



el puente Río de Janeiro- Niteroi

BRASIL

HOWARD, NEEDLES,
TAMMEN y BERGENDOFF
INTERNATIONAL Inc. (USA),
y ANTONIO ALVES
DE NORONHA (Brasil),
ingenieros

El Puente Costa e Silva, que cruza la Bahía de Guanabara uniendo las ciudades de Río de Janeiro y Niteroi, alcanza, con sus 13.900 m de longitud, el quinto lugar del mundo, siendo el primero, entre los de vigas, por los 300 m de luz de su arcada principal.

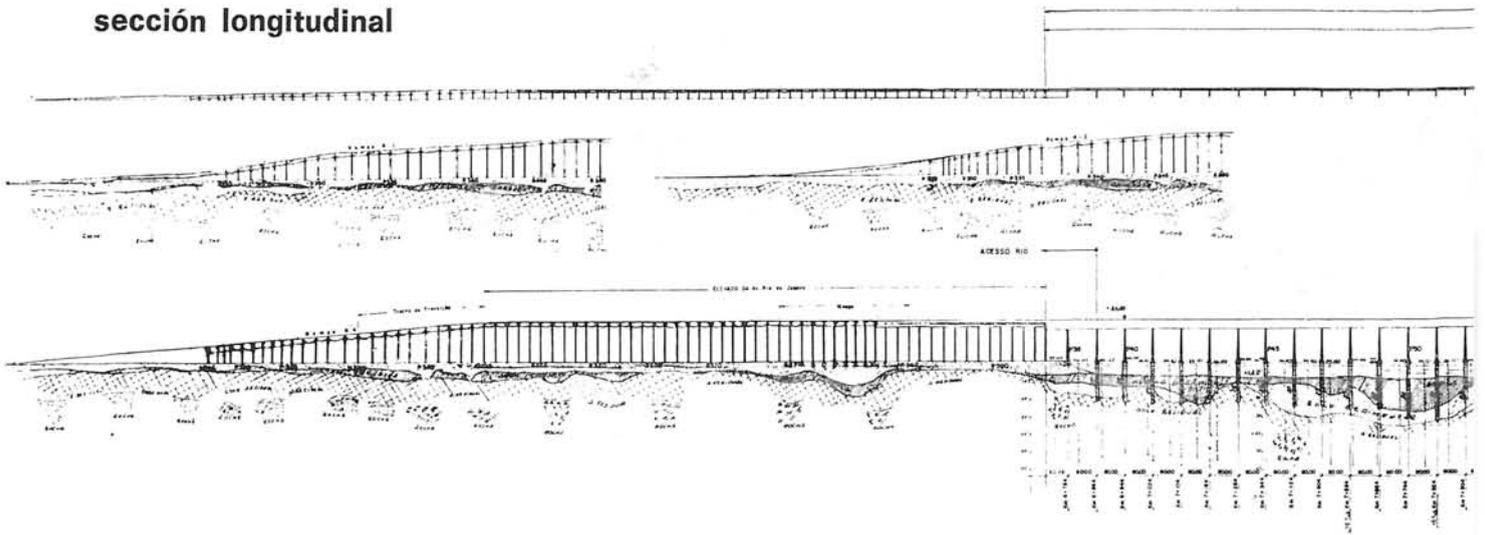
La construcción de un puente de estas proporciones sobre las aguas de la bahía, a 3 km de la costa más cercana, presentó, como es natural, toda una serie de dificultades de índole técnica, a las que hubo que añadir los cortos plazos de ejecución prescritos para la obra. Considerando ambos factores se optó por un sistema de construcción basado en la prefabricación de la estructura en unidades de gran tamaño que, posteriormente, serían izadas a las pilas de hormigón por medio de gatos especiales. La solución adoptada eliminó la necesidad de efectuar prolongados trabajos de construcción y montaje sobre el agua, con toda la gama de riesgos que esto implicaba, posibilitando la confección de la estructura metálica en tierra con mayores facilidades, y simultáneamente a la construcción, in situ, de la estructura de hormigón de las pilas.

Las arcadas de navegación, bajo las cuales pasarían buques de gran envergadura, se diseñaron con un doble condicionamiento: 300 m de luz y 60 m de altura libre para permitir la navegación, y un máximo de 72 m de elevación de la estructura sobre el nivel del agua por la proximidad del aeropuerto. Esta parte del puente se diseñó como una arcada continua constituida por dos vigas-cajón gemelas.

Dada la longitud y esbeltez de la estructura propuesta se escogió el acero como único material posible, empleándose, en cantidades importantes, un nuevo compuesto de acero de alta resistencia.

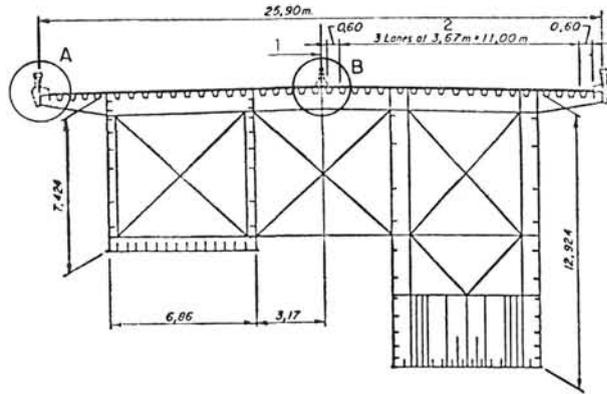
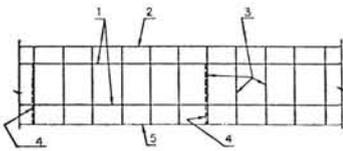
La viga-cajón continua, apoyada en cuatro dobles pilas de hormigón armado, tiene, además del vano central de 300 m, dos vanos laterales de 200 m que vuelan, pasadas las pilas extremas de apoyo, otros 30 m más a cada lado. En los extremos dos vigas metálicas de 44 m de luz establecen la unión, mediante apoyo simple, entre la estructura de hormigón y la metálica, con lo que ésta alcanza una longitud total de 848 m y un peso que asciende a las 13.000 toneladas.

sección longitudinal



semi-sección tipo

- 1. Viga.—2. Borde de la viga.—
- 3. Viga del tablero.—4. Viga transversal.—5. Eje del puente.

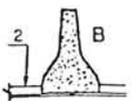


sección transversal

borde



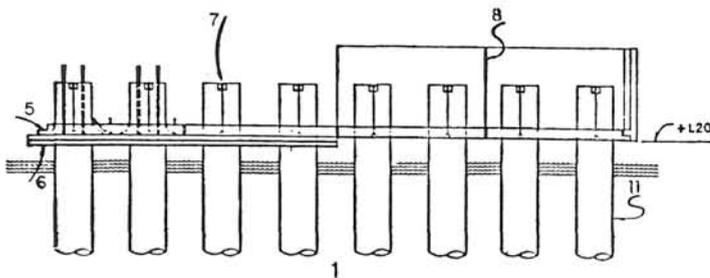
median



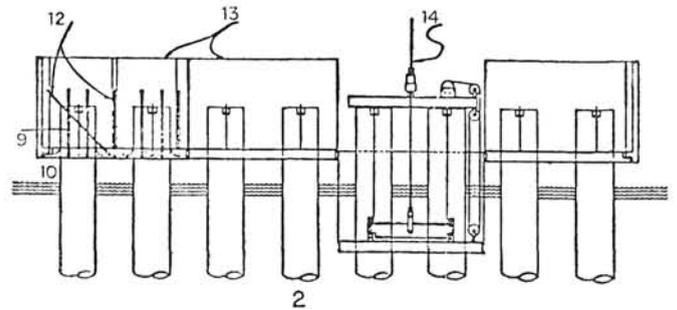
- 1. Eje del puente.—2. Tres carriles a 3,67 m = 11 m.

- 1. Asfalto-epoxi (0,06 m).—2. Rodadura

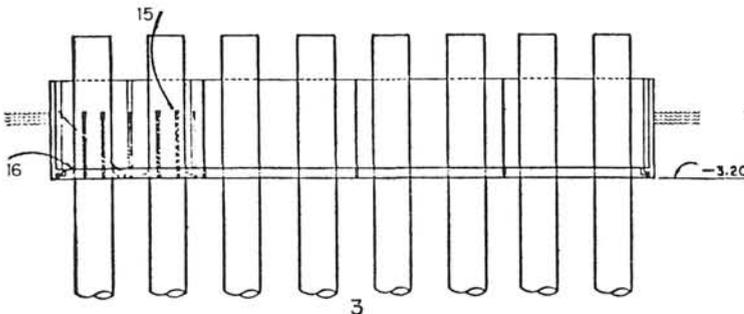
fases de construcción



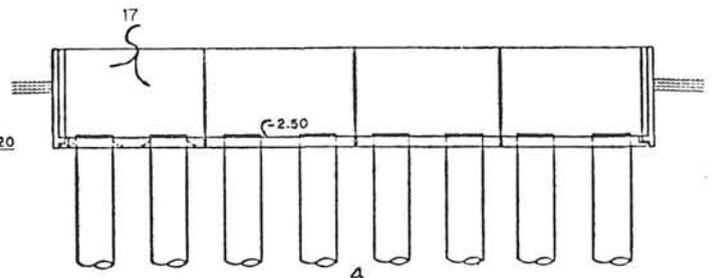
- 1. Fases I y II. Construcción de la placa de fondo y disposición de los encofrados laterales y prefabricado de hormigón.



- 2. Fase III. Hundimiento de la placa de fondo unitaria a la cota -3,20 m.



- 3. Fase IV. Sellado a presión de las juntas fijando los encofrados de los bloques hundidos a los laterales.

