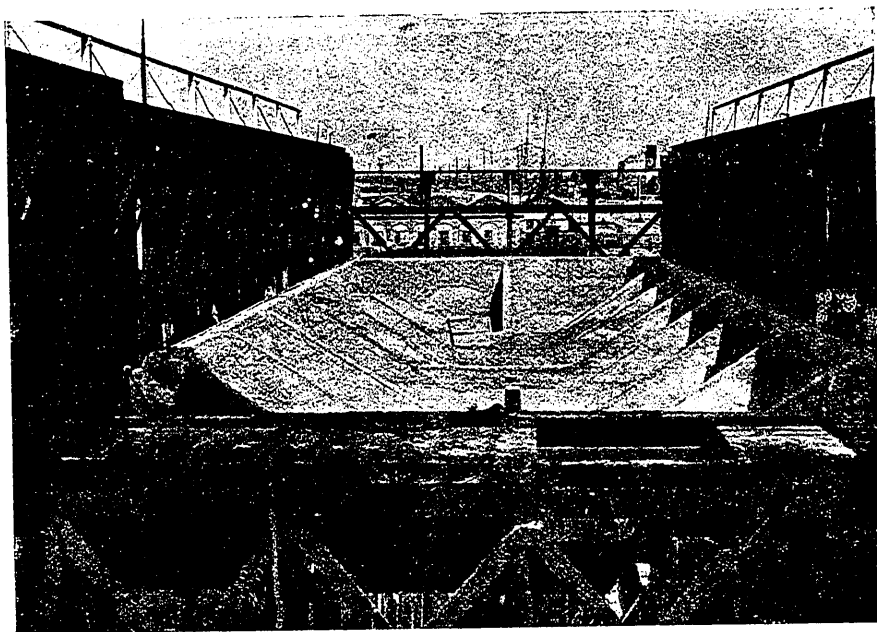
(1) Véase el número anterior.

donde se disponía la bomba de achique; finalmente, se agotaba y se arreglaba la piedra de las celdas para que formase una superficie próximamente horizontal. Realizados estos trabajos de preparación se vertía el mortero empezando por el extremo opuesto al de la bomba para que expulsara la poca agua que quedase, y así se iba continuando hasta rellenar los huecos de toda la piedra del lastre. En este momento, ya se podía echar el hormigón del relleno en gran escala hasta la coronación, tomando sólo la precaución de hacerlo por tongadas y de ir llenando las celdas empezando por las centrales y acabando por las extremas, para que las paredes del cajón no sufriesen esfuerzos anormales de tracción en sus partes más elevadas.

El peso del lastre necesario oscilaba, según la altura de las aguas, entre 150 y 170 metros cúbicos de piedra pequeña, que daban una altura, dentro del cajón, variable entre 1,40 y 1,50 metros y equivalían á 240 y 260 toneladas, respectivamente,

nes, que se trasladaba de emplazamiento á medida que éstos avanzaban, transportando el material por medio de vagonetas volcadoras sobre vías. El hormigón se hacía también en esta hormigonera, conduciéndolo al cajón en vagonetas de medio metros cúbico á lomo de asno con dos puertas laterales; pero la mayor parte procedía de otros talleres, sea el del muelle de Cataluña ya descrito, sea el instalado en el de Levante que luego indicaremos, transportándolo en grandes cajas metálicas de 10 metros cúbicos de capacidad situadas sobre barcas que se remolcaban desde el punto de fabricación al de empleo, en cuyo punto una cabria flotante suspendía dichas cajas y vertía el material de una vez dentro de los cajones-bloques, procurando repartirlo entre dos ó tres celdas para no hacer la tongada de demasiado espesor.

En algunos cajones que convenía rellenar en poco tiempo, además de los dos medios indicados para la fabricación, trans-



VISTA DE UN CAJÓN-BLOQUE POR DENTRO

diferencia entre el peso del cajón que es de 770 toneladas y los pesos del agua desalojada según la altura del nivel del mar, iguales á 1,010 y 1,030 toneladas. El problema no podía ser más sencillo.

El mortero para relleno de los huecos del lastre se componía de una parte en volumen de cal hidráulica por dos de arena fina y un poco más de agua de la necesaria; el hormigón del relleno del cajón se hacía también con cal hidráulica, en la proporción, por metro cúbico, de 0,90 metros cúbicos de piedra machacada, 0,50 metros cúbicos de arena y 175 kilogramos de cal; pero cuando llegaba á la altura de 80 centímetros por debajo de la coronación, se acababa el relleno con hormigón de cemento portland con 200 kilogramos de material por metro cúbico y la misma cantidad de piedra y arena que en el resto.

En las operaciones de transporte, colocación, asiento y lastrado de los cajones se empleaba un día, al siguiente se procedía al vertimiento del mortero dentro de los huecos de los mampuestos, acabando, generalmente, la operación en una jornada; para el total relleno con hormigón precisaban luego otros cuatro ó cinco días más, según el estado del mar y los medios de acción puestos en juego; habiendo llegado en algunas ocasiones á efectuar esta operación en tres días solamente.

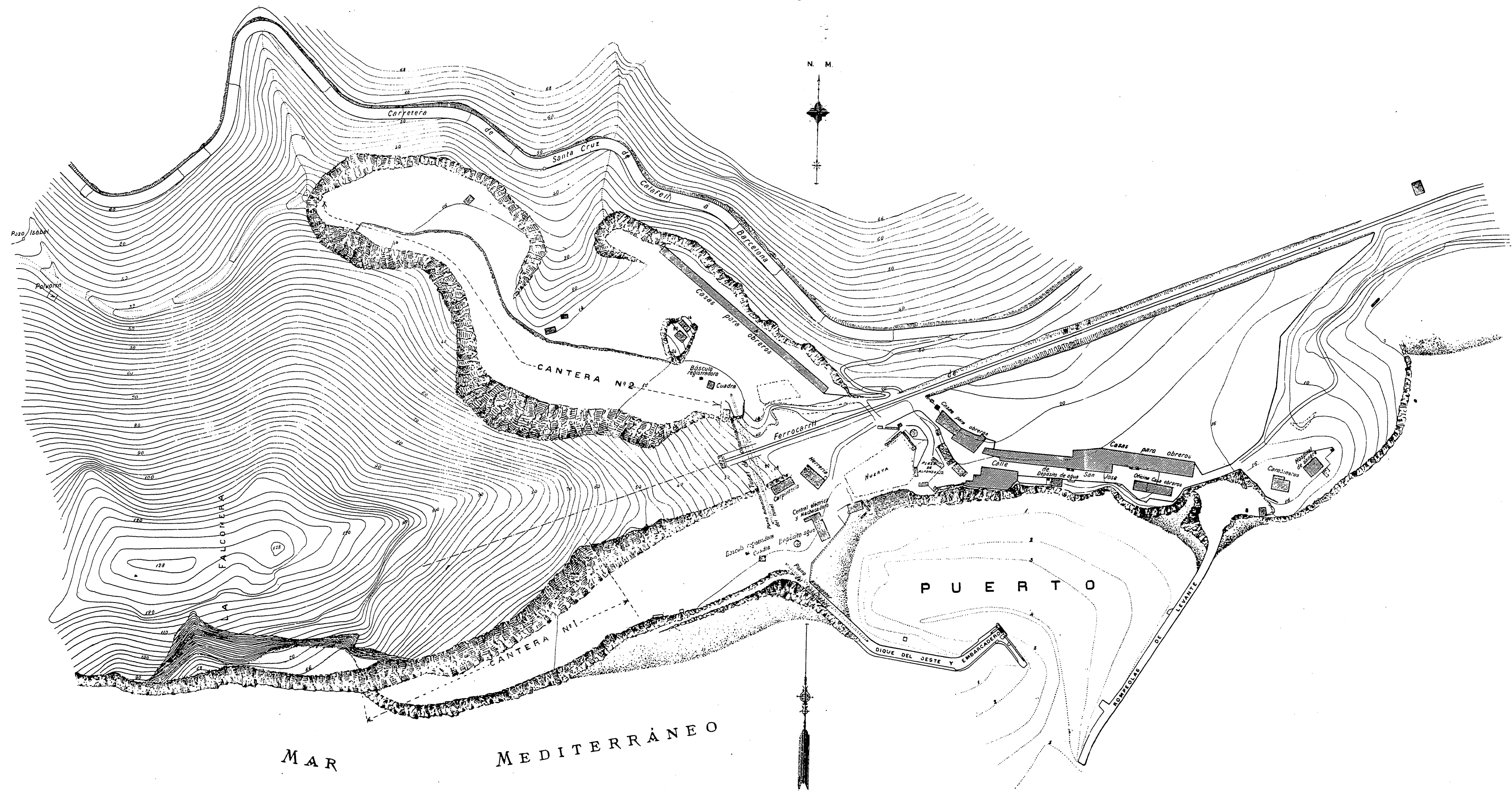
El mortero para el relleno de la capa de piedra se fabricaba en una hormigonera situada á pie de obra cerca de los cajo-

porte y vertimiento del hormigón, se empleaba otro simultáneamente con ellos, consistente en fabricar el material en cualquiera de los dos talleres citados, transportarlo luego en vagonetas volcadoras de á metro cúbico colocadas, en número de doce, sobre durmientes en la cubierta de una embarcación, y una vez remolcada al punto de empleo, se suspendían las vagonetas por medio de una grúa de vapor situada sobre el cajón-bloque inmediato y se vertía el hormigón dentro del que se rellenaba. Con todos estos medios, durante una jornada de trabajo se podía construir un volumen de unos 300 metros cúbicos, todo estribaba en disponer las brigadas de remoción y apisonado del hormigón dentro del cajón, en forma de que efectuaran bien la operación, además de tomar en el curso del relleno las precauciones antes transcritas.

