

EL CARGADERO MARITIMO DE MARBELLA

Por LUIS ANGULO PROTA,

Ingeniero de Caminos.

Se trata de la descripción de la obra reseñada en el epígrafe, que ha sido proyectada y construida por el autor.

En los términos municipales de Marbella y Ojén, en la provincia de Málaga, se explotó hace más de veinte años un importante yacimiento de mineral de hierro (magnetita), de cuyo producto fueron formándose diversas escombreras, constituidas, unas, por estériles, y otras, por mixtos y minerales de baja ley, cuyo tratamiento de concentración magnética se ha proyectado ahora a razón de 400 Tn. por jornada.

Para entregar al consumo el mineral concentrado, tanto el procedente de las escombreras como el producto de la nueva explotación del yacimiento, ha de transportarse a las vías de comunicación, y como la única salida de Marbella en condiciones económicas es por vía marítima, y por otra parte el puerto pesquero recientemente construido no reunía las condiciones de calado necesarias, se proyectó un sistema de transporte en tranvía aéreo que entrando en el mar alcanzase un punto de calado suficiente para el atraque de barcos de tonelaje medio.

Ahora bien, por la distancia existente entre la planta de beneficio y el punto de embarque (fig. 1.^a) y la necesidad de una carga rápida del barco para disminuir los días de "plancha", se hacía preciso instalar un tranvía de gran capacidad, largo recorrido y servicio muy intermitente, solución costosa y poco adecuada, cuyos inconvenientes quedaban suprimidos con la instalación en serie de dos tranvías aéreos de distintas características. Así se proyectó, instalándose un tranvía monocable que con un recorrido de 2 400 metros permite almacenar el mineral en régimen continuo, a razón de 50 Tn./hora, en un depósito general emplazado próximo a la costa y bajo cuya viga de descarga puede llegarse a almacenar unas 25 000 toneladas (fig. 2.^a). Mediante un sistema de cintas transportadoras instaladas en túnel bajo este depósito y por intermedio de una tolva regulador, puede, en el momento oportuno, cargarse el segundo tranvía aéreo, de corto recorrido, pero de gran capacidad de transporte, que permite situar el mineral en la bodega del barco a razón de 200 Tn./hora.

Este tranvía, que por sus condiciones de trabajo se ha previsto de sistema bicable, es el que forma, en realidad, el cargadero marítimo, cuyo proyecto y construcción comentamos en el presente artículo.

Al necesitar un calado del orden de 10 m. el emplazamiento de la estación final del cargadero, venía obligado a un punto distante 300 m. de la costa. Unido esto a la necesidad de alcanzar rápidamente el nivel necesario para cruzar a la altura debida la carretera general de Cádiz a Málaga y a las necesidades técnicas del tendido sin vanos excesivamente largos, llevó a la solución más adecuada de sustentación con cuatro castilletes intermedios entre las estaciones de carga y descarga. La estación de carga está formada por una tolva circular de hormigón armado en la que van situadas las bocas y soportes del carril para paso de los baldes, que quedan cargados al circular por su contorno. Una estructura de hormigón armado de forma adecuada sirve para la sustentación de todos los elementos mecánicos del tranvía en esta estación, como son los anclajes de cables vías, poleas para retorno y tensado de cable tractor, pesaje de baldes, vía de apartadero, etc.

A la salida de la estación de carga el cable asciende rápidamente hasta los dos primeros castilletes, situados en tierra y simétricamente a ambos lados de la carretera citada y que al mismo tiempo sirven para soportar la correspondiente red de protección. A partir del segundo de éstos, el cable empieza a descender y soportado por otros dos castilletes (fig. 3.^a), alcanza, por tres vanos, de 147, 152 y 157 m., la estación final de descarga.

Como la tolva y estación de carga y los dos primeros castilletes no merecen, por sus características, especial comentario, ya que las primeras son estructuras normales en hormigón armado, y los dos últimos, sin cimentación especial, son reproducción, a menor escala, de los castilletes tercero y cuarto, describiremos las peculiaridades constructivas de estos últimos y de la estación de descarga.