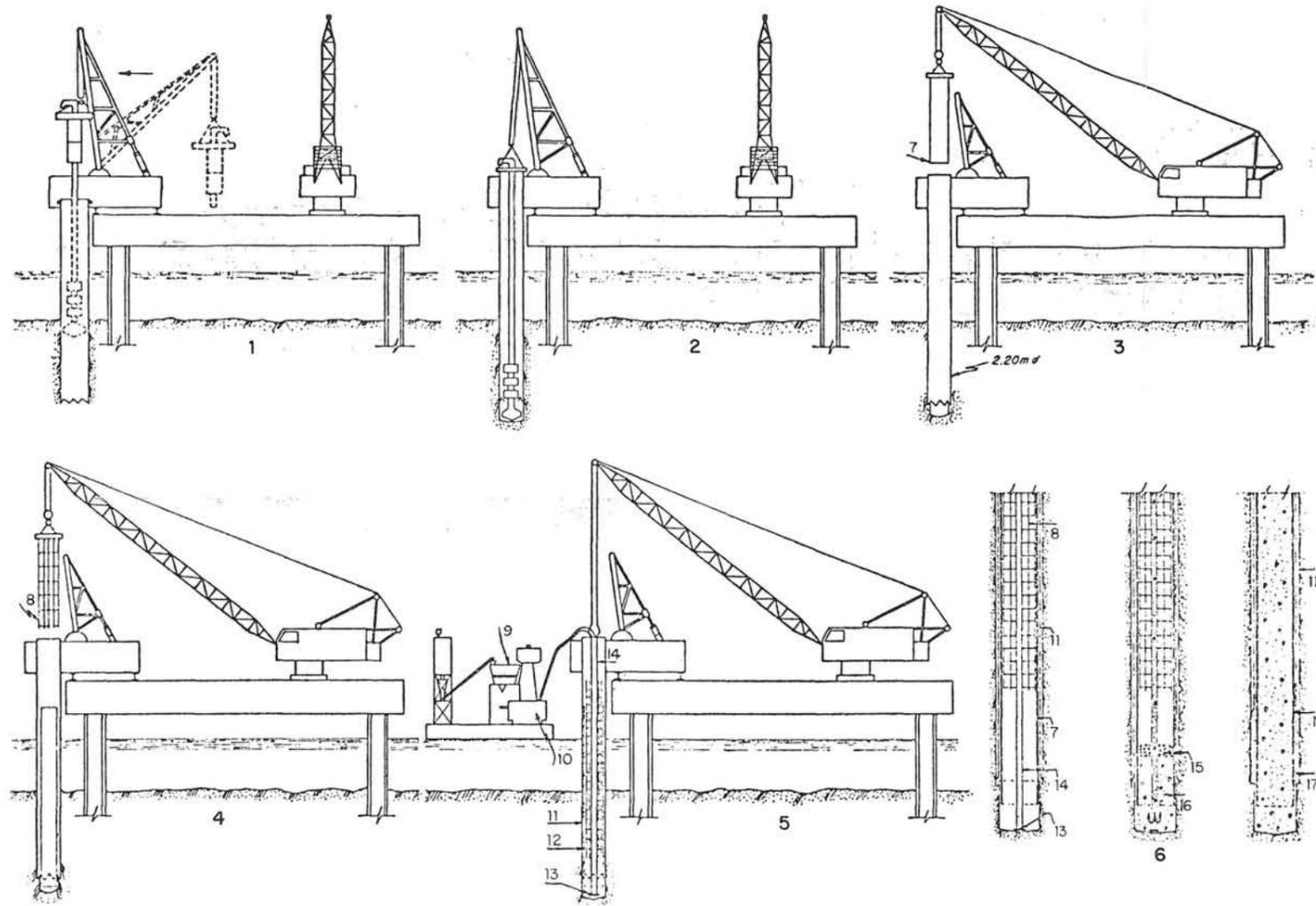


- 4. Fase V. Disposición de los pilotes de 1,80 m Ø de acero, y de los laterales de hormigón, antes de colocar las piezas de acero reforzado y del hormigonado final.

- 5. Placa de fondo.
- 6. Encofrado de la placa de fondo.
- 7. Soporte tipo del encofrado de la placa de fondo.
- 8. Junta tipo.
- 9. Angulares tipo de soporte de la placa de fondo.
- 10. Nivel del agua.
- 11. 1,80 m Ø.

- 12. Angular tipo de encofrado lateral.
- 13. Encofrado lateral prefabricado.
- 14. Mecanismo de hundimiento.
- 15. Angular soporte soldado.
- 16. Varilla de la placa soporte de fondo.
- 17. Laterales tipo de acero reforzado.

fases de pilotaje

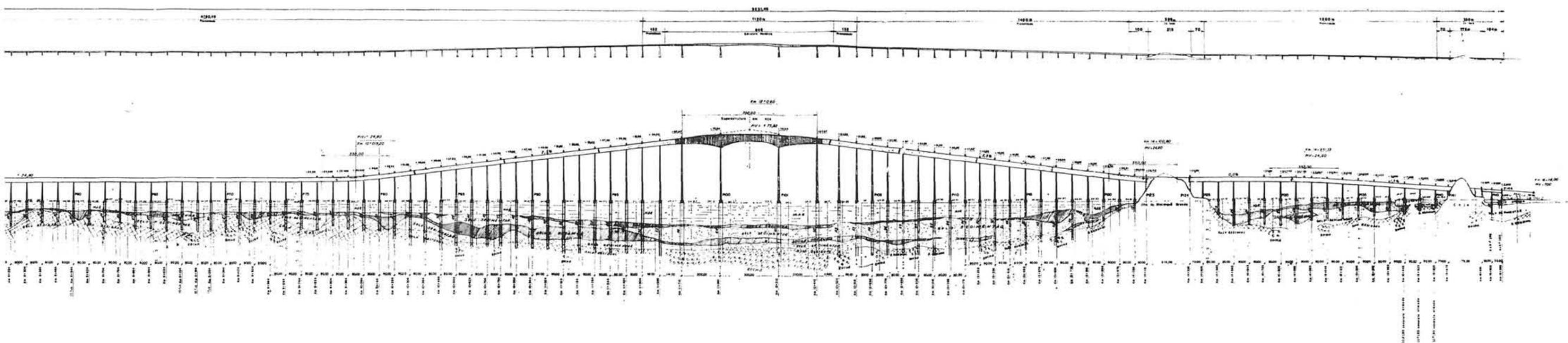


1. Avance del tubo de 2,20 m \varnothing por movimiento vertical y rotatorio.
2. Descenso del tubo y excavación, con retracción del material por acción de agua.
3. Acabado de la excavación en roca y colocación de la camisa de acero de 1,80 m \varnothing .
4. Colocación de la parrilla de acero reforzado.
5. Vertido de hormigón bajo el agua.
6. Proceso de hormigonado.
7. Acero 1,80 m \varnothing .
8. Acero reforzado.
9. Plataforma flotante.
10. Bomba de hormigón.
11. Tubo.
12. Acero.
13. Acero plano.
14. Conducto de relleno.
15. Lechada.
16. Hormigón estructural.
17. Arena.

