

PUENTE VASCO DE GAMA EN LISBOA

(Octubre 94 - Marzo 98)

Aleksandar Jankovic.

Ingeniero Civil.

Departamento de Proyectos Especiales ARMACENTRO, S.A.

RESUMEN

El Puente Vasco de Gama con su travesía, de 18 km. de longitud y un coste total estimado de doscientos mil millones de pesetas, es uno de los mayores proyectos de infraestructuras de Europa Occidental.

El Viaducto Central de 6,5 Km., es el tramo más largo del Puente. Contiene 75 vanos dobles formados por parejas de vigas prefabricadas de 78 m. de luz, y dos tramos dobles formados por segmentos pegados de 3,4 m. de longitud.

Con una planificación precisa y el trabajo encadenado en el proceso de prefabricación, cada dos días se termina una viga, y cada día los segmentos pegados.

ABSTRACT

The Vasco de Gama bridge, of a total length of 18 km. and an estimated cost of two thousand million pesetas, is among the largest of the projects of infrastructure of Western Europe.

The 6,5 km. central viaduct, the longest segment of the bridge, has 75 double arches formed by pairs of prefabricated girders to give an opening of 78 m. , and two double stretches of joined segment 3,4 m. long.

Careful planning and close combination with the work of prefabrication ensure that a girder is completed every two days, and two segments joined each day.

En abril de 1994 Lusoponte obtuvo la concesión para el diseño, ejecución, financiación y explotación de la Segunda Travesía sobre el Tajo en Lisboa, el Puente Vasco de Gama.

La compañía se constituyó específicamente para este proyecto, y está formada por las empresas de Reino Unido, Francia, y Portugal.

El Puente Vasco de Gama es uno de los mayores proyectos de infraestructuras de Europa Occidental. Su travesía, de 18km de longitud, reducirá considerablemente los problemas de tráfico que existen en el Puente 25 de abril de Lisboa. Además, completará la red de carreteras que rodean la ciudad, posibilitando el desarrollo de nuevas localidades, y sirviendo como acceso adicional a la Exposición Universal de 1998.

Gracias a la concesión del Ministerio Portugués de Obras Públicas, Transportes y Comunica-

ciones, Lusoponte explotará la travesía bien hasta que 2,25 mil millones de vehículos la transiten o hasta un período máximo de 33 años. Como parte del contrato, también tiene derecho a explotar la travesía ya existente, Puente de 25 Abril, desde enero de 1996.

Lusoponte tiene que finalizar la construcción en marzo de 1998, fecha previa a la inauguración de la Expo '98. De lo contrario, perderá el derecho de la concesión.

COSTE Y FINANCIACIÓN

El coste total estimado es de 200 mil millones de pesetas. La mayor parte de este importe (130 mil millones) pertenece a los trabajos de construcción. El resto engloba tanto los costes de estable-

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
mayo de 1998.

Recibido en ROP:
enero de 1998

cimiento de la compañía, como los de financiación y de adquisición de terrenos.

En cuanto a la financiación global del Proyecto, la mayor parte de los recursos provienen del Banco Europeo de Inversiones, y del Fondo de Cohesión de la Comunidad Europea.

Otra parte de los ingresos se generan por recaudación del peaje en el Puente de 25 Abril, habiéndose comenzado a ingresar en Enero de 1996 cuando *Lusoponte* empezó a cobrar el peaje de la travesía existente.

LA RUTA Y EL DISEÑO

Los factores comerciales, ecológicos y de emergencia civil han determinado la ruta y el diseño de la nueva travesía. Ésta conectará las nuevas autopistas del norte y sur de Lisboa, completando la red de carreteras de la ciudad. No sólo aligerará el tráfico en las carreteras existentes, sino que creará un acceso rápido hacia Setúbal, Algarve y España. También se abrirán nuevas áreas para el desarrollo en el margen sur del río Tajo, cerca de las ciudades de Montijo y Alcochete.

La ruta exacta ha estado determinada por el desarrollo urbano existente alrededor de la ciudad. Esto incluye el aeropuerto, las bases militares y las áreas industriales.

El flujo de la marea y el deseo de salvaguardar el medioambiente local, han llevado a la decisión de que la travesía estuviese hecha como viaducto en dos tercios de su longitud total.

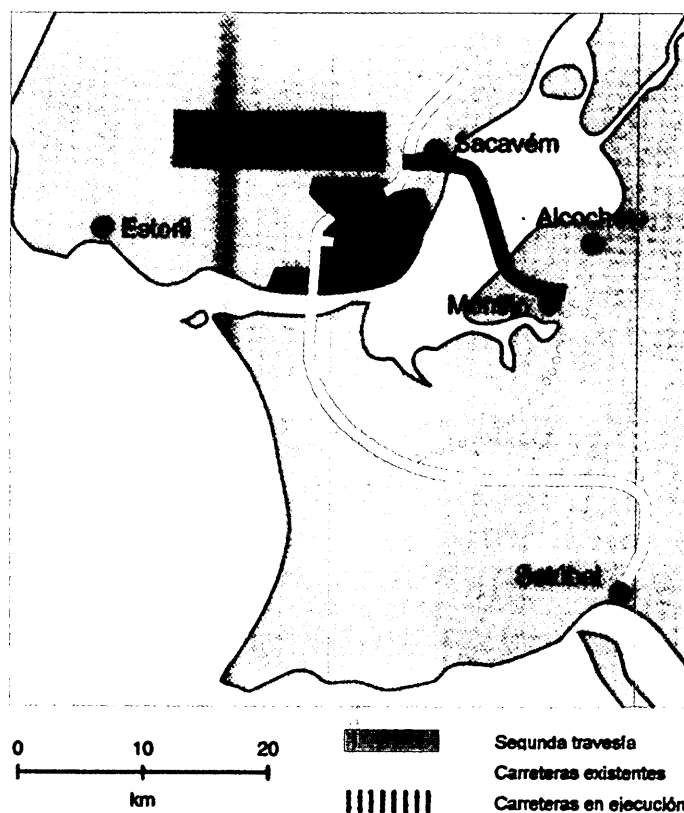
Otro factor que ha influido en el trazado de la ruta ha sido proporcionar a Lisboa una vía de emergencia en caso de sismo. Desde el punto de vista técnico-legal, Lusoponte ha tenido que adoptar la interpretación oficial de las normas portuguesas concernientes al cálculo sísmico, aumentando la armadura con relación al proyecto inicial. En todos los empalmes de armaduras se ha aplicado estrictamente la norma por la que sólo un 50% de la armadura se puede solapar en la misma sección. Así, en todos los tramos de armadura prefabricada, la mitad de las barras se tienen que conectar con los empalmes mecánicos (manguitos), que garantizan la conexión al 100%.