El perfil longitudinal muestra claramente que la cimentación del castillete tercero se encuentra en el borde de la costa, con un calado de 1,25 m.; el cuarto, en punto de calado de 4,80 m., y la estación final en una zona que oscila entre los 9,50 y los 10,50 m.

Con anterioridad a la preparación del proyecto definitivo se realizaron sondeos por una casa especialista en los emplazamientos de las tres cimenta-

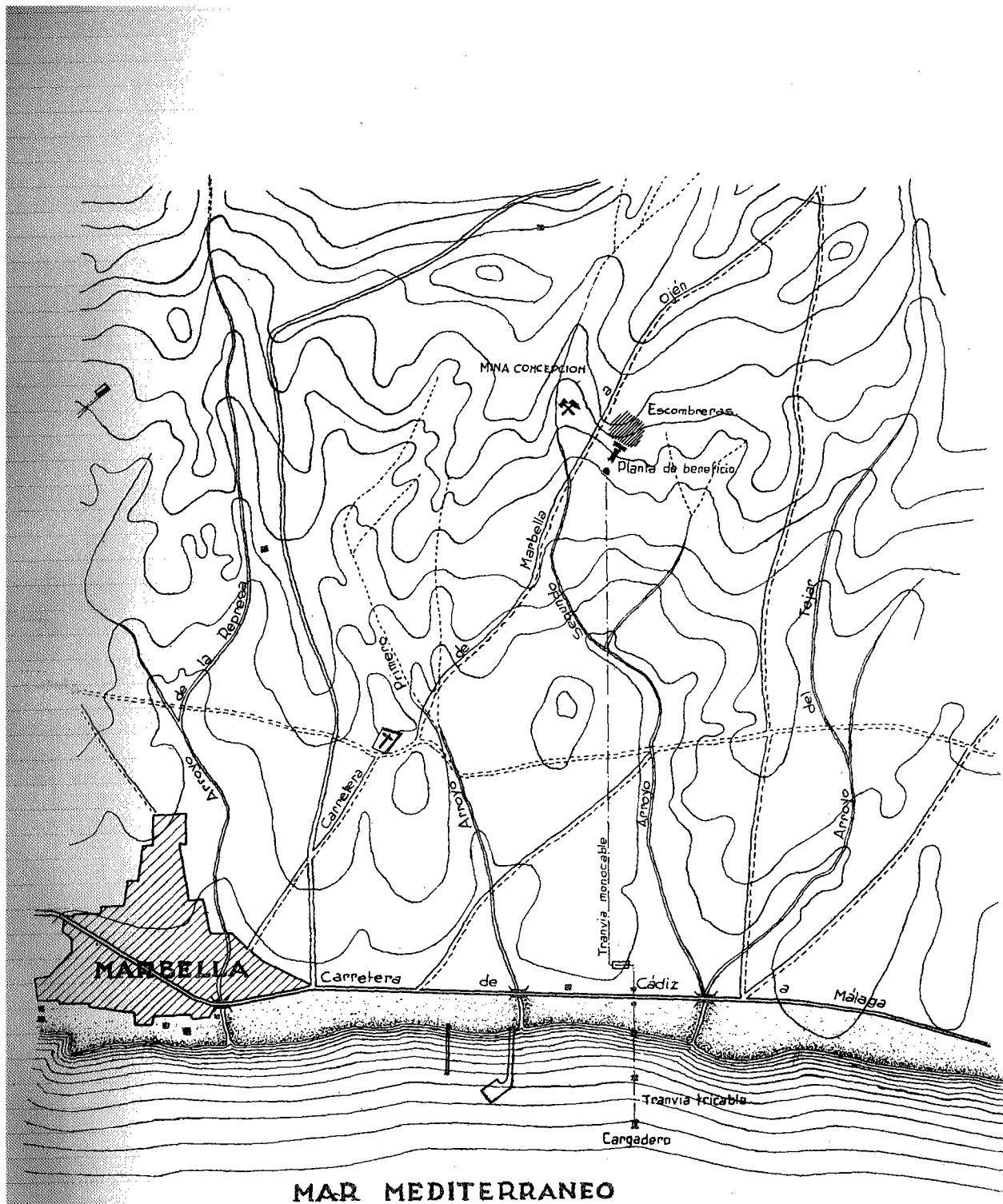
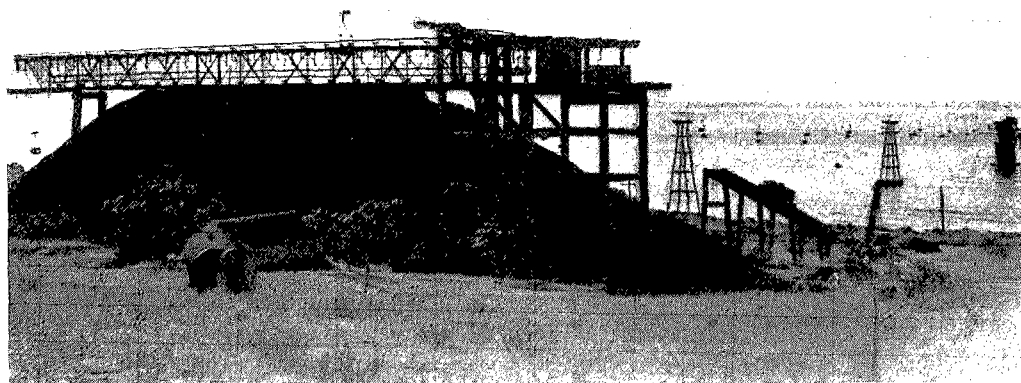