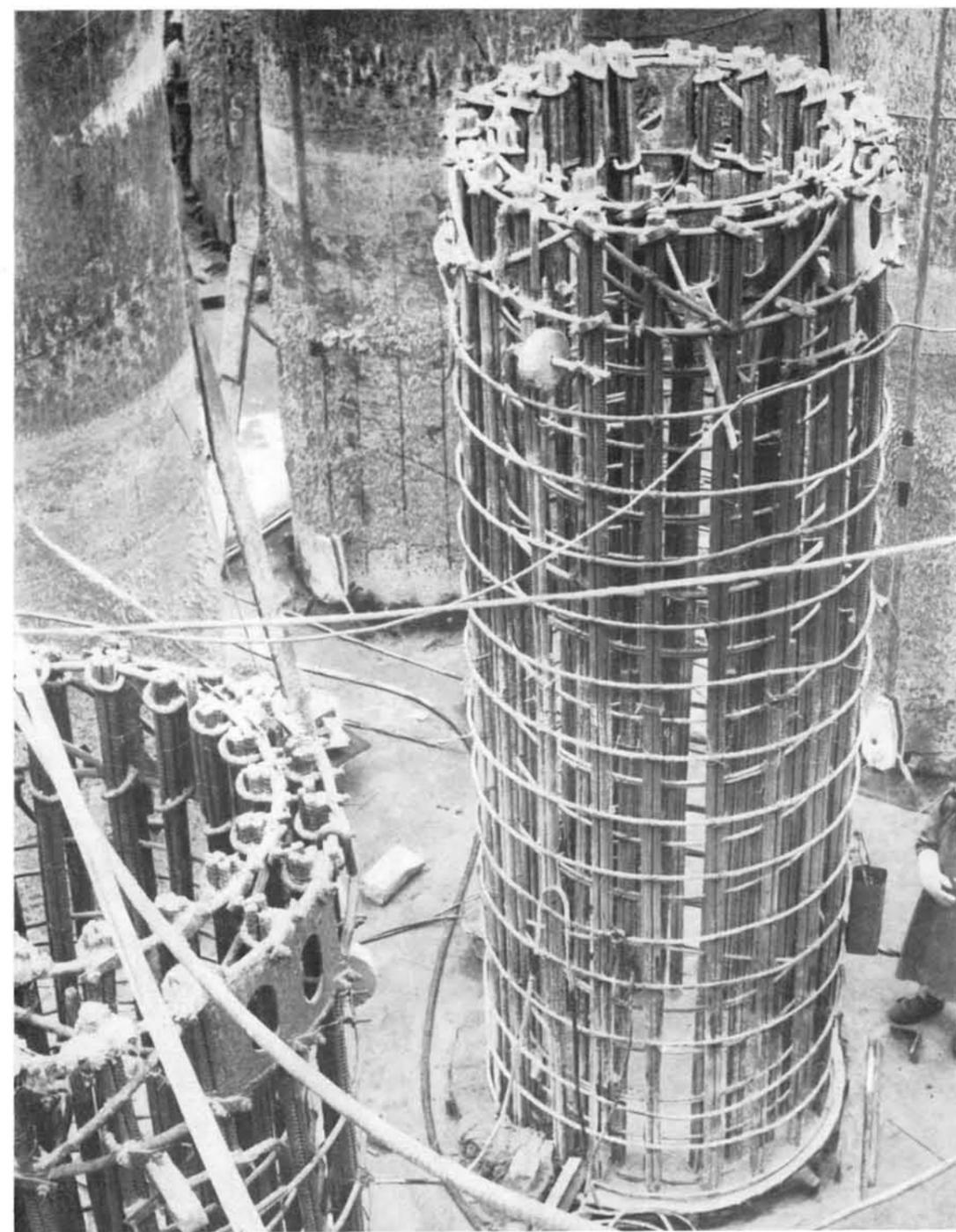
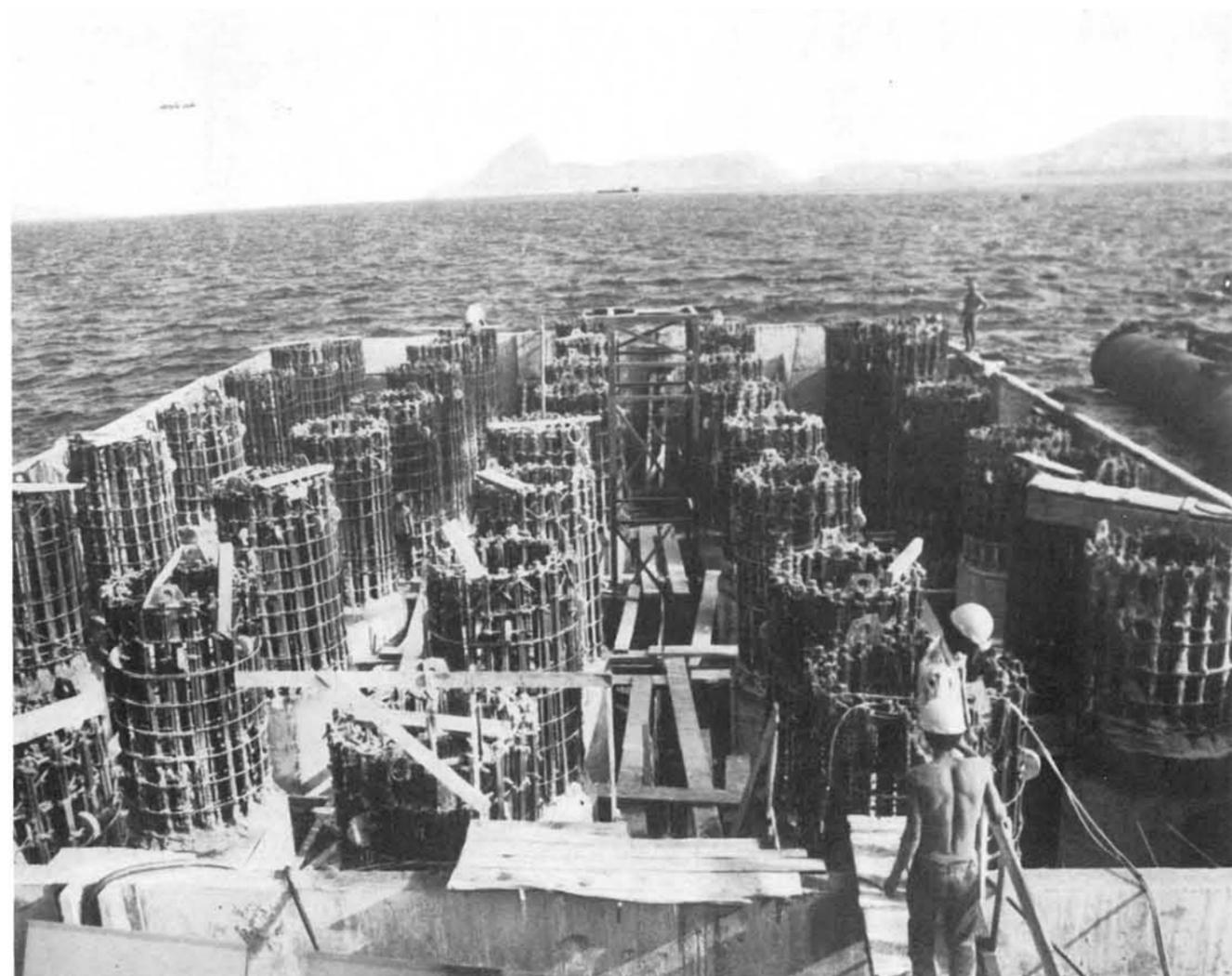


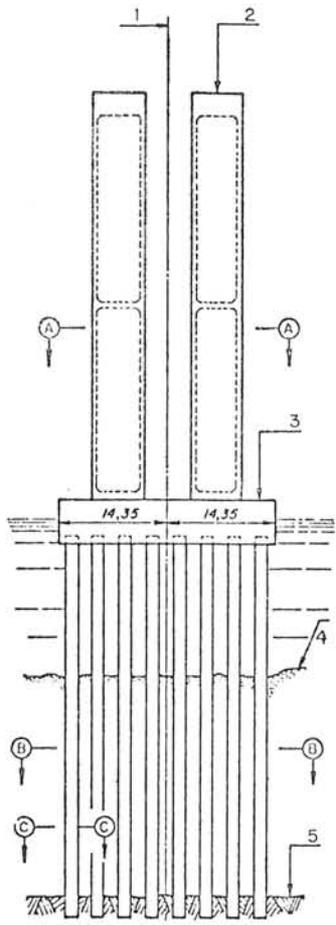
los trabajos, por tratarse del elemento de unión entre las estructuras de aproximación que se deducen de las costas opuestas de la bahía. En segundo lugar se construyeron las cuatro arcadas gemelas —formando parejas de dos en dos—, de 292 m de longitud cada una, incluyendo una ménsula de 30 m hacia las arcadas laterales, y de 62 m hacia el vano central. Estas unidades también precisaron de una resistencia adicional en la estructura de los puntos de apoyo provisionales



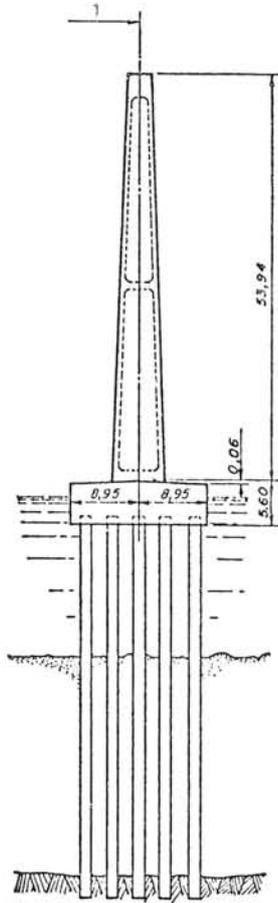


El sistema de montaje elegido impuso la siguiente secuencia de trabajo: En primer lugar, la construcción de la sección central del vano más grande, de 176 m de longitud, que iba a actuar como pontón flotante para el traslado de los demás vanos prefabricados desde la Isla Caju —lugar de fabricación— hasta las pilas de hormigón de la bahía. A esta viga-pontón se la dotó de los mecanismos necesarios para la sujeción y elevación de las arcadas metálicas, sobredimensionándose su resistencia para soportar el considerable peso de las mismas. En los extremos de la viga-pontón se dispuso una estructura metálica especial que permitiese la propia elevación, hecho que marcaría la última etapa de



