



558 - 17

## muelles pretensados en el estuario del río Tees

*Sir WILLIAM HALCROW y asociados, ingenieros  
A. J. & J. D. HARRIS, ingenieros colaboradores*

Sobre las márgenes del río Tees, ya en su estuario, Middlesbrough (Inglaterra), se están terminando, actualmente, las obras de un muelle pretensado que permitirá atracar barcos de gran calado, puesto que se halla emplazado en aguas profundas, es decir, de unos 11 m de calado en mareas bajas de primavera.

El muelle ha sido estudiado y proyectado por Sir William Halcrow & Partners, quienes, además de esta obra, se han encargado de otras también de tipo marítimo.

### **El proyecto**

Para fijar las bases del proyecto definitivo de construcción se procedió, en primer lugar, a una serie de sondeos de reconocimiento del terreno. La consecuencia inmediata de estos estudios preliminares descartó la construcción en seco.

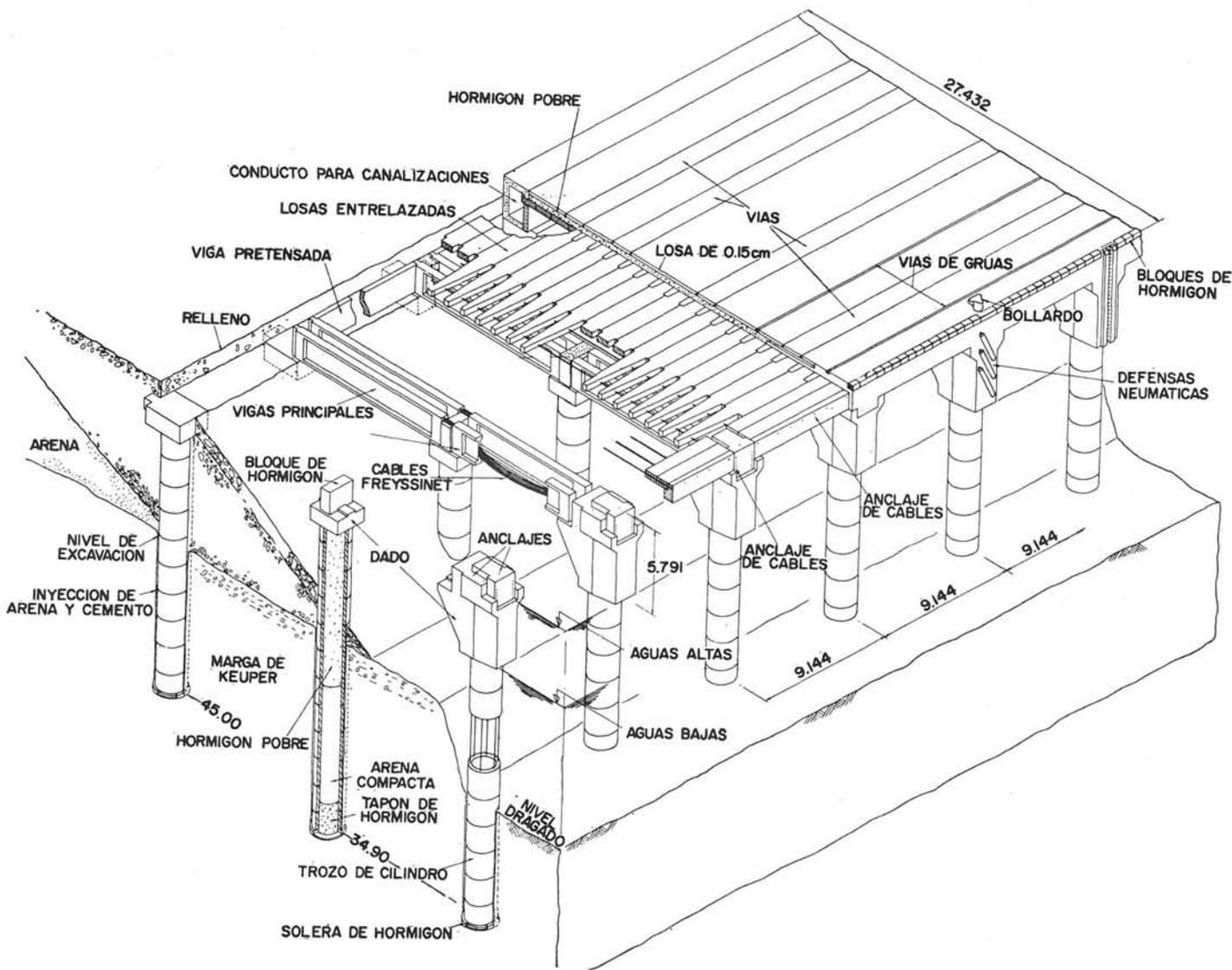
La solución adoptada consiste en una estructura abierta que se apoya sobre soportes pretensados anclados sobre terreno suficientemente resistente a las cargas que se le ha sometido.

Los dragados de fondo para llevar a éste a aguas profundas aportaron nuevos datos que confirmaron las primeras impresiones sobre la capacidad de sustentación de la base de cimientos, todo esto en lo que se refiere a la infraestructura; pero madurado el estudio se decidió con truir una estructura de hormigón pretensado, flexible y más económica que la que originalmente se había previsto y en la que se contaba con elementos prefabricados de hormigón armado de unas 80 toneladas de peso. El peso de los elementos pretensados era de unas 15 toneladas. Esto, no obstante, salieron los dos tipos de estructura a un concurso para la adjudicación de obras, y la Casa constructora que se quedó con la obra prefirió el hormigón pretensado al armado.