La travesía tiene seis carriles de tráfico a lo largo de 10km de agua y 8km de tierra, y permite el remonte del Tajo. El río tiene dos vías de paso para los barcos, y una tercera, más profunda, se va a dragar cuando finalicen las obras de construcción. Éste paso, bautizado como *Cala do Norte*, será para barcos de hasta 30.000 toneladas, y está bajo el Puente Atirantado, con una luz entre pilones de 420m. Otros dos pasos, llamados *Cala das Barcas* y *Cala de Samora*, tienen 130m de luz.

LOS PROYECTISTAS

El diseño ha sido realizado por la U.T.E. de cuatro compañías de Reino Unido, Francia y Portugal.

Cada miembro de la U.T.E. se responsabilizó de una sección diferente, y su trabajo ha estado coordinado por un equi-



po de dirección compuesto por los representantes de cada compañía.

Terminado el diseño, éste fue supervisado por otras tres U.T.E.-s de Portugal, Reino Unido y Estados Unidos.

LOS CONTRATISTAS

Lusoponte ha subcontratado todo el trabajo de construcción a una *joint venture*. Dos miembros de la *joint venture* han aportado la mayor experiencia en trabajos, pues ya habían realizado proyectos de gran envergadura como el puente *Tsing Ma* en Hong Kong y el *Pont De Normandie* en Francia.

A su vez, la *joint venture* ha subcontratado a reconocidas empresas para realizar trabajos específicos de construcción, y entre ellas una empresa española -Armacentro, s.a.- para la elaboración, prefabricación y montaje de las armaduras en estructuras de hormigón (incluyendo los métodos para la prefabricación, y posibles cambios de armaduras en el caso de que no se pueda realizar la misma; diseño y fabricación de los moldes para la prefabricación de las armaduras).

La *joint venture* ha establecido plantas de producción en las orillas del río Tajo ya que la mayor parte del proyecto incluye la prefabricación de elementos de hormigón.

Además, antes de empezar los trabajos, se ha dragado un canal de 250m de ancho que atraviesa el río, para poder transportar tanto la maquinaria, como los materiales.

MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES

Se ha valorado el impacto medioambiental de la construcción, así como se han aplicado numerosas medidas para minimizarlo. Por ejemplo, la creación de barreras acústicas, la instalación de colchones de protección alrededor de los encepados, y el tratamiento de aguas residuales procedentes de la travesía, en el margen sur.

También se ha elaborado una medida especial para la recuperación de las salinas de Samouco en la margen sur, como reserva natural para albergar a distintas especies de pájaros, peces, crustáceos y moluscos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

De norte a sur, se diferencian siete estructuras a lo largo de los 18km de la travesía del Puente Vasco de Gama:

1. Accesos de Sacavém y Portela

Estos dos accesos contienen numerosos viaductos que conectan la travesía con la zona de la Expo, y con la nueva autovía del norte de Lisboa.

2. Viaducto del Norte

A lo largo de dos kilómetros, este viaducto sobrepasa la vía ferroviaria y las carreteras locales. Se encuentra a 30m sobre el terreno en sus puntos más altos. El tablero del viaducto está ejecutado in-situ, sobre los pilares postensados, también fabricados in-situ. El ancho del tablero varía según las carreteras que confluyan.

3. Viaducto de la Expo

Contiene un doble tablero de 670m de largo, prefabricado en segmentos. Los pilares hormigonados in-situ, con la armadura prefabricada se cimentan sobre pilotes con sus respectivos encepados.

4. Puente Atirantado

La luz entre pilones tiene 420m, y los dos tramos laterales de 205m están divididos en tres vanos. La altura del tablero es de 45m sobre el río.

Los pilones, de 150m de altura, se han hormigonado in-situ en tramos de 3,3m, con una armadura prefabricada de 6,6m. La cimentación de cada uno de los pilones está constituida por 22 pilotes de diámetro de 2,2m, y de 40 a 60m de profundidad, recogidos por su correspondiente encepado. Los pilones están calculados para el impacto de barco de 30.000 toneladas.

El tablero de 31,3m de ancho incluye dos vigas laterales (longitudinales) de hormigón, de 2,6m de canto, vigas transversales metálicas de 2,0m y la losa de hormigón de 25cm de espesor. Las vigas laterales se hormigonan in-situ, en tramos de

8,8m que coinciden con la distancia entre tirantes y con la armadura prefabricada. La distancia entre vigas transversales metálicas es de 4,4m. La losa del tablero se ejecuta in-situ sobre las vigas metálicas transversales, formando una estructura mixta.

5. Viaducto Central (ver el artículo)

6. Viaducto Sur

Los 4,3km de largo del Viaducto Sur pasa sobre los bancos de arena con vanos de 60m.

Los trabajos en el Viaducto Sur incluyen los movimientos de 655.000m³ de tierra.

En esta zona se va a colocar la rampa de peaje.

7. Accesos Coima

En éste punto varias carreteras y puentes se juntan en la nueva autovía del sur de Lisboa, creando accesos para Montijo y Alcochete.

VIADUCTO CENTRAL

El Viaducto Central es el tramo más largo del Puente Vasco de Gama, con sus 6,5km. Enlaza el Puente Atirantado con el Viaducto Sur. El Viaducto Central sobrepasa los bancos de arena y dos canales para barcos, *Cala das Barcas* y *Cala de Samora*. Por eso, la mayor parte del Viaducto, hecho de vigas prefabricadas de 78m de luz, tiene una altura pequeña sobre el nivel del agua (14m). En los pasos de barcos se eleva hasta 30m de altura, y está formado por segmentos pegados prefabricados de 3,4m de longitud.

ORGANIZACIÓN DE LA OBRA

La idea inicial, de que toda la fase de prefabricación se ejecutase al norte del Tajo, no fue llevada a cabo debido a las obras de la Expo. Así, sólo una parte de los trabajos se ha realizado en el norte (Trancão), mientras el resto se ha situado en la margen sur del río (Seixal).

Trancão

Planta de prefabricación de los pilotes (sólo armadura).