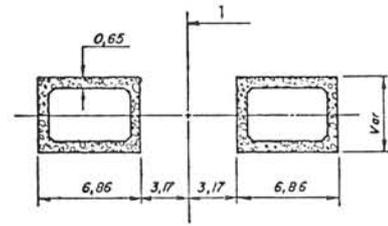


alzado frontal

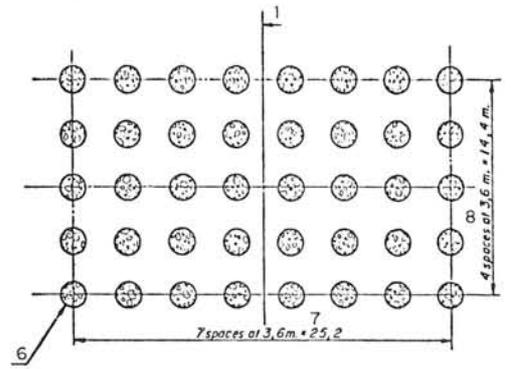


alzado lateral

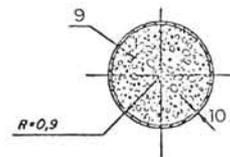
sección A-A pilas



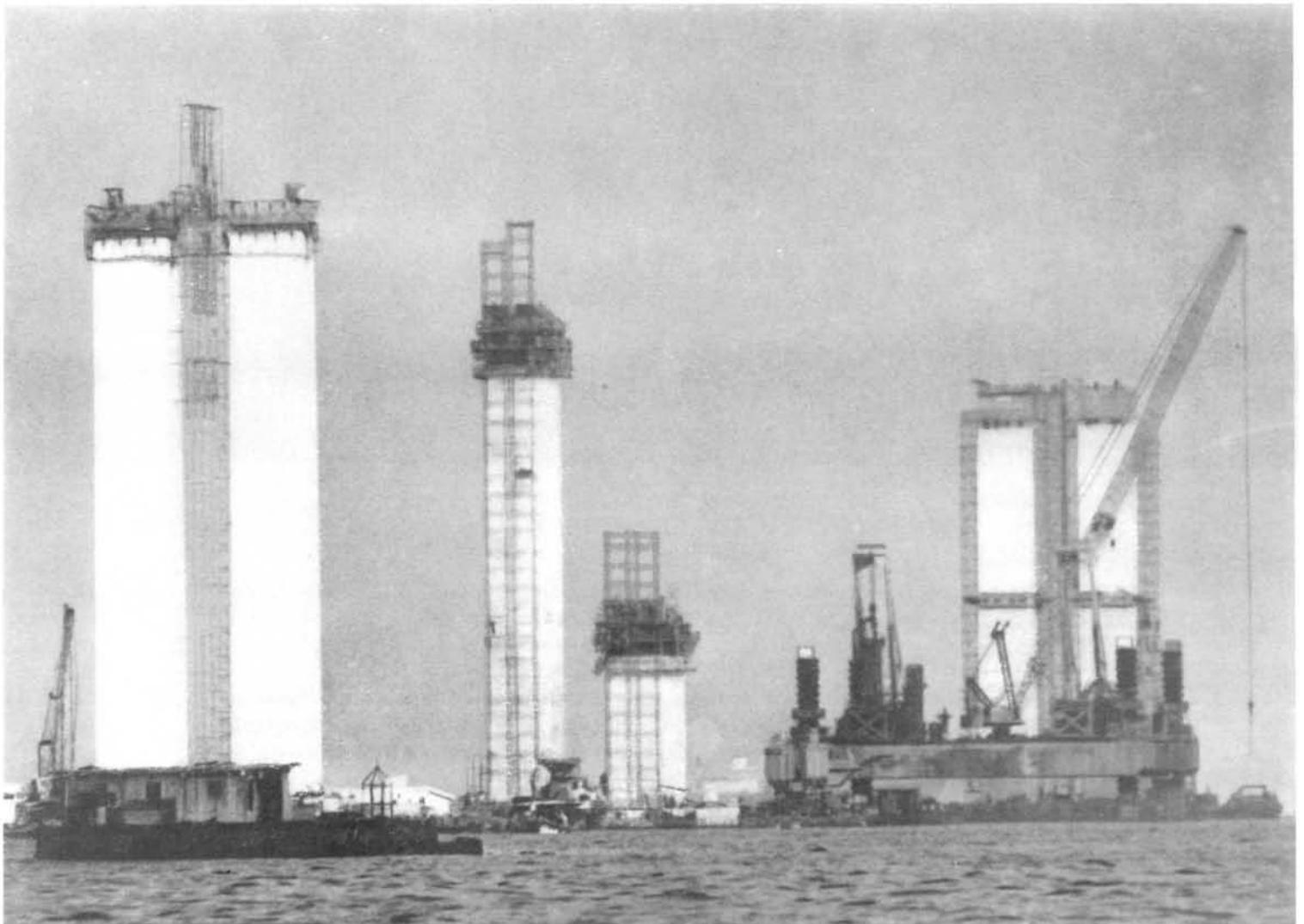
1. Eje de la pila.—2. Altura (56,44 m).—3. Altura (2,5 m).—4. Altura (—21 m ±).—5. Altura (—50 metros ±).—6. Tubos de 1,80 m \varnothing .—7. Siete espacios de 3,6 m = 25,2 m.—8. Cuatro espacios de 3,6 m = 14,4 m.—9. Hormigón armado.—10. Acero (0,01 m).

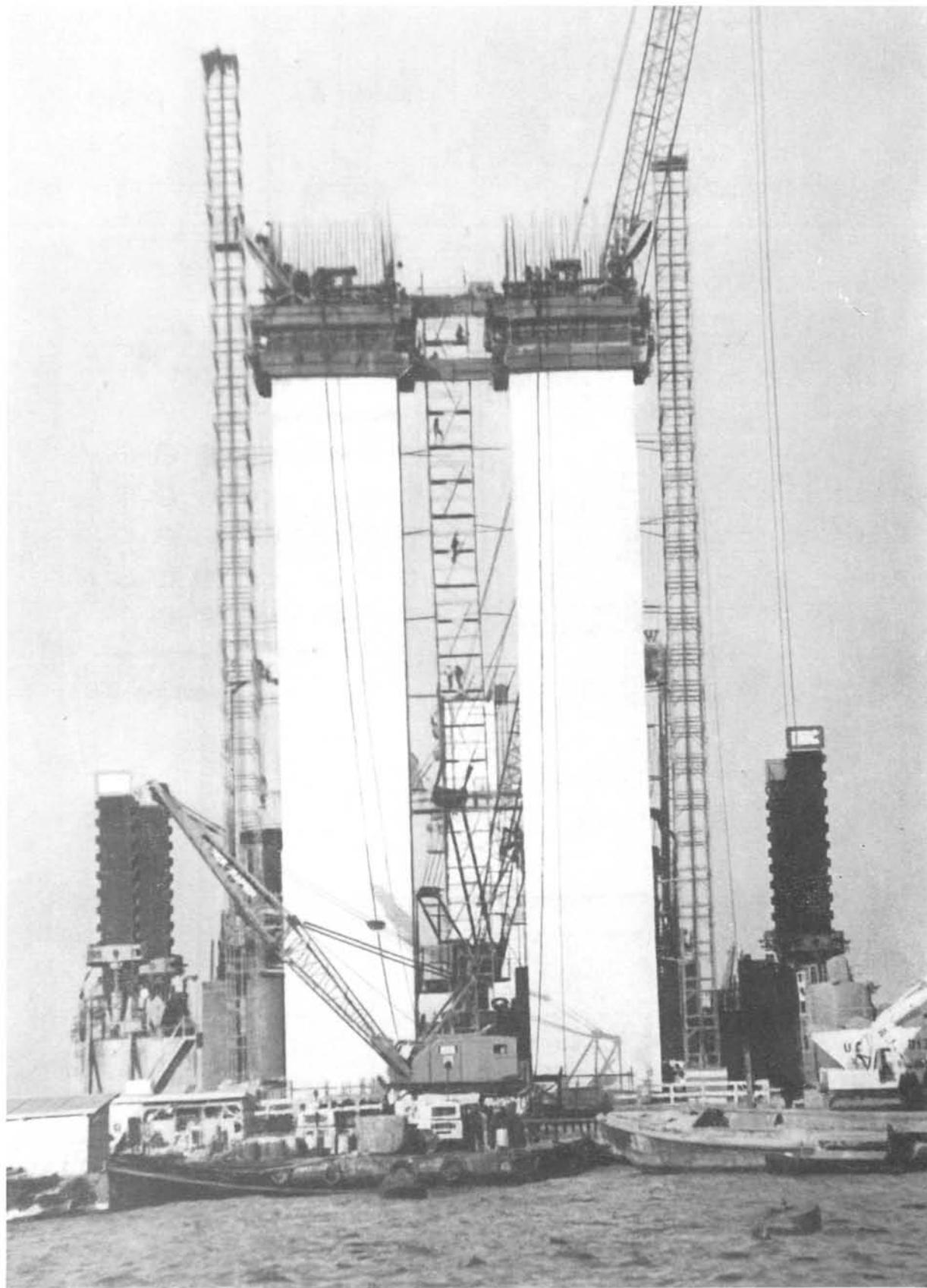


sección B-B



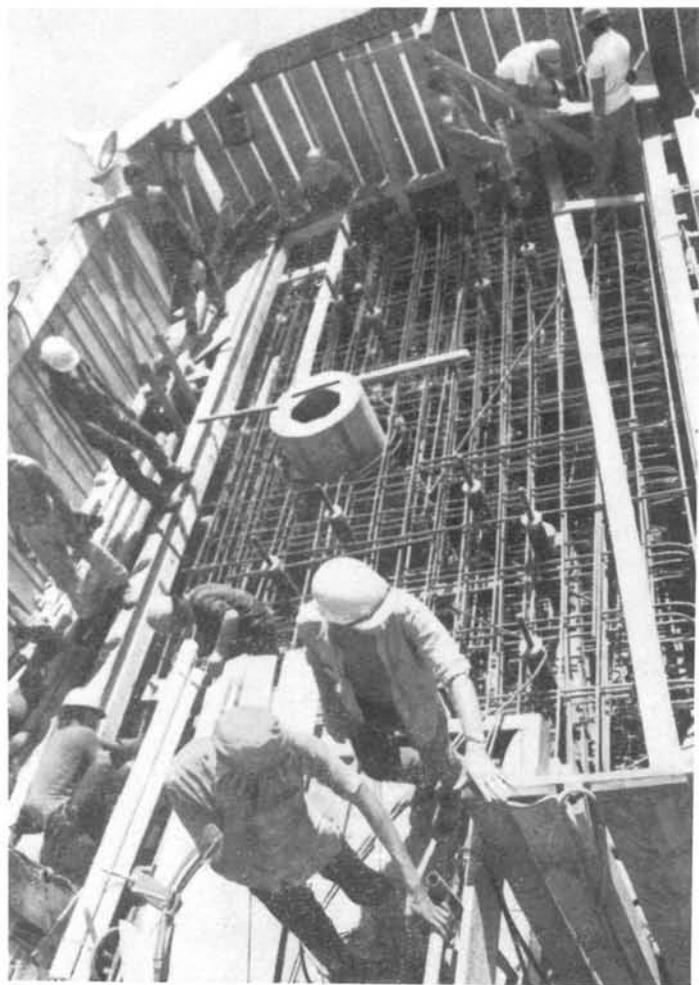
sección C-C





y en los extremos de las ménsulas mayores para el levantamiento de la viga-pontón. Por último, se construyeron las dos vigas metálicas laterales, de 44 m de longitud cada una, destinadas a enlazar con la estructura de hormigón.