### La estructura

La estructura, abierta, que se extiende en una margen del río Tees, tiene 980 m de longitud y 27 m de anchura, y se soporta con columnas cilíndricas. El fondo y parte posterior está recubierto de una capa de escorias.

perspectiva del muelle



Esta estructura ha de soportar un cargadero bajo, móvil, de 200 toneladas, y a una serie de grúas móviles, también de 64 toneladas de capacidad.

La sub-estructura consta de 330 soportes cilíndricos, emparejados de 3 en 3 formando palizada y espaciados a 9 m. Los soportes cilíndricos están espaciados a 9 y 11,50 m, y tienen una longitud variable de 13 a 20,40 m de acuerdo con su posición y nivel del fondo.

Los cilindros se componen de trozos de 1,80 m con un diámetro exterior de 1,90 m y 1,45 interior, es decir, 0,23 m de espesor de pared. Colocados los trozos, se pretensan después con barras Macalloy de 22 mm. Los soportes exteriores y centrales llevan 6 armaduras de pretensado, mientras que los interiores tienen 18. Los cilindros se sellan con hormigón coloidal en el fondo, rellenando el resto con capas de hormigón pobre y arena. Los soportes centrales y posteriores se terminan, en su parte superior, con un capitel de hormigón armado y bloques que constituyen las defensas en los exteriores. En estos últimos soportes las barras del pretensado atraviesan los bloques superiores de las defensas y se tesan desde su parte superior. El morro formado por la estructura es similar, presentando la variante de que los soportes se asocian 4 a 4 formando palizada.

La superestructura consiste en vigas transversales, pretensadas, de sección de doble I apoyadas en los soportes y sobre las que descansan las losas prefabricadas de cubierta. Cada una de las vigas transversales se compone de dos trozos, de 9 y 11,50 m de luz, 1,80 de anchura y 0,50 m de canto. Su peso es de 12 y 15 toneladas, respectivamente. Estos trozos, después de aplicar el pretensado, constituyen una viga que trabaja como cabezal de un pórtico. Las juntas que la unión de estos trozos crean entre ellos y en la estructura se rellenan con hormigón «in situ».

Las losas de cubierta pesan 12 toneladas cada una, y su sección máxima tiene  $1,35 \times 0,42$  m. Estas losas se pretensan transversalmente, y la solidarización longitudinal se realiza en cola de milano.

Como arriostramiento longitudinal se han colocado vigas apoyadas sobre las filas de soportes exteriores e interiores. Dichas vigas longitudinales se solidarizan con la estructura mediante el pretensado transversal.

La cubierta o forjado del muelle se termina con una capa de 0,15 m de hormigón armado, que descansa sobre otra de 0,45 m de hormigón pobre. Se han previsto juntas de dilatación espaciadas a 180 metros.

Las canalizaciones necesarias para las líneas eléctricas y tuberías están situadas en los huecos que se han dejado en el forjado. El muelle ha sido equipado con defensas de madera y neumáticos.

## **Cimientos**

Los sondeos realizados han puesto de manifiesto que el terreno se compone de bancos de roca del tramo Keuper, margosas, sobre las que se halla una capa de 15 m de potencia de marga dislocada, unos 3 m de cantos rodados y de 1,50 a 6 m de arena fina.

