

CONSTRUCCION DE UNA GRADA PARA BUQUES DE 24 000 TONELADAS DE DESPLAZAMIENTO

Por JUAN DE ANGULO, Ingeniero de Caminos.

Nos complacemos en dar a conocer a nuestros lectores algunos detalles interesantes acerca de la terminación de esta importante obra, de la que hemos tratado en estas páginas en años anteriores, y que presenta un sistema constructivo de indudables ventajas técnicas y económicas, según muy autorizadas opiniones en la materia.

Con este mismo título, y en esta REVISTA, publiqué, en noviembre de 1943, un artículo dando a conocer el proyecto de grada para buques de 24 000 toneladas de desplazamiento, proyectada para los Astilleros de la Unión Naval de Levante, en el puerto de Valencia, la que, por su importancia y modalidad constructiva, no corriente, constituyó una novedad; dicho artículo fué reproducido en las principales revistas del extranjero.

Terminada la obra, a los tres años, redactamos el presente artículo, que puede considerarse como la segunda parte del ya publicado; en él señalaremos las modificaciones introducidas en el primitivo proyecto, haciendo seguidamente una sucinta reseña de la construcción en general, y más determinadamente de la antegrada, que, por las dificultades propias de esta clase de obra, construída por debajo del nivel de las aguas del mar, fué objeto de la mayor atención.

Tan sólo dos modificaciones de importancia, que no suponen variación esencial del sistema, se han introducido durante la ejecución de las obras. La primera, supone un aumento en el número de pilotes hincados en las zonas III y IV y antegrada, aconsejado por la naturaleza del terreno encontrado al agotarse el recinto formado por el tablestacado del perímetro de la obra, reduciéndose la carga de cada pilote a 25 Tn., y la segunda, debida a las necesidades particulares de la Unión Naval de Levante, que hizo sustituir las dos bóvedas proyectadas en el origen de la grada, por un espacioso pañol, dedicado a almacén de herramientas, reduciéndose paulatinamente en esta parte de obra el ancho total del plan de la grada al de la losa de picaderos e imadas, que en previsión de construcciones futuras quedó ampliado, de los 8 m. proyectados a los 10 m. construídos, lográndose una mayor seguridad en el reparto de las presiones, principalmente en las operaciones preliminares de la botadura.

El pañol de herramientas, por las sobrecargas anormales que ha de resistir su cubierta, o sea el piso de esta parte de grada, ha sido objeto de labo-

rioso estudio por nuestro compañero D. Luis Janini Cuesta, que ha sido un magnífico colaborador en la construcción de esta importante obra.

Como sobrecarga se fijó la de 10 Tn. por m.², teniendo en cuenta que, si bien en esta extremidad de la grada el buque en sí no sobrecarga sensiblemente, es sitio obligado para depósito de cadenas, anclas, etcétera, materiales de poco volumen y gran peso.

Sin embargo, en previsión de futuras necesidades, que hicieran conveniente prolongar esta grada, se ha proyectado esta zona con las sobrecargas de 70 toneladas por metro lineal en picaderos y 35 toneladas sobre cada viga de apoyo de las imadas.

Esta sobrecarga obligó a la construcción de un robusto forjado (fig. 1.^a) de piso, apoyado sobre pilares distanciados entre ejes en sentido longitudinal 3,60 m., y transversalmente, a 3,50 m., los extremos de sus inmediatas, y a 3 m. las restantes.

Proyectada la estructura en hormigón armado, quedó fijada la sección cuadrada de los pilares en 0,80 m. de lado, los centrales, coincidentes con el eje de la zona de picaderos, y de 0,60 m. de lado, los restantes. Entre estos pilares se sitúan las vigas longitudinales, de 1,20 m. de canto, con un ancho igual al de los pilares que encepán, y transversalmente y coincidiendo con los pilares, vigas transversales de 0,60 m. de altura, sobre todo el conjunto gravita la losa de 0,40 m. de espesor.

En el cálculo se tuvo en cuenta la hipótesis más desfavorable a base de las sobrecargas dichas y las accidentales durante la construcción del buque.