Figura 1.ª

ciones, y del estudio de las muestras obtenidas se llegó al conocimiento de la naturaleza del fondo y sus características geotécnicas, resultando que bajo una capa de espesor variable con el calado de 1 a 2 metros de arena y gravilla fina, se extendía, al parecer indefinidamente, o al menos en los 35 metros

3.º En cualquier caso, no será sensiblemente afectada en su fondo la cimentación de la estación final, debido a su gran calado (esto se confirmó antes y durante la ejecución de la obra, en las numerosas inspecciones realizadas por los buzos, viendo la existencia continua de abundante vegetación en esta zona

Fig. 2.ª — El depósito de mineral. Al fondo, el cargadero.



alcanzados con los sondeos, una masa de arena limosa compacta.

La elección de la cimentación más adecuada, al venir impuesta, de una parte, por las acciones de las causas exteriores, y por otra, de la naturaleza del terreno, se hacía dependiente de nuestro caso por lo que a las primeras se refiere, de las acciones debidas al movimiento del mar, las más inciertas entre todas las actuantes. Del estudio de estas últimas, tomando como base para esta costa mediterránea un largo de 300 Km., que según la conocida fórmula del profesor Iribarren [1] : $2h = 1,2 \sqrt[4]{F}$, nos lleva a la consideración de alturas máximas de ola de 5 m., llegamos a las conclusiones siguientes.

1.º En situaciones normales de régimen de vientos, la cimentación más afectada por el oleaje y, por tanto, sujeta a posibles socavaciones con movimientos alternativos de arena (variables con viento de Levante o Poniente), era la del castillete tercero.

2.º En régimen de temporal máximo serán afectadas las cimentaciones de ambos castilletes tercero y cuarto, pero la de este último con mayor intensidad.

y el equilibrio de arenas en el contorno de la cimentación.

Indicándonos los resultados del estudio geotécnico que el terreno de cimentación era adecuado para una cimentación flotante por pilotes, siempre que la obra no estuviera sujeta a vibraciones, se decidió realizar por este sistema las cimentaciones de los castilletes tercero y cuarto. De esta forma se evitan los peligros de asiento que pudieran producirse por una ligera socavación de las arenas en los bordes inferiores de los macizos de cimentación, pudiendo reducir el tamaño de éstos, los cuales, al tiempo que solidarizan las cabezas de los pilotes, colaboran en la resistencia.