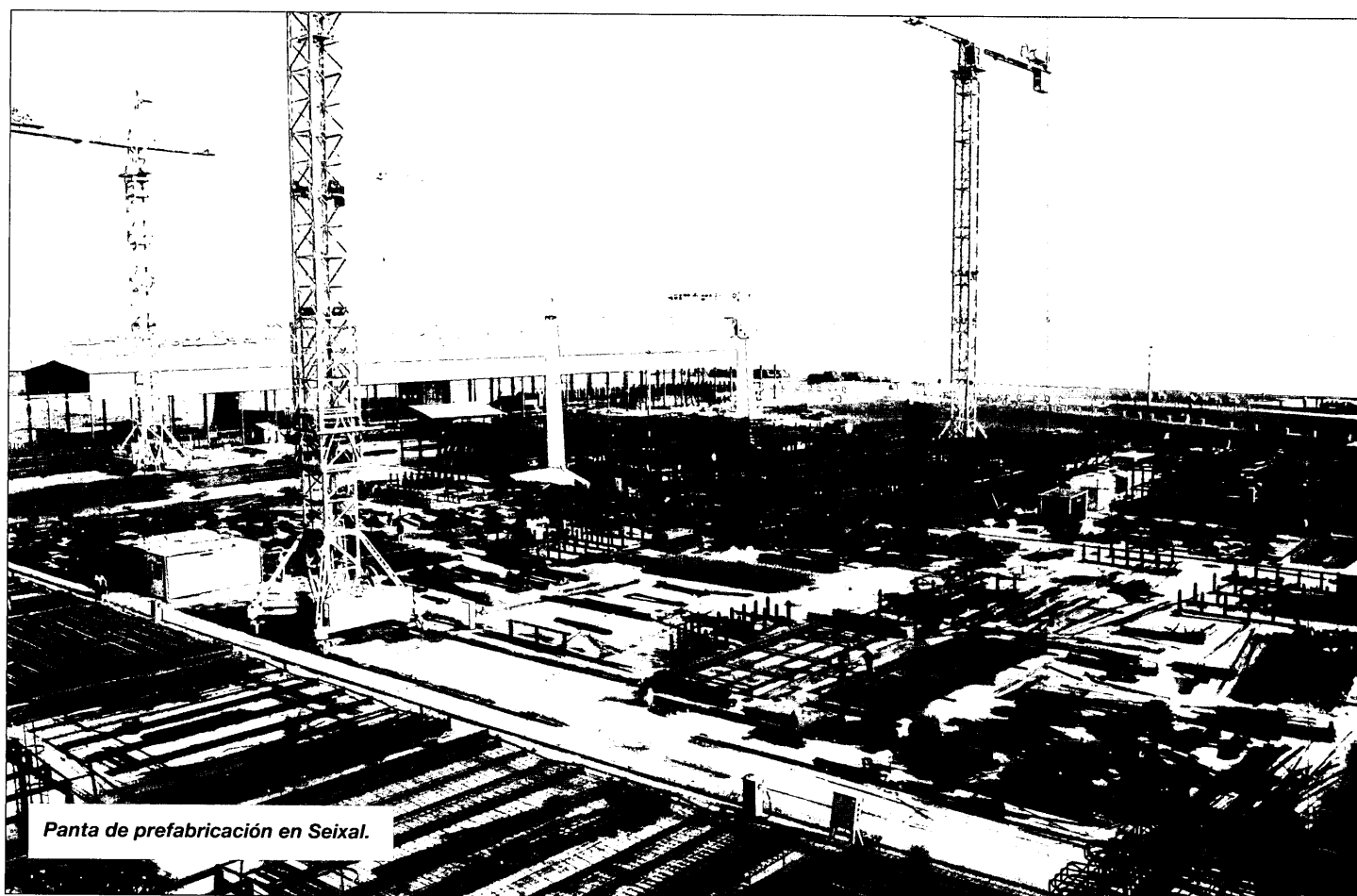
Seixal

Planta de prefabricación del tablero, de los cajones, y de la armadura de las pilas altas.

Río

Trabajos in-situ:

▼ Colocación de los elementos prefabricados: vigas de 78m, segmentos pegados, cajones, y la armadura prefabricada de pilas altas y pilotes.



Panta de prefabricación en Seixal.

▼ Armado in-situ: encepados, pilas bajas y las juntas longitudinales y transversales del tablero.

▼ Hormigonado in-situ: pilotes, encepados, pilas y las juntas del tablero.

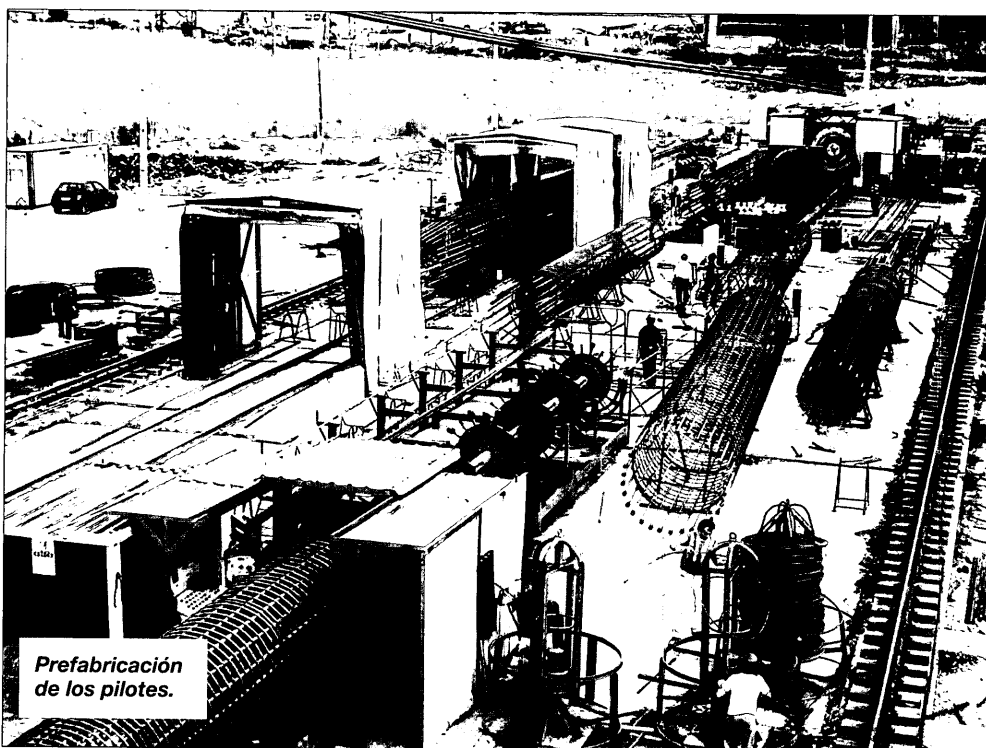
CONSTRUCCIÓN

Pilotes

Los pilotes (hasta 90m de profundidad) tienen una armadura prefabricada compuesta por un número variable de tramos (1-4) de 16-18m de longitud hormigonándose in-situ, dentro de una camisa metálica. Se ha utilizado la prefabricación automatizada, con tubos sónicos incorporados, para el montaje de las armaduras de los pilotes.