La viga longitudinal central, que por coincidir con el eje de los picadores es la que ha de resistir mayor carga, se armó disimétricamente con 6 redondos de ϕ 36 mm. inferiormente, y 4 redondos de ϕ 22 mm. superiormente; las inmediatas, menos cargadas con los mismos diámetros de barras, reduciendo en una las armaduras superior e inferior, y las vigas restantes se armaron inferiormente con 4 redondos de ϕ 22 mm., y superiormente con 3 de ϕ 20 mm. La armadura de las vigas transversales se fijó a base de 4 redondos situados superiormente, e

inferiormente 4 redondos en los tramos extremos y 6 redondos en los tramos centrales, todos ellos de 22 milímetros de diámetro.

La armadura de los pilares queda formada por 12 redondos de ϕ 22 mm. en los extremos, y de igual

El espesor de la losa propiamente dicha quedó fijado en 0,50 m.; la altura de los nervios, en 1,50 metros, y su ancho, en 0,80 m. La armadura de las vigas longitudinales se proyectó simétrica, a base de 5 redondos de ϕ 22 mm. en el tramo central, y 5 re-

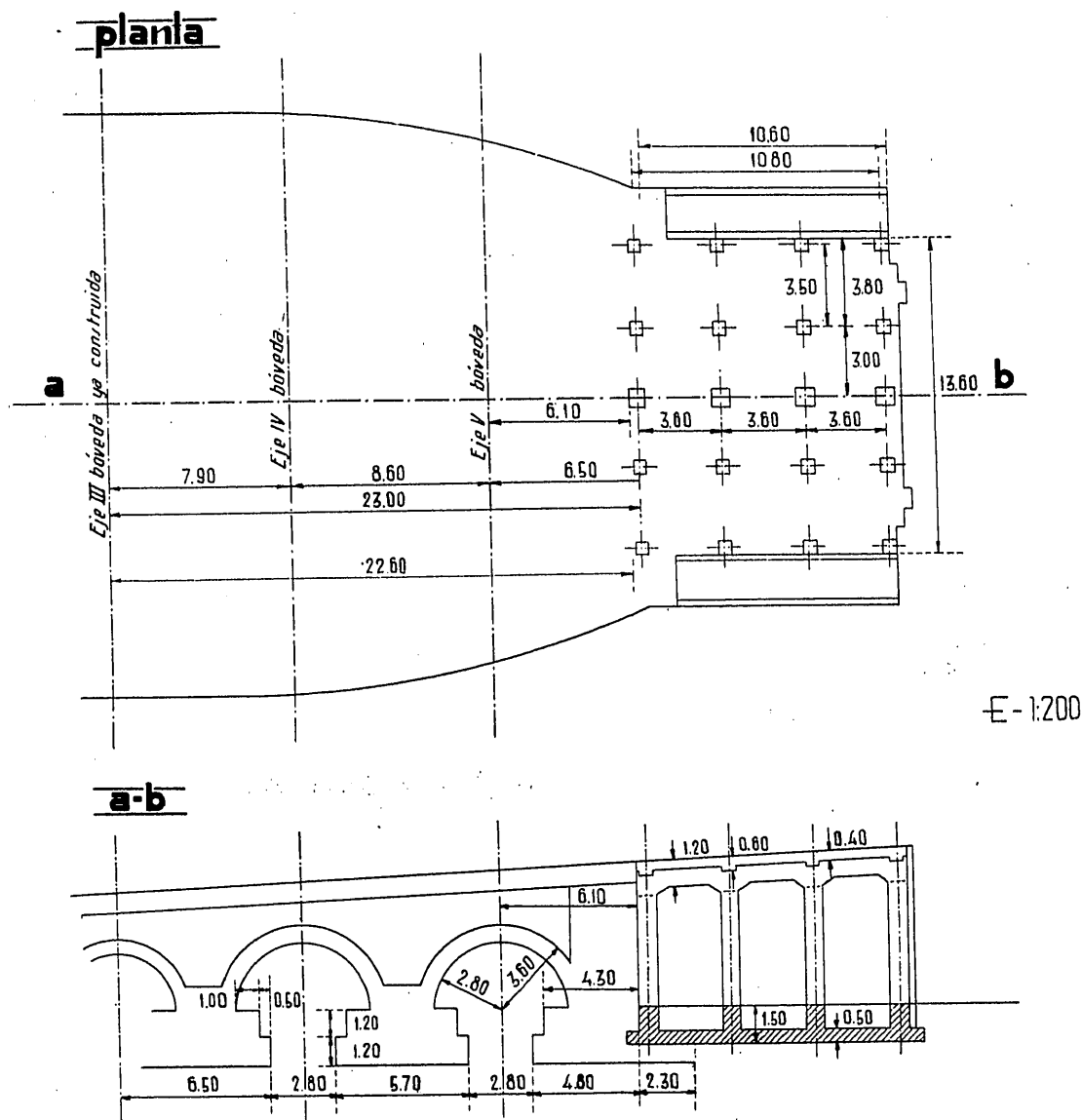


Fig. 1.^a. — Modificación introducida en la parte posterior de la grada.

número de barras, pero de 36 mm. de diámetro, los restantes.

Todo este conjunto gravita sobre la losa de cimentación, calculada como flotante, como los demás elementos de la grada, a base de losa con nervios en sus dos direcciones, que determinan una cuadrícula en cuyos vértices se encuentran situados los pilares.