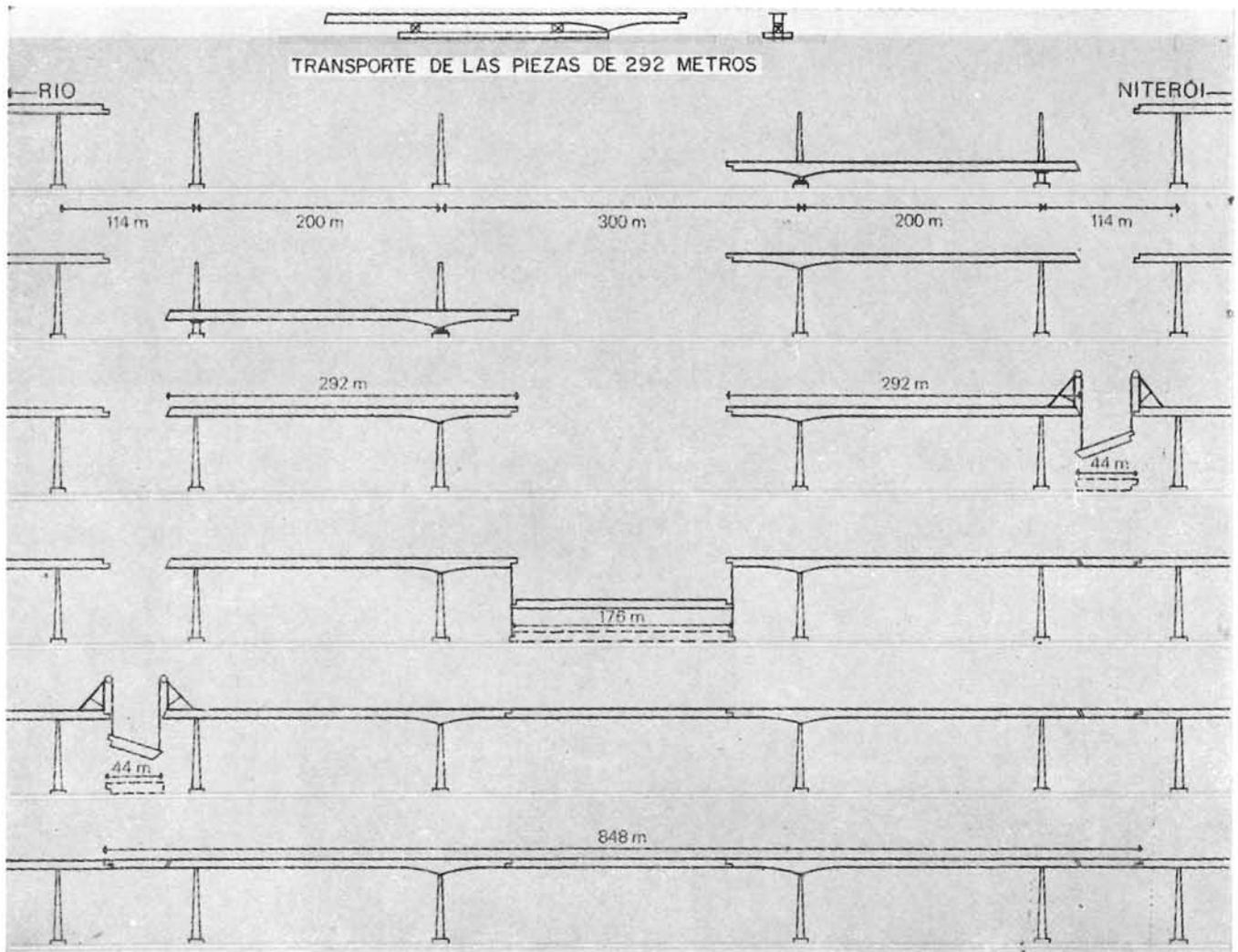
Los componentes metálicos de las arcadas, fabricados en el Reino Unido, adoptan la forma de grandes planchas de 15 m de longitud por 2,50 a 3,50 m de anchura, aproximadamente. Los paneles correspondientes a la cara superior de la viga-cajón se dotaron de elementos rigidizadores longitudinales y vigas transversales cada 5 m.

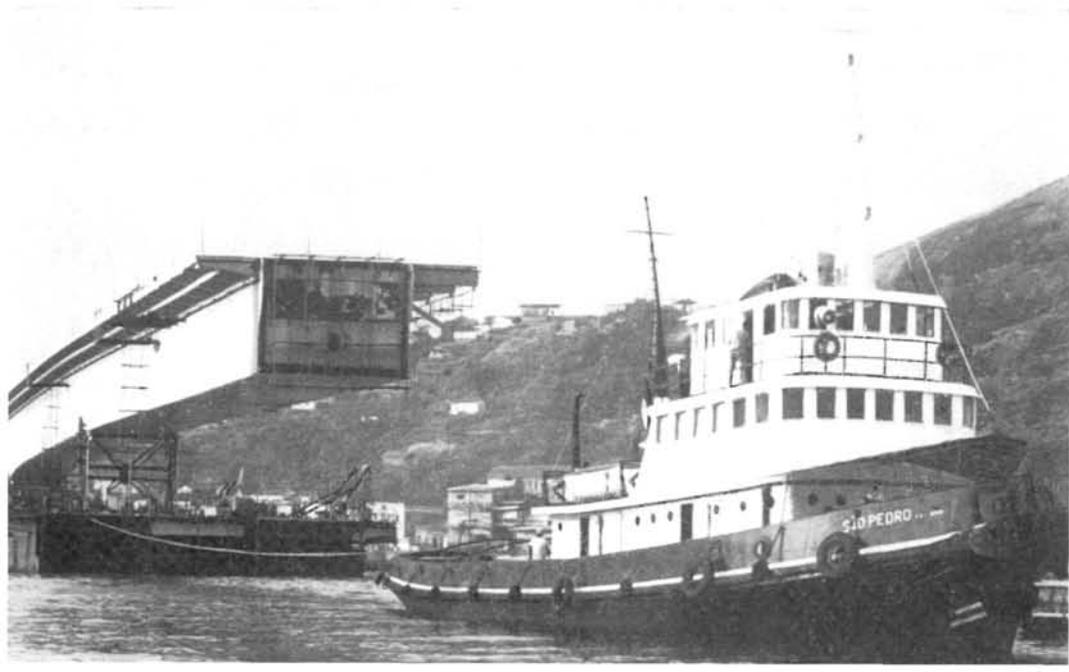
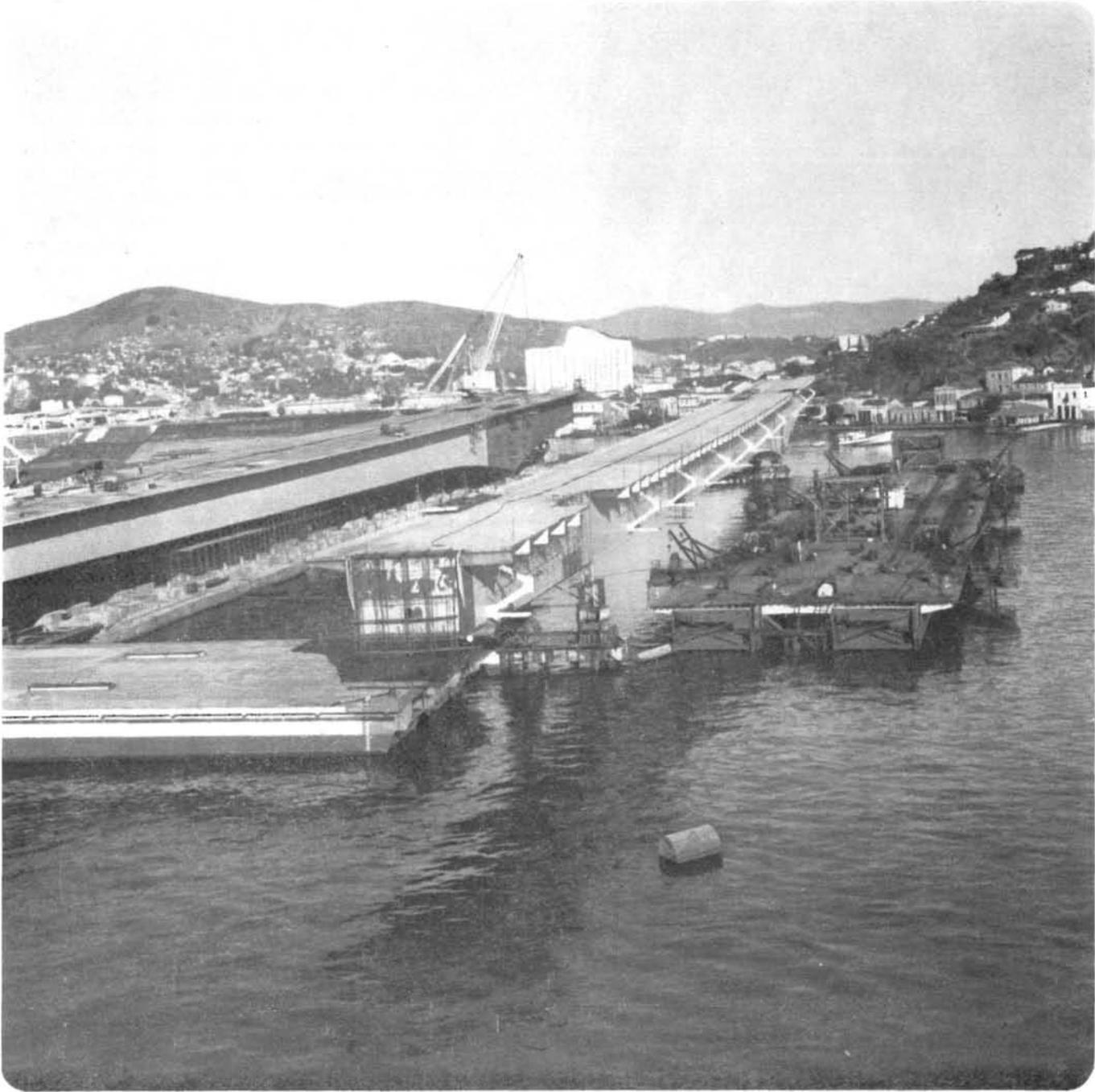