Con las dimensiones de $25,20 \times 6 \times 7,80$ metros asignadas á estos grandes cajones resulta que su volumen total, una vez llenos constituyendo el monolito, es de 1.179,36 metros cúbicos, y como estando vacíos cubican 326 metros cúbicos, el material para relleno representa un volumen de 853,36 metros cúbicos, de los cuales, parte se fabrica con cal hidráulica y parte con cemento portland. La capa superior de este material tiene un volumen de 115 metros cúbicos, resultando de 738,36 para el de la cal; en cuyos volúmenes, por las proporciones de material aglomerante antes consignadas, han de emplearse 460 sacos de 50 kilogramos de cemento, equivalentes á 23 tone-

Plano general del Puerto, Canteras é Instalaciones establecidas en Garraf por la Contrata del Dique del Este
para el suministro de piedra con destino á las obras de prolongación del referido Dique.

ESCALA DE 1:2000



ladas, y 2.584 sacos de cal hidráulica, que equivalen á 129,2 toneladas.

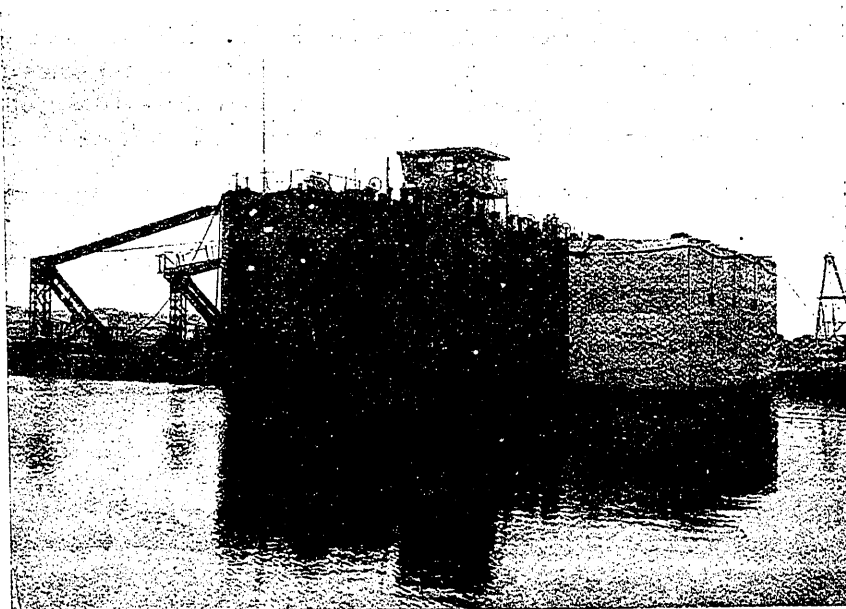
Constituído el monolito con su volumen de 1.179,36 metros cúbicos, pesa, aproximadamente, 2.770 toneladas, y sólo de material aglomerante se han consumido, para su construcción, 138 toneladas de cemento portland y 129 de cal hidráulica.

Con arreglo á los precios unitarios definitivamente aprobados por la Superioridad para la fabricación y empleo de estos grandes elementos, el metro lineal de los mismos colocado en obra, y comprendidos todos los gastos, resulta ser de 1.403,72 pesetas, y el del metro cúbico de esta fábrica, también en obra, viene á ser de unas 30 pesetas.

En la prolongación del rompeolas han entrado para formar el basamento del espaldón, y teniendo en cuenta que el primero se colocó á 26 metros del origen para salvar el talud de escollera y bloques del antiguo morro, los siguientes monolitos: uno de 11,60 metros de longitud por 6 de anchura y 7 de alto; uno de $12,10 \times 6 \times 7$; 37 de $18,60 \times 6 \times 7$; 6 de $18,60 \times 6 \times 7,80$ y 27 de $25,20 \times 6 \times 7,80$. En el morro componen su basamento 10 monolitos de $25,20 \times 6 \times 7,80$; y en el espigón se contienen otros 9 de $25,20 \times 6 \times 7,80$, de los cuales tres forman el morro del mismo. En toda la obra se han colocado 91 grandes bloques.

	Pesetas.
<i>Suma anterior</i>	7.191,77
1,00 metro lineal de arreglo de la base de escollera para asiento de los grandes cajones bloques, á 19 pesetas.....	19,00
1,00 ídem íd. de gran cajón-bloque relleno, á 1.403,72 pesetas.....	1.403,72
32,55 metros cúbicos de hormigón con cemento portland extra en los banquetes exteriores, á 21,50 pesetas.....	699,82
9,00 ídem íd. de hormigón con cemento portland extra en la torrada sobre los grandes cajones, á 21,50 pesetas.....	193,50
23,60 ídem íd. de hormigón con cal hidráulica en el espaldón, á 17,25 pesetas.....	407,10
5,52 ídem íd. de hormigón con cemento portland extra en los pretiles y coronación del espaldón, á 21,50 pesetas.....	118,68
693,36 kilogramos de hierro fundido en placas de suspensión de los bloques arrojados, á 0,26 pesetas.....	180,27
10,00 ídem de hierro laminado en varillas y flejes de refuerzo en las válvulas y coronación de los grandes cajones, á 0,26 pesetas.....	2,60
<i>Suma</i>	10.216,46

Según es fácil apreciar, esta cantidad de 10.216,46 pesetas por metro lineal, es sumamente limitada, tratándose de una



CAJÓN-BLOQUE LEVANTADO POR EL DIQUE FLOTANTE PARA SER PUESTO Á FLOTE

Finalmente, para completar el conocimiento de esta grandiosa obra, en la siguiente relación incluimos el precio por metro lineal de la misma sonda media de 16 metros, debiendo añadir que desde el origen hasta su extremidad en el morro, las sondas varían desde 13,50 á 18,50 metros.

Coste por metro lineal del rompeolas en una sonda media de 16 metros.

	Pesetas.
500,75 metros cúbicos de escollera de mampuestos vertida, á 4,50 pesetas.....	2.253,37
138,05 ídem íd. de íd., gruesa vertida, á 7,60 pesetas.....	1.049,18
5,00 ídem íd. de íd. de mampuestos colocada, á 6 pesetas.....	30,00
106,03 ídem íd. de íd., gruesa colocada, á 9,10 pesetas.....	964,87
146,475 ídem íd. de hormigón con cal hidráulica en bloques contruídos y vertidos en obra, á 19,76 pesetas.....	2.894,35
<i>Suma y sigue</i>	7.191,77

obra de tan gran entidad, y resiste perfectamente la comparación con la de otros rompeolas similares.

OTRAS INSTALACIONES DE LA CONTRATA.—Además de los varios talleres e instalaciones que hemos indicado, el contratista, para el mejor servicio y más rápida marcha de los trabajos, montó otra completa instalación para fabricar hormigón en terrenos de la tercera alineación del muelle de Levante próxima al morro actual, disponiendo una hormigonera de eje horizontal y sistema helizoidal, en la que caen los materiales desde una tolva superior que los recibe de distintos rosarios con canjilones: uno, para la piedra; otro, para la arena en sentido opuesto, y otro, para el material aglomerante, normal á los primeros y en dirección opuesta á la hormigonera. Para las debidas proporciones de los materiales por unidad de volumen no hay más que graduar las velocidades de los rosarios y el tamaño y número de los canjilones, y como las cantidades de cal ó cemento son las que requieren mayor cuidado, también es posible colocar una compuerta, movida por un tornillo, en su co-

respondiente depósito superior, para graduar su entrada en la tolva general. El aporte de los materiales al pie de la hormigonera se hace con suma facilidad; la piedra, procedente de Garraf, en barcazas atracadas al muelle, es trasladada dentro de

plataforma del espaldón y macizo de defensa ó para el relleno de los grandes cajones.

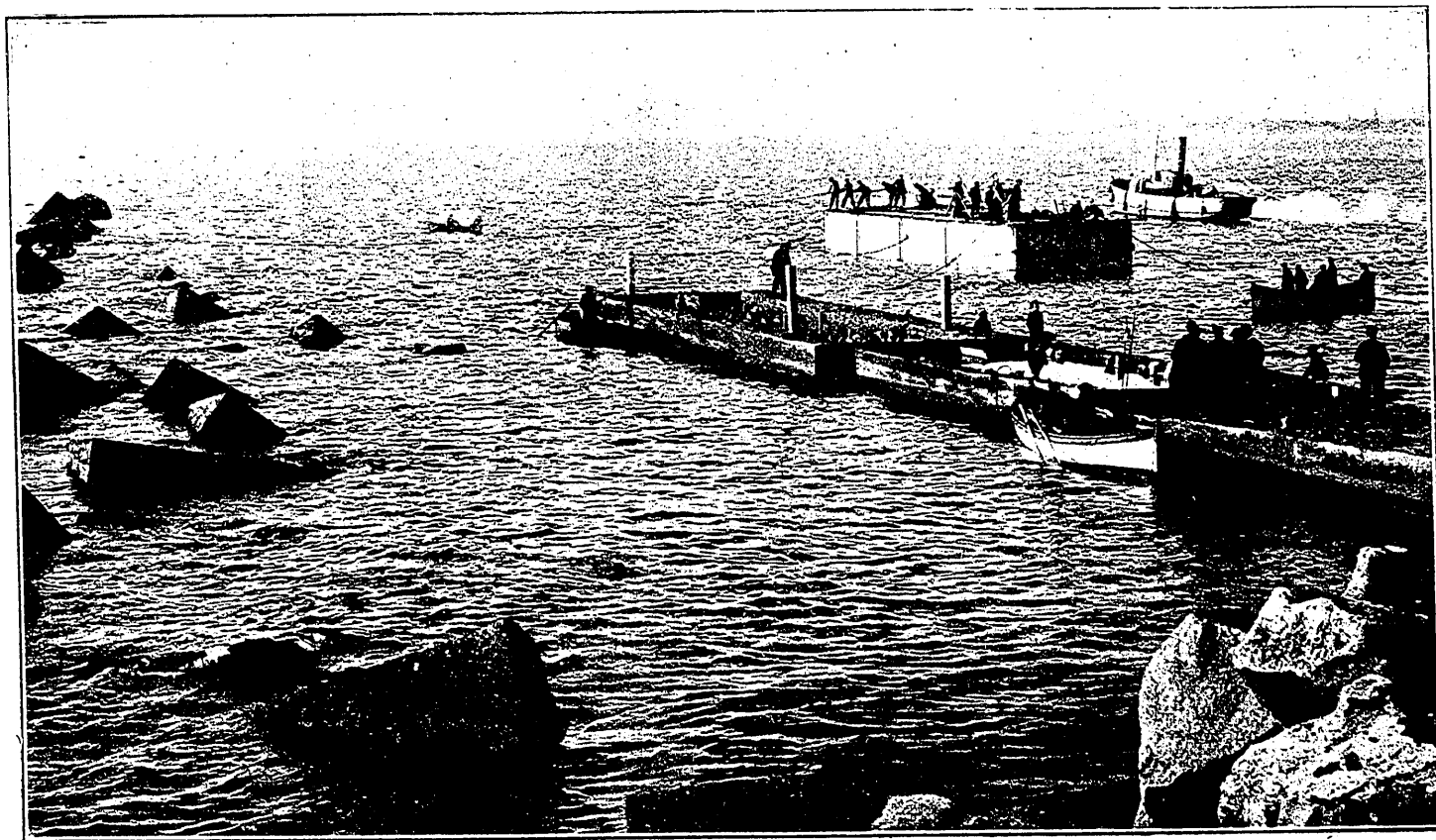
MATERIAL DE QUE DISPONE EL CONTRATISTA PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.—Por lo que hemos expuesto en las pági-