Para asegurarnos aún más de la posibilidad de este movimiento de arenas en ambos macizos, que, como antes hemos expuesto, están sujetos en forma más o menos intensa con el régimen de vientos a la acción del oleaje, proyectamos para el tercero una protección de escollera con talud 1 : 4, que aleja de la obra la rotura casi continua de la ola, disponiendo en el cuarto una zapata de un metro de espesor de escollera hornigonada con berma de 2 m. y talud 1 : 2, que aleja igualmente unos 4 m. de los bordes infe-

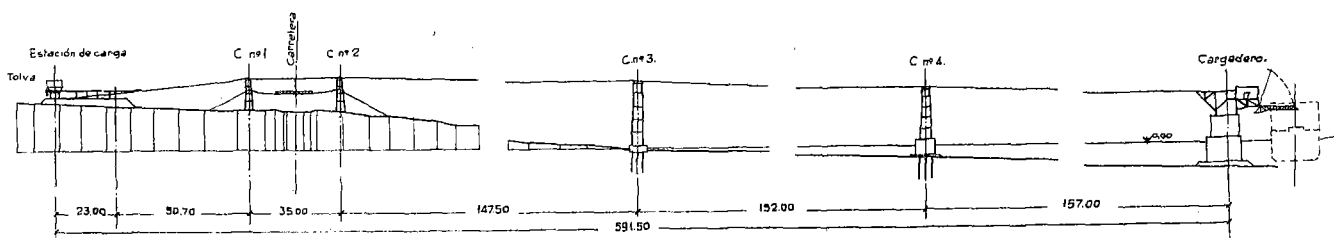


Fig. 3.ª — Perfil longitudinal.

riores del macizo los puntos de posible socavación. La experiencia de más de un año desde la construcción de estas cimentaciones, ha confirmado que con la variación de vientos de Levante a Poniente hay un ligero movimiento de arenas, pero la zapata queda prácticamente enterrada de forma continua, sin que se produzcan puntos de alteración del equilibrio de arenas en su contorno.

Los pilotajes se proyectaron para soportar las cargas actuantes, es decir, las que la superestructura de los castilletes transmiten a sus macizos de cimentación, el peso propio de éstos, subpresión y acción del oleaje, siendo necesario disponer 9 pilotes de 8 metros de longitud libre en el tercer castillete y 15 pilotes de 9 metros en el cuarto, siendo el diámetro de todos ellos 0,45 m.

Para poder disponer el equipo de perforación y construcción *in situ* de los pilotes, se construyeron en primer lugar los dos macizos de hormigón en masa, dejando los huecos necesarios para el paso de aquéllos mediante la colocación de viejos tubos de dragado, instalando posteriormente sobre los macizos el equipo a salvo de la acción del oleaje y procediendo a la construcción en forma rápida y cómoda de los pilotes.

Como decimos, la perforación y hormigonado de los pilotes se llevó a cabo sin más incidencias que los pequeños retrasos por alguna excesiva inclemencia del mar, siendo, por el contrario, la construcción previa de los macizos, en especial el cuarto, la que presentó mayores dificultades. El macizo del número 3, al tener acceso por la playa, pudo realizarse mediante una protección de gaviones y escollera que permitió, aunque con dificultades, la colocación de encofrados y su relleno con hormigón sumergido utilizando el sistema del hormigón coloidal, procedimiento también bien utilizado en el siguiente castillete y estación de descarga y que más adelante comentamos. Una vez fuera del nivel de mareas se terminó el macizo con hormigón normal.