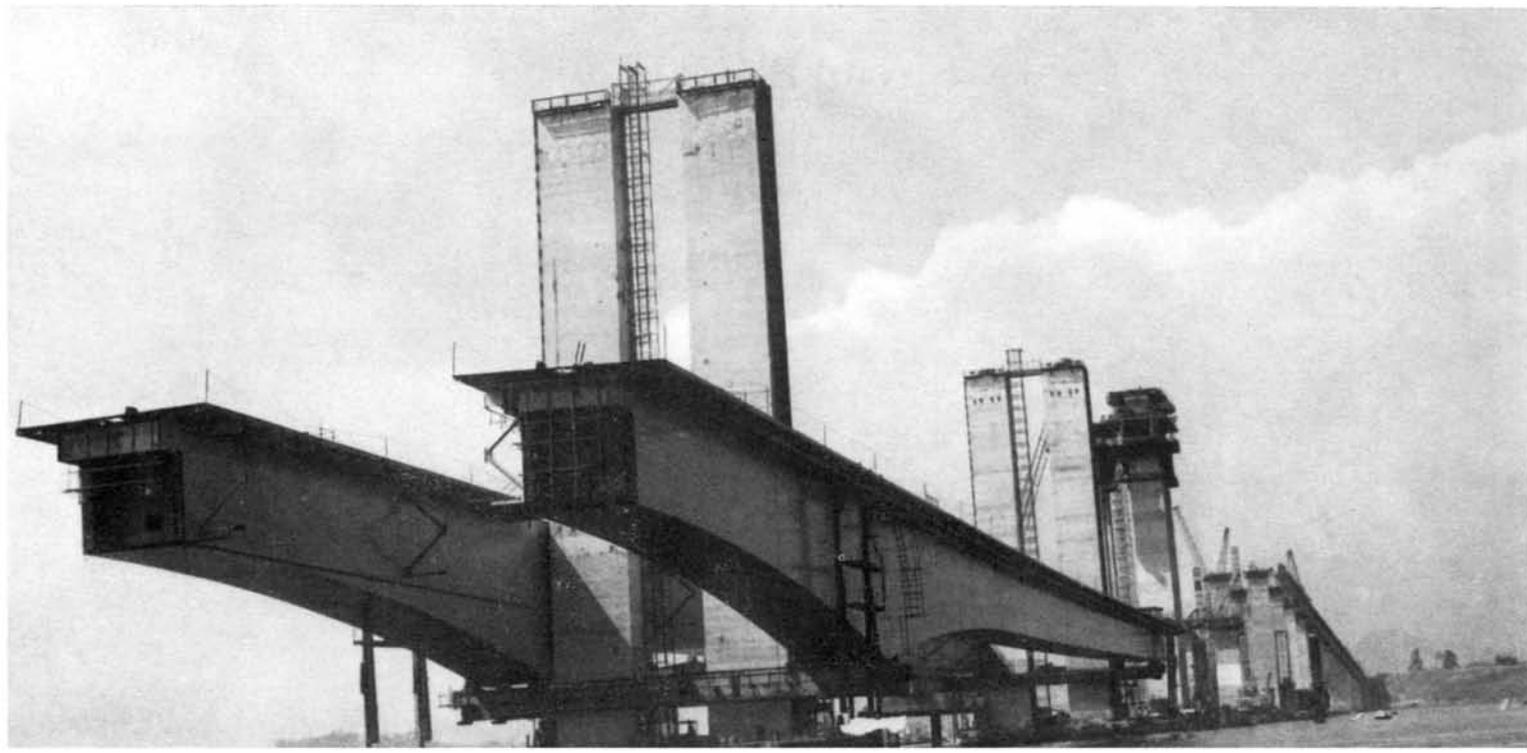
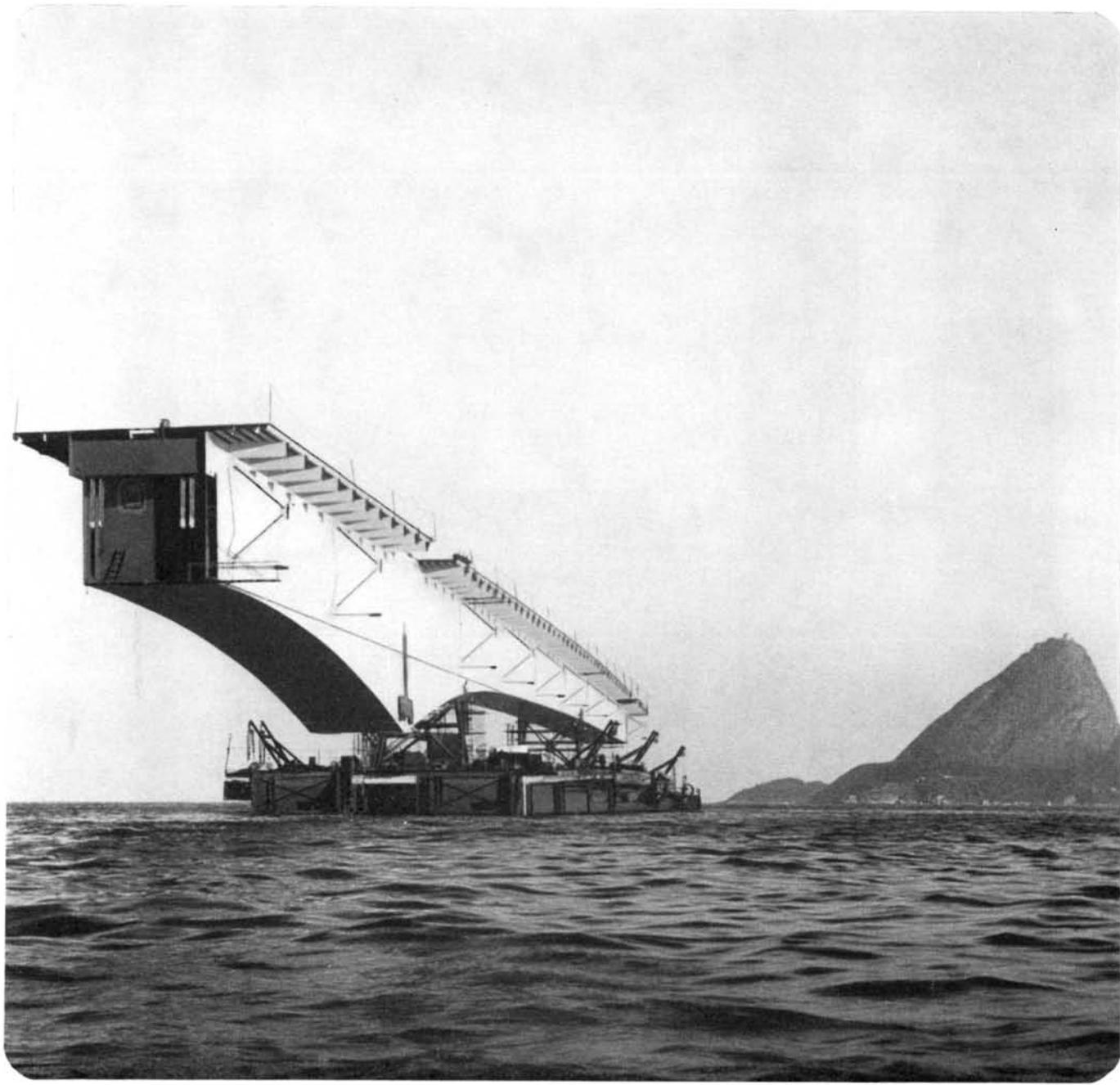
Una estructura similar se dispuso en la cara inferior, a la que se añadió un entramado especial en las zonas sometidas a mayor esfuerzo, particularmente en la «ranura» que separa las dos vigas-cajón gemelas. Aquí, debido a la complejidad de los elementos estructurales, se prefabricaron grandes piezas de 4 m de anchura, en Inglaterra, las cuales, divididas en secciones, fueron embarcadas para Río. La mayor de estas piezas pesaba 43 t. Posteriormente, estas unidades metálicas fueron montadas sobre caballetes dispuestos, a priori, con la curvatura deseada.