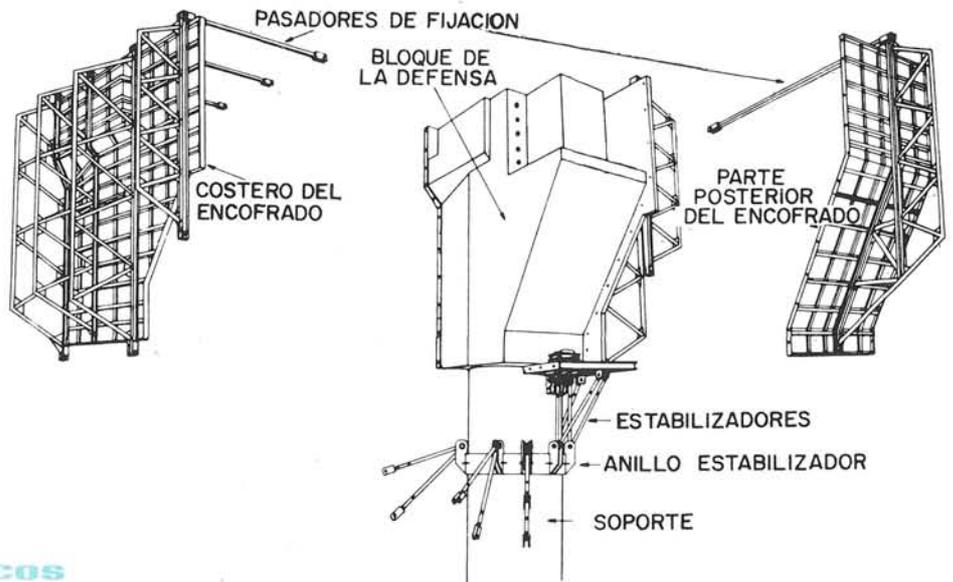
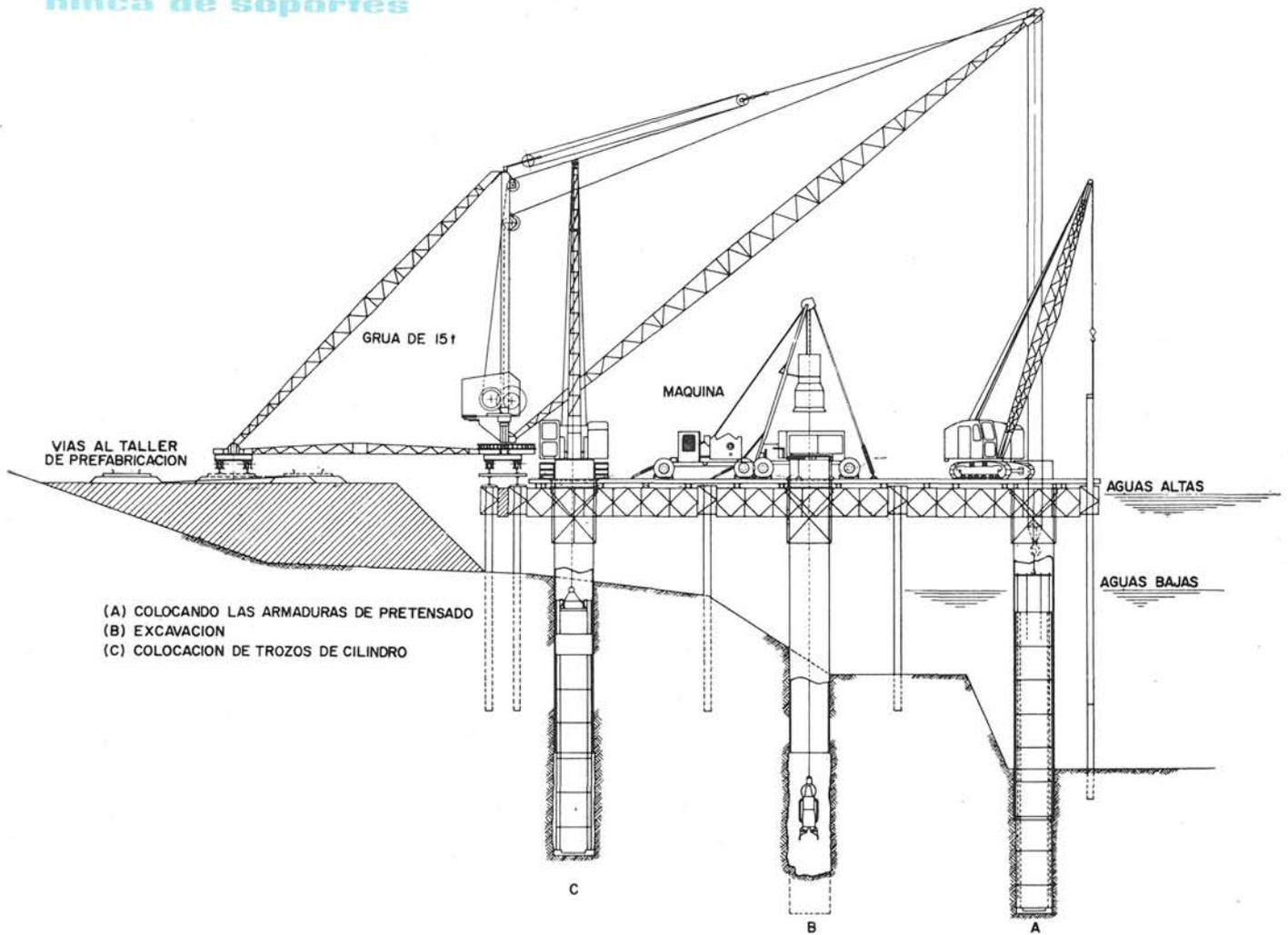
Como existían dudas sobre la capacidad de sustentación en la capa de marga dislocada se procedió a nuevos sondeos y, además, a ensayos de cargas directas de 1.000 toneladas sobre uno de los soportes cilíndricos.

Las placas de carga, que exigieron cargas de 100 toneladas sobre tubos rellenos de hormigón, de 0,15 m de diámetro, confirmaron que la zona de margas dislocadas no tenía capacidad suficiente de sustentación. Con estos datos se llegó a la conclusión que, de no llegar hasta el firme que se encontraba a 4,60 m por debajo del nivel previsto en la sumisión, existirían siempre asientos diferenciales no admisibles en esta obra.