dondos de ϕ 20 mm. en los extremos. Las dos vigas transversales extremas se arman, en sus tramos centrales, con 4 redondos de ϕ 28 mm. inferiormente, y con 5 de ϕ 22 mm. superiormente, y en sus tramos extremos, simétricamente, con 5 redondos superiores, e inferiores, de ϕ 20 mm. Las dos vigas transversales intermedias, con 6 redondos inferiormente y



Figura 2.ª.



Figura 4.ª.

4 superiormente, de ϕ 28 mm. en sus tramos centrales, y con 5 redondos de ϕ 20 mm. inferiormente, y 6 redondos de ϕ 22 mm. superiormente en los tramos extremos.

La losa superior o de piso, se arma con 10 redondos en sus dos sentidos, de diámetro de 12 mm., y la zapata inferior de fundición, con 8 redondos de ϕ 12 milímetros por metro lineal, igualmente en sus dos sentidos.

Las obras dieron comienzo, con la hinca de la primera tablestaca, el día 4 de febrero de 1943, quedando cerrado el recinto de la grada propiamente dicha el día 24 de septiembre de 1943, después de haber sido hincadas 577 tablestacas.

La hinca de tablestacas, tanto las que forman el recinto de la grada como las de la antegrada, no ofreció dificultad alguna, realizándose, como ya se expuso en esta REVISTA en el artículo citado de noviembre de 1943, con un martinete a vapor Demag VR. 209, instalado en la grúa flotante Hércules, de 300 toneladas de potencia, que le daba vapor, y que, por la altura de su pluma, permitió el empleo de sencillas

guías que rápidamente podían ser instaladas o desmontadas, permitiendo a la grúa simultanear su trabajo con el de otras obras.