La ejecución de la cimentación del castillete cuarto fué, como decimos, más costosa. Una vez colocados los tubos de paso de pilotes, se realizó el vertido de escollera para formar la zapata, y después de terminada y enrasada ésta por los buzos, se compactó mediante un riego de mortero coloidal. El alzado del macizo se realizó en parte mediante encofrados llevados por flotación a su emplazamiento, ya armados, fondeados por lastre, rellenos después de piedra de tamaño adecuado e inyectados con mortero coloidal. La parte superior, muy afectada por el oleaje de forma que su terminación se venía retrasando sensiblemente, fué necesario acometerla con encofrado de sacos de hormigón colocados por buzo, que se iban rellendo de piedra e inyectando en tramos de poca altura, de forma sucesiva. De este modo, los desperfectos ocasionados por temporales, aun de pequeña magnitud, que hubiesen desbaratado los encofrados,

se redujeron a la pérdida de un reducido número de sacos.

Terminados los macizos de cimentación, se procedió a la construcción de las superestructuras de hormigón armado de los castilletes, de alturas 24 y 21,50 metros sobre el nivel del mar. Para mayor facilidad de montaje, se proyectaron de armadura rígida, sustituyendo el encofrado por tubo de uralita de 40 centímetros de diámetro, que al tiempo que estéticamente nos da un mejor acabado, reduce el efecto transversal debido al viento y supone para la armadura una mayor protección de la oxidación en la atmósfera marina. El resultado obtenido nos ha confirmado las ventajas del sistema adoptado, con el que se realiza de forma rápida y sencilla el montaje y hormigonado. Los castilletes llevan en su cabeza las sillas metálicas para apoyo de los cables vías y elementos para alineación y rodadura de los cables tractores, como se muestra en la fotografía (fig. 4.^a).

La estación final de descarga, o cargadero, está cimentada por una base prismática de 7×10 m. de planta que, con una altura de 10,50 m., se eleva hasta el nivel + 1,50 sobre la BMVE. Este macizo reparte

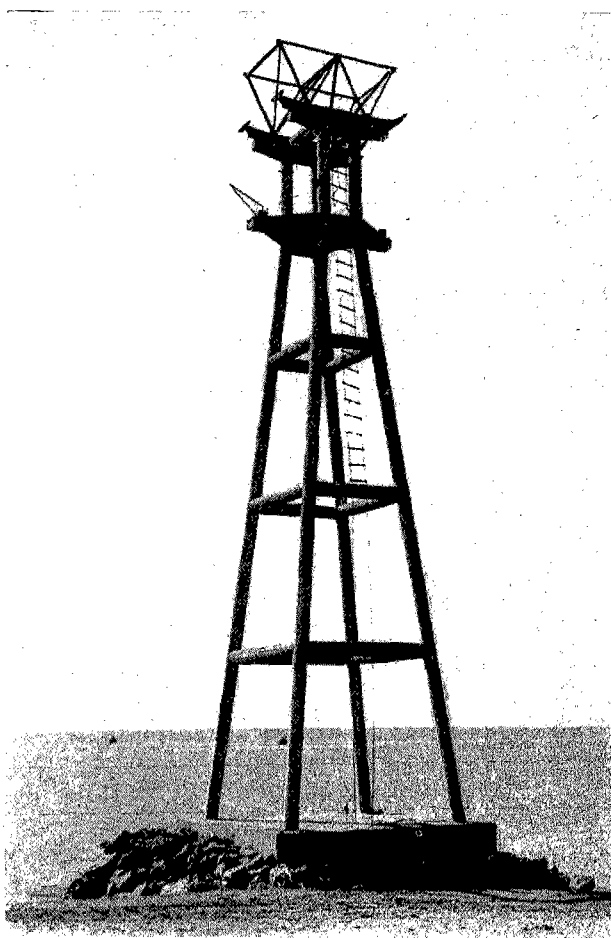
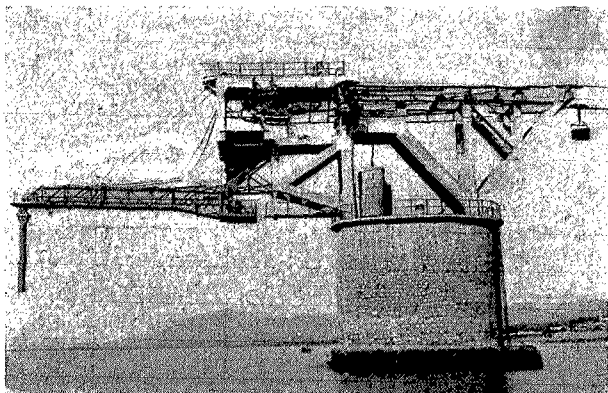