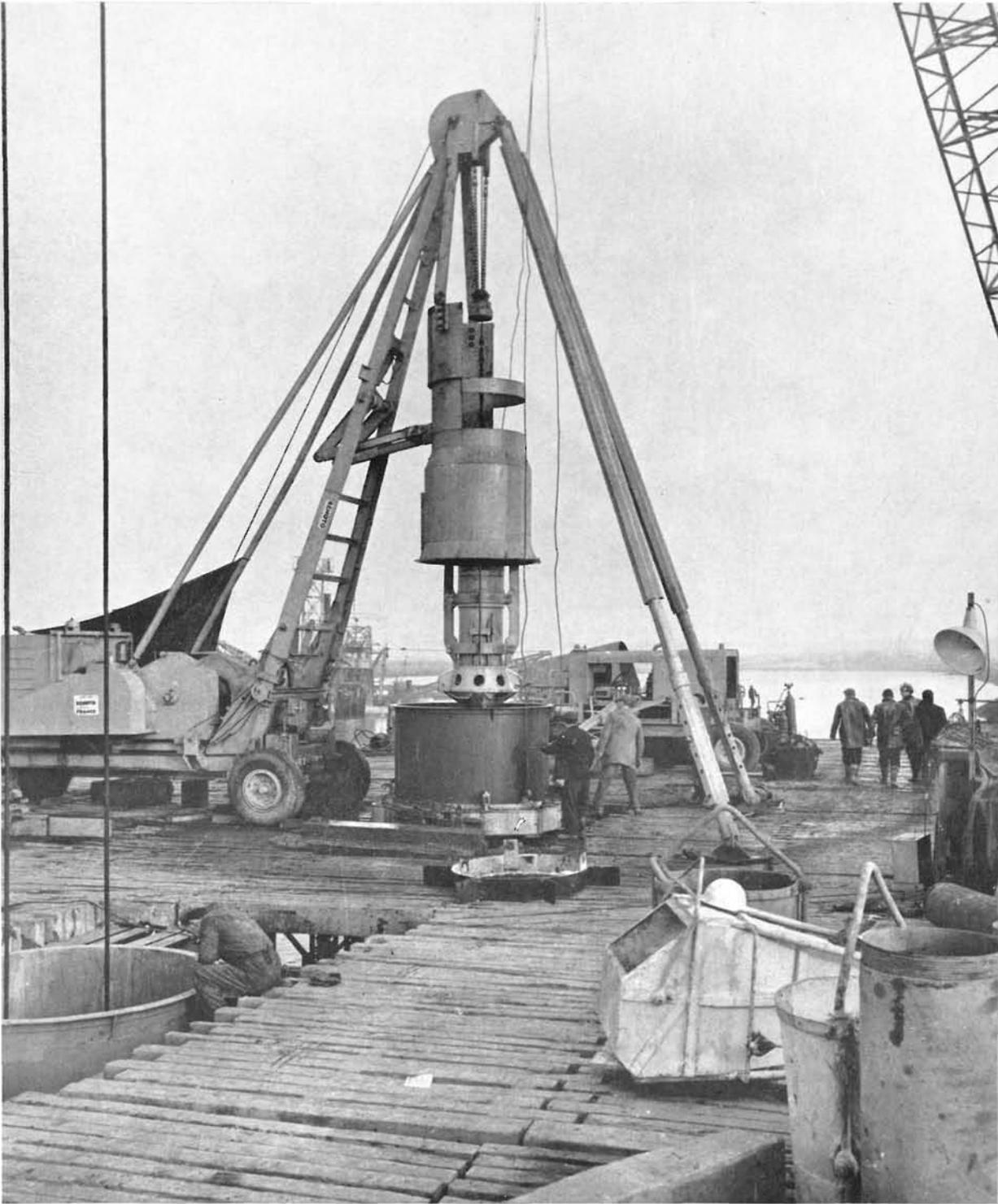
## **Prefabricación**

Para la prefabricación de unos 6.300 elementos de hormigón se instaló un taller de prefabricación en las proximidades de la obra. Los cilindros se prepararon por trozos con moldes metálicos, sobre mesillas móviles y en posición vertical. Estos elementos se han vibrado con agujas. Los conductos para las barras del pretensado se han formado con tubos metálicos que se extraían cuando el hormigón, aun fresco, empezaba a tomar consistencia suficiente. Si era necesario, estos elementos se sometían a un tratamiento de curado durante tres días.

## hinca de soportes



## encofrados metálicos



Plataforma auxiliar de trabajo.

Las vigas y losas de cubierta se hormigonaron, las primeras, en moldes fijos metálicos, y se sometieron a un vibrado exterior, mientras que las segundas, es decir, las losas, en moldes de madera contrachapada y sometiéndolas a un vibrado interior. Los cables del pretensado van alojados en vainas de «Ductiflex».

Al cabo de tres días, estos elementos se depositan aparte por medio de grúas, y se suelen pretensar a los siete días de haberse hormigonado. Los cables utilizados son del tipo CCL; y los gatos de tesado, de anclaje automático.

Todos los elementos prefabricados, alguno de ellos de 10 y 15 toneladas de peso, se han transportado a la obra por vía férrea, utilizando mesillas articuladas especiales o simples plataformas.



**Trépano de la máquina  
Benoto de perforación.**



**Máquina Benoto.**



**Recuperación de un tubo  
metálico.**

Tailer de prefabricación de losas del forjado.



Vista general de la plataforma auxiliar, y la máquina Benoto en acción.



Armaduras de la losa.



Prefabricación de vigas.