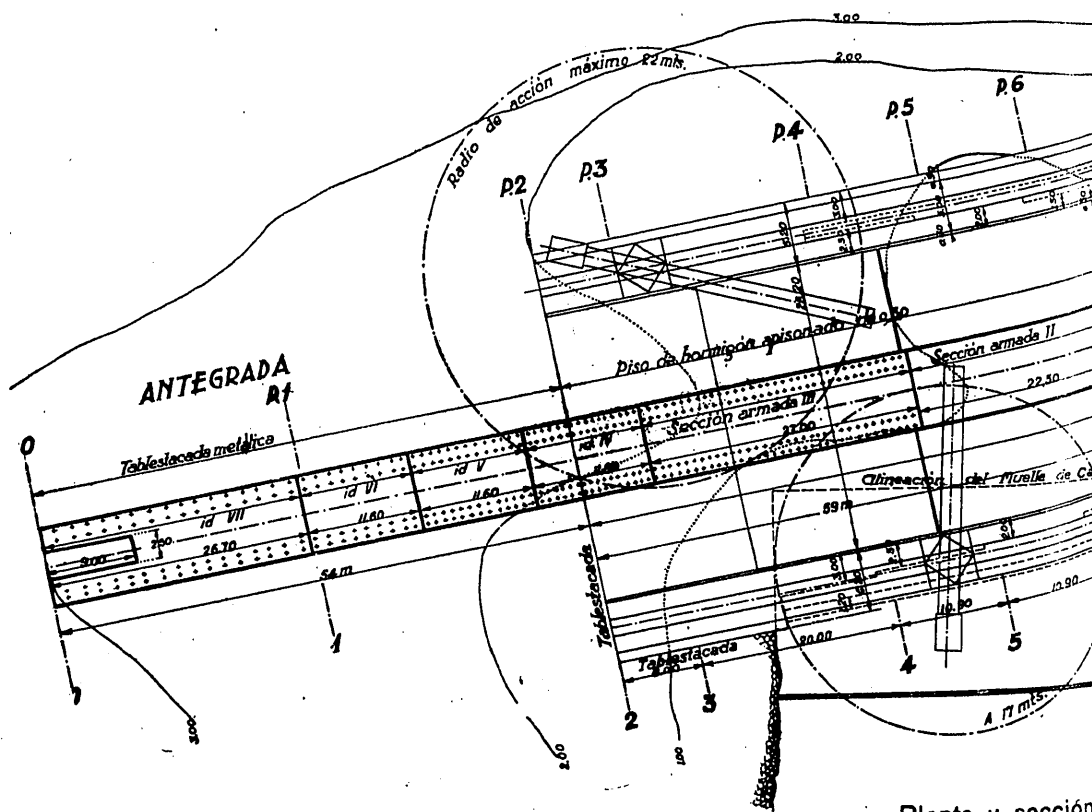
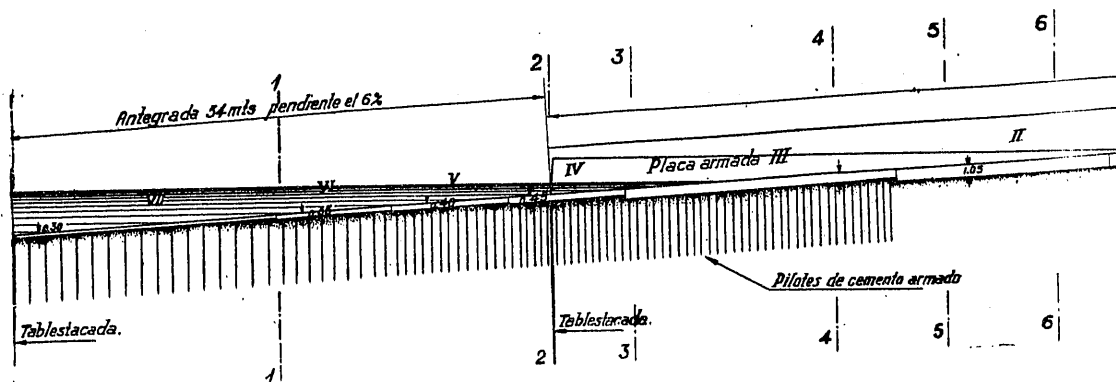
Cerrado el recinto de la grada por el tablestacado, se procedió a su relleno con arenas procedentes de una playa situada a unos 7 Km. de la obra, tardando en ejecutar los 20 500 m.³ de relleno tan sólo diez meses, gracias a los potentes medios auxiliares de la Empresa constructora, que permitió disponer de grúas provistas de cuchara para la extracción de arenas y su carga en vagones-volquetes de 10 m.³ de cabida, que rápidamente eran transportados por locomotoras propias de la misma Empresa.