Los pilotes son de dos diámetros:

- ▼ a) $\varnothing$ 1.700mm, llamados *Non Ship Impact Piles (NSIP)* - pilotes



Prefabricación de los pilotes.

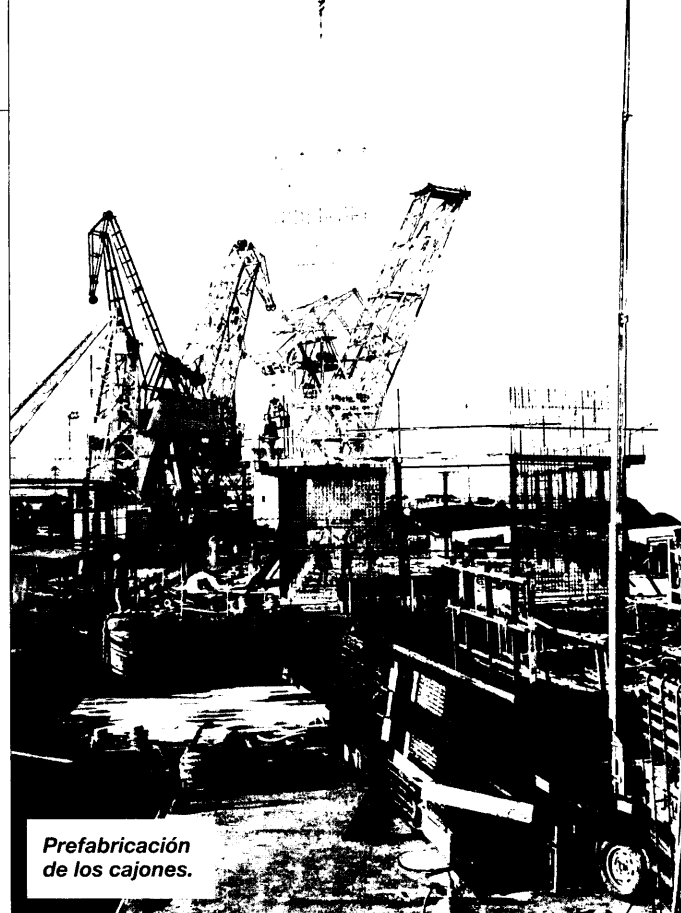
no calculados para el impacto de barco. Se sitúan en la mayor parte del Viaducto, donde están las vigas de 78m de luz. Los NSIP tienen un solo tramo de armadura, colocada en la parte superior siendo el resto hormigón en masa.

▼ b) $\varnothing$ 2.200mm, llamados *Ship Impact Piles (SIP)* - pilotes calculados para el impacto de barco. Se sitúan en los dos pasos de barcos. Los SIP tienen cuatro tramos de armadura. Se comienza por el tramo del fondo, conectándolo con el siguiente en la parte superior, mediante empalmes mecánicos (manguitos), y posteriormente bajándolos, así sucesivamente.

Cajones y encepados

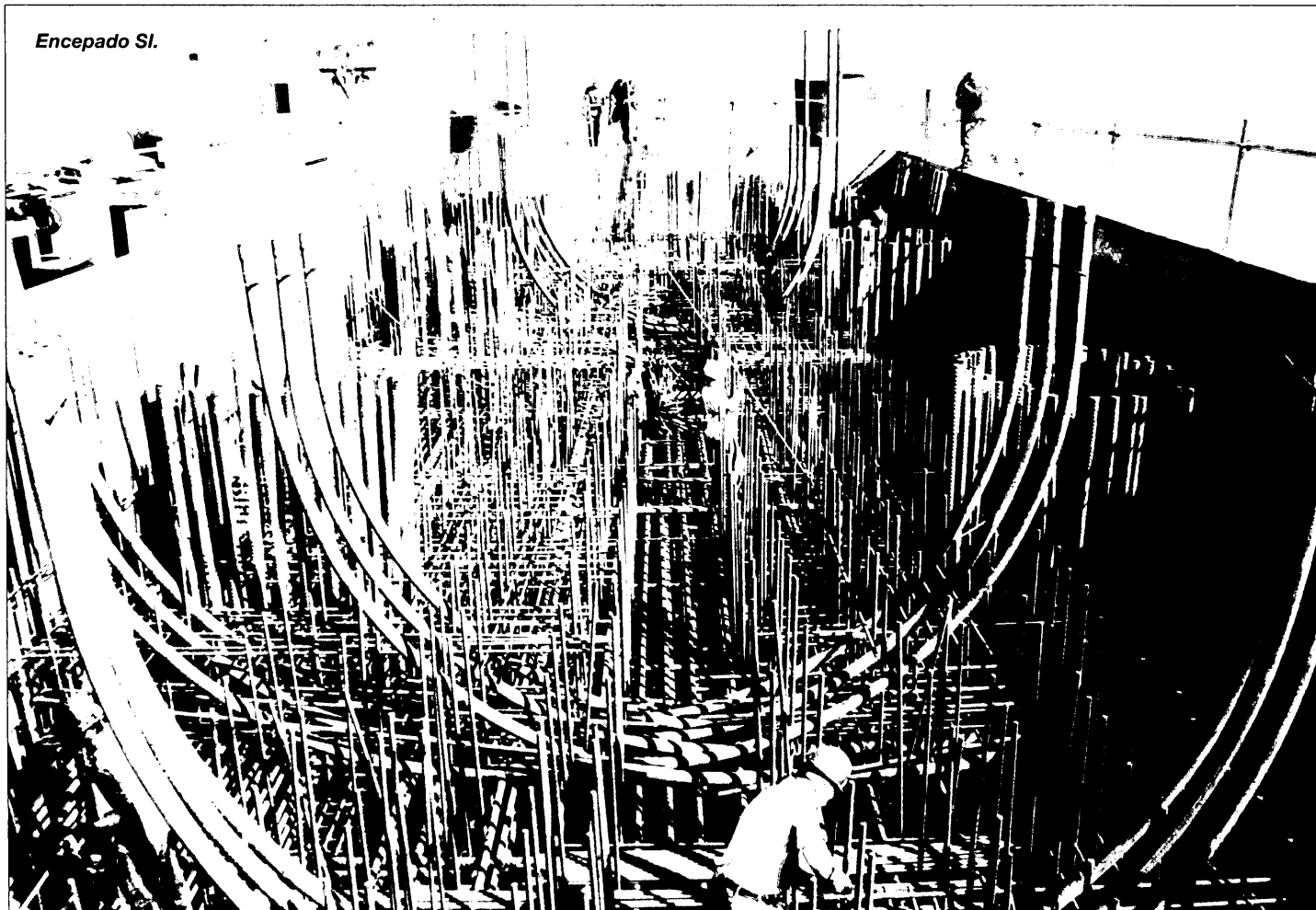
En Seixal se prefabrican los cajones que funcionan como encofrado perdido para los encepados. Se transportan al río y se colocan sobre su correspondiente grupo de pilotes.