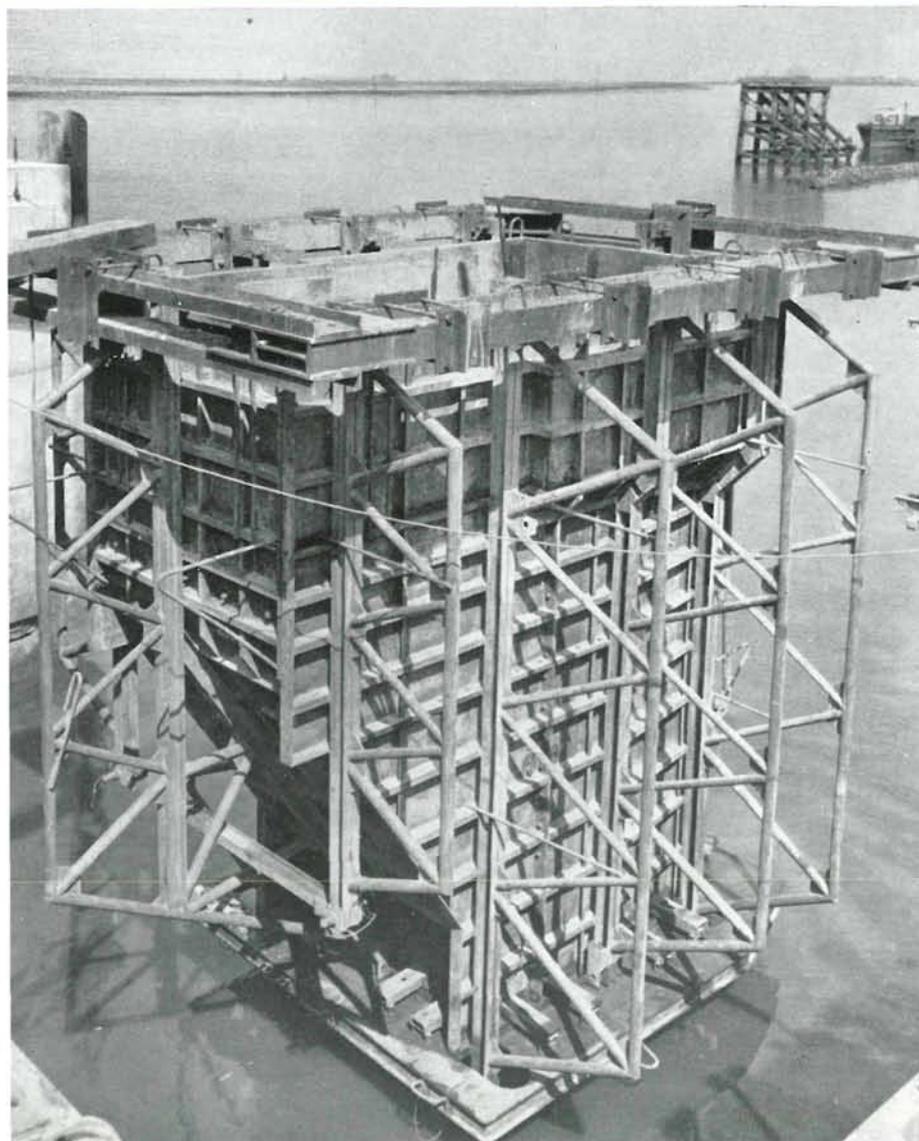
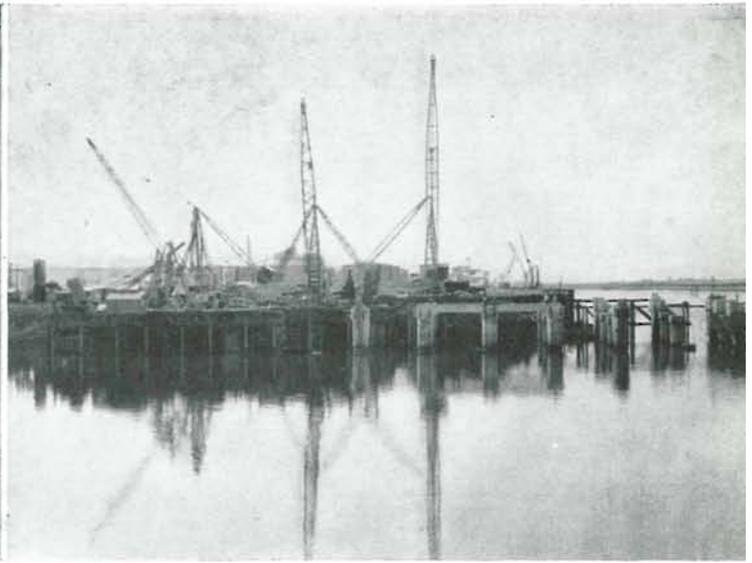


## Infraestructuras

En el momento de salir a pública subasta se realizó un método constructivo de soportes cilíndricos, huecos, de modo que, en lugar de hincarlos como si se tratara de un cajón, se excavara el terreno y se montara el cuerpo cilíndrico por trozos sucesivos. Estos soportes se han construido como inicialmente se pensó, pero introduciendo ligeras modificaciones.

Para las perforaciones y montaje del cuerpo cilíndrico de los distintos soportes se necesitó una fuerte aportación de material auxiliar, compuesto de pilotes metálicos cilíndricos, puente tipo Bailey y una plataforma. Esta plataforma y equipo se iba trasladando a medida que se terminaban las palizadas de soportes. Para estos traslados se contó con una grúa de 15 toneladas de capacidad para recuperar los pilotes y la plataforma.

Para la construcción de los soportes se empezó hincando un tubo metálico, de 2,13 m de diámetro interior y 19 mm de espesor, ayudándose de una grúa de 15 toneladas y una excavadora tipo «Benoto» que se encargaron de hacer llegar al tubo a apoyarse sobre un banco rocoso del tramo geológico Keuper.