TRANSPORTE DE UN CAJÓN-BLOQUE Á SU EMPLAZAMIENTO

unas cajas por medio de una grúa que la vuelca, haciendo un montón en el muelle cerca de su rosario; la arena viene en vagonetas de la playa y se coloca también en su lugar correspondiente; el material aglomerante está en un almacén inmediato.

nas anteriores, fácil es comprender que una vez resueltos en estos últimos años los problemas de detalle para la instalación de los diversos talleres para la obtención de útiles y aparatos especiales y para la fabricación activa y continua de algunos

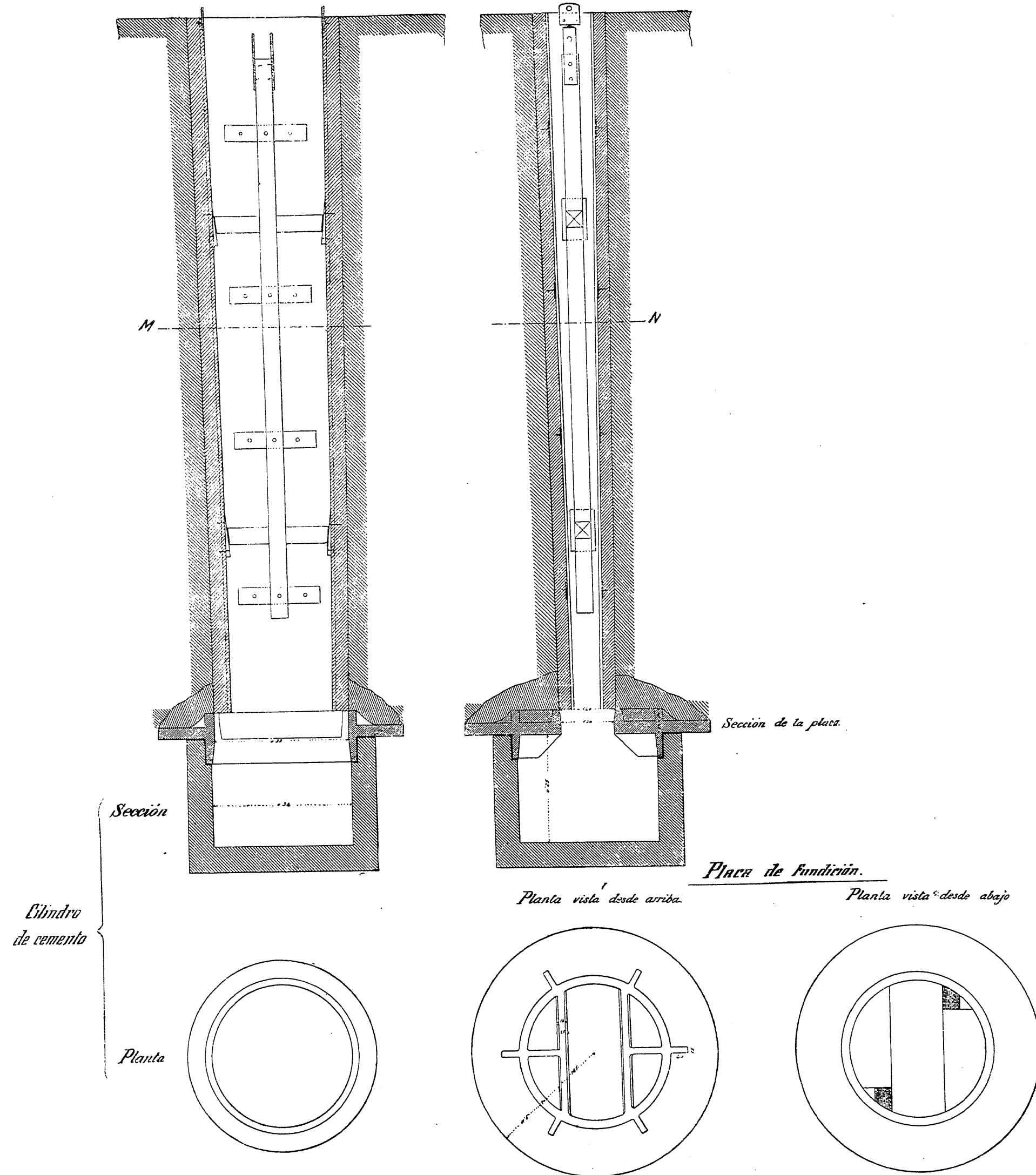


CAJÓN-BLOQUE Á PUNTO DE SER COLOCADO EN SU SITIO

Excepto la grúa, que es de vapor, todos los demás mecanismos se mueven eléctricamente con la energía producida en otra central eléctrica de 30 caballos de fuerza, emplazada en los locales del morro próximo, cuya central á su vez suministra la fuerza para los distintos mecanismos instalados á pie de obra en el propio rompeolas para la fabricación de los hormigones de lá

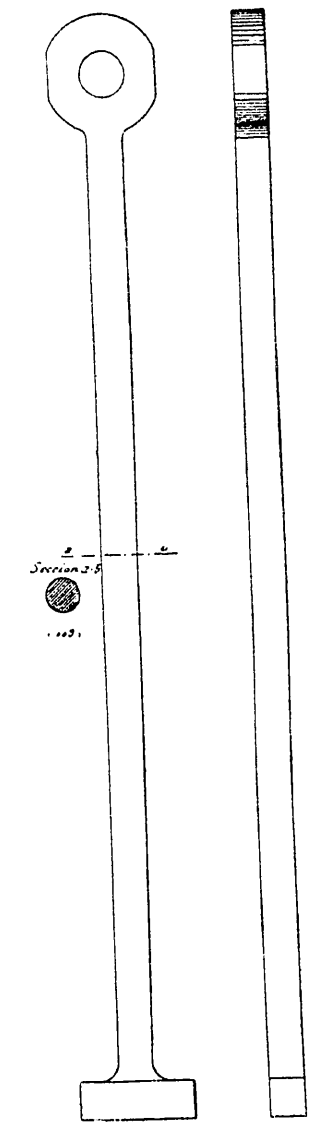
elementos inherentes á la construcción, los únicos problemas de importancia que podían presentarse radicaban en la necesidad de ejecutar grandes cantidades de obra en poco tiempo, debiendo tener preparados para este objeto no sólo los medios y aparatos para la manipulación de los materiales, sino también tener disponibles éstos para su empleo. Tratándose de fábricas

DETALLE DE LOS BLOQUES DE OCHENTA TONELADAS



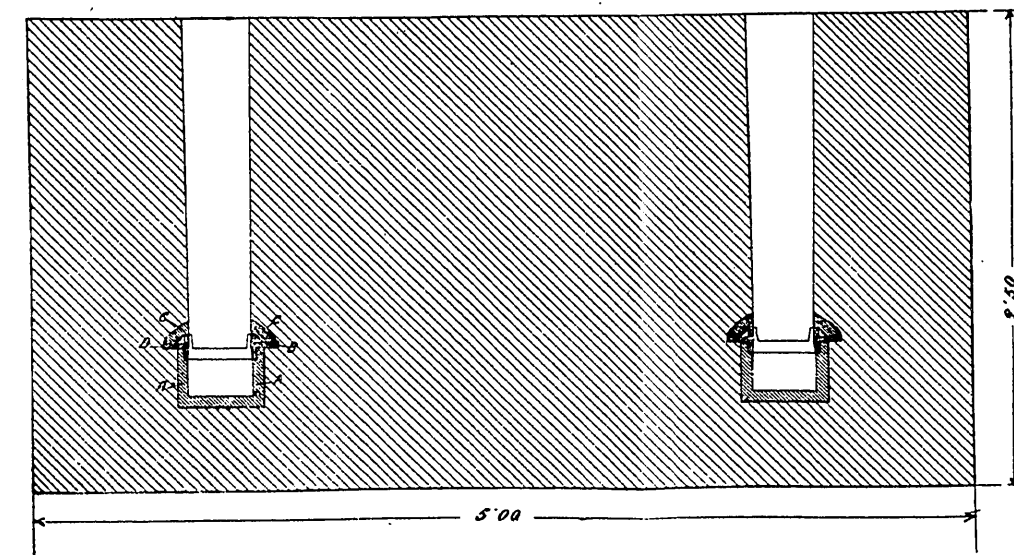
Llave de suspensión.

Escala de 1:20.

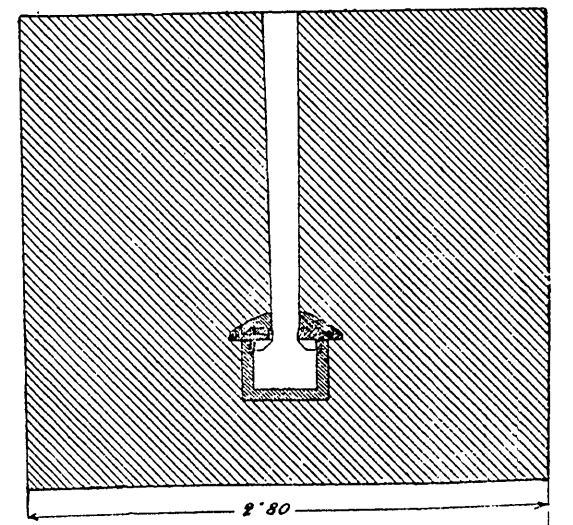


Sección longitudinal de un bloque.