Como pilotes, también hay dos tipos de cajones y encepados - 73 unidades de los *NSI* (25,4x8,5m del plano y 2,6m de canto), y 8 unidades de los *SI* (28x10,6m del plano y 6,7m de canto).



Prefabricación de los cajones.

Encepado SI.



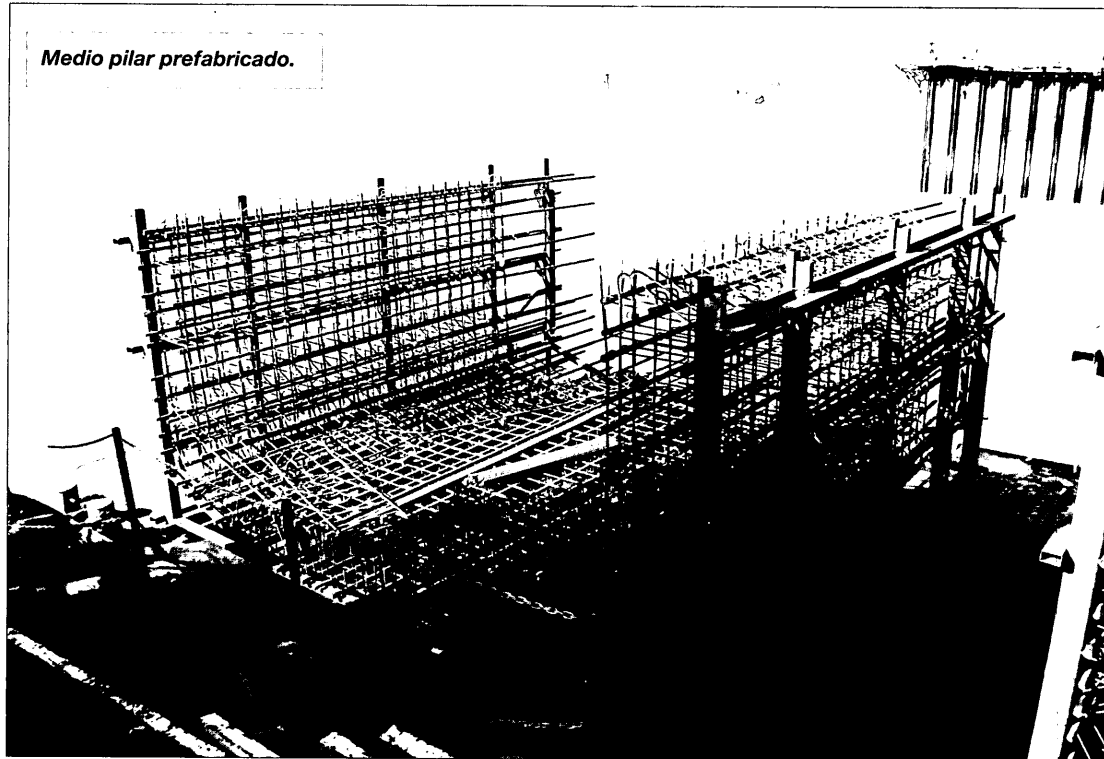
En los encepados *SI* se colocan tubos en forma de "U", para los cables verticales de postensado temporal.

Pilares

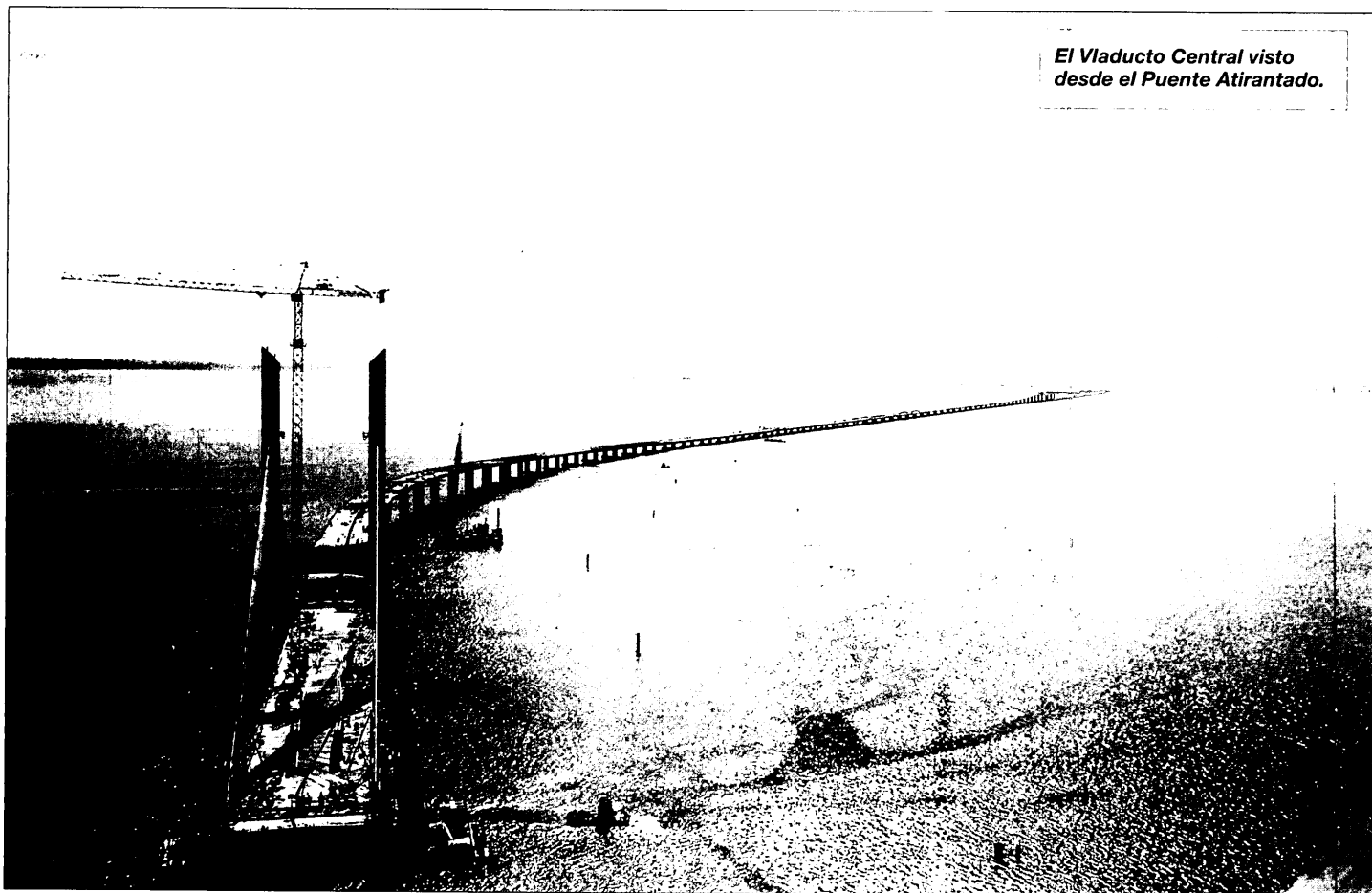
La sección transversal de los pilares del Viaducto Central es en cajón de dimensiones 5,5x4m.