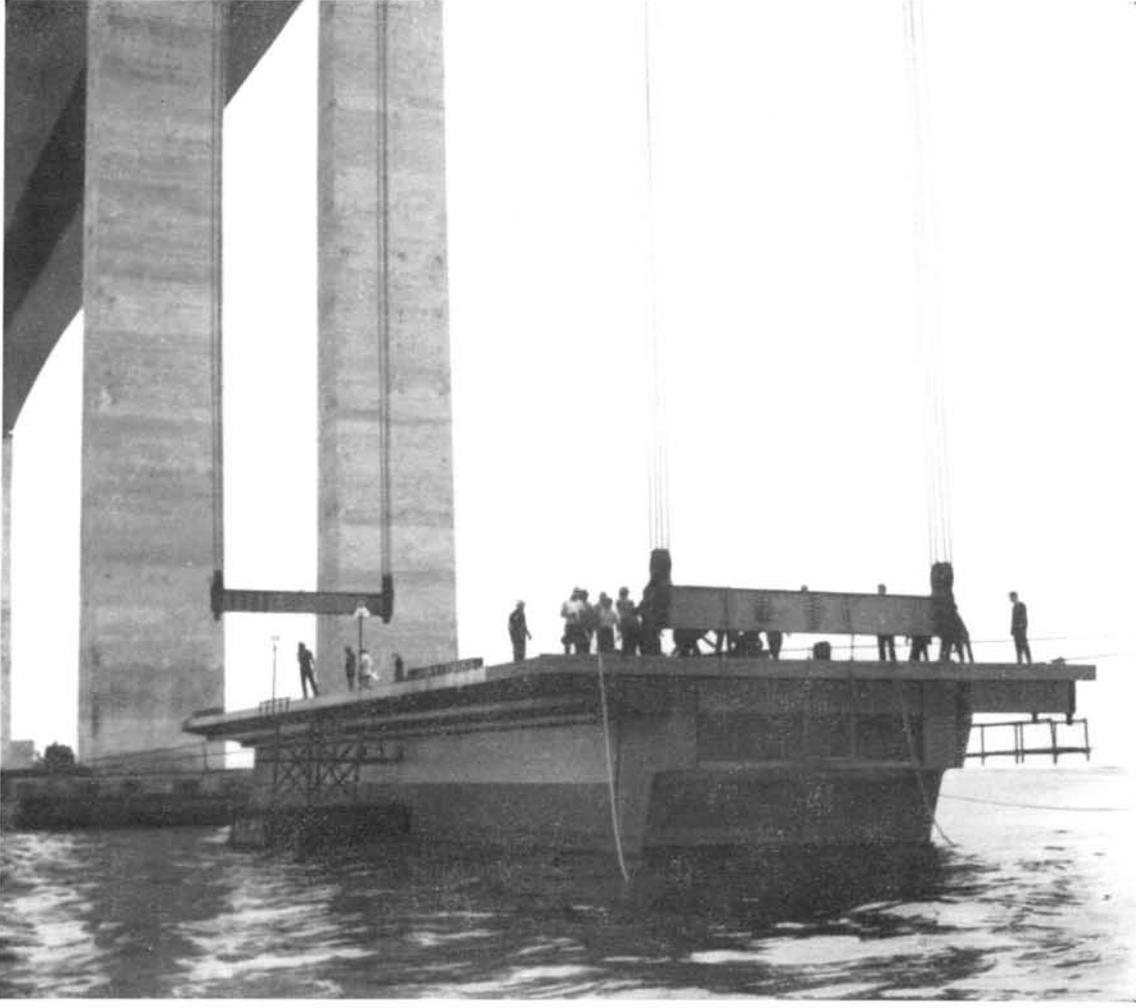
Una vez terminada la viga-pontón fue izada por medio de gatos incorporados, a fin de liberarla de los apoyos metálicos sobre los que se construyó y dejarla lista para ser depositada sobre el agua. El primer par de arcadas gemelas fue entonces montado y soldado, conectándolas provisionalmente entre sí, durante el montaje, para asegurar un machihembrado perfecto en el futuro, una vez colocadas en su posición definitiva sobre las pilas de hormigón. Una vez terminadas,

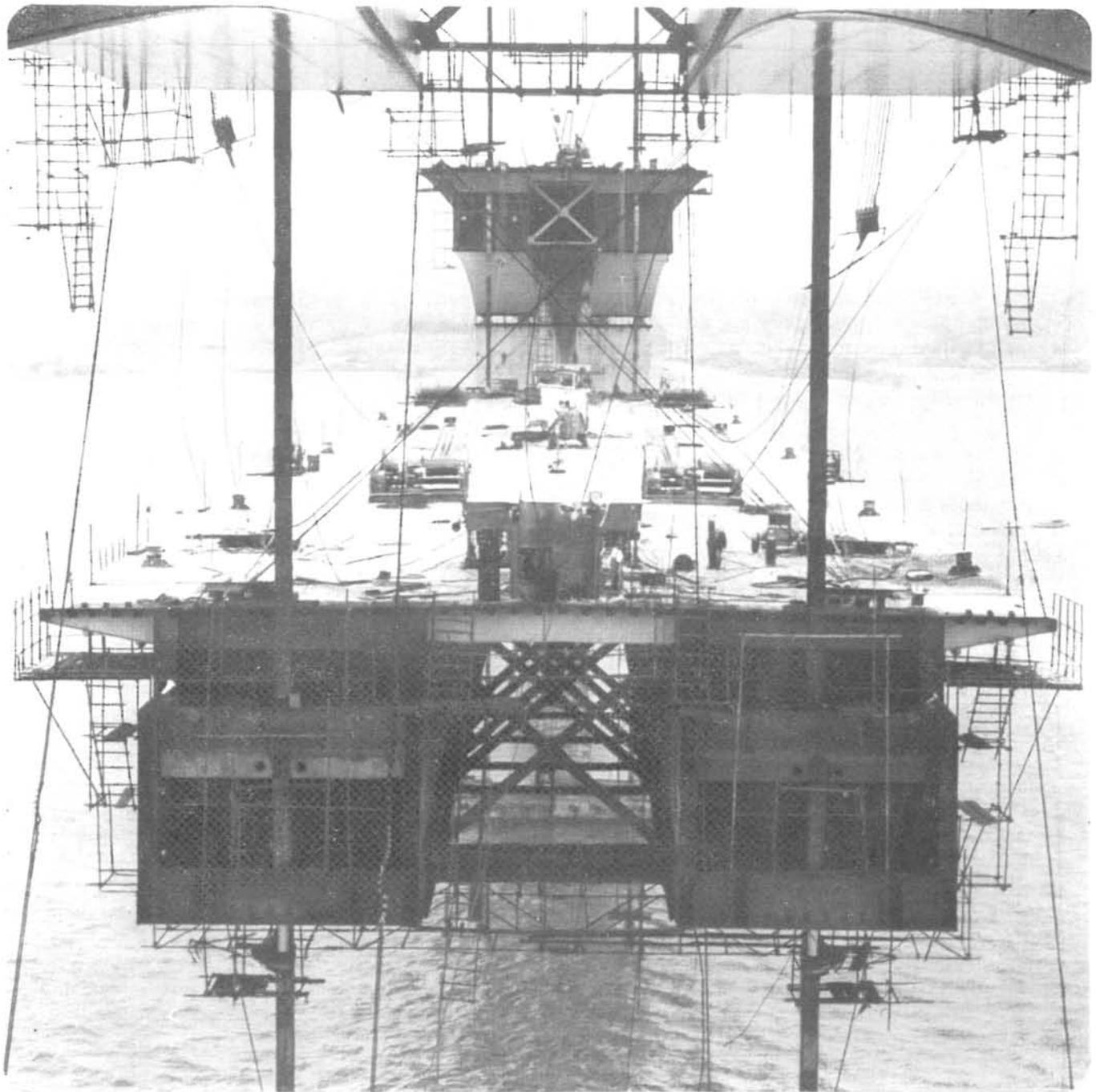
fases de elevación de la super-estructura metálica











las vigas-cajón fueron separadas y trasladadas mediante gatos fuera de las estructuras provisionales de montaje, quedando en posición apropiada para ser recogidas por la viga-pontón y llevadas, por el agua, hasta las pilas de la bahía. Completo el primer par, se procedió al montaje y soldadura del segundo. Por último, las dos vigas de 44 m se construyeron, simultáneamente con los trabajos anteriores, en un astillero en desuso de la Isla Caju, embarcándolas posteriormente para su colocación definitiva.

El puente está sustentado, en su recorrido por encima del agua, por un total de 102 pilas, construidas a base de hormigón armado, con encofrados deslizantes, y cimentadas sobre grupos de pilotes de hormigón armado con encofrado metálico perdido, de 1,80 m de diámetro y hasta 70 m de profundidad. El número de pilotes varía con la situación de cada pila y las condiciones a las que se ve sometida, pero normalmente fueron utilizadas dos o tres filas de 4 ó 5 pilotes cada una. Las cuatro pilas principales se calcularon y diseñaron no sólo para soportar los mayores pesos de las imponentes arcadas metálicas, sino para resistir el impacto horizontal provocado por posibles errores de navegación. En total se emplearon unas 40.000 t de acero en el pilotaje.

Los vanos, a ambos lados del canal de navegación, se construyeron con vigas-cajón de hormigón armado, prefabricadas y postensadas, de unos 80 m de longitud. Más de 3.000 de estas vigas fueron trasladadas y colocadas en su posición definitiva por medio de grúas móviles que izaron las piezas de 110 t desde las barcasas de transporte. La construcción de estos elementos se realizó primeramente en la costa de Río, y después en Niteroi, según se avanzaba hacia el canal central de navegación.

Para permitir la elevación de las arcadas metálicas, aparte de la terminación de los tramos de hormigón, las últimas secciones a ambos lados del canal de navegación —destinadas a soportar por medio de ménsulas los últimos tramos de la viga metálica— fueron construidas independientemente. Con este propósito se levantaron pilas dobles capaces de permitir los vuelos en ménsula de las vigas prefabricadas de hormigón.

Una vez construido el primer par de pilas, en el canal de navegación, tuvo lugar la más crítica e importante fase de todo el proceso constructivo: la erección de las dos enormes arcadas metálicas de 292 m de longitud, cuya colocación admitía muy estrechos márgenes de tolerancia.