El extendido y apisonado de esta arena, que forma el asiento del conjunto de la obra, se hizo a base de grandes cantidades de agua, lanzadas con el auxilio de bombas, provocando encharcamientos, pudiéndose comprobar la suficiencia del método empleado, después de haber sobrecargado una extensa zona con bloques artificiales de hormigón en masa de los empleados en la construcción de muelles, que determinaron una sobrecarga del terreno próxima al triple



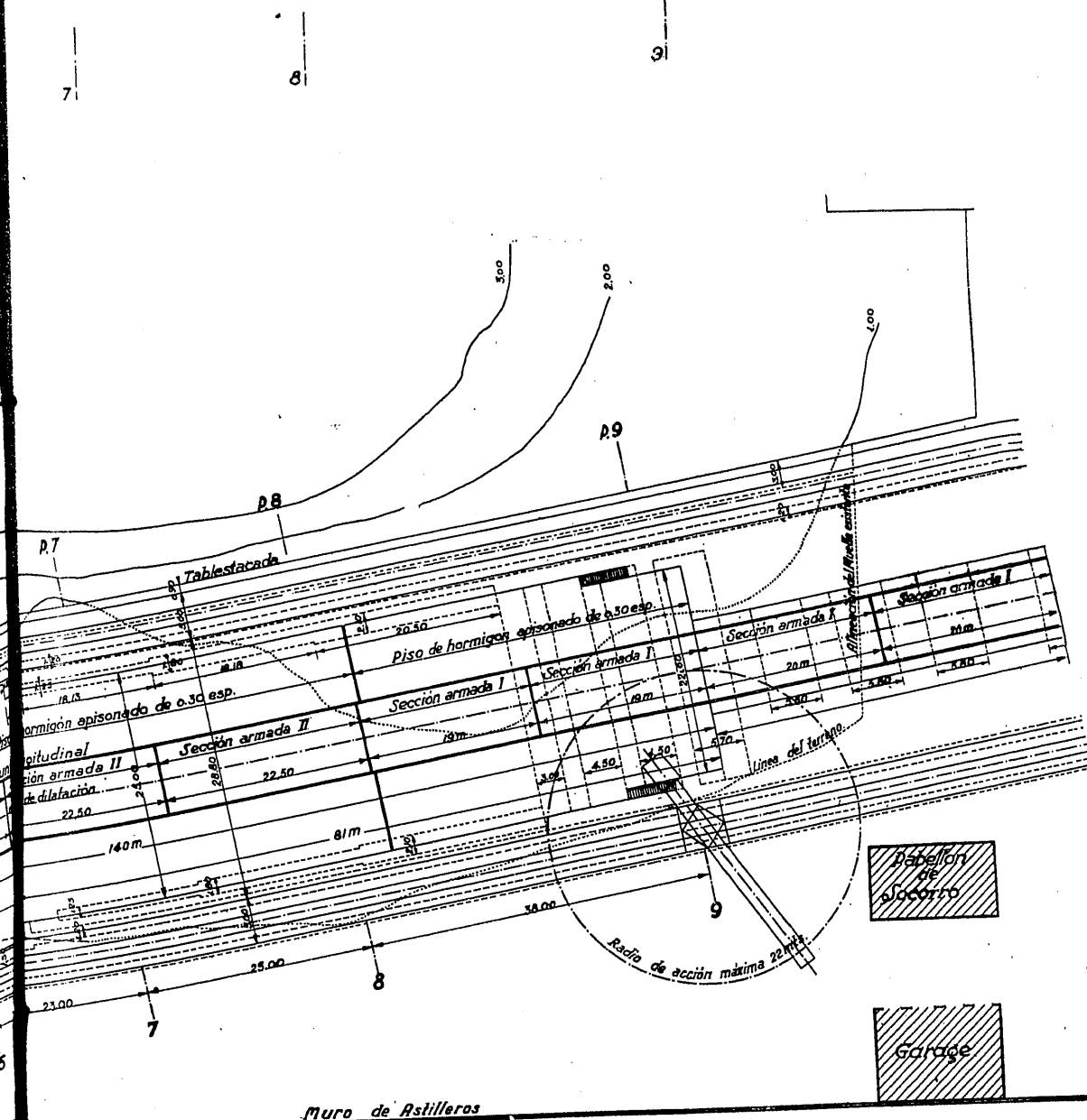
Figura 3.ª.