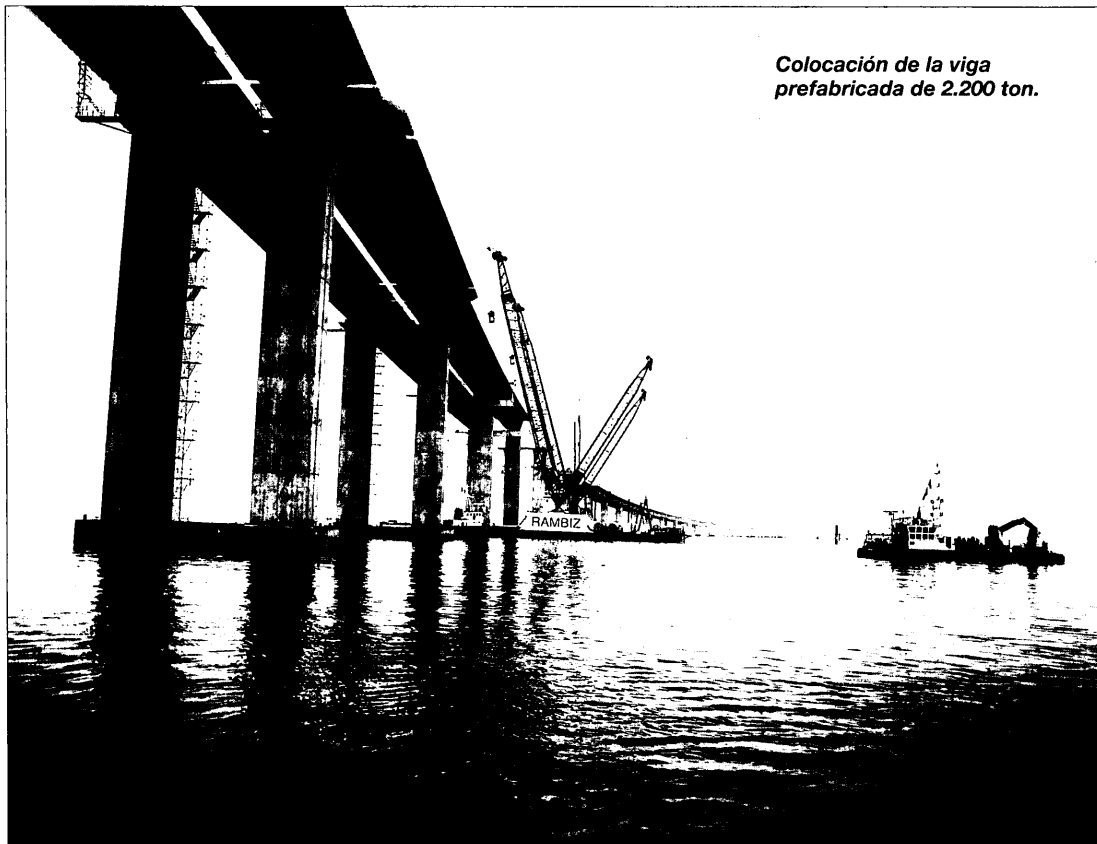
En la parte baja del Viaducto, las pilas se ejecutan in-situ. En las zonas donde el tablero se eleva, los pilares se hormigonan en tramos de 5 a 6m usando encofrado trepante. La armadura se prefabrica según la simetría de la sección en dos partes iguales. Los estribos se preparan soldán-

Medio pilar prefabricado.



El Viaducto Central visto desde el Puente Atirantado.





Colocación de la viga prefabricada de 2.200 ton.

93+130+93m de luz. La sección transversal del tablero es en cajón, con el canto constante de 3,95m en los vanos de vigas, y variables de 3,95 a 7,45m con los segmentos pegados. Las parejas del tablero, para trabajar unidos se juntan in-situ con el postensado transversal. El ancho de la losa superior de una viga del tablero es de 13,9m. La distancia entre las almas de la viga varía de 7m arriba a 5,5m abajo. El ancho de la losa superior del tablero, juntando las dos vigas es $(13,9m + 1,5m \text{ (junta longitudinal)} + 13,9m =) 29,3m$. Para obtener áreas de aparcamiento de emergencia, cada 1,5km las parejas de vigas se amplían 2m por cada lado.

Las juntas de dilatación están sobre cada noveno

pilar. En la mayor parte del Viaducto, la distancia entre juntas es 708m, y en los tramos que contienen los pasos de barcos, es 789m.

a) Vigas de 78m

Para facilitar la prefabricación, las vigas están compuestas de ocho segmentos. Yendo del centro de la viga hacia los extremos, encontramos los siguientes segmentos (uno en cada lado):

▼ Segmento de Centro. Longitud = 10,4m. Incluye: la losa superior, las almas y la losa inferior.

▼ Segmento de Desvío. Longitud = 9,4m. Incluye: la losa superior, las almas, la losa inferior, el diafragma de desvío de los cables de postensión externa y los bloques de anclaje de los cables de postensión interna.

▼ Segmento de Alivio de Carga. Longitud = 9,0m. Incluye: la losa superior, las almas, la losa inferior,

dolos en un marco sobre una plantilla horizontal, y se colocan en un molde realizado para el montaje y transporte. Posteriormente se enfila la armadura principal, y ya completo, el medio pilar se transporta al río y se coloca sobre el tramo de pilar anteriormente hormigonado estando el encofrado interior previamente instalado. Para la conexión vertical entre los tramos se utilizan empalmes mecánicos (manguitos) y solapes al 50%. Al colocar el simétrico, los dos medio pilares se unen horizontalmente, y el tramo entero se hormigona in-situ.

Los pilares se terminan con un dintel, hecho in-situ. Se instala la placa de apoyo de la viga.

TABLERO

El tablero del Viaducto Central, con seis vías de tráfico, contiene 75 vanos dobles formados por parejas de vigas de 78m de luz, y dos tramos dobles formados por segmentos pegados, de



Prefabricación de un Segmento Extremo.

el diafragma de alivio de carga y los bloques de anclaje de los cables de postensión interna.