Fig. 4.^a — Alzado de un castillete.



la carga sobre el fondo mediante una zapata de altura media 1,50 m. y dimensiones 20×21 m., que al igual que en el cuarto castillete, se compactó con un riego de mortero coloidal.

Sobre este macizo de cimentación y hasta el nivel $+9,90$ m. se eleva un cuerpo cilíndrico de hormigón en masa con paramento de mampostería y planta sensiblemente elíptica, en el cual van los huecos necesarios para alojar en sus recorridos los contrapesos de tensión de los cables vías.

Por último, y hasta una altura máxima de 20 metros sobre el nivel del mar, se eleva una estructura de hormigón armado, cuya forma viene impuesta por su función, que no es otra que la de sustentar todos los elementos de descarga y tensión del tranvía, o sea las poleas y cables vías, polea de retorno del cable tractor, los elementos metálicos de sustentación de carriles de circulación de baldes, tolvas de descarga y cinta transportadora para carga de barcos (figura 5.^a).

Completando la instalación del cargadero, e imprescindible para el atraque y maniobra de los barcos, se ha dispuesto un sistema de anclaje mediante siete boyas metálicas de tipo de "pera" que permiten la perfecta situación del barco bajo el tubo de descarga y su movimiento para los cargues sucesivos de las diferentes bodegas.

Evidentemente, la mayor dificultad de la obra estribaba en la construcción del macizo de cimentación de $7 \times 10 \times 10,50$ m. con su emplazamiento en mar abierto, a 300 m. de la playa y con un calado medio de 10 m., estando sujeto a todos los inconvenientes derivados de la falta de abrigo para los trabajos, que hacía presumir gran pérdida de tiempo por el estado del mar y el riesgo de la construcción en estas condiciones.

Por ello, inicialmente pensamos en la construcción, en lugar adecuado y abrigado, de un cajón flotante de hormigón armado, que se transportaría posteriormente al lugar de emplazamiento y, una vez fondeado sobre una base preparada con escollera en-

rasada convenientemente, se rellenaría de hormigón pobre y arena.

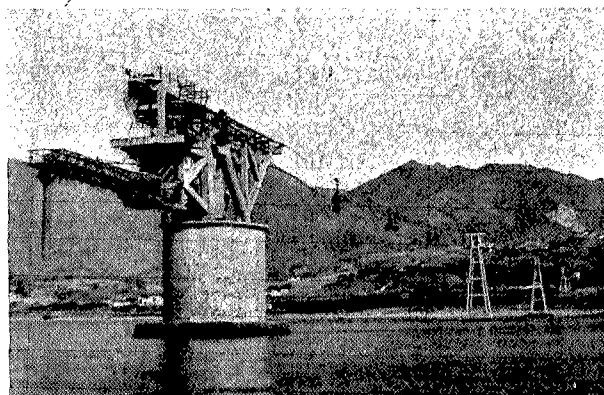
Ahora bien, para la construcción de este cajón flotante no podía contarse con otros diques secos próximos que el de la "Unión Naval de Levante", en Málaga, o el de Tarifa. Se desechó el primero por no reunir las condiciones requeridas, y en cuanto al de Tarifa, su distancia a Marbella con navegación en la zona del Estrecho, suponía riesgos que nos llevaron a pensar en la posibilidad de la construcción *in situ* del macizo de cimentación.