Escala de 1:40.



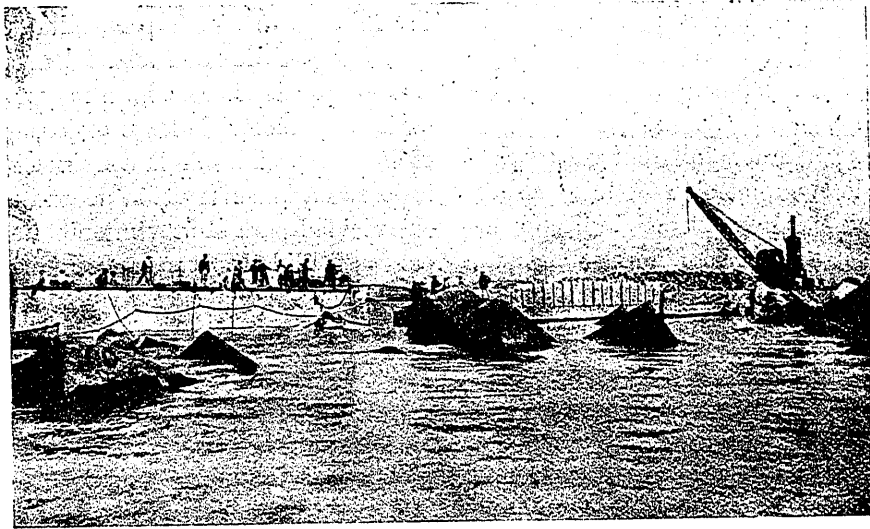
Sección transversal.



tan variadas como son las que integran el rompeolas, y procediendo el material pétreo de Garraf, con los inconvenientes de tan larga distancia y de los que en sí lleva el transporte marítimo, se comprende que había de ser bastante difícil conseguir

por una avería en cualquier aparato, accidentes imposibles de prever casi siempre, forzoso era variarlo, precisando entonces recurrir á medios distintos para realizar otra clase de fábrica.

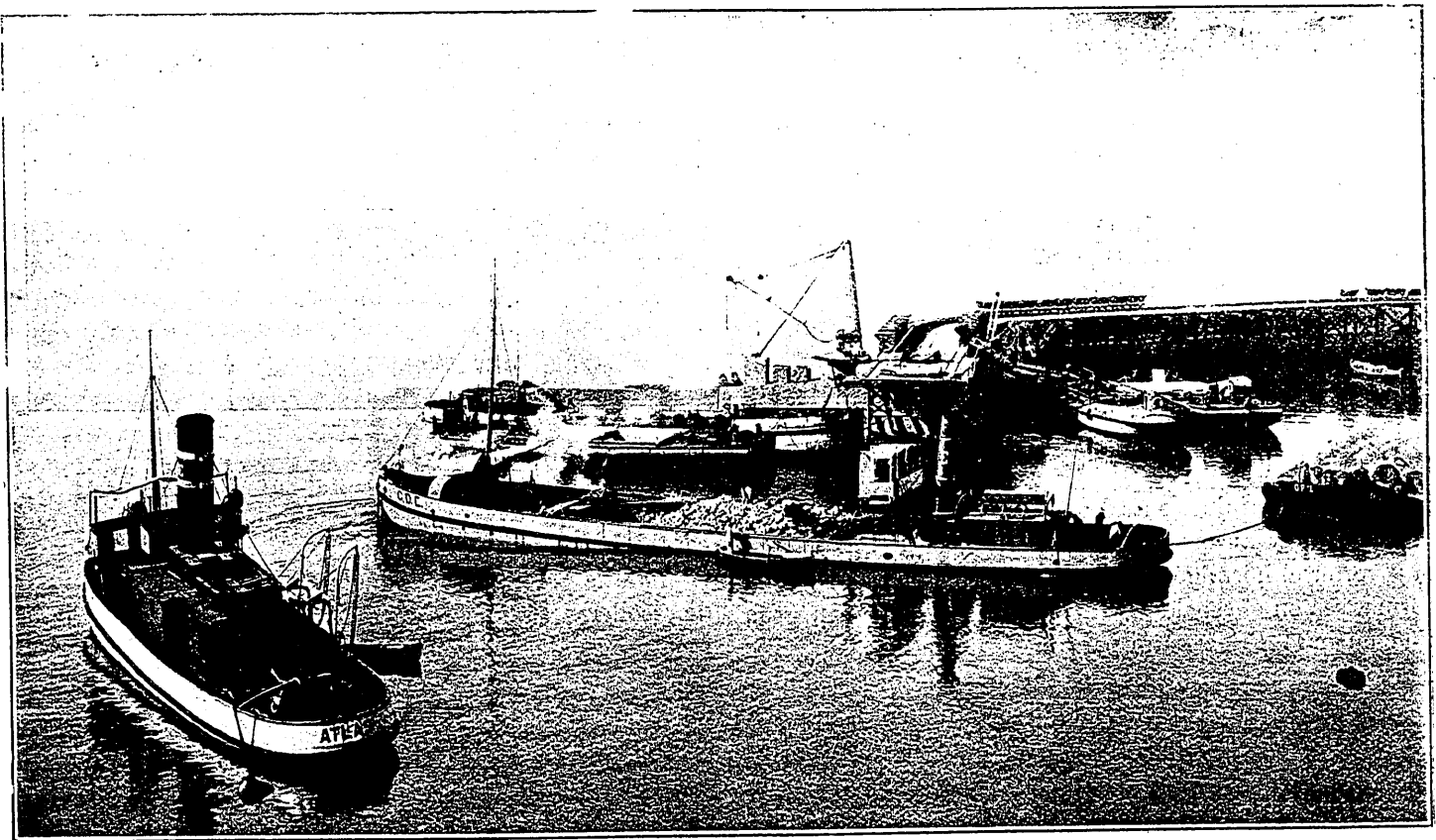
En los tiempos de actividad en los trabajos poseía la con-



COLOCACIÓN DE UN CAJÓN-BLOQUE EN SU SITIO

la actividad apetecida en la marcha de los trabajos. Si ello se ha logrado en la mayor parte de los casos, fuerza es reconocer que se debe al sinnúmero de embarcaciones afectas al transporte y de índole diversa según la clase de material á conducir, y á los muchos útiles y aparatos puestos en acción. Por lo ge-

trata las siguientes embarcaciones: cuatro remolcadores, dos de ellos de gran potencia para los viajes á Garraf y los otros dos para las faenas dentro del puerto; dos barcos portadores de escollera en sus cántaras, capaces para 200 metros cúbicos, por lo general, de la de pequeñas dimensiones, pero también po-



EMBARCACIONES PARA EL TRANSPORTE DE LOS MATERIALES

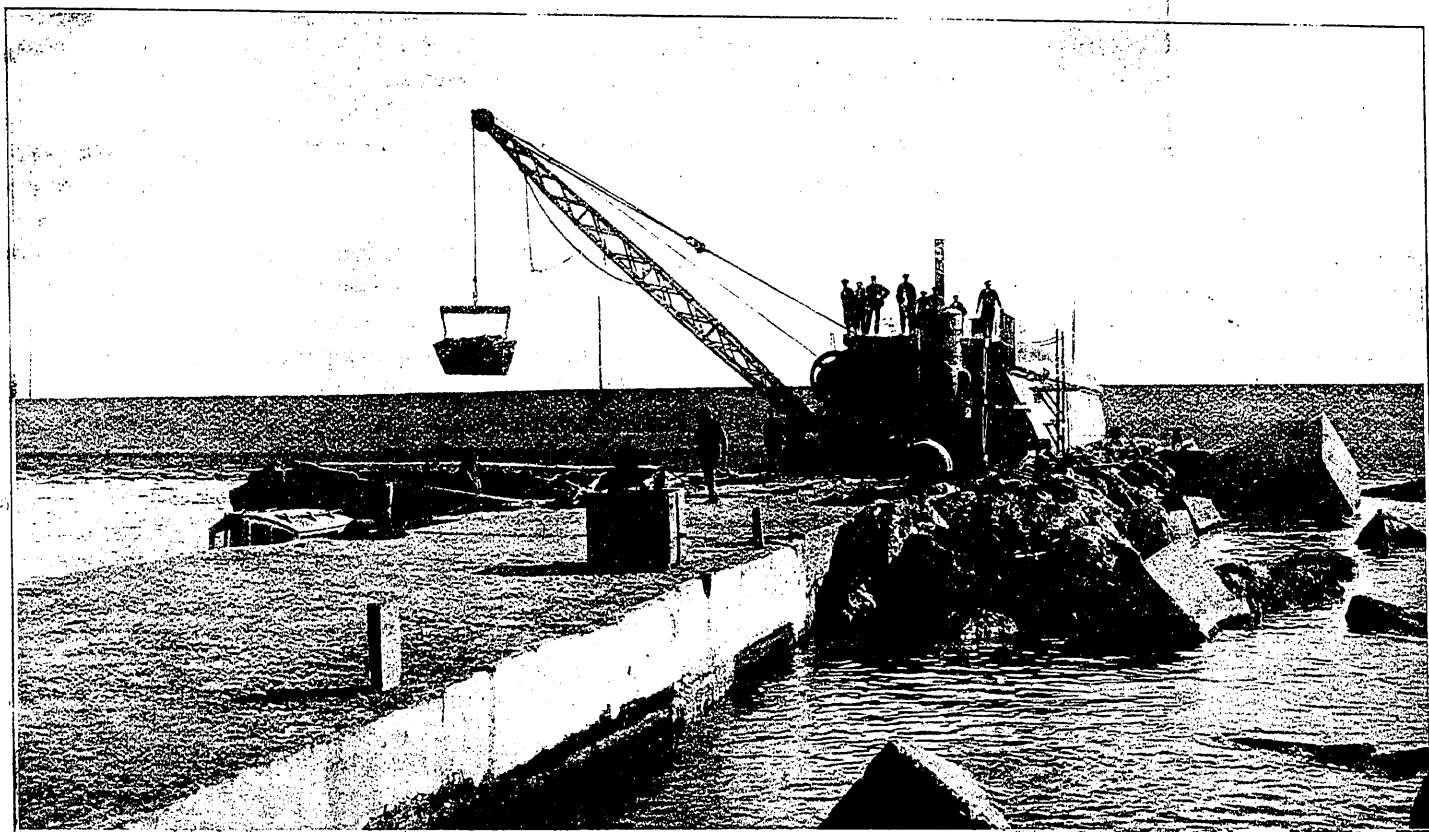
neral, las obras de los basamentos de escollera, fabricación de bloques y grandes cajones, y los hormigones sobre el nivel del mar se ejecutaban en invierno, dejando para el verano la colocación y relleno de dichos cajones y el hormigón de la plataforma; pero de nada servía en algunas ocasiones formular un plan bien estudiado para ejecutar determinada parte de la obra, pues por el estado del mar, por un temporal ocurrido ó