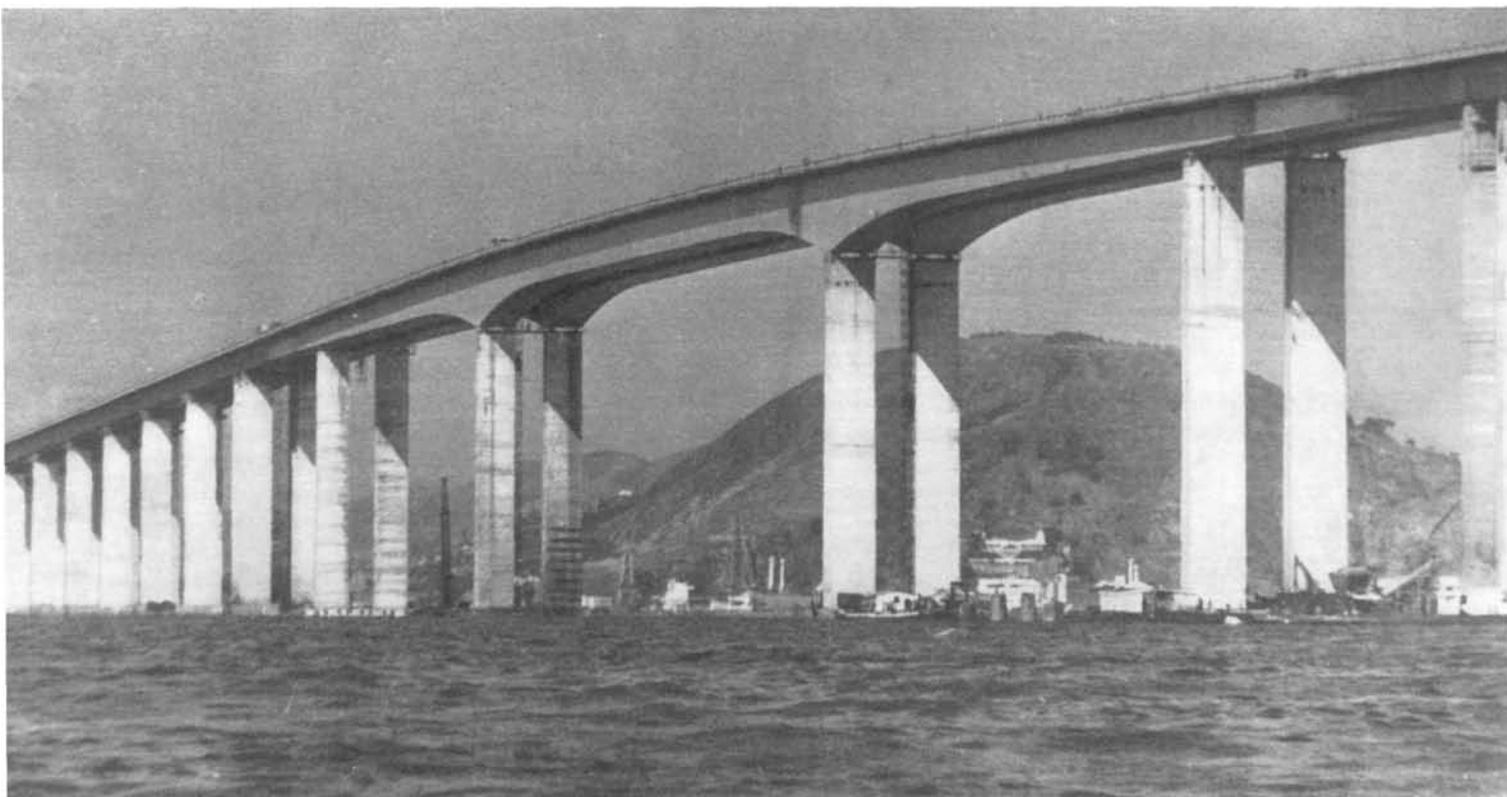
La secuencia de operaciones fue la siguiente: En primer término se dispusieron elementos de acero, provisionales, abrazando las pilas por la base, con vigas de acero volando a ambos lados, a fin de formar un soporte sobre el que pudiesen apoyar las grandes arcadas. Asimismo se adosaron, contra las caras de las pilas de hormigón, columnas de acero conectadas a los gatos elevadores. Simultáneamente, la viga-pontón fue echada al agua, dotándosela de equipos especiales de amarre y bombas para la extracción de agua. La primera arcada fue entonces desplazada, mediante gatos, hasta los extremos del muelle en el que estaba situada. A continuación, la viga-pontón bajó su nivel de flotación, llenándose parcialmente de agua, para colocarse bajo la arcada metálica. Una vez bajo ésta, se bombeó el agua de la viga-pontón, recuperando el nivel máximo de flotación y elevando consigo a la arcada, a la que pasó a sustentar, dejándola lista para su remolque a la bahía cuando las condiciones climáticas lo hicieran posible. Una vez allí el pontón fue nuevamente rebajado en su nivel de flotación, con objeto de transferir la arcada a la estructura metálica provisional situada en la base de las pilas. El pontón retornó a la Isla Caju para repetir la operación con la arcada gemela, situándola en la misma posición, pero en el lado opuesto de las pilas. Los sucesivos cambios en los modos de apoyar las arcadas condujeron a considerables variaciones en la curvatura de las mismas, por lo que el equipo de elevación tuvo que ser diseñado para absorber estas diferencias y las que provenían de las dilataciones y contracciones provocadas por los cambios de temperatura.

Después de emplazar las arcadas sobre la estructura provisional de elevación, 12 gatos de 450 t cada uno —trabajando en correspondencia con las columnas y la estructura de apoyo—, elevaron el peso total, de 5.275 t, hasta la cabeza de las pilas situada a una altura de 52 m. Alcanzado este nivel, las dos mitades fueron desplazadas horizontalmente mediante gatos, machihembrándolas y rebajándolas hasta los puntos de apoyo definitivos, quedando únicamente por completar la «ranura» central entre ambas. La estructura provisional, los gatos y las columnas de acero, fueron entonces desmontados para su recolocación en el segundo par de pilas, repitiéndose toda la operación para la otra pareja de arcadas. Una vez colocadas éstas, comenzaron los preparativos para la erección de la arcada central, que fue de la siguiente forma: de cada uno de los extremos de las ménsulas, de 62 m, se suspendieron columnas de elevación hasta alcanzar el nivel del agua. Mientras tanto, la viga-pontón había retornado a la Isla Caju, en donde era despojada de los accesorios correspondientes a su función de balsa —sus trabajos como pontón habían concluido—. Una vez liberada de caballetes, bombas y demás mecanismos, se la equipó con cuatro gatos de 450 t en sus cuatro extremos, remolcándola hasta situarla bajo la zona libre entre las ménsulas, en donde se la conectó a las columnas y fue elevada, con sus 3.420 t de peso, a su posición definitiva.

Se tomaron todo tipo de precauciones para evitar las variaciones dimensionales provocadas por los cambios de temperatura. Precisamente por ello, la elevación de la viga a 63 m de altura se efectuó en su mayor parte por la noche, por ofrecer ésta mejores y más estables condiciones climáticas.

La «ranura» que quedaba entre las arcadas gemelas se completó empleando bulones entre las distintas piezas de acero.

Una vez terminado, el puente ha pasado a ocupar un importante papel en el desarrollo del Brasil, al establecer la unión —creando un entramado continuo a lo largo de la costa atlántica— entre las autopistas del norte y las del sur del país.



résumé

Le pont Río de Janeiro-Niterói - Brésil

Howard, Needles, Tammen et Bergendoff International Inc. (USA), et Antonio Alves de Noronha (Brésil), ingénieurs

Ce pont, ultérieurement baptisé sous le nom de l'ex-président brésilien Costa e Silva —ayant initié la construction sous son mandat— signifie la réalisation d'un des projets les plus ambitieux et les plus exigeants de l'engineering ou génie civil en Amérique du Sud. Il est non seulement important par sa longueur —le pont traverse la Baie de Guanabara, depuis la ville de Río de Janeiro jusqu'à la prospère et expansive ville de Niterói, sur la rive opposée—, mais par son emplacement stratégique permettant de relier le réseau des autoroutes du sud du pays avec celles du nord, créant un entrelacement continu de communications de 4.000 km de parcours, au long de la côte atlantique.

Le pont, de 13.900 m de développement, et dont 8.900 se trouvent sur l'eau, est le cinquième du monde en ce qui concerne sa longueur et possède à sa partie centrale un écartement de 300 m de vide et 60 m de hauteur permettant l'accès et la sortie de grands navires de la Baie de Guanabara. Avec ses services, il jouera un rôle d'importance vitale dans le futur développement du Brésil.

summary

The Río de Janeiro-Niterói bridge - Brazil

Howard, Needles, Tammen and Bergendoff International Inc. (USA), and Antonio Alves de Noronha (Brazil), engineers

This bridge, later given the name of the former Brazilian President Costa e Silva —as the construction was initiated during his term of office— signifies the completion of one of the most ambitious and demanding civil engineering projects in South America. Not only is it important on account of its length —the bridge crosses Guanabara Bay from the city of Río de Janeiro to the prosperous and expansive city of Niterói on the opposite shore—, but also because of its strategic situation which makes it possible to connect the highway network of the south of the country with those of the north, thus creating a continuous line of communications stretching along 4,000 km on the Atlantic coast.

The bridge, 13,900 m long —8,900 of which are over the water—, is the fifth longest in the world, and in its central part has a span of 300 m and a height of 60 m, which allows access and departure of large ships in the Guanabara Bay. Most certainly it will play a role of vital importance in the future development of Brazil.

zusammenfassung

Río de Janeiro-Niterói Brücke - Brasilien

Howard, Needles, Tammen und Bergendoff International Inc. (USA), und Antonio Alves de Noronha (Brasilien), Ingenieure

Diese Brücke, die später mit dem Namen des Expräsidenten Costa e Silva getauft wurde, da ihr Bau während seiner Regierung begonnen worden war, stellt die Durchführung eines der ehrgeizigsten und anspruchsvollsten Projekte des Zivilingenieurwesens Südamerikas dar. Sie ist nicht nur auf Grund ihrer Länge von grosser Bedeutung —die Brücke geht von Río de Janeiro über die Guanabara-Bucht bis dem ausgedehnten Stadt Niterói an entgegengesetzten Ufer der Bucht—, sondern auch wegen der strategischen Lage, welche eine Verbindung der südlichen Autobahnnetze mit denen des Nordens ermöglicht und auf diese Weise an der atlantischen Küste eine 4.000 km lange, ständige Kommunikation schafft.

Die Brücke hat eine Länge von 13.900 m, davon befinden sich 8.900 über Wasser. Was seine Länge anbetrifft, handelt es sich um den fünften Bau der Welt. In ihrer Mitte weist die Brücke eine Spannweite von 300 m und eine Höhe von 60 m auf, wodurch grosse Schiffe in die Guanabara-Bucht einlaufen und aus der Bucht auslaufen können. In der zukünftigen Entwicklung Brasiliens wird diese Brücke mit ihren Diensten eine lebenswichtige Rolle spielen.