De esta forma se llegó a adoptar finalmente como método de ejecución la realización *in situ* con hormigón sumergido, utilizando el sistema citado anteriormente del hormigón coloidal.

El procedimiento consiste en realizar un mortero de cemento, arena y agua, en el que el cemento está tan completamente mojado que el mortero adquiere una forma coloidal y permanece estable aun en estado flúido. La mezcla se realiza en un amasador especial y el mortero obtenido se denomina "col-grout". Este mortero es tan estable que al echarlo sobre piedras, o éstas en él (siempre que cumplan un tamaño mínimo), los huecos se llenan completamente, fraguando el conjunto en una masa compacta. No es necesario, por tanto, en el hormigón que se forma (llamado "colcrete") que las piedras pasen por la hormigonera.

Este mortero coloidal, al no mezclarse ni dejarse penetrar por el agua, es especialmente adecuado para trabajos marítimos, por permitir hacer bajo el agua un hormigón de bondad prácticamente análoga al hecho en el aire. El mortero, cuya densidad es algo superior a 2, desplaza el agua, pero no se mezcla. Es necesario, en cambio, que el encofrado o molde se realice con gran cuidado, ya que, además de contener las piedras colocadas en él previamente a la inyección de mortero, deberá contener también a éste, debiendo ser, por lo tanto, estanco.

Estas son las razones que llevaron a adoptar tal sistema para la ejecución de los macizos de cimenta-

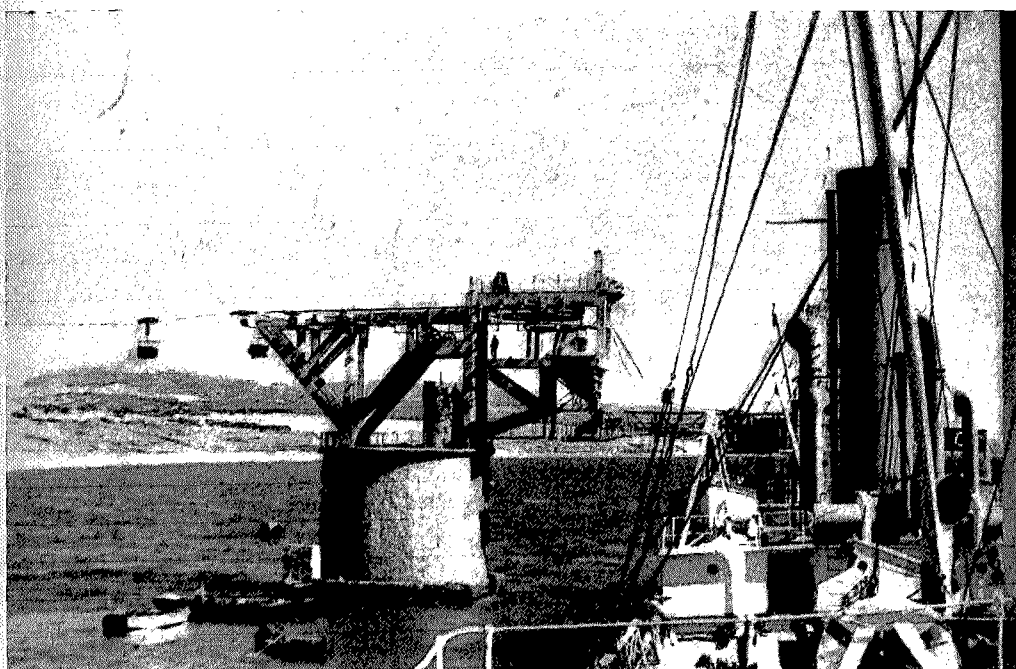


ción de castilletes y cargadero. Como antes hemos dicho, se iniciaron los trabajos con encofrados de madera, que si bien permitían un mejor acabado de la obra, se hacían impracticables al llegar a la zona próxima al nivel libre, en que un pequeño movimiento del mar los desbarataba, con grandes pérdidas y retrasos.