dían transportar la escollera gruesa; tres grandes chalanas de cubierta plana del sistema especial de vuelco á merced de unos compartimientos laterales en donde se dejaba entrar el agua, capaces para conducir de 125 á 140 metros cúbicos de escollera gruesa; tres gánguiles de 80 á 100 metros cúbicos para la de pequeñas dimensiones; cuatro barcazas de cubierta plana para la piedra machacada y mampuestos, pudiendo traer de 180 á

200 metros cúbicos. Aparte de estas embarcaciones empleadas generalmente en los viajes desde el puerto de Garraf al de Barcelona para el transporte de materiales pétreos obtenidos en aquellas canteras, existían en el último cuatro lanchas para el transporte de las cajas ó vagonetas de hormigón; otra embarcación para almacén de los materiales aglomerantes, cal ó cemento, cuando se fabricaban los hormigones en el mismo rompeolas fuera de los talleres; otra para depósito de la arena; dos lanchas automóviles, etc., etc.

Además de todos los medios y aparatos inherentes á las canteras y puerto de Garraf, donde la explotación se hace en tan vasta escala, en el de Barcelona, según ya hemos indicado, tenía tres completas instalaciones para fabricar hormigón: una, para el de los bloques de 80 toneladas; otra, para el de los grandes cajones, y otra, para los hormigones de los macizos de de-

la parte baja del espaldón y de defensa exterior tuvieran un adelanto de 3 metros por día, á pesar del gran volumen que representan, ejecutándolos en trozos de 6,30 metros de longitud por medio de unos andamios corredizos y tableros, y utilizando las grúas para el vertimiento del material en su sitio, y que con los mismos medios la parte alta del espaldón avanzara unos 8 metros por día laborable. Naturalmente que para lograr todo esto era preciso hacer algún mayor gasto en la mano de obra y en la preparación de los trabajos, pero así lo exigían las condiciones especiales de la construcción; además buena parte ha influido en la consecución de esta marca activa el empleo de la electricidad para el movimiento de casi todos los mecanismos por las facilidades que se obtenían en la instalación de los aparatos que han de funcionar temporalmente y por la comodidad del transporte de la energía por medio de los cables aéreos, pu-



CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPALDONES DEL DIQUE Y DEL ESPIGÓN

fensa y del espaldón; dos centrales eléctricas; tres grúas de vapor de potencia y alcance variable para colocar la escollera gruesa y verter el hormigón conducido en vagonetas, sea en la plataforma, sea en el espaldón y macizo de defensa; otra grúa con una cuchara Prietsmann para la descarga de la gravilla destinada á los grandes cajones; dos tractores eléctricos; multitud de vagonetas y otros aparatos de diversa índole. Empleaba también como medio auxiliar, sea en el puerto de Garraf para el aumento de calado, sea en este puerto para la obtención de arena en grandes cantidades cuando no se podía extraer de las playas inmediatas, una draga de succión de perfeccionado sistema, y asimismo ha utilizado en multitud de casos las cabrias flotantes de 80 y 25 toneladas de propiedad de la Junta, y á lo cual tenía derecho, mediante ciertas condiciones, en virtud de lo estipulado en el pliego de bases de la contrata.

Combinando todos estos medios, tanto para el aporte de los materiales como en la ejecución de las fábricas, os haréis cargo que aprovechando las épocas de bonanza se pudiese colocar, lastrar y rellenar un cajón de tan colosales dimensiones empleando solamente cinco días; que los macizos de hormigón de

diendo con estos recursos emprender hoy trabajos que antes se consideraban como imposibles.

Para la práctica de las distintas operaciones de vertimiento de escolleras y al objeto de marcar las anchuras de los basamentos, se dispusieron en la plataforma superior del actual morro, y en la coronación del espaldón del rompeolas existente, varias señales de forma especial montadas sobre pértigas de bastante altura, en las cuales debían fijarse los Patrones de las embarcaciones, ya que por la situación del nuevo rompeolas no había otro lugar fijo donde emplazarlas. Por otra parte, en virtud de las peticiones formuladas por varias entidades marítimas, el contratista, previa la orden de la Superioridad, instaló una baliza luminosa para limitar la obra ejecutada, trasladándose de emplazamiento á medida que aquélla iba adelantando, y marcando, por su posición y las de otras luces colocadas en la costa y en la coronación del propio rompeolas, la entrada de los buques al puerto de acuerdo con las instrucciones dadas á los navegantes.

Excuso relacionar la serie de averías y pérdidas ocurridas en todo este material afecto á los trabajos; tratándose de una

obra tan importante y en mar libre, de tan larga duración y con los incidentes que en sí llevan consigo los transportes marítimos, seguramente habrían de ser en gran número; por fortuna, gracias á los constantes cuidados, allí no lo han sido, como tampoco han ocurrido averías de entidad en la obra, según ya veremos; no obstante algunas pérdidas han tenido lugar y entre ellas mencionaremos: la de un gánguil que dejó el remolque y quedó varado en la costa; la de un barco portador llamado *Diez* que naufragó á la salida del puerto de Garraf, embarrancando en la playa, y de otro igual á éste con el nombre de *San José* que fué embestido en aguas del antepuerto de Bar elona y en la proximidad del rompeolas, por el vapor *Miramar* que salía para Palma de Mallorca.

CANTIDADES DE OBRA QUE ENTRARÁN EN LA EJECUCIÓN DEL ROMPEOLAS. —En párrafos anteriores os he indicado que en el estado que hoy se encuentra la obra, si bien no está terminada, podía casi afirmarse que en lo que falta, no era fácil que se presentasen nuevos problemas que resolver; á esto debo añadir que, como quiera que las fábricas á construir son todas ellas de macizos de hormigón superiores al nivel del mar, á excepción del vertimiento de algunos bloques y escollera gruesa de defensa exterior de los dos morros y la reposición de estos mismos elementos en algunas zonas del rompeolas propiamente dicho, abrigo la creencia de que el total de las cantidades de fábrica que entrarán en la ejecución, diferirá muy poco de las que se han calculado en el último y vigente estudio para esta construcción, y que son las siguientes:

- 1.020.848 metros cúbicos de escollera de mampuestos vertida.
- 7.747 ídem íd. de íd. de mampuestos colocada.
- 268.455 ídem íd. de íd. gruesa vertida.
- 163.397 ídem íd. de íd. gruesa colocada.
- 246.100 ídem íd. de hormigón con cal hidráulica en 7.082 bloques de 80 toneladas arrojados.
- 1.092.400 kilogramos de hierro fundido en 14.164 placas de fundición para suspender los bloques.
- 81.605 metros cúbicos de hormigón con cemento portland en macizos y bloques.
- 345 ídem íd. de íd. con cemento portland sumergido.
- 150 ídem íd. de íd. con cemento portland sumergido en sacos.
- 38.855 ídem íd. de íd. con cal hidráulica en macizos.
- 46 ídem íd. de mampostería con cal hidráulica.
- 91 grandes cajones-bloques, que representan una longitud aproximada á 2 kilómetros.
- 19.612 kilogramos de hierro laminado en varillas de refuerzo para los cajones.
- 1.200 metros cúbicos de hormigón en 100 bloques extraídos del antiguo morro.
- 2.800 kilogramos de hierro laminado en varillas para las escaleras.
- 1.200 metros cúbicos de tierra ó arena para relleno de las plataformas de los morros.

Os he presentado estas cifras de las diversas cantidades de obra que han de entrar en el rompeolas de Levante del puerto de Barcelona, y como mi deseo es que os quede alguna de ellas grabada como recuerdo en vuestra memoria, estableceré alguna comparación para fijar la importancia de los números.

Para que pueda formarse idea solamente de los volúmenes de piedra para escolleras, os diré que su total bastaría para llenar una calle como la de Alcalá de esta Corte hasta enrasar con los tejados, en el supuesto de ser las casas de 20 metros de altura, si tuviese una anchura media como la que hay frente al Casino de Madrid, y una longitud de 2 kilómetros, aproximadamente.

Las amplitudes que alcanza el basamento de escollera en el fondo del mar son considerables, oscilando, por lo general, entre 70 y 100 metros, y pasando de esta cifra en algunos puntos del rompeolas; en el morro, son mucho mayores, pues lle-

gan á la de 130 metros. Si fuera posible examinar la obra en seco, nos asustaría sobremanera ver un macizo concertado de 15 metros de altura sobre una base de piedra en seco, que en muchos sitios pasa de la cota de 12 metros, sin que se hayan presentado apenas grietas de alguna entidad.