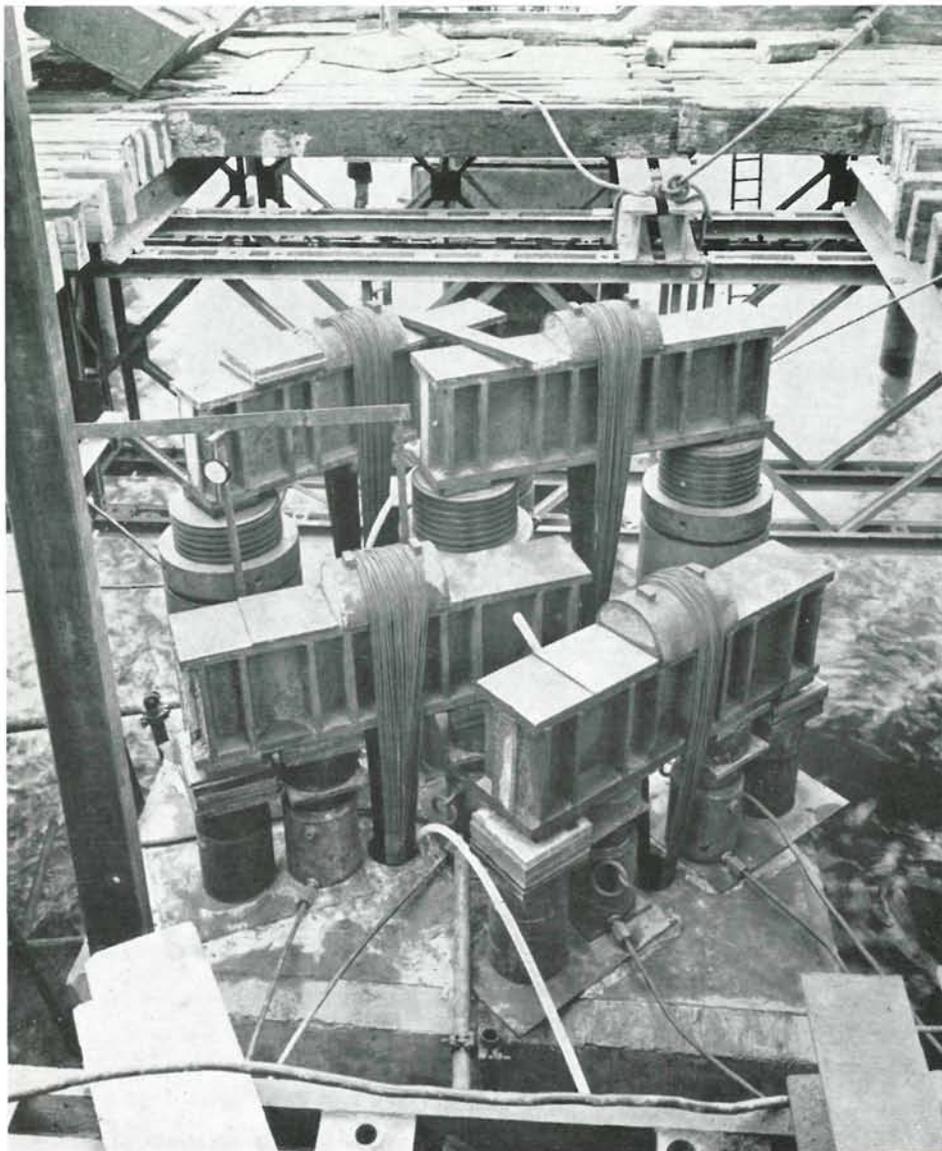
El tubo metálico o camisa se prolonga por encima de la plataforma y llega hasta unos 3 m, en profundidad, por debajo del límite superior del banco rocoso, después se practica un sellado sobre la zona margosa y se sigue la excavación, sin entubar, de 4,60 a 7,60 m más, continuando la excavación con la cuchara mecánica «Benoto». El diámetro de la perforación es de 1,50 metros y, a veces, se ensancha hasta 2 metros.

Una vez en el fondo, se hormigona una solera, sobre la que se apoya el soporte que se compone de trozos de 1,80 m de altura y de 6 toneladas de peso. Las juntas entre trozos se sellan con mortero de cemento, al que se añade un aditivo. En el fondo se han preparado los anclajes de las barras Macalloy, que se colocan en los conductos preparados en los trozos de los cuerpos cilíndricos. En la parte inferior se dejaron unas ventanas para poder unir estas barras del pretensado con las de los anclajes por medio de tuercas.

**Desencofrado de trozos de cilindro.**

**Empalizadas de soportes.**

**Encofrado de un bloque de defensas.**



Ensayo de carga de 1.000 toneladas de un soporte.