SECCION LONGITUDINAL



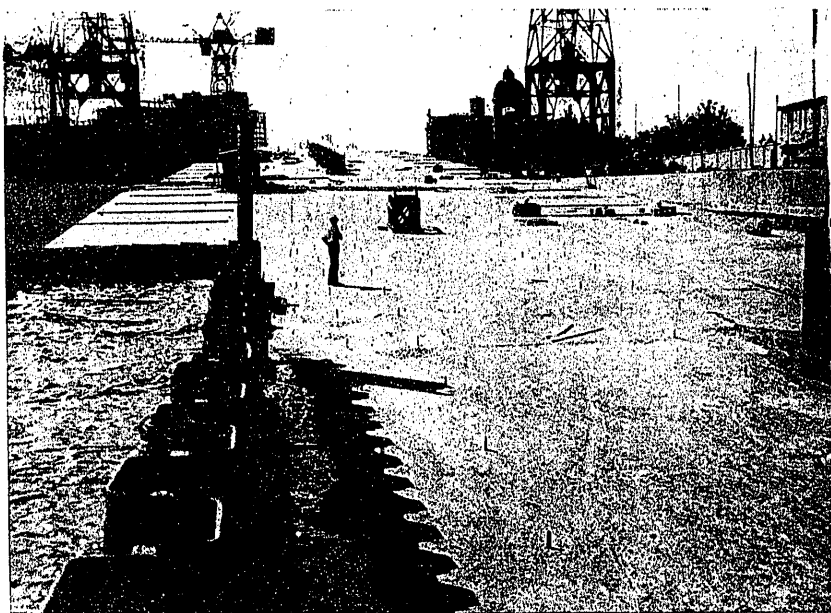
Planta y sección

Technical drawing of a bridge structure. The drawing shows a cross-section of the bridge deck and its support. The bridge has a span of 140 mts. The slope of the bridge deck is 5.50%. The bridge is supported by a series of arches. The drawing is labeled with 'Placa armada n° II' and '180 mts pendiente del 5.50%'. The drawing is also labeled with 'CENTRO' and '9'.



M U E L L E D E P O N I E N T E.

ordinal de la grada, según el proyecto.

Figura 5.^a

de la admitida como base de cálculo, sin notarse prácticamente asiento alguno.

Seguidamente fueron hincados los pilotes, simultaneando esta operación con el resto de la obra, trabajando completamente en seco.

Ejecutadas las obras de tablestacado y rellenos, las restantes de la grada propiamente dicha no ofrecieron dificultad alguna, salvo la de acopios de materiales, falta de fluido y cemento, 'harto conocidas' de todos los que nos dedicamos a la construcción.

La construcción de la antegrada presentaba más dificultades.

A la vista de disminuir los agotamientos, como antes se indica, se formaron dos recintos completamente separados, el de la grada y el de la antegrada. Una vez construida la primera, con su losa en toda la superficie, se cortó la cortina de tablestacas que las separaba.

En la construcción de la antegrada había que tener presente la hincada de un número de pilotes apreciable, con auxilio de una machina de altura mínima de 12 m., fijada por la longitud del pilote y que la cortina de tablestacas tenía que formarse con un perfil obligado de éstas, por ser las únicas disponibles, y que el empuje de las aguas del mar sobre aquéllas era apreciable, ya que la altura de éstas sobre el fondo variaba de 2 a 4 m.

Era interesante una ejecución rápida, ya que no es aconsejable, y es antieconómico, el sostener agotamientos prolongados; para ello, había que buscar la solución de evitar los atirantamientos y apuntalamientos interiores al recinto, que constituyen verda-

deros obstáculos para el desplazamiento de la machina, fácil circulación para el movimiento de pilotes, hormigonado posterior, etc., etc.