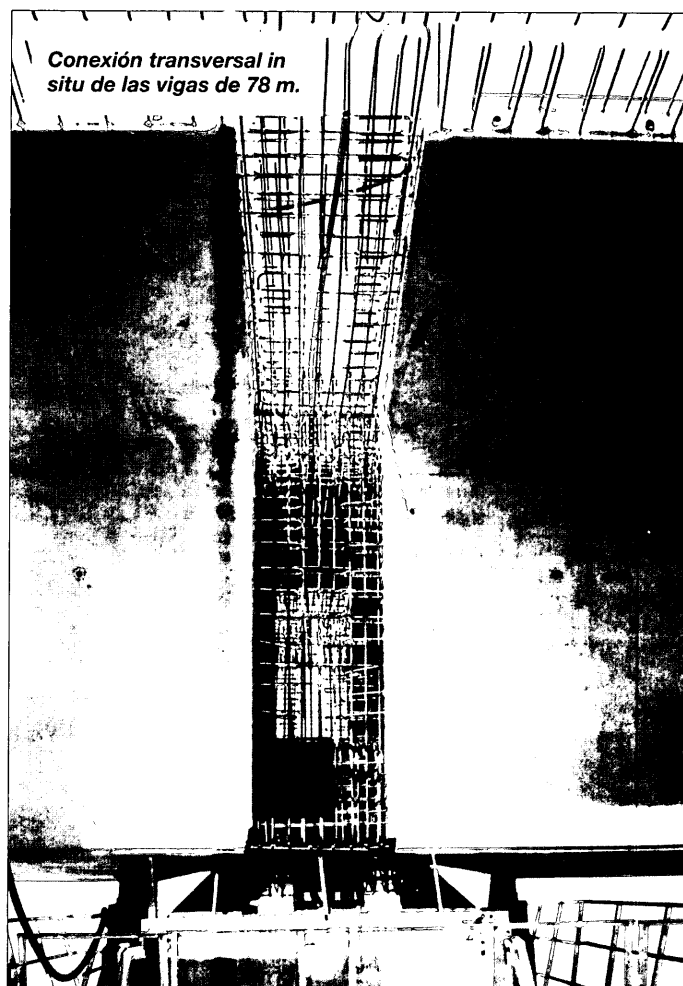
▼ Segmento Extremo. Longitud = 7,5m. Incluye: la losa superior, las almas, la losa inferior, el diafragma de apoyo y anclaje de los cables de postensión externa, y los bloques de anclaje de los cables de postensión interna.

El montaje de la armadura de cada uno de los elementos de cada segmento se hace aparte y en su molde. En los elementos que llevan los cables de postensado (losa superior, losa inferior, diafragmas y bloques de anclaje), se colocan los soportes de vainas y tubos a su cota final. Para éste trabajo, se ha empleado un método de prefabricación a base de plantillas de armadura soldada, que se colocan cada 80cm a lo largo del segmento, obteniendo una tolerancia en la posición de las vainas de 5mm. Los elementos se unen entre sí con armadura adicional dentro del molde de su segmento. Se colocan vainas y tubos de la postensión externa, y el segmento se lleva al encofrado para hormigonar.

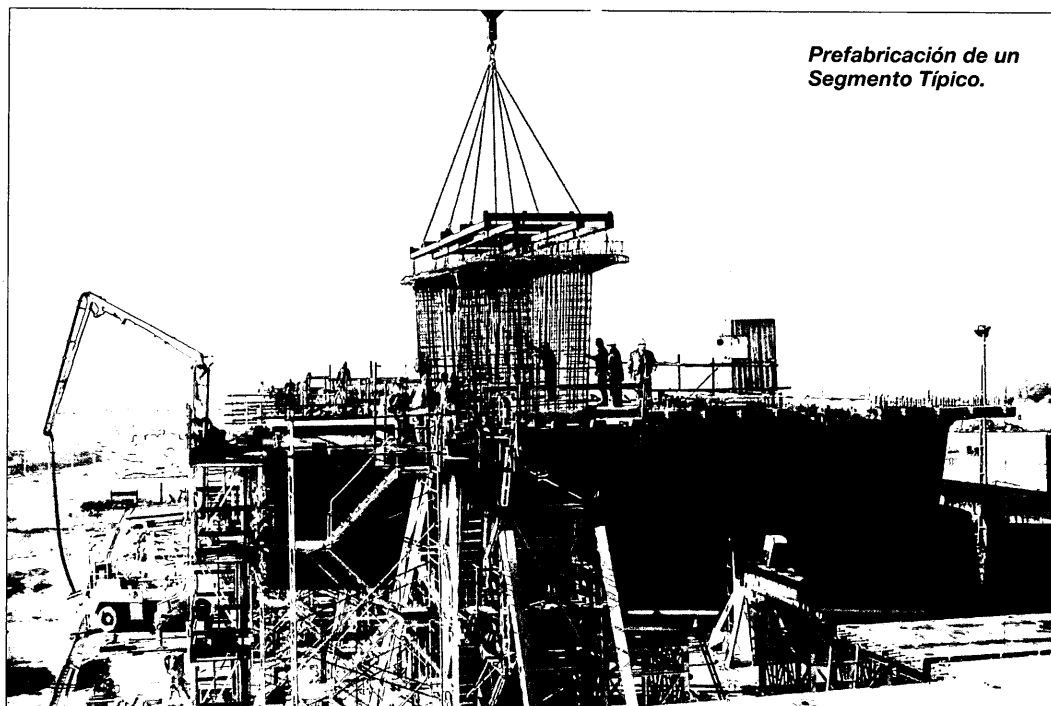
Hay dos encofrados para cada uno de los Segmentos Centrales, de Desvío y de Alivio de Carga, y cuatro para el Extremo. En éste punto, como el más crítico de los trabajos del Viaducto, se ha empleado el óptimo número de moldes para cada tipo de segmento. Con una planificación precisa y el trabajo encadenado en el proceso de prefabricación de armadura, se ha conseguido responder a la exigencia de la Constructora. Diariamente se hormigona un segmento de cada tipo, y cada dos días se unen los ocho segmentos en una viga de 78m.

Para poder obtener la durabilidad requerida del puente en 120 años, la cantidad de cemento es bastante alta. La resistencia exigida después de 12 horas es 200kg/cm^2 . El ratio agua/cemento es 0,34, y para conseguir buena trabajabilidad, se usan superplastificantes. Para bajar la temperatura del hormigón, en principio, se pensó usar agua fría; pero al ser la cantidad de agua pequeña, la bajada de temperatura en el hormigón fresco casi no se notaba. La solución se ha encontrado bajando la temperatura de los áridos, cubriéndolos y mojándolos, obteniendo así una caída de 6°C .