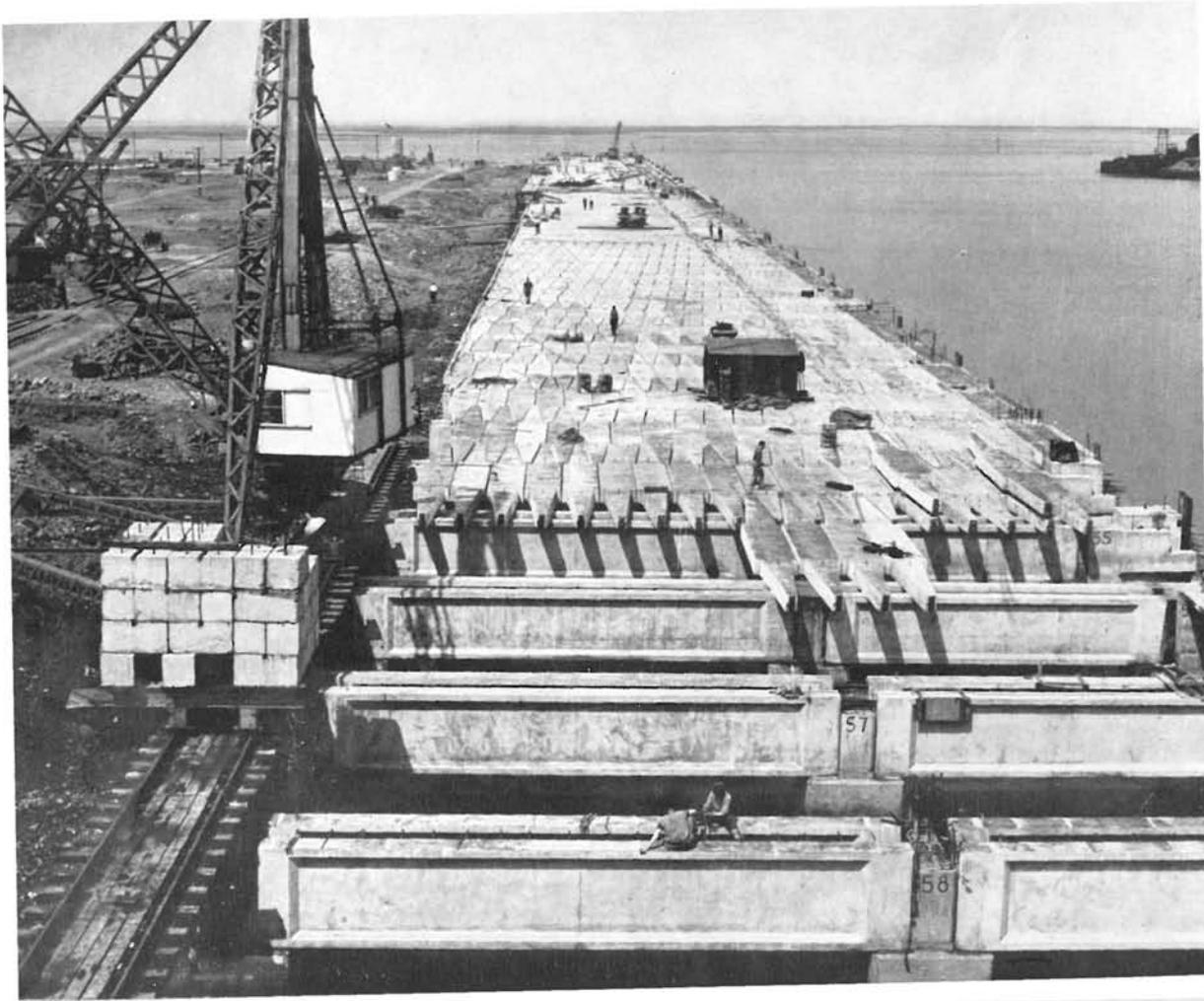
Pretensado de elementos del forjado.

A continuación se procedió a tesar las barras. Terminando el pretensado se hormigonó un buen tapón en el fondo y se rellenó el resto del cuerpo cilíndrico con hormigón pobre y arena.

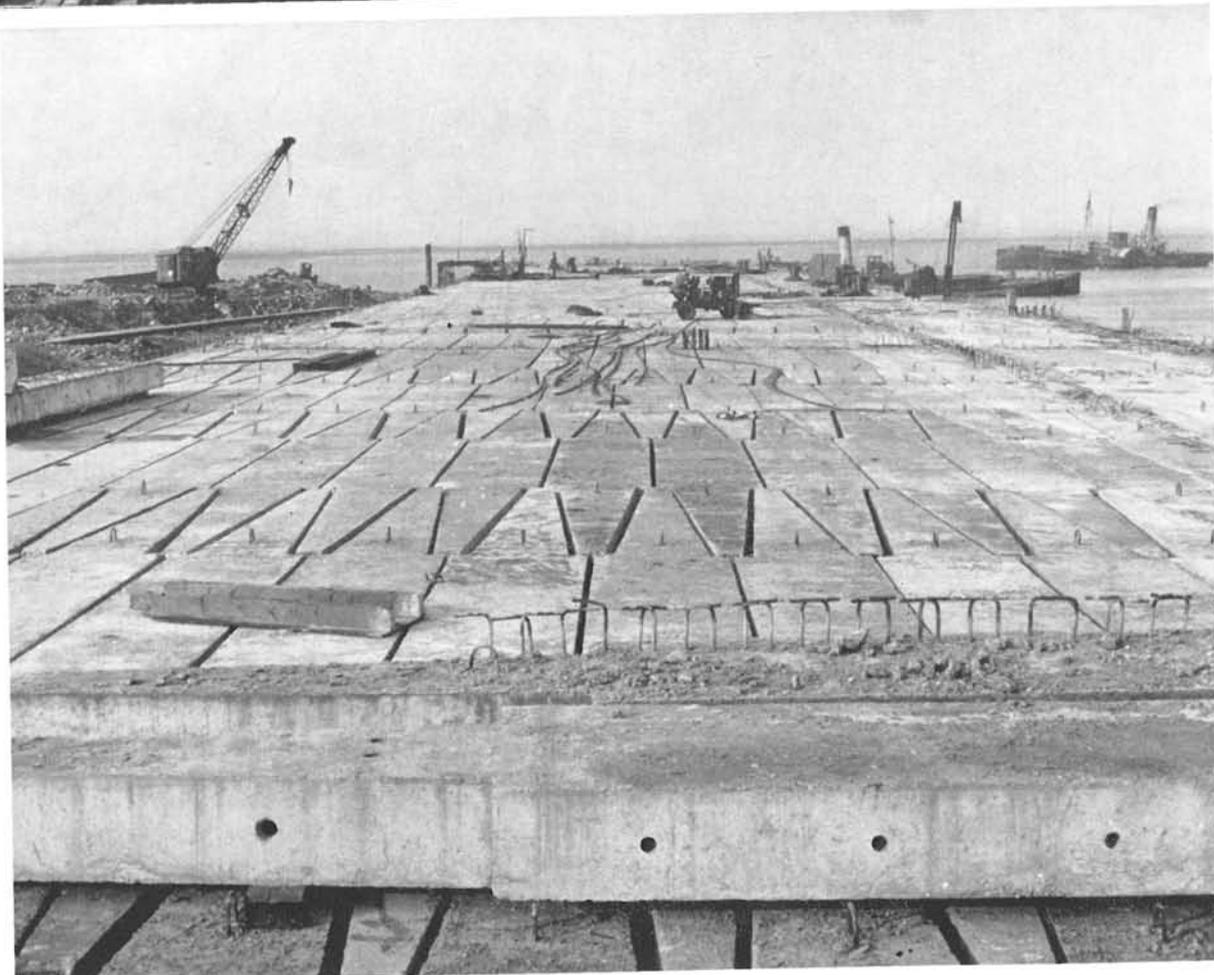
La parte superior del soporte se hormigona siguiendo los métodos convencionales. Los tubos metálicos se sacan al final, utilizando una grúa, de 60 toneladas de capacidad, y el hueco que dejan entre el soporte y terreno se inyecta desde la plataforma superior.