Todo ello pudo lograrse dando a las tablestacas puntos de apoyo en sus extremos libres. Para ello, se llevó la hincada a la máxima profundidad posible, hasta alcanzar una capa de terreno consistente que permitió hincas comprendidas entre los 5 y 6 m., con empotramiento inferior de las tablestacas, evitando los arriostamientos interiores.

Para que la tablestaca no trabajase en voladizo y hacer posible el empleo del perfil único de que se disponía, vistos los resultados obtenidos en el atirantamiento de la pantalla que forma el recinto de la grada propiamente dicha, y cuya descripción detallada fué hecha en mi

artículo de noviembre de 1943, se adoptó el mismo sistema de atirantamiento; pero así como en la grada los tirantes tuvieron que situarse en el interior del recinto, por ser el empuje de las arenas del relleno, en sentido de dentro a fuera, mayor que el de las aguas de sentido opuesto; en la antegrada, al ser ésta agotada, los empujes sobre la pantalla son los debidos a las aguas del mar, o sea, de fuera a dentro, lo que permite que el atirantamiento, con los mismos elementos del angular de 200 mm. colocado superiormente, tensores, placas de articulación y tirantes de hierro redondo de 36 mm. de diámetro, se situasen fuera del recinto sin constituir obstáculo alguno en su interior.

Para contrarrestar el empuje de las aguas contra la pantalla, cada tres tirantes fueron fuertemente unidos a un bloque de hormigón de 21,250 m.³, enrasados con piedra por buzos a la cota — 2, y dejando un resguardo sobre el agua del orden de 10 cm. Se calcularon los esfuerzos del atirantamiento, que resultaron para alturas de agua de 3 y 4 m. de 2,50 y 3,40 toneladas por metro lineal de pantalla, y las hincas necesarias que fueron 4,64 y 5,40 m. La separación de tirantes fué de 3,20 m., por lo que los esfuerzos eran, respectivamente, de 24 y 32,640 toneladas, y los coeficientes de deslizamiento resultantes de 0,67 y 0,90 (tomando como densidad del hormigón debajo del agua 1,700). El primero, aceptable, aun cuando casi en el límite, y el segundo, excesivo. Para comprobar estos coeficientes, se hicieron unas pruebas de agotamientos; hasta llegar a una diferencia de nivel de 2 m. no se produjo ningún deslizamiento de bloques, y, por lo tanto, los dos primeros a cada lado (se colocaron cinco por lado) no se afectaban, aunque siguiera el

agotamiento, porque la antegrada delante de ellos estaba ya en seco. No así los otros tres bloques, en los que se observaron con taquímetro movimientos del orden de 3 a 5 cm., a medida que se iba aumentando la diferencia de nivel, llegándose a los $3\frac{1}{2}$ m. En vista de ello, se colocaron encima de estos tres, otros bloques, y al aumentar el peso en $21,250 \times 2,40 = 51,000$ Tn. resultaban unos coeficientes de deslizamiento de 0,275 y 0,375 para las alturas dichas, ya dentro de los límites convenientes de seguridad.

Esta disposición que pudo ser adoptada para los paramentos laterales del recinto de la antegrada, no podía serlo para su frente, dada su proximidad al canal de entrada al puerto, debiéndose tomar las máximas precauciones por coincidir en la parte de obra más profunda y, en consecuencia, de mayores presiones, sobre la pantalla.

La experiencia adquirida en obras similares obligaba a contrarrestar los efectos del "renard", nombre con que es conocido el fenómeno de arrastres de los productos del fondo donde las tablestacas han sido hincadas, debido a la diferencia de presiones cuando se procede al agotamiento que determina una corriente de agua, con la socavación consiguiente del pie del tablestacado, reduciéndose la longitud del ta-