Y muy grato, señores, me es consignar aquí la circunstancia de que en esta obra, que reúne las condiciones de ser muy importante, porque ha transformado radicalmente el puerto dotándole de perfecto abrigo, ha mejorado la entrada de los buques y facilitado el desarrollo de las dársenas y demás instalaciones interiores, de ser grandiosa por sus dimensiones y la de algunos elementos que lo integran, de ser muy conveniente, porque aparte de las ventajas mencionadas proporciona, junto con el antiguo rompeolas, un magnífico paseo marítimo, elevado á prudencial altura para solaz de los habitantes, lo que es de apreciar, sobre todo en poblaciones como Barcelona, que no los poseen del lado de la ciudad, y, por último, de ser de difícil ejecución por su emplazamiento en mar libre, no hayan intervenido, tanto en sus estudios y proyectos como en los múltiples y variados trabajos durante la construcción más que Ingenieros españoles, considerando de justicia que en esta ocasión, como un tributo de recuerdo, cite los nombres de mis compañeros D. Andrés Monche, Ingeniero Director de la contrata, que desde un principio ha dado en su difícil cargo pruebas de su vasta competencia, y D. Justo Gonzalo, Ingeniero afecto á la misma durante muchos años, que le ha prestado una eficaz cooperación tomando parte principalísima en la resolución de los múltiples problemas que se le han presentado.

A ellos se debe buena parte del éxito alcanzado en estos trabajos.

RELACIÓN DE LAS PRINCIPALES AVERÍAS OCURRIDAS EN EL CURSO DE LA CONSTRUCCIÓN POR LOS TEMPORALES, Y ENSEÑANZAS QUE DE ELLAS SE DERIVAN.—Han sido, naturalmente, en gran número los temporales que han tenido lugar en el largo curso de esta construcción, pero sólo mencionaremos los que han revestido cierta importancia.

El primer temporal registrado, estando ya un poco avanzada la parte de obra sobre el nivel del mar, fué de gran intensidad, ocurriendo durante los días 23 y 24 de Enero de 1907; empezó con viento SE. duro, que pasó pronto á Levante y acabó en NE.; sus efectos fueron de mucha entidad y bastante perjudiciales para el rompeolas, pues descalzando el oleaje la banqueta de escollera pequeña, hizo volcar los dos últimos cajones-bloques, de los números 5 y 6, que sobre ella descansaban y que se habían colocado en los meses de Junio y Septiembre anteriores, rompiendo uno de ellos y trasladando el otro á algunos metros de su emplazamiento. Las averías fueron reparadas en breve plazo, construyéndose un muro con bloques de 80 toneladas y rellenando el interior con hormigón y escollera gruesa, con lo que pudo continuarse la obra sin interrupción.

En el año siguiente de 1908 fueron ya más fuertes los temporales, produciendo también uno de ellos sensibles averías. En 22 de Agosto, á pesar de ser una época de calma, al día siguiente de colocar el cajón-bloque núm. 16 con toda seguridad y cuando no había motivo para sospechar la presencia de temporal alguno, sopló un viento duro de Levante, que volando pronto al NE., levantó grueso oleaje, rompiendo las paredes del cajón en su zona más elevada y removiendo la parte terminal del macizo de escollera gruesa situado entre la restinga de bloques arrojados y el basamento del espaldón. La rotura del cajón-bloque hizo difícil su relleno, teniendo que apelar al empleo de grandes sacos de hormigón y cantos de escollera

gruesa para continuar las paredes y rellenar en parte, logrando por fin completar el macizo con hormigón.

Unos meses más adelante, en el de Noviembre, sobrevino en el día 16 un fuerte temporal con viento SE.; continuó todo el día y el siguiente con la misma intensidad aunque cambiando al Levante y al NE., rompiendo el oleaje contra las escolleras y saltando el agua en grandes masas por encima de las fábricas ejecutadas, tanto del antiguo como del nuevo rompeolas. Las consecuencias de todo ello se redujeron á que tres de los grandes monolitos, los señalados con los números 13, 14 y 15, fueron volcados y separados de su emplazamiento á algunos metros de distancia; otro, el núm. 16, que era el que se había roto durante la construcción, quedó deshecho y ligeramente trasladado, y, finalmente, el núm. 17, que era el último, que se había colocado, y que se encontraba, al parecer, en peores condiciones de resistencia por constituir entonces la parte terminal de la obra, no se movió de su emplazamiento ni sufrió alteración alguna. Al propio tiempo se notó alguna remoción en la restinga de bloques arrojados de 80 toneladas, produciéndose un notable asiento en esta masa, de tal suerte que, en toda la primera parte de la obra en que se hallaban ya construídos los macizos de hormigón de defensa, quedaron éstos casi al aire, sin unión alguna entre ellos y la citada restinga por haber desaparecido también el cordón de escollera gruesa que los enlaza.

Además, era de tal altura é intensidad el oleaje, que barría con gran fuerza todo cuanto hallaba á su paso, levantando de cuajo una caldereta vertical de una grúa situada en la coronación del antiguo rompeolas; y en las obras de prolongación que se efectuaban, fueron volcados y echados al interior del puerto muchos elementos del material auxiliar del contratista, como andamios, vías, etc., y dos trenes completos de fabricación de hormigón, situados uno de ellos, el destinado á la plataforma interior, á 2 metros sobre el nivel del mar, y el otro, afecto á la ejecución del espaldón, á 5,50 metros sobre el propio nivel.

Las circunstancias que concurrían en los grandes bloques volcados nos demostraron que estos elementos, después de colocados y rellenados, se mantenían firmes en su posición y podían resistir los más violentos temporales, si estaba completa la restinga de bloques arrojados que los defiende, así como el manto de escollera gruesa del revestimiento del talud interior de su basamento, y, sobre todo, si se había construído la capa superior de hormigón que enlaza á dichos grandes bloques y constituye la vasta plataforma de asiento del espaldón y de su macizo exterior de abrigo.

En efecto, al sobrevenir el temporal citado, faltaba dicha plataforma de hormigón en los cinco grandes monolitos antes reforidos; frente del último y algo en el anterior, era bastante crecida la restinga de bloques arrojados, y como aquellos monolitos fueron los posteriormente colocados y no pensaba poner otro alguno en dicha campaña, se había vertido bastante escollera gruesa para defender el talud interior; en los tres anteriores era escasa todavía esta capa de escollera de revestimiento, y algo débil, á causa de los asientos, la restinga de bloques arrojados, hallándose terminado, en cambio, el macizo de grandes cantos de piedra que separa á esta restinga de los elementos monolíticos.

Las causas de esta importante avería se explican por las siguientes consideraciones. Al encontrar la ola la restinga de bloques de 80 toneladas que constituye la parte exterior de la construcción, rompe con violencia; no existiendo todavía el macizo de hormigón de abrigo y el espaldón, los paquetes lí-

quidos se precipitan sobre el prisma de escollera y los bloques monolíticos; como toda esta masa de fábrica se eleva apenas un metro sobre el nivel del mar, deja libre paso á la impetuosa corriente que produce la ola rota, y animada aquella masa líquida de la fuerza viva correspondiente á su rápido movimiento de traslación cae en el agua relativamente tranquila del interior del puerto, y si bien al penetrar en ella consume una parte de su energía, conserva la suficiente para producir socavaciones en la banqueta y talud interior del basamento, que sólo alcanza la profundidad de 6 metros y se halla formada por débiles cantos de escollera de mampuestos. Iniciada la socavación, el monolito va perdiendo su estabilidad á medida que se estrecha la base de sustentación, hasta que dominando el empuje horizontal que el golpe de la ola ejerce sobre su paramento externo le obliga á volcar, quedando apoyado por su cara lateral en el talud de la escollera, posición muy favorable para su corrimiento á lo largo del mismo talud y bajo la acción continuada de las rompientes.

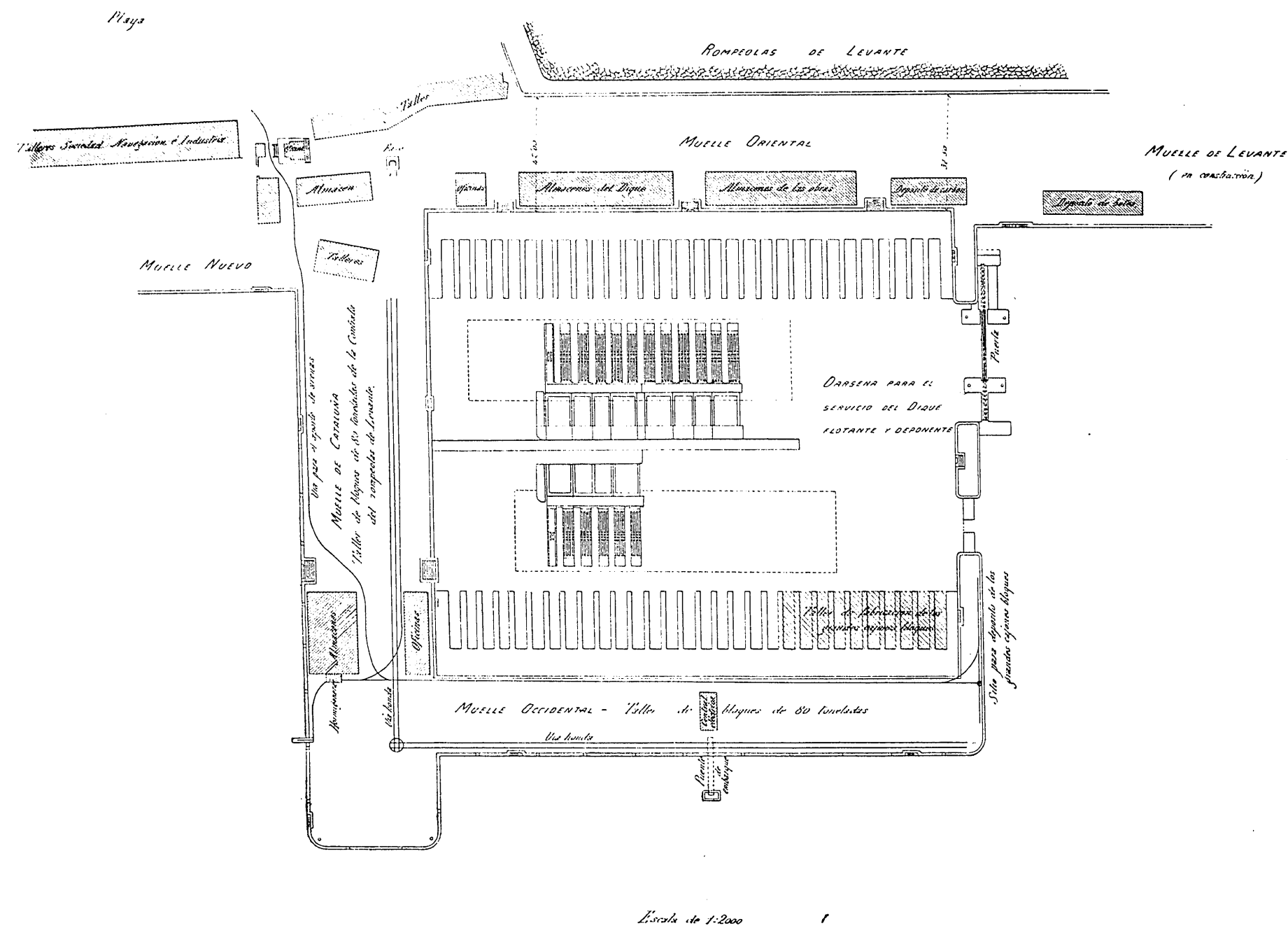
Al finalizar el año 1910, en los días 28 y 29 de Diciembre, tuvo lugar otro temporal de mucha intensidad con mar del Sudoeste, que roló más tarde al primero y cuarto cuadrantes, batiendo con fuerza el oleaje toda la parte recrecida del espaldón del antiguo dique, y pasando en las obras de la prolongación por encima del macizo de abrigo, removiendo la restinga de bloques y el cordón de escollera gruesa, y destruyendo todos los andamiajes que el contratista tenía para construir aquel macizo y la parte baja del espaldón, pero sin causar avería alguna de importancia en las fábricas concertadas.