Cada soporte, de acuerdo con su posición, se termina en un dado o una defensa hormigonados «in situ». Estos bloques o defensas se han hormigonado con unos encofrados metálicos que permiten hormigonar en cualquier estado de la marea.

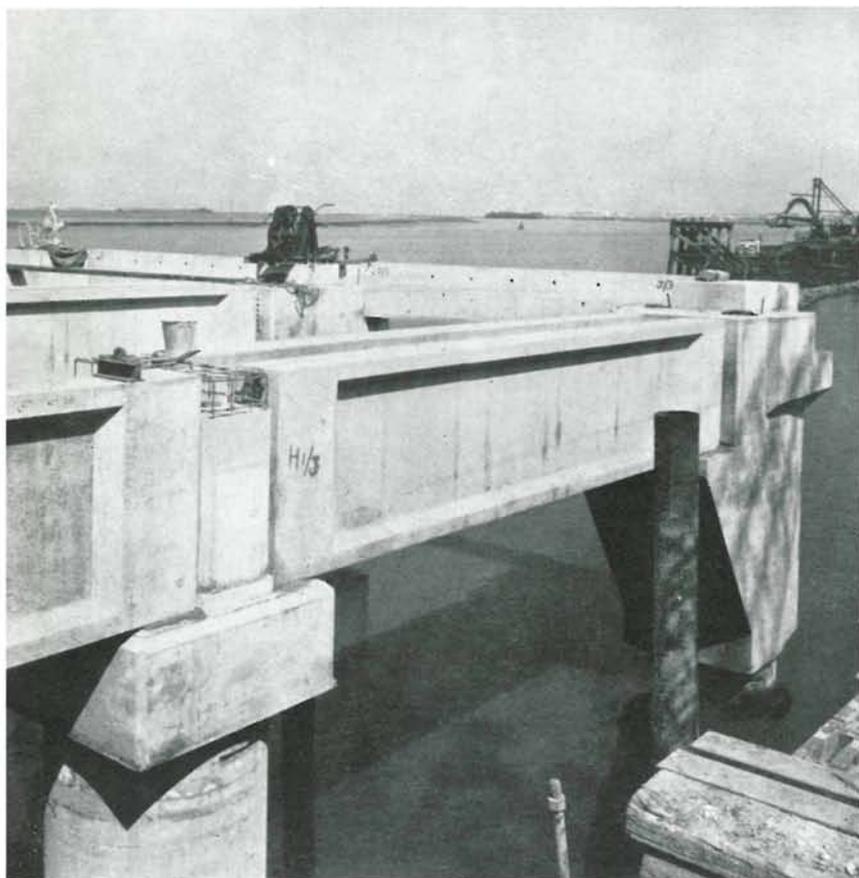




Colocación de losas del forjado.



Entrelazado de losas.



Vigas frontales.

Vista inferior del muelle.

## Superestructura

Todos los elementos procedentes del taller de prefabricación, destinados a la superestructura, se manipulan con ayuda de grúas móviles apoyadas sobre la fila interior de soportes.

Las vías principales se colocan sin pretensar formando pares, que después se tesan y anclan en los bloques que constituyen las defensas del muelle. La colocación de los cables en estas vigas presentó cierta dificultad debido a la curvatura del trazado sobre el soporte central. Estas vigas llevan cables, anclados siguiendo los procedimientos Freyssinet.

Las placas que forman la cubierta del muelle se han pretensado transversalmente. La inyección de los conductos de los cables del pretensado se ha realizado con bombas de diafragma, de mano.

Fotos: MATHER'S of MIDDLESBROUGH y DEEREK P. RICHARDSON