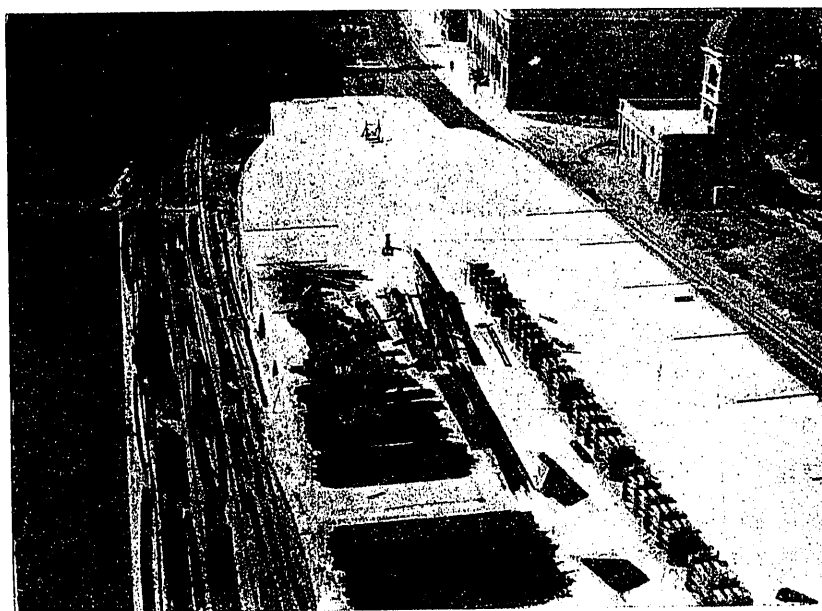


Figura 6.ª

blestacado hincado, causa de algún posible accidente.

En evitación de lo expuesto, en la cabeza de la antegrada se construyó una doble pantalla de tablestacas, aumentando su hinca en lo posible, rellendo los 6 m. de separación con arena. Con ello se buscaba dar a las aguas un gran recorrido en el que perdiesen su velocidad y, por lo tanto, su fuerza de arrastre, y el que la arena de relleno fuera reemplazando los productos arrastrados, dando, con sus



Figura 7.ª.

asientos, aviso de haber socavaciones, haciendo un papel de testigo. Para mayor garantía fueron vertidos, junto a las tablestacas, gravas, manteniéndose continuamente un riguroso control mediante frecuentes sondeos.

Los resultados obtenidos fueron los esperados, ya que, por falta de cemento, las obras se vieron paralizadas, permaneciendo largas temporadas agotado el recinto, sin el menor contratiempo.

En la figura 4.^a puede verse cómo el trabajo pudo realizarse sin obstáculo alguno, dadas las precauciones tomadas, y en la figura 5.^a, las obras terminadas, a falta tan sólo de extraer las tablestacas del recinto.

El rendimiento de la obra fué bueno si se tiene en cuenta las dificultades del momento presente, con las obligadas paralizaciones por falta de primeras materias, no siendo aventurado decir que, de no haber tropezado con estas dificultades, el plazo de ejecución hubiera quedado reducido a sólo dos años.

Para dar una ligera idea al lector de la importancia de la obra, los cubos de las partidas principales de la obra ejecutada ascienden a las siguientes, prescindiendo de decimales:

Hormigón armado, 3 980 m.³, con un empleo de 320 Tn. de redondo de diferentes diámetros.

Hormigón en masa, 2 890 m.³.

Mampostería hormigonada, 2 500 m.³.

Hinca de tablestacas, 10 800 m. l.

Aparte de, como antes se dice, otras muchas unidades de menor cubicación.

El importe total de la obra, tomada cuenta las revisiones de precios e incluyendo obras accesorias, como son las de los posteleros, enlucidos, etc., etc., que no se incluyeron en el proyecto primitivo, ascienden a la cantidad de 4 657 825,18 pesetas, incluido el beneficio de contrata, lo que demuestra la economía del sistema al compararlo con el de otras gradas en construcción.

Este importante trabajo ha sido ejecutado por la Sociedad Ibérica de Construcción y Obras Públicas, siendo el director de la obra nuestro compañero D. Salvador Canals, Ingeniero de la Unión Naval de Levante, S. A., quien, con su acierto y altos conocimientos en la materia, ha visto realizada una obra que, por sus condiciones particulares presenta dificultades no comunes.