En el día 13 de Enero siguiente surgió otro temporal muy fuerte con viento del NE., que duró hasta el día 16, volando hacia el NE. y volviendo más tarde al primero y casi al Levante; la mar estaba muy arbolada, las olas llegaron á la parte alta del espaldón derribando las casetas allí establecidas, volcaron los andamiajes para la ejecución de aquella parte y las grúas y hormigoneras para construir la plataforma, que si bien se encontraban á 2 metros sobre el mar, estaban solidamente amarradas. Este temporal se dejó sentir en toda la costa, causando grandes daños, sobre todo en algunos puertos del Norte. En el nuestro sólo produjo remoción de las masas de fábrica arrojadas y asientos en los monolitos.

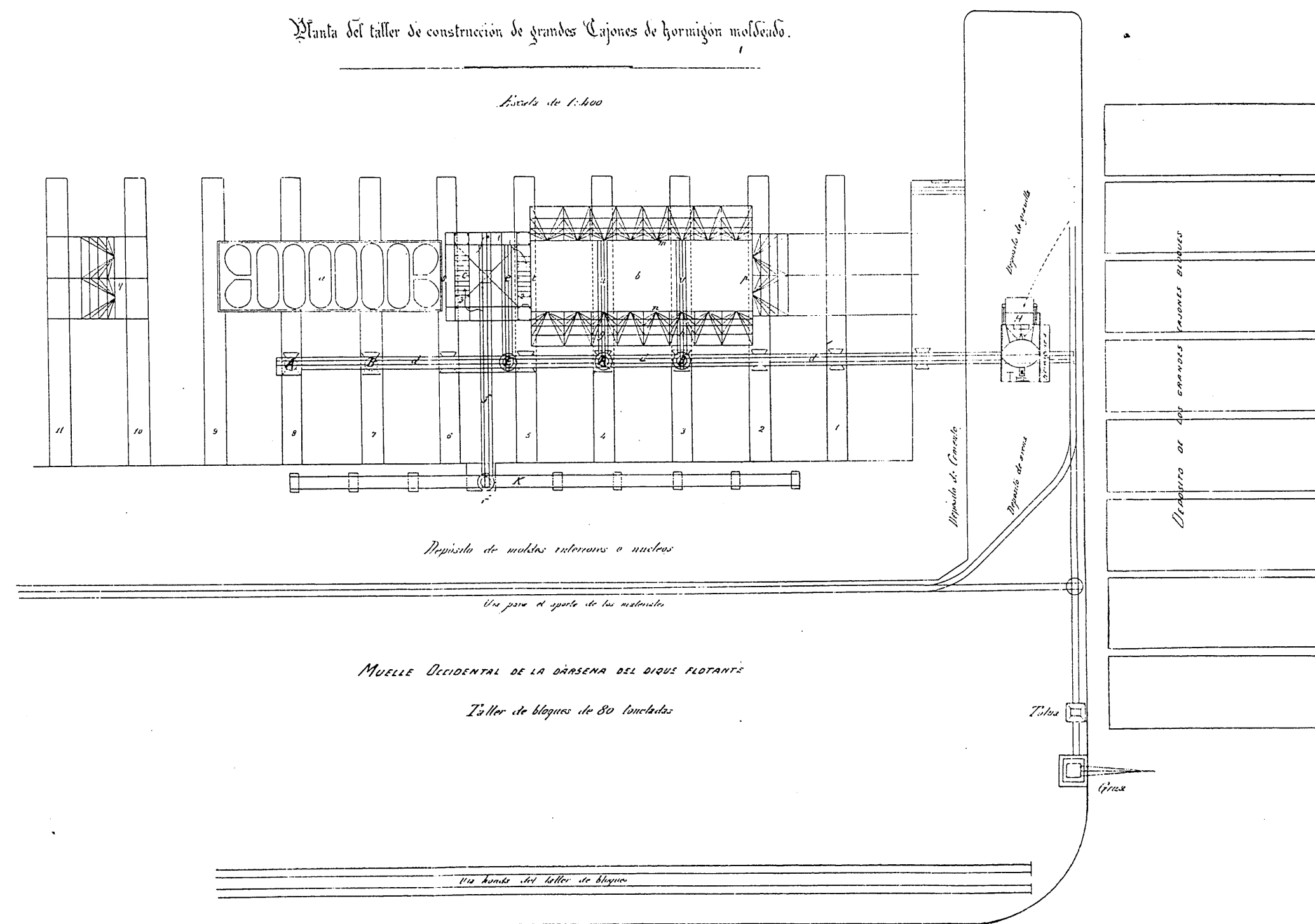
Pocos días después, en la mañana del 31 del propio Enero, se presentó de un modo rápido un violento temporal del Nordeste, con fuerte viento y oleaje; por la tarde cambió el viento un poco pasando más á Levante, pero siendo el mar imponente al anochecer. Varias lanchas pescadoras que fueron sorprendidas por el temporal, no pudieron entrar en el puerto por falta de gobierno á causa del viento huracanado y zozobraron en las playas próximas, produciendo, por desgracia, algunas víctimas, como las hubo también en otros puertos de la costa de Levante. Al día siguiente continuó el temporal con viento NE. y la mar gruesa, pasando los rociones por encima del recrecimiento del espaldón del antiguo rompeolas coronado a 9,50 metros sobre el agua; por la tarde, amainó algo el viento pero no la mar que continuaba muy arbolada y barría por completo la parte baja del espaldón del nuevo dique que tiene una altura de 5,50 metros, después de romper contra la restinga de bloques, la escollera gruesa y las banquetas del macizo de defensa. En las obras en construcción, produjo sólo el levante de algunos trozos pequeños de hormigón de este macizo y de la plataforma y la remoción de los bloques de 80 toneladas, sufriendo en conjunto la restinga un notable asiento.

Otros varios temporales tuvieron lugar durante el curso del mismo año de 1911, alguno de ellos muy intenso, pero afortu-

Plano general de la Darsena del Dique Potente y Depósito con el emplazamiento del taller de fabricación de los grandes cajones de hormigón para la prolongación del rompeolas de Levante.



Planta del taller de construcción de grandes Cajones de hormigón moldeado.



nadamente no produjeron averías de entidad en la obra; motivaron sólo la paralización de los trabajos en los macizos concertados, por haber derribado los andamiajes y aparatos de la contrata.

En el año 1912, después de un temporal en el mes de Enero y otros dos en el de Abril, en los que dominaron los vientos del primero y segundo cuadrantes, y que, á pesar de ser bastante duros, no causaron apenas daños en la construcción, se presentó otro de gran intensidad en la noche del día 5 al 6 de Octubre, pocas horas después de haber acabado de rellenar el último cajón de aquella campaña, siguiendo todo el día 6 hasta la mañana del 7. La mar estaba muy arbolada; las olas, salvando sin dificultad los escalones del macizo de defensa del nuevo dique, echaron al agua los moldes y andamiajes para construir las dos zonas del espaldón, y dos grúas de vapor empleadas para el vertido de hormigón que estaban fuertemente amarradas y una de ellas situada á la altura de 5,50 metros sobre el nivel del mar. En las obras se observó la desaparición de muchos metros cúbicos de escollera gruesa del cordón, y un descenso apreciable en la restringa de bloques; en cambio, los últimos monolitos colocados, si bien se rompieron algunos pequeños trozos de sus paredes, sin duda por la remoción á que fueron sometidos, no sufrieron avería alguna de importancia, sólo los dos más recientes se inclinaron un poco por no estar tan protegidos con el manto interior de escollera gruesa.

Durante el año 1913, si bien fué pródigo en temporales y hasta en los meses de verano apenas si hubo día completamente tranquilo, no fueron aquéllos por fortuna de gran intensidad; sólo al final, en la noche del 19 al 20 de Diciembre se presentó uno con mar del golfo de Lyon, bastante fuerte, que removió en gran escala las masas de fábrica arrojadas y derribó los andamiajes, las grúas y vías de la contrata.