En el cargadero existía, además, la dificultad de su gran superficie, que hubiese llevado a encofrados muy costosos, con grandes dificultades de manejo y desencofrado. Por ello, decidimos ir a su construcción mediante un encofrado de sacos de hormigón

inyección y se daba comienzo a ésta, siendo vigilada continuamente por los buzos, que comprobaban la perfecta compactación del relleno y movían los tubos de inyección a los puntos precisos.

En las partes inferiores del macizo, poco sujetas al movimiento del mar, pudieron prepararse zonas de hasta 2 m. de altura para ser inyectadas después, pero al alcanzar el nivel -4 m., se redujo la altura preparada para inyectar a 80 cm. de altura, ya que el movimiento del mar arrastraba los sacos, impidiendo los trabajos, o modificaba el equilibrio de la pared-encofrado, originando roturas en ella.



colocados a mano por buzo. La experiencia de este método en la cimentación del cargadero nos llevó posteriormente a su aplicación a la terminación del macizo de cimentación del castillete cuarto que, como hemos indicado, se realizó hasta media altura con encofrado de madera lastrado.

De esta forma, con un rápido y regular suministro de sacos desde el muelle del puerto pesquero, colocados en obra por dos buzos en trabajo simultáneo, se consiguió dar a la obra el ritmo deseado. Para una mejor ligazón de los sacos, ordenamos que fueran rasgados éstos con cuchillo por los buzos en el momento de su puesta en obra; una vez colocados los sacos se procedía al descargue de gabarras de piedra para relleno del encofrado. Preparada la altura prevista para inyectar, procedían los buzos al enrasado del relleno de piedra y colocación de tubos de

Superadas las obligadas dificultades presentadas, se pudo finalmente, en el mes de agosto de 1956, conseguir sobrepasar el nivel libre, rematando el macizo de cimentación hasta su altura $+1,50$ m. Igual resultado se obtuvo en el castillete cuarto en el mes de septiembre, dándose comienzo a la construcción de la superestructura. En el mes de diciembre se terminó el cuerpo cilíndrico y se comenzó la estructura superior de hormigón armado. Por la complicación de ésta y estar la mayor parte del cuerpo de la misma volada sobre el mar, la proyectamos en su mayor parte y al igual que los castilletes tercero y cuarto, de armadura rígida, lo que permitió la instalación de encofrados colgados, pudiendo de esta manera llevarse a cabo de forma cómoda el hormigonado, terminando felizmente a mediados del mes de abril de 1957.

El conjunto de estas obras fué realizado por "Dra-

gados y Construcciones, S. A.", a quien le fueron adjudicadas, mediante concurso, en el año 1955, a fines del cual se dió comienzo a los trabajos, habiéndose terminado en un total de diecisiete meses.

Los trabajos especiales correspondientes a la ejecución del hormigón coloidal y pilotajes fueron reali-

cidente digno de mención, en el mes de abril de 1957 procediéndose seguidamente al montaje de los elementos mecánicos, cables vía y tractores, baldes, etc. por la casa suministradora "Ropeways and Co. Ltd." firma que igualmente ha suministrado y montado el tranvía monocable.



zados, en colaboración con la Sociedad citada, por la Compañía Española de Construcciones y Sondeos, concesionaria de las patentes "Colcrete", y por último, las estructuras metálicas para armaduras rígidas se fabricaron y montaron por "La Metalúrgica, Sociedad Anónima", de Málaga.

En las fotografías adjuntas se exponen algunas fases de la construcción de las obras que, como antes decimos, se terminaron felizmente y sin ningún in-

En el mes de agosto se terminó completamente el montaje, incluso la cinta de carga de barcos, probándose satisfactoriamente los cables de vacíos y cargados y el total de la instalación.

En el mes de octubre, y por la Sociedad "Ferarco", concesionaria y constructora del cargadero, se llevó a efecto el primer embarque de forma plenamente satisfactoria, quedando con ello inaugurado el cargadero marítimo.