Después de haberlo hormigonado, el segmento se lleva a la cama de ensamble, donde se unen los ocho segmentos en una viga de 78m de luz y 2.200 toneladas de peso. Para asegu-



Conexión transversal in situ de las vigas de 78 m.



Prefabricación de un Segmento Típico.

rar la posición correcta de los segmentos, los apoyos en la cama están controlados por ordenador. Los segmentos se unen hormigonando las juntas de 70cm de ancho. A continuación, se aplica la primera fase de postensado; con una grúa pórtico la viga se lleva al muelle, en donde el barco-grúa la transporta y monta sobre los pilares.

Las vigas se unen in-situ mediante el diafragma transversal. Las cargas se transfieren de los apoyos temporales de cada viga al apoyo permanente, bajo el diafragma transversal. Se tensan los cables de postensión externa, se hormigona la junta lateral entre las parejas de vigas del tablero, y se aplica la postensión transversal de la losa superior.

b) Segmentos pegados

A partir de los segmentos prefabricados de 3,4m de largo, unidos in-situ con resina epoxi y postensando, se construyen dos tramos de 93+130+93m.

Se diferencian tres tipos de segmentos pegados:

▼ Segmento Extremo (8 unidades). Este segmento está en la continuación de la viga de 78m. Tiene los mismos elementos que el Segmento Extremo de la viga, solo que es más corto.

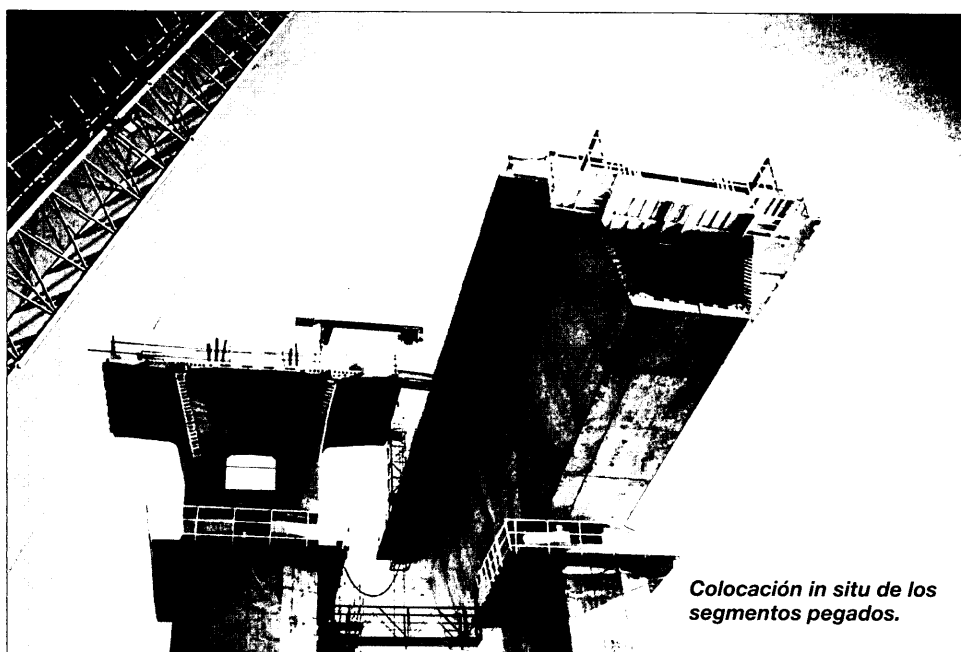
▼ Segmento Típico (344 unidades). Incluye: la losa superior, las almas, la losa inferior, los bloques de anclaje de los cables de postensión interna y postensión temporal. Los segmentos en los lugares de desvío de los cables de la postensión externa, también incluyen el diafragma de desvío.

▼ Segmento Diafragma (8 unidades). Incluye tres segmentos que se unen in-situ: un Segmento Central (8 uds.) y dos Segmentos Laterales (16 uds.). Se sitúa sobre el pilar de vano de 130m.

Como los segmentos de la viga de 78m, la armadura se prefabrica y la jaula armada, con las vainas puestas, se coloca en el encofrado. Los moldes, tanto de armadura como de hormigón para los Segmentos Típicos son ajustables según la altura del segmento. En caso de Segmento Central, o Segmento Extremo, se encofra en todas sus caras. Si es uno de los Laterales o Típicos, en una cara se coloca el segmento vecino anteriormente hormigonado, y éste sirve como encofrado de este lado. Así se asegura que luego in-situ los segmentos encajen perfectos unos con otros.

Hay dos encofrados para los Segmentos Típicos, en los cuales se hormigonan 2 segmentos diariamente.

Pasado 6 horas después de hormigonado, el segmento se empieza a desencofrar, y 3 horas más tarde, el segmento se



Colocación in situ de los segmentos pegados.

levanta y acopia. De este acopio, los segmentos se cargan en una plataforma marítima y se llevan al río, donde se unen in-situ con los anteriormente puestos.

Las caras de corte de los segmentos pegados tienen un sistema de tacones y canales horizontales y verticales. Los horizontales transmiten la fuerza transversal entre dos segmentos. Los verticales aseguran que el epóxido sobrante en el momento de apretar un segmento con el otro, aplicando el postensado temporal (con cables Macalloy), salga hacia unos lugares determinados.

El montaje in-situ de los segmentos pegados empieza por el Segmento Diafragma, uniendo dos Laterales con el Central sobre una plataforma, y levantándolos sobre el pilar. El Segmento Diafragma se asienta en los apoyos temporales. Los cables (temporales) verticales de anclaje pasan por los dos Segmentos Laterales. Los Segmentos Típicos se montan por los dos lados (uno hacia el vano central de 130m, y otro hacia el vano lateral de 93m) del Segmento Diafragma, obteniendo el equilibrio de la estructura. Al montar cada par de los Típicos, se aplica el postensado de ménsula. Llegando al medio del vano de 130m, se unen in-situ los dos Segmentos Típicos que vienen de cada lado, y se instalan y tensan los cables superiores e inferiores de continuación. Se quitan los cables verticales y los apoyos temporales de los Laterales, y el tramo se coloca sobre los apoyos permanentes, bajo el Segmento Central.

El proceso similar se repite en el vano de 93m, empezando por el Segmento Extremo.

Cuando todo el tramo de 93+130+93m está montado y colocado sobre los apoyos permanentes, se tensan los cables de postensión externa, se hormigona la junta lateral entre los dos cajones del tablero, y se aplica el postensado transversal de la losa superior. ●