Casi lo mismo podemos decir del pasado año de 1914. Transcurrió casi todo él con bastantes marejadas y con un verano muy desigual, en el que fué imposible lograr varios días seguidos con tranquilidad; pero al anochecer del día 20 de Noviembre tuvo lugar un fuerte temporal que siguió toda la noche y el día 21 con gran ímpetu, amainando por fin un poco en la mañana del 22. Sin que la obra del rompeolas se haga temer por su falta de resistencia, ni mucho menos, puede muy bien afirmarse que de todos los temporales ocurridos durante la ejecución, éste ha sido, sin duda, el que más daño ha causado en el macizo de bloques y en el cordón de escollera gruesa, ocasionando la desaparición de mucha cantidad de piedra en casi toda la longitud, aun en los puntos que se había repuesto hacía pocos meses. Como la mar venía del NE., ha producido en estas masas arrojadas del exterior del rompeolas el efecto de una potente escoba, barriendo los cantos de escollera é introduciéndolos en los huecos del macizo de bloques. En la parte concertada de la obra, sólo se han producido ligerísimas averías; pero por los desportillos causados en las aristas del primero y segundo escalones del macizo de defensa y las señales encontradas en las banquetas y paramentos verticales de aquéllos, se deduce que los referidos cantos de escollera gruesa del cordón fueron lanzados á modo de proyectiles contra dichos escalones, y que las olas, después del choque contra éstos, tenían aún bastante fuerza para arrastrar las piedras en su caída haciéndolas desaparecer entre los huecos de los bloques de la restringa. No sólo será preciso reponer el cordón de escollera gruesa, sino también muchos de estos bloques por el notable descenso que ha experimentado el macizo. Los diez monolitos que se han colocado y rellenado durante la pasada campaña de verano constituyendo todos juntos un sólido basamento de planta cuadra-

da y de 38,50 metros de lado para servir de apoyo al futuro morro, han sufrido una considerable remoción y un notable asiento, y en las obras del antiguo dique también se han registrado fenómenos muy curiosos que demuestran la violencia de este temporal.

Por la sucinta relación que acabo de hacer de los temporales ocurridos durante la ejecución del rompeolas y de las averías que en el mismo han ocasionado, os habéis hecho cargo de que éstas apenas si han tenido importancia, pues se refieren casi todas, únicamente á pérdidas de elementos en las masas arrojadas, de fácil reposición en épocas de calma; la obra, en conjunto, ha resistido valientemente todos estos fenómenos marítimos y eso que alguno de ellos surgió con extraordinaria violencia y presentaba muy mal cariz para que, fundadamente, se temiesen sus destructores efectos.

Bien es verdad que el Mediterráneo no ha sido nunca tan temible como el Atlántico, pero no dudéis que también el Mar azul, como suele llamársele, sufre accidentes peligrosos, durante los cuales no hay barrera con fuerza bastante para oponerse á su paso.

¡Oh, el mar, señores!; os repetiré aquí las bellas frases de un ilustre Ingeniero.

¿Habéis podido contemplar jamás nada más uniforme ni más variado, nada más tranquilo ni más agitado, nada más bello ni más imponente?

¿Esa superficie tersa y cristalina que se pierde en lejano horizonte confundiendo con el azul del cielo en un día de calma y que presenta entonces una admirable monotonía, no la habéis visto en el siguiente momento, en intranquila ebullición como si en su interior existiese una causa perturbadora?

¿No le habéis contemplado graciosamente rizado comunicando á los barcos que flotan sobre sus aguas un acompasado y agradable movimiento ondulatorio, y aparecer después agitado, espumoso, terrible, levantando con furioso ímpetu montes de agua, poniendo en peligro cuanto sus olas alcanzan?

¿No le habéis admirado y temido viéndole estrellarse con vertiginoso impulso sobre los obstáculos que se oponen á su movimiento, deshaciéndose y convirtiéndose en inmensas masas y torbellinos de espuma, luchando y agotando toda su fuerza viva, con choque destructor, contra el dique que encuentra en su camino?

También muchos de vosotros habréis observado, aparte de ese cambiante de luces y de colores que dan al mar un aspecto tan variado, las diferencias que se advierten en las distintas zonas de su superficie, así como la facilidad con que los cuerpos que flotan se trasladan de un paraje á otro, y la dificultad para la boga, en ciertos días y en determinadas direcciones.

Pues bien, señores; tales efectos son producidos por los vientos y las corrientes, y á las marejadas que llevan consigo los vientos y las corrientes, hay que oponer los diques ó rompeolas para proporcionar el abrigo necesario en los puertos.

Por otra parte, un estudio detenido de los vientos dominantes en los temporales habidos durante los últimos años y de los efectos producidos en la obra de que tratamos y en las demás del puerto, nos induce á formular algunas consideraciones, que tienen alguna relación con lo consignado en páginas anteriores.

Hasta hace poco tiempo, y desde que del puerto se tiene noticia, la marcha general de las corrientes litorales era de Norte á Sur; de suerte que aquél se ha creado y se ha ido ampliando

merced á las sucesivas prolongaciones del dique de Levante, obligadas porque el incesante avance de las arenas del Besós formaban las peligrosas tascas ó burras que interceptaban la entrada al fondeadero. El ilustre Ingeniero Sr. Rafo, en su concienzudo proyecto del puerto de Barcelona, después de una investigación profunda de las causas que motivaban el movimiento de las arenas, ya dedujo la consecuencia siguiente: la marcha general de las arenas es de Norte á Sur, arrastrándose casi por la orilla. Pues bien, en estos últimos años es tal la frecuencia con que tienen lugar los vientos Sur y SE., que antes, si bien con gran violencia, solo soplaban muy de tarde en tarde, que pueden considerarse como dominantes; es más, si ocurre un temporal con viento y mar de Levante ó NE. que arrastra las arenas depositándolas en la playa á redoso del trozo primitivo de rompeolas, con seguridad que no acaba su duración sin pasar el viento al SE., barriendo la arena y descartando por completo la playa antes formada.

Hemos podido apreciar también que las corrientes y marejadas han producido en los basamentos de escollera pequeña del rompeolas remociones de mucha importancia, haciéndoles tomar taludes muy tendidos, sobre todo si están á profundidades menores de 9 metros; lo que nos indica que es sumamente difícil en los proyectos asignar á las líneas terminales de estos macizos la verdadera inclinación, pues el mar se cuida de que tengan la que le conviene; cierto es, que para formular un presupuesto hay que darle una cualquiera que sea racional, y por eso, proponemos nosotros que en rompeolas de las condiciones como el que tratamos, se dé, cuando menos, el 2 de base por 1 de altura á los taludes interiores y el 3 por 1 á los exteriores, por poco efecto que sobre ellos hayan de tener las marejadas.

Se ha notado asimismo que los temporales remueven constantemente las masas arrojadas próximas al nivel del mar, asentándolas sin cesar de modo que los elementos pequeños vayan ocupando los huecos de los de mayores dimensiones, lo que requiere en esta clase de macizos una continua reposición para tener siempre las necesarias garantías de solidez y resistencia.

En cambio, en las partes concertadas, á pesar de que alguna de ellas, como el bloque escalonado de defensa, se encuentra apoyada en el prisma de escollera gruesa, no se ha observado apenas movimiento alguno. En los bloques monolíticos tampoco se han apreciado roturas en los notables descensos que han sufrido, y que, por lo general, han sido de un metro, hincán-

dose, por decirlo así, en su basamento de escollera, con lo que se aumenta su estabilidad.

Estos han sido los fenómenos más interesantes que han tenido lugar durante la ejecución de las obras.

Y permitidme ahora, señores, que no termine esta somera descripción del rompeolas de Levante del puerto de Barcelona—así había de ser en este acto, tratándose de una obra de tanta importancia y que tantas vicisitudes ha pasado durante el curso de su construcción—sin hacer antes dos manifestaciones. Es la primera, que considero también en suma justicia citar el nombre de mi distinguido compañero el Ingeniero don Fernando Rojo, que empezó su labor en la carrera y al servicio de la Dirección de las obras, auxiliando eficazmente en la redacción del primitivo proyecto del rompeolas, y que luego, en los varios años que estuvo afecto á la misma, dejó bien marcados los trazos de su potencia ingenieril en diversas obras y detalles que hoy todavía son objeto de preferente atención por parte de los técnicos.

Es la segunda manifestación relativa á mi humilde personalidad. No extrañéis que me quiera yo sumar á uno de tantos elementos auxiliares puestos en acción para realizar y llevar á cabo con éxito la obra de que he tratado. Desde un principio fui el Ingeniero designado por la Dirección para la inspección y vigilancia de la misma; he presenciado todos los incidentes ocurridos en este período de tres lustros que llevamos ejecutándola y he tomado parte muy activa en su resolución; es la obra de mis amores, pues si en las otras muchas del puerto que la Dirección me ha confiado para la construcción directa ó para la vigilancia, he puesto á contribución todos los esfuerzos de mi poca inteligencia y de mi gran voluntad, en aquella lo he hecho en mayor escala por las difíciles circunstancias que en la misma concurrían. Si yo os expusiera las mil y una contrariedades sufridas en el largo curso de esta construcción, á causa de múltiples accidentes propios de estas obras grandiosas ejecutadas en mar libre, así como los goces experimentados al apreciar los avances rápidos en estos últimos años y al obtener las enseñanzas que sólo da la práctica en tales trabajos, comprenderíais indudablemente el inmenso cariño que por tal obra siento y los vivos deseos para su pronta terminación en beneficio y mejora del puerto, pues no cabe duda que las alegrías y disgustos que produce una obra son el más sólido aglomerante para que queden bien arraigados los sentimientos cariñosos hacia la misma.

HE DICHO.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Cálculo de los reóstatos de regulación para motores de corriente continua.

La *General Electric Review* publica algunas fórmulas para calcular los reóstatos de regulación para motores de corriente continua y para los de inducción, fórmulas que presentan algunas ventajas desde el punto de vista práctico sobre las adoptadas en los tratados usuales de electrotécnica.

Representaremos por:

V la tensión de línea en los motores de corriente continua, ó la tensión por fase del rotor en los motores de inducción. En los rotores de estrella se entenderá:

— » la tensión en el centro;

I_1 é I_2 los valores máximo y mínimo de la corriente de regulación, corriente de línea para los motores de corriente continua y corriente de fase del rotor para los de inducción;

R_1 y R_2 las resistencias totales existentes, comprendidas las del motor, por tener estas corrientes su máquina cerrada. O sean

$$R_1 = \frac{V}{I_1}; \quad R_2 = \frac{V}{I_2};$$

S_1 y S_2 las velocidades en revoluciones por minuto, que en el motor-serie corresponden exactamente á I_1 é I_2 ;

S_3 la velocidad, que en el motor-serie corresponde á la absorción de una corriente igual á $1,5 \times I